

ANAIIS



V WORKSHOP DO PRH 55.1 ///

26 a 28 de novembro de 2024

FREDERICO RIBEIRO DO CARMO
POLIANA PINHEIRO DA SILVA
DANIEL VALADÃO SILVA
Organizadores



Frederico Ribeiro do Carmo
Poliana Pinheiro da Silva
Daniel Valadão Silva

ANAIS DO V WORKSHOP DO PRH55.1



2025



Esta obra foi coeditada pela Biblioteca Orlando Teixeira em parceria com a Editora Universitária da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e está protegida pela Licença *Creative Commons* (CC BY-SA 4.0).

Comissão Organizadora

Frederico Ribeiro do Carmo, Poliana Pinheiro da Silva, Daniel Valadão Silva e Anara Luana Nunes Gomes

Comissão Científica

Aline Mara Maia Bessa, Andrea Francisca
Fernandes Barbosa, Bruno Caio Chaves
Fernandes, Carolina Malala Martins
Souza, Daianni Ariane Da Costa Ferreira, Daniel
Valadão Silva, Daut de Jesus Nogueira Peixoto
Couras, Francisco de Assis de Oliveira, Francisco
Wilton Miranda da Silva, Frederico Ribeiro do
Carmo, Geraldine Angélica Silva da
Nóbrega, Jardel Dantas da Cunha, José
Francismar de Medeiros, Marcelo Tavares
Gurgel, Poliana Coqueiro Dias Araújo, Poliana
Pinheiro da Silva, Rafael Oliveira
Batista, Raniere Dantas Valença, Ricardo Paulo
Fonseca Melo, Zoroastro Torres Vilar

Projeto Gráfico

Anara Luana Nunes Gomes

Diagramação

Anara Luana Nunes Gomes

Revisão ortográfica

Maria Geizi Silva Pinto

Direção do SISBI

Keina Cristina Santos Sousa e Silva

Normalização bibliográfica e Catalogação na Fonte

Daniele Belmont de Farias Cavalcanti

Editoração

Daniele Belmont de Farias Cavalcanti

Dados Internacionais da Catalogação na Publicação (CIP)

W926 Workshop do PRH 55.1 (5. : 2024 : Mossoró, Brasil).

V Workshop do PRH 55.1, 26 a 28 de nov. de 2024 [recurso eletrônico] / organizado por Frederico Ribeiro do Carmo; Poliana Pinheiro da Silva e Daniel Valadão Silva.- Mossoró: SISBI UFERSA, EdUFERSA, 2025.

E-ISBN: 978-65-87108-89-6

Evento realizado pelo Programa de Formação de Recursos Humanos 55.1 da ANP (PRH-ANP 55.1), realizado entre os dias 26 e 28 de novembro de 2024, durante o Mossoró Oil & Gas, na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró/RN.

I. Biocombustível. 2. Energias Renováveis. 3. Economia Circular. I. Carmo, Frederico Ribeiro. II. Silva, Poliana Pinheiro da. III. Silva, Daniel Valadão. IV. Título.

CDD: 333.794

Daniele Belmont de Farias Cavalcanti (CRB-15/652) – Bibliotecária

Editora Afiliada



SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	5
PRODUÇÃO DE BIOMASSA ENERGÉTICA: BIOCHAR DE CARNAÚBA E ÁGUA PRODUZIDA COMO ESTRATÉGIA DE ECONOMIA CIRCULAR	7
REMOÇÃO DE FENOL DE EFLUENTES AQUOSOS POR TRATAMENTO DE FLOCULAÇÃO IÔNICA	11
PRODUÇÃO DE BIODIESEL UTILIZANDO FONTES GRAXAS RESIDUAIS	16
MAXIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DA MANDIOCA IRRIGADA COM ÁGUA PRODUZIDA	20
USO DA ÁGUA PRODUZIDA NO CULTIVO DE ESPÉCIES OLEAGINOSAS VISANDO A GERAÇÃO DE BIODIESEL	25
AValiação DO POTENCIAL DE SEQUESTRO DE CARBONO NO SOLO EM CULTIVOS DE OLEAGINOSAS DO SEMIÁRIDO POTIGUAR: UMA ANÁLISE COM O MODELO ROTH C	30
AValiação DA QUEBRA DE EMULSÃO DE PETRÓLEO POR EXTRAÇÃO LÍQUIDO-LÍQUIDO UTILIZANDO TENSOATIVOS COMO AGENTE EXTRATOR	34
ANÁLISE DA CORROSIVIDADE DAS MISTURAS AB-DIESEL: CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS MISTURAS	38
SORGO SACARINO IRRIGADO COM ÁGUA PRODUZIDA DO PETRÓLEO: UMA PROPOSTA DE ECONOMIA CIRCULAR PARA O SETOR ONSHORE	42
AValiação DO USO DE ÁGUA PRODUZIDA DE PETRÓLEO E GÁS EM SOLOS ARENOSOS DO GRUPO BARREIRAS, ESTADO DO CEARÁ	47
BIOCHAR DE MORINGA: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA MELHORAR A FERTILIDADE DO SOLO NO SEMIÁRIDO E POTENCIALIZAR A PRODUÇÃO DE CAPIM-ELEFANTE PARA PRODUÇÃO DE BIOENERGIA E ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO	52
PRODUÇÃO DE BIOCHAR NO NORDESTE BRASILEIRO: <i>INSIGHTS</i> BASEADO EM DADOS	57
AValiação DE EMISSÃO DE GASES E DESEMPENHO DE MOTOR DE BANCADA UTILIZANDO MISTURAS AB-DIESEL	61
VIABILIDADE DE REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA PRODUZIDA DE PETRÓLEO PARA IRRIGAÇÃO DO CAPIM ELEFANTE CV. BRS CAPIAÇU	66
ÓLEOS LUBRIFICANTES: ASSEGURANDO VENTOS DE EFICIÊNCIA E CONFIANÇA	70
ANÁLISE DA MISCIBILIDADE DO SISTEMA BIODIESEL METÍLICO DE GIRASSOL + DIESEL + ETANOL	76
SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BIOCHAR A PARTIR DA CASCA DA CASTANHA DE CAJU	79
ANÁLISE DA PEGADA DE CARBONO DA PRODUÇÃO DE BIOCHAR NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO A PARTIR DE MATÉRIAS-PRIMAS CULTIVADAS EM ÁREAS AFETADAS POR SAIS	83
POTENCIALIDADE DO USO DA ÁGUA PRODUZIDA DA INDÚSTRIA PETROLÍFERA NA PRODUÇÃO DO ALGODOEIRO NATURALMENTE COLORIDO	88
SÍNTESE DE BIOCHAR A PARTIR DE RESÍDUOS DE COCO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA PRODUZIDA	92

BIOCHAR DA CASCA DA CASTANHA DE CAJU NO CULTIVO DE CÁRTAMO: SOLUÇÃO SUSTENTÁVEL PARA SEQUESTRO DE CARBONO E REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA PRODUZIDA EM UM CAMPO ONSHORE	97
ÁGUA PRODUZIDA DO PETRÓLEO NA IRRIGAÇÃO DE CLONES HÍBRIDOS DE <i>Eucalyptus</i> spp.	101
AVALIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO DE ASFALTENO NOS PETRÓLEOS E ÓLEOS COMBUSTÍVEIS DA REGIÃO DO SEMIÁRIDO	106
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DO BIOCHAR DE CASCA DE CASTANHA DE CAJU PARA TRATAMENTO DE ÁGUA PRODUZIDA	110
APLICAÇÃO DE SISTEMAS MICROEMULSIONADOS E DESEMULSIFICANTES COMERCIAIS NA QUEBRA DE EMULSÕES DE PETRÓLEO	115
ANÁLISE DE ESTABILIDADE EM MISTURAS AB-DIESEL À BASE DE ETANOL E BIODIESEL DE ÓLEO RESIDUAL	120
ESTUDO DO MECANISMO DE ADSORÇÃO DO EXTRATO DA ESPINHEIRA SANTA (<i>Maytenus ilicifolia</i>) EM MEIO SALINO	125
AB-DIESEL: COMBUSTÍVEL SUSTENTÁVEL À BASE DE ÓLEO RESIDUAL E N-PROPANOL	130
SOBRE OS ORGANIZADORES	135



APRESENTAÇÃO

Frederico Ribeiro do Carmo

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Poliana Pinheiro da Silva

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Daniel Valadão Silva

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

É com grande satisfação que apresentamos os anais do V Workshop do Programa de Formação de Recursos Humanos 55.1 da ANP (PRH-ANP 55.1), realizado entre os dias 26 e 28 de novembro de 2024, durante o Mossoró Oil & Gas, na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró/RN.

O Programa de Formação de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (PRH-ANP), criado em 1999, é uma iniciativa estratégica da ANP para fomentar a formação de profissionais altamente qualificados e o desenvolvimento tecnológico no setor energético brasileiro. Atualmente financiado com recursos da Cláusula de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I), prevista nos contratos de exploração e produção de petróleo e gás natural, o PRH-ANP apoia instituições de ensino por meio da concessão de bolsas em áreas como petróleo, gás natural, biocombustíveis, transição energética e descarbonização. Em seus 25 anos de atuação, o Programa já beneficiou mais de dez mil bolsistas e, entre 2019 e 2024, destinou mais de R\$ 300 milhões a 54 programas, vinculados a 25 instituições de ensino superior em 12 estados da Federação.

O V Workshop do PRH-ANP 55.1 teve como objetivos: (1) apresentar à academia, ao setor produtivo e à sociedade em geral as pesquisas desenvolvidas pelos bolsistas do PRH-ANP 55.1; (2) discutir os desafios e as oportunidades do setor energético; e (3) promover a integração dos bolsistas com representantes da academia, do governo e da indústria. Durante os três dias de evento, foram realizadas diversas



atividades, como palestras, minicursos e apresentações técnicas. O evento contou com 67 inscritos e recebeu um público aproximado de 150 participantes.

Nesta quinta edição, o evento destacou-se por abordar temas estratégicos como biocombustíveis, economia circular, soluções baseadas na natureza, captura de carbono e energias renováveis, promovendo reflexões sobre o papel do setor energético na transição para uma economia mais sustentável e de baixo carbono.

Neste volume de anais, reunimos os trabalhos selecionados, que representam a qualidade e a diversidade das contribuições apresentadas durante o V Workshop do PRH-ANP 55.1. Foram apresentados 28 trabalhos técnicos, sendo 4 em formato oral e 24 na forma de pôsteres, selecionados por uma comissão científica com base em critérios rigorosos de clareza, embasamento teórico, inovação e relevância para o setor, em conformidade com as diretrizes estabelecidas pela ANP.

Esperamos que este material contribua para a disseminação do conhecimento produzido no evento e para o aprofundamento das reflexões sobre os desafios e avanços do setor energético. Agradecemos a todos os participantes, palestrantes, revisores, bolsistas e demais envolvidos na realização do V Workshop do PRH-ANP 55.1, cujo empenho foi essencial para o sucesso do evento e para a publicação destes anais.



PRODUÇÃO DE BIOMASSA ENERGÉTICA: BIOCHAR DE CARNAÚBA E ÁGUA PRODUZIDA COMO ESTRATÉGIA DE ECONOMIA CIRCULAR

Antonio Diego da Silva Teixeira

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Frederico Ribeiro do Carmo

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Rafael Oliveira Batista

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

RESUMO

Este estudo investigará os impactos no sistema solo-planta do biochar de carnaúba (*Copernicia prunifera*) na produção de uma cultivar de capim-elefante, a BRS capiaçu (*Cenchrus purpureus*), combinado com a irrigação utilizando água produzida de petróleo, buscando alternativas de reutilização de resíduos no semiárido nordestino. A água produzida, subproduto da extração de petróleo, poderá suprir parcialmente demandas hídricas quando utilizada de forma adequada, enquanto o biochar, derivado do bagaço da carnaúba, poderá melhorar a qualidade do solo e mitigar emissões de CO₂. O experimento será conduzido na Unidade Experimental de Reúso de Água (UERA) da UFERSA (Mossoró-RN) em vasos de 20 L com solo arenoso, testando cinco níveis de salinidade da água e cinco doses de biochar (0, 5, 10, 20 e 30 t/ha). Para caracterizar o biochar, serão avaliados parâmetros como pH, condutividade elétrica (CE), capacidade de troca catiônica (CTC) e teores de nutrientes, além de técnicas como Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Serão avaliadas também características do capim (número de folhas, altura, massa seca) e atributos químicos do solo (pH, CE, COT, N, P, metais) na camada superficial (0-20 cm). A análise estatística será realizada por meio de ANOVA e teste de Tukey a 5%. Espera-se que o biochar se mostre um condicionador eficaz, identificando-se a dose ideal e um nível seguro de salinidade para o cultivo, contribuindo para a sustentabilidade agrícola e ambiental na região.

Palavras-chave: fitomassa; carvão vegetal; *Cenchrus purpureus*; *Copernicia prunifera*; água residuária.

INTRODUÇÃO

Embora o petróleo seja uma fonte energética crucial, sua extração está entre as atividades mais poluentes (Alves *et al.*, 2023). Nesse processo, grandes volumes de água subterrânea são retirados com o óleo e o gás, sendo posteriormente descartados, reinjetados ou reutilizados após tratamento. A destinação inadequada dessa água



produzida pode causar sérios danos ambientais devido à presença de elementos tóxicos (Silva *et al.*, 2022).

A região semiárida do Brasil enfrenta uma escassez hídrica agravada por limitações socioeconômicas e infraestrutura insuficiente para o fornecimento de água potável e tratamento de efluentes. Nesse cenário, o reaproveitamento de águas residuárias apresenta-se como uma alternativa viável, especialmente quando tratadas para uso agrícola, auxiliando no suprimento hídrico da região (Dickhout *et al.*, 2017).

Para reduzir a contaminação ambiental e conservar recursos naturais, é essencial o avanço em tecnologias de tratamento como o biochar, um carvão obtido pela pirólise de biomassa. Esse material é eficaz no condicionamento do solo, tratamento de águas contaminadas e sequestro de carbono (Meng *et al.*, 2022). No Nordeste do Brasil, a carnaúba (*Copernicia prunifera*), palmeira nativa dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, gera resíduos orgânicos significativos que podem ser transformados em biochar, ampliando o aproveitamento sustentável de seus subprodutos (Demartelaere *et al.*, 2021).

No contexto semiárido, marcado por condições salinas adversas, é fundamental selecionar espécies agrícolas resilientes. O BRS Capiacu (*Cenchrus purpureus*), uma cultivar do capim-elefante, de ciclo rápido e alta produtividade, destaca-se como alternativa promissora, sendo utilizada em processos de combustão direta, gaseificação, produção de carvão e hidrólise do bagaço (Saraiva; Koing, 2013).

Este projeto visa investigar o potencial do biochar de carnaúba na irrigação do capiaçu com água residual tratada da indústria de petróleo, avaliando seus impactos no sistema solo-planta. A pesquisa busca mitigar os efeitos ambientais da exploração petrolífera e promover o uso sustentável dos recursos naturais, incentivando a sustentabilidade agrícola e ambiental no semiárido nordestino.

METODOLOGIA

O estudo será realizado na Unidade Experimental de Reúso da Água – UERA, pertencente à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) em Mossoró-RN, Brasil, localizada sob as coordenadas geográficas 5°12'30" de latitude Sul e 37°19'08" de longitude Oeste.

Inicialmente, o biochar será produzido a partir do bagaço da carnaúba, resultante da obtenção do pó que dá origem à cera. Para caracterizar o biochar quanto ao seu potencial, serão analisados pH, condutividade elétrica (CE), capacidade de troca catiônica (CTC), teor de carbono (C), nitrogênio (N), hidrogênio (H), porosidade, área superficial específica, material volátil e cinzas, teor de nutrientes, além de espectroscopia por Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), morfologia por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), termogravimetria (TG) e teores de lignina, celulose e hemicelulose.



O trabalho será conduzido em delineamento de blocos casualizados no esquema fatorial 5x5 com 5 repetições, onde o primeiro fator serão as doses de biochar da carnaúba (BC): D1 – 0 Mg/ha; D2 – 5 Mg/ha; D3 – 10 Mg/ha; D4 – 20 Mg/ha; e D5 – 30 Mg/ha e 5 níveis de salinidade da água de irrigação obtidos pelas diluições de água produzida do petróleo (AP) em água de abastecimento (AA), sendo A1 - 100% de AP e 0% de AA; A2 – 50% de AP e 50% de AA; A3 - 75% de AP e 25% de AA; A4 - 25% de AP e 75% de AA; e A5 - 0% de AP e 100% de AA.

Serão realizadas análises biométricas nas plantas, tais como diâmetro colmo (DC), altura de planta (AP), número de perfilhos (NP), número de folhas (NF), massa pré-seca a 65 °C (MS65°), teor de matéria seca (TMS), produtividade de folha verde (PFV), produtividade de massa verde (PMV), produtividade de massa seca (PMS) e relação folha/colmo (F/C).

Para a determinação dos aspectos físico-químicos do solo serão mensuradas a densidade do solo pelo método do anel volumétrico, análise granulométrica conforme o método da pipeta; pH em água (relação 1:2,5); CE 1:2,5 - condutividade elétrica na relação 1:2,5; MO - matéria orgânica determinada pelo método Walkley-Black; P, K e Na extraídos com Melich, Ca, Mg, e Al extraídos com KCl 1 mol L⁻¹. As concentrações de Ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn), níquel (Ni), chumbo (Pb), cádmio (Cd) e crômio (Cr) serão extraídos com Mehlich e determinados por espectrofotometria de absorção atômica (Teixeira *et al.*, 2017).

Para analisar os danos fisiológicos causados pela toxicidade dos metais pesados da água de irrigação nas plantas, serão mensurados a partir do Analisador de gases por infravermelho (IRGA) variáveis de taxa fotossintética líquida (A), concentração de CO no interior da folha (Ci), condutância estomática (g) e taxa transpiratória (E) também pode ser afetada pelo estresse.

Para a análise estatística, os dados serão submetidos à análise de variância, e as médias de cada tratamento serão comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS ESPERADOS

- Demonstração do biochar de carnaúba como um melhorador das características físico-químicas de solo.
- Produção e rendimento satisfatório do capiaçu pela aplicação do biochar no solo irrigado com diferentes diluições de água produzida.
- Mitigação da salinização, sodificação e acumulação de metais no solo.
- Determinar os níveis ótimos de biochar e água produzida para o solo e cultura avaliados, analisando a interação entre os dois fatores.



CONCLUSÃO

Este projeto apresenta uma perspectiva promissora para a inovação sustentável na agricultura e na produção de bioenergia. A proposta inclui a caracterização do biochar a partir da biomassa de carnaúba, a avaliação de seus efeitos na estrutura do solo, e a análise dos impactos da salinidade da água produzida tratada nos parâmetros biométricos do capiaçu e nos aspectos químicos do solo. A realização futura do projeto fornecerá dados essenciais para validar essas hipóteses.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP (PRH-ANP 55.1), gestão FAPESP, pela infraestrutura disponibilizada e pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALVES, A. B. de S. S.; SOUZA, M. L. S.; FONTGALLAND, I. L. Energia do petróleo e o desenvolvimento sustentável: desafios da economia brasileira. **E-Acadêmica**, [S. l.], v. 4, n. 1, p. e1841429, 2023.
- DEMARTELAERE, A. C. F.; PRESTON, H. A. F.; DO NASCIMENTO, M. N. P.; GOMES, K. K. F.; DA SILVA, M. E. A.; DE SOUZA, J. B.; SENHOR, R. F. Utilidades e a importância econômica da *Copernicia prunifera* para o Rio Grande do Norte: uma espécie em extinção. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 5065-5088, 2021.
- DICKHOUT, J. M.; MORENO, J.; BIESHEUVEL, P. M.; BOELS, L.; LAMMERTINK, R. G. H.; VOS, W. M. Produced water treatment by membranes: a review from a colloidal perspective. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 487, p. 523- 534, 2017.
- MENG, L. Isótopos de carbono estáveis traçam o efeito dos combustíveis fósseis em frações de carbono negro particulado em um grande lago urbano na China. **Revista de Gestão Ambiental**, v. 318, 2022.
- SARAIVA, V. M.; KONIG, A. Produtividade do capim-elefante-roxo irrigado com efluente doméstico tratado no semiárido potiguar e suas utilidades. **Holos**, v. 1, p. 28-46, 2013.
- SILVA, F. C. R. da; DOS SANTOS, L. C. L.; DE OLIVEIRA, P. K. R. Estudo das técnicas aplicadas no tratamento da água produzida de petróleo. **Rio Oil & Gas Expo and Conference 2022**, Rio de Janeiro, RJ, Brazil, 2022.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA G. K.; WENCESLAU, A. F.; TEIXEIRA, G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 573 p. 2017.



REMOÇÃO DE FENOL DE EFLUENTES AQUOSOS POR TRATAMENTO DE FLOCULAÇÃO IÔNICA

Antonio Jerffeson Lima Araújo

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Daianne Ariane da Costa Ferreira

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Ricardo Paulo Fonseca Melo

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Francisco Wilton Miranda da Silva

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

RESUMO

Este estudo tem como objetivo avaliar a remoção de fenol a partir de água sintética utilizando a técnica de floculação iônica. A metodologia consistiu em um estudo cinético, avaliou o efeito da concentração de tensoativos e o pH da solução aquosa. Os resultados mostraram que a floculação com tensoativos (palmitato, estearato e laurato de sódio) e cloreto de cálcio remove mais de 57% do fenol, sendo mais eficaz em pH básico e altas concentrações de tensoativos. Em pH ácido, a eficiência diminui devido à formação de emulsões. Esses resultados demonstram que a técnica de floculação iônica tem potencial para tratar efluentes de fenol na indústria do petróleo, como a água produzida.

Palavras-chave: cloreto de cálcio; emulsões; petróleo.

INTRODUÇÃO

O fenol e seus derivados são poluentes tóxicos presentes em efluentes industriais, especialmente na indústria de petróleo, exigindo remoção eficiente antes do descarte (Silva, 2021). A Resolução CONAMA nº 430/2011 estabelece limite de 0,5 mg/L de fenóis para descarte em corpos d'água (González-Muñoz *et al.*, 2013). A floculação iônica, que utiliza tensoativos aniônicos e cátions como cloreto de cálcio, tem se mostrado mais eficaz na remoção de fenol em comparação com métodos tradicionais (Teixeira, 2019). Este estudo tem como objetivo avaliar a eficácia de um sistema de tratamento para remoção de fenol de água sintética utilizando floculação iônica.



METODOLOGIA

Estudo cinético

O estudo seguiu a metodologia de Lima (2023), utilizando efluente sintético de fenol (100 ppm), tensoativos sintetizados em laboratório à base de palmitato, estearato e laurato de sódio (2150 ppm) e cloreto de cálcio (1075 ppm) para floculação. A concentração final foi medida por espectrofotometria a 273 nm, e a eficiência de remoção calculada pela Equação (1).

$$\%Eficiência = \frac{C_{inicial} - C_{diluída}}{C_{inicial}} \cdot 100 \quad (1)$$

Em que $C_{inicial}$ é a concentração inicial de fenol e $C_{diluída}$ é a concentração de fenol na fase diluída após a separação.

Avaliação da Concentração do Tensoativo

O estudo analisou tensoativos (palmitato, estearato e laurato de sódio) em concentrações de 150 a 3.150 ppm, com fenol a 100 ppm. As amostras foram preparadas em erlenmeyers de 250 mL, contendo tensoativo e cloreto de cálcio a 50% da concentração do tensoativo.

Efeito do pH

O efeito do pH na remoção de fenol foi avaliado com tensoativos nas concentrações de 1.650 ppm (palmitato e estearato de sódio) e 2.650 ppm (laurato de sódio), mantendo a concentração do fenol a 100 ppm. Avaliou-se o pH da solução de 3 a 12. A medida foi realizada usando um medidor Digimed DM-22.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estudo cinético

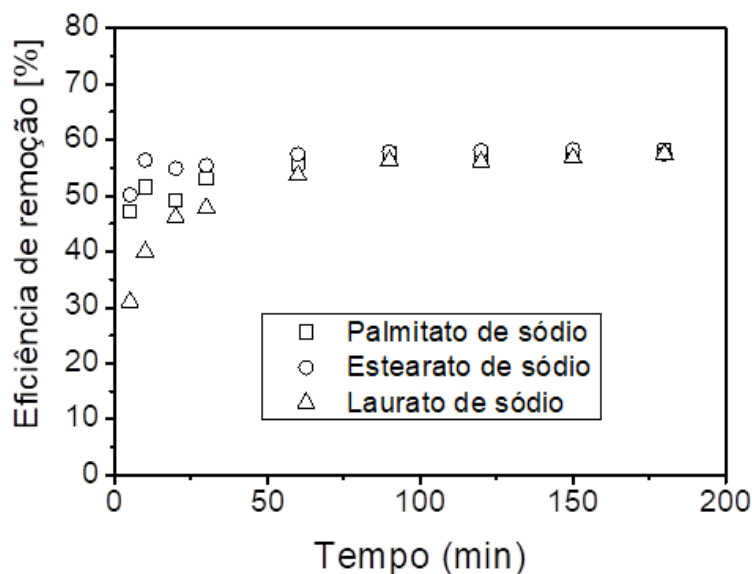
O estudo cinético determinou que a remoção de fenol (100 ppm) de um efluente sintético ultrapassou 57% com três tensoativos (palmitato, estearato e laurato de sódio) a 2150 ppm, cloreto de cálcio a 1075 ppm, e rotações a 150 rpm por 180 minutos.

A Figura 1 mostra que a remoção do fenol atinge a eficiência máxima após 90 minutos para os três tensoativos, otimizando o processo e reduzindo custos. O laurato



de sódio teve apenas 31% de eficiência em 5 minutos devido à sua cadeia carbônica curta.

Figura 1 - Porcentagem de remoção de fenol em função do tempo para diferentes tensoativos.

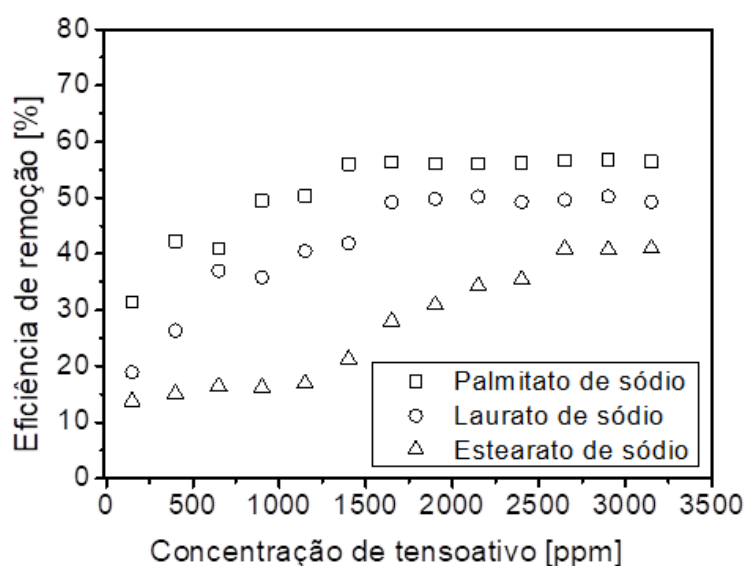


Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Avaliação da concentração do tensoativo

Para determinar as melhores condições para a eficiência de remoção do fenol, foi essencial analisar a concentração do tensoativo. O estudo abrange a quantidade ideal de tensoativo, e a Figura 2 mostra uma porcentagem removida conforme as concentrações do tensoativo.

Figura 2 - Porcentagem de remoção de fenol em função da concentração de tensoativo.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

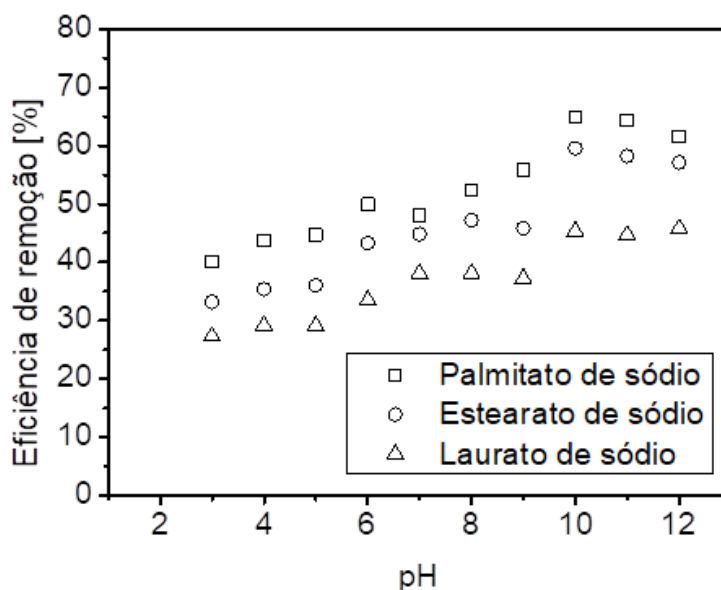


A Figura 2 mostra que a remoção de fenol aumentou com concentrações mais altas de tensoativos. Teixeira (2019) relata resultados semelhantes, com floculação ineficaz abaixo de 500 ppm e estabilização em 95-96% em concentrações maiores.

Efeito do pH

A Figura 3 ilustra a porcentagem de remoção de fenol para vários tensoativos em função do pH da solução aquosa.

Figura 3 - Porcentagem de remoção de fenol para diferentes tensoativos em função do pH.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

A Figura 3 mostra que a remoção de fenol é mais eficiente em pH básico (10 a 12) do que em pH ácido (3 a 5). Silva (2021) relata melhor desempenho em pH acima de 10 para floculação iônica e extração de óleo, com bons resultados em pH neutro (7) para remoção de óleo.

CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que a floculação iônica tem potencial para remoção de fenol de efluentes aquosos sintéticos. Na etapa da cinética, foram obtidos percentuais de remoção maiores que 57%, utilizando o cloreto de cálcio e diferentes tensoativos. A eficiência aumentou em maiores tempos de contato e concentrações de tensoativos, atingindo o máximo em pH básico. O pH ácido reduziu a eficiência devido à formação de emulsão e alteração na carga do tensoativo. Esses resultados indicam uma alternativa promissora para a indústria do petróleo para remoção de fenol da água produzida, sendo necessários mais estudos para avaliar a técnica em larga escala.



AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP (PRH-ANP 55.1), gestão FAPESP, pela infraestrutura disponibilizada e pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

GONZÁLEZ-MUÑOZ, M. J.; LUQUE, S.; ÁLVAREZ, J. R.; COCA, J. Recovery of phenol from aqueous solutions using hollow fibre contactors. **Journal of Membrane Science**, v. 213, n. 1-2, p. 181-193, 2013.

LIMA, Fernanda Siqueira. **Avaliação da remoção de fármacos por processos adsorptivos: estudos isotérmico, cinético e termodinâmico**. 2023. 128f. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.

SILVA, Dennys Correia da. **Floculação iônica e extração líquido-líquido utilizando surfactantes e sistemas de microemulsão para remoção de óleo da água produzida**. 2021. 176 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.

TEIXEIRA, Yago Neco. **Tratamento de efluente contaminado por verde malaquita através de floculação iônica**. 2019. 48 f. Monografia (Graduação em Engenharia Química). Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2019.



PRODUÇÃO DE BIODIESEL UTILIZANDO FONTES GRAXAS RESIDUAIS

Bruna Assunção Antunes Rebouças

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Raniere Dantas Valença

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Frederico Ribeiro do Carmo

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Aline Mara Maia Bessa

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

RESUMO

A produção de biodiesel a partir de fontes graxas residuais (FGRs) representa uma alternativa viável para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e minimizar a poluição ambiental. As FGRs incluem materiais descartados durante a produção, processamento ou consumo de alimentos, como óleos de fritura, gorduras animais e resíduos da indústria alimentícia. O processo de produção de biodiesel a partir dessas fontes é semelhante ao realizado com óleos vegetais, porém dispensa a etapa de extração da matéria-prima. Entre as principais vantagens do uso de FGRs destacam-se: (i) menor custo de produção, uma vez que se trata de materiais descartados, e (ii) redução da poluição ambiental, já que esses resíduos, se não reaproveitados, podem causar contaminação. Apesar desses benefícios, existem desafios importantes, como a variação na composição química dos resíduos, que pode dificultar a reação de transesterificação, e a presença de impurezas, capazes de comprometer a qualidade do biodiesel.

Palavras-chave: biodiesel; economia circular; óleo residual.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda mundial por energia e os impactos ambientais associados aos combustíveis derivados do petróleo têm motivado a busca por combustíveis alternativos e de fontes renováveis. Quando comparado ao diesel convencional, o biodiesel apresenta diversas vantagens, como redução na emissão de hidrocarbonetos não queimados, monóxido de carbono (CO) e material particulado; excelente lubrificidade; alto ponto de fulgor, o que possibilita armazenamento mais seguro; alto número de cetano; biodegradabilidade e a utilização da biomassa e material graxo residual como matéria-prima. O biodiesel é definido como o derivado mono-alquil éster de ácidos graxos de cadeia longa, proveniente de fontes renováveis (García-Moreno *et al.*, 2014 ; Knothe, 2010).



A principal matéria-prima do biodiesel no Brasil é o óleo de soja, commodity que teve os preços elevados na esteira da alta do grão. Neste contexto, a utilização de fontes graxas residuais como óleo de fritura para produção de biodiesel se mostra benéfica do ponto de vista econômico, uma vez que o custo com a matéria-prima corresponde de 70 a 85% do custo total de produção. Além disso, a disposição inadequada de material graxo residual pode gerar sérios problemas ambientais, por exemplo, o óleo residual de fritura, quando disposto nas redes de esgoto pode ocasionar entupimento das tubulações e contaminação de cursos d'água, o que encarece o posterior tratamento da água (Yaakob *et al.*, 2014; Cremonez *et al.*, 2015; García-Moreno *et al.*, 2014; Khan *et al.*, 2014; Wang; Pengzhan Liu; Zhang, 2007). A tecnologia mais utilizada para obtenção de biodiesel é a transesterificação de óleos vegetais e gorduras animais ou residuais. Devido à alta concentração de ácidos graxos livres presentes nos materiais graxos residuais, uma etapa de pré-tratamento torna-se necessária antes da reação de transesterificação (Balat, 2010; Banković-Ilić *et al.*, 2012; Knothe, 2008). Desse modo, o estudo tem como objetivo avaliar a influência da qualidade da matéria-prima na produção de biodiesel, em termos de rendimento e propriedades do produto final.

METODOLOGIA

O biodiesel foi produzido através da reação de transesterificação simples com metanol, utilizando NaOH como catalisador. A princípio é feito a filtração a vácuo do óleo residual para retirada de possíveis resíduos, para que seja viável a produção. Após, pesou-se 100 g de óleo residual, 1 g do catalisador e mediu-se o volume de aproximadamente 30 mL do álcool metílico. Adicionou-se o álcool ao NaOH em um becker, e foi posto sob agitação até a completa dissolução do catalisador, sem aquecimento. Após a dissolução, esta solução foi adicionada ao óleo residual, em um reator de bancada, e preparada a reação em refluxo na temperatura de 60°C, sob agitação vigorosa de um mixer na faixa de 1300 rpm, durante 60 minutos. Após a obtenção do biocombustível, este foi posto em decantação para a separação do glicerol, e são feitas no mínimo 3 lavagens, utilizando água aquecida a 40°C na quantidade de 10% do peso do óleo, para a retirada do catalisador e álcool em excesso, com intervalos de pelo menos 40 minutos entre elas, e observando através do teste de fenofaleína se é necessário mais lavagens, e logo após é feita a secagem do biodiesel até a temperatura de 110°C para que haja a remoção completa da água. O biodiesel produzido é caracterizado para garantir que atenda às especificações de qualidade estabelecidas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), de acordo com a Resolução ANP 920/2023. As especificações de qualidade do biodiesel incluem propriedades físico-químicas, como massa específica, ponto de fulgor, viscosidade, índice de acidez e teor de água, entre outras.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram feitas análises no biodiesel produzido a fim de saber se suas características estão dentro das normas estabelecidas pela ANP.

Quanto ao aspecto, o biodiesel metílico de óleo de fontes residuais se mostrou homogêneo, límpido, isento de resíduos e de coloração amarelo claro, semelhante ao Diesel, conforme condições determinadas nos métodos especificados para avaliação do aspecto segundo a Resolução nº 07 de 2008 (RANP 07/08). Se tratando da massa específica, o biodiesel apresentou $0,88091 \text{ g/cm}^3$ na temperatura de 20°C , estando dentro da faixa estabelecida de $0,85$ a $0,90 \text{ g/cm}^3$. Já a Viscosidade Cinemática apresentou $4,2680 \text{ mm}^2/\text{s}$ a 40°C , estando dentro da faixa estabelecida de $3,0$ a $5,0 \text{ mm}^2/\text{s}$, e ponto de fulgor acima de 100°C . E para certificar que de fato se trata de um biodiesel, foi realizado um teste no FTIR com 99,98% de similaridade com o biodiesel comercial. Com relação ao índice de acidez, o biodiesel apresentou um índice de acidez de $0,3 \text{ mg KOH/g}$, dessa forma, seguindo a legislação. Todas as características foram baseadas na Resolução ANP nº 920/2023, a qual indica todas as especificações necessárias de um biodiesel para que este seja utilizado em motor e comercializado.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, o biodiesel metílico produzido a partir de óleos de fontes residuais está em conformidade com a legislação estabelecida para os biodieseis de diversas oleaginosas, porém não é aconselhada sua utilização pura em motores a Diesel, pois apesar de apresentar características muito semelhantes ao Diesel, o biodiesel tem sua viscosidade superior, acarretando em problemas com o uso prolongado em motores, como entupimento de bicos e injetores, dificuldades na partida a frio, entre outros. Contudo, é um excelente candidato para produção de novas formulações utilizando misturas (biodiesel-diesel-álcool) AB-DIESEL, pois o álcool entraria para equilibrar essas características e melhorar o combustível, com o aumento da proporção de biodiesel na mistura. Apesar dos desafios, a produção de biodiesel a partir de FGRs é uma alternativa promissora para a produção de um combustível renovável, sustentável e de baixo custo. Para superar os desafios, é necessário desenvolver tecnologias que permitam a caracterização precisa da composição química das FGRs e a remoção eficiente das impurezas. Com o desenvolvimento dessas tecnologias, a produção de biodiesel a partir de FGRs deve se tornar uma tecnologia cada vez mais importante, pois pode contribuir para a redução da poluição ambiental, a geração de emprego e renda e a segurança energética.



AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP (PRH-ANP 55.1), gestão FAPESP, pela infraestrutura disponibilizada e pelo financiamento da pesquisa. Também agradecem ao Núcleo de Pesquisa em Economia de Baixo Carbono (NPCO2/Ufersa) pelo apoio.

REFERÊNCIAS

- BALAT, Mustafa; BALAT, Havva. Progress in biodiesel processing. **Applied Energy**, v. 87, n. 6, p. 1815–1835, jun. 2010. DOI: 10.1016/j.apenergy.2009.10.017.
- BANKOVIĆ-ILIĆ, Ivana B.; STAMENKOVIĆ, Olivera S.; VELJKOVIĆ, Vlada B. Biodiesel production from non-edible plant oils. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 6, p. 3621–3647, ago. 2012. DOI: 10.1016/j.rser.2012.03.002.
- CREMONEZ, P. André *et al.* Biodiesel production in Brazil: current scenario and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 42, p. 415–428, fev. 2015. DOI: 10.1016/j.rser.2014.10.004
- GARCÍA-MORENO, P. J.; KHANUM, M.; GUADIX, A.; GUADIX, E. M. Optimization of biodiesel production from waste fish oil. **Renewable Energy**, v. 68, p. 618–624, 2014. DOI: 10.1016/j.renene.2014.02.004.
- KHAN, T. M. Y. *et al.* Recent scenario and technologies to utilize non-edible oils for biodiesel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 29, p. 456–467, 2014. DOI: 10.1016/j.rser.2013.08.067.
- KNOTHE, G. “Designer” biodiesel: Optimizing fatty ester composition to improve fuel properties. **Energy & Fuels**, v. 22, n. 2, p. 1358–1364, 2008. DOI: 10.1021/ef700639e.
- WANG, Y.; OU, S.; LIU, P.; ZHANG, Z. Preparation of biodiesel from waste cooking oil via two-step catalyzed process. **Energy Conversion and Management**, v. 48, n. 1, p. 184–188, 2007. DOI: 10.1016/j.enconman.2006.04.016.
- YAAKOB, Z.; NARAYANAN, B. N.; PADIKKAPARAMBIL, S.; UNNI K., S.; AKBAR P., M. A review on the oxidation stability of biodiesel. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 35, p. 136–153, 2014. DOI: 10.1016/j.rser.2014.03.055.



MAXIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DA MANDIOCA IRRIGADA COM ÁGUA PRODUZIDA

Cherlyson Cunha de Medeiros

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

José Francismar de Medeiros

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

RESUMO

A região semiárida destaca-se pela ocorrência de insuficiência hídrica, ocasionada pela elevada evapotranspiração. Em paralelo a isso, a agricultura irrigada demanda grandes volumes de água. Nesse contexto, a utilização de águas não convencionais para irrigação surge como uma estratégia promissora para produção de mandioca, considerando que é uma planta adaptada às condições semiáridas brasileiras. Com isso, objetivou-se com esse trabalho a utilização de duas cultivares de mandioca para produção de biocombustíveis, sob diferentes lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água. Serão realizados dois experimentos simultâneos, localizados na Fazenda Experimental da UFERSA, utilizando cultivares crioulas “Recife e Venâncio”. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC) em esquema de parcelas subdivididas (4 x 2) com 4 repetições. Nas parcelas serão estudadas lâminas de irrigação (L1=25% da ETc; L2=50% da ETc e L3=75% da ETc e L4=100% da ETc), em que ETc é a evapotranspiração máxima da cultura segundo metodologia proposta pelo manual FAO 56, e nas sub-parcelas, duas concentrações de sais da água de irrigação (0,8 e 4,8 dS m⁻¹). Os tratamentos foram introduzidos 30 dias após o plantio (DAP). As unidades experimentais estão representadas por 3 fileiras de plantas de 6,0 metros de comprimento, contendo 30 plantas, sendo 10 plantas úteis em cada parcela. Cada experimento consistirá de 32 unidades experimentais. As diferentes águas de irrigação serão distribuídas por tubulações em PVC de 50mm e as lâminas de irrigação de 25, 50, 75 e 100% da ETc serão controladas pela utilização de linhas laterais com emissores espaçados de 40, 20, 40+20 e 20+20 cm, respectivamente, com vazão nominal dos emissores de 1,6 L h⁻¹. O plantio foi manual no espaçamento de 60 cm na linha e 1,4 entre linhas, usando camalhão com 60 cm de largura e 20 cm de altura, buscando otimizar a produtividade e a eficiência no uso da água produzida sintética. Diante disso, espera-se com os resultados dessa pesquisa a definição da complementação hídrica da mandioca com água produzida do petróleo sintética, levando em consideração seu nível de salinidade (CE = 4,8 dS/m) para produção de biocombustíveis nas condições do semiárido brasileiro. Além disso, espera-se quantificar a produção potencial de bioetanol por hectare, determinar a produção de biomassa por hectare e estimar o sequestro de carbono proporcionado pela cultura como subproduto, avaliando seu potencial de contribuição para o mercado de carbono.

Palavras-chave: reúso; sequestro de carbono; biomassa.



INTRODUÇÃO

A região semiárida é marcada pela baixa disponibilidade de água, uma vez que a evapotranspiração supera significativamente a precipitação (Schmidt *et al.*, 2018). A irrigação agrícola, atividade que demanda grandes volumes de água, consome aproximadamente 70% de toda a água doce utilizada globalmente, segundo Zou e He (2016). Nesse contexto, o reúso de águas residuais para irrigação surge como uma estratégia promissora para áreas áridas e semiáridas.

A crescente preocupação ambiental tem impulsionado a busca por fontes renováveis de energia, como os combustíveis de biomassa, destacando-se o etanol (Riti *et al.*, 2018; Taylan *et al.*, 2018). Nesse contexto, a mandioca (*Manihot esculenta* L.) surge como uma opção promissora (Barros *et al.*, 2019) devido à sua adaptabilidade a diferentes sistemas agrícolas e capacidade de prosperar em solos pobres e com chuvas irregulares (Oliveira *et al.*, 2015).

A água produzida, geralmente inadequada para irrigação devido à alta salinidade, pode ser diluída em água doce para atingir níveis apropriados. Pesquisas também buscam culturas mais tolerantes à salinidade e ao uso de condicionadores de solo para melhorar a viabilidade econômica dessa prática (Echchelh *et al.*, 2018).

Propõe-se um projeto de produção de etanol a partir da mandioca, utilizando água produzida sintética, incluindo águas produzidas do petróleo, nas regiões dos tabuleiros costeiros e do grupo Barreiras do RN. Pesquisas do IAC e da Unicamp indicam que a mandioca é uma alternativa viável à cana-de-açúcar para etanol, especialmente onde a produtividade supera 30 t/ha. A tolerância à salinidade torna a mandioca ideal para áreas afetadas pela salinização.

O projeto avaliará duas cultivares de mandioca com quatro lâminas de irrigação diferentes e água em duas salinidades, buscando otimizar a produtividade e a eficiência no uso da água produzida sintética. Além do etanol, o projeto utilizará integralmente a planta: caules para créditos de CO₂ e folhas como matéria orgânica para o solo, promovendo sustentabilidade econômica e ambiental. A adoção dessas práticas pode transformar a mandioca em uma cultura estratégica para a região, oferecendo uma alternativa sustentável e economicamente viável frente à salinização das águas de irrigação.

METODOLOGIA

O experimento ocorrerá com a cultura da mandioca utilizando as cultivares crioulas Recife e Venâncio. O experimento será conduzido na Fazenda Experimental Rafael Fernandes (UFERSA), localizada na zona rural de Mossoró, 5°03'42.1" de latitude Sul, 37°24'03.2" longitude Oeste e altitude de 81 m acima do nível do mar, numa área de 0,2 ha. O clima da região é Semiárido "BSh", com uma precipitação



média anual de 673,9 mm e uma média anual de temperatura de 27°C (Alvares *et al.*, 2013).

Serão realizados dois experimentos, cada um com uma cultivar, um ao lado do outro, instalados em blocos casualizados no esquema de parcelas subdivididas 4 x 2, com 4 repetições. Nas parcelas serão estudadas lâminas de irrigação ($L1=0,25ET_c$; $L2=0,5ET_c$ e $L3=0,75ET_c$ e $L4=1,00ET_c$) em que a ET_c é a evapotranspiração máxima da cultura, definida com base na metodologia proposta pela FAO 56 (Allen *et al.*, 2006), nas sub-parcelas, duas concentrações de sais da água de irrigação (condutividade elétrica de 0,8, água de abastecimento oriunda do aquífero arenito Açú, e 4,8 dS m⁻¹, água sintética, simulando a composição de água produzida de petróleo da região de Mossoró). Os tratamentos serão introduzidos após 30 dias do plantio, quando se estabelecer o estande. As unidades experimentais serão representadas por 3 fileiras de plantas de 6,0 metros de comprimento, contendo 30 plantas. Cada experimento consistirá em 32 unidades experimentais. As diferentes águas de irrigação serão distribuídas por tubulações em PVC de 50mm, e as lâminas de irrigação de 25, 50, 75 e 100% da ET_c serão controladas pela utilização de linhas laterais com emissores espaçados de 40, 20, 40+20 e 20+20 cm, respectivamente, com vazão nominal dos emissores de 1,6 L h⁻¹. O plantio será manual no espaçamento de 60 cm na linha e 1,4 entre linhas, usando camalhão com 60 cm de largura e 20 cm de altura.

A partir do sexto mês de cultivo será realizada a colheita de duas plantas por parcelas, previamente marcadas nas parcelas experimentais para mensuração de produção de raízes e determinação da biomassa (folhas, colmo, raízes). Quando a produção de raízes e de amido apresentarem tendência de redução da taxa de crescimento, será realizada a colheita de raízes em toda a parcela útil para determinação do rendimento total e comercial. Ao final do experimento será feita a determinação de matéria seca de colmo e folhas de todas as plantas da parcela útil. A área foliar será medida utilizando o integrador de área foliar (Licor inc., Lincon, Nebraska) modelo LI-COR 3100. Será realizada uma análise do solo antes do início do experimento para comparação com o possível efeito que venha a ser ocasionado pelos tratamentos de irrigação. Durante a experimentação, serão realizadas duas coletas de solos (antes e após o período das chuvas). A partir da produção de amido será estimado o rendimento de etanol.

Os resultados serão submetidos à análise de variância usando o teste F, as médias serão comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Também será realizada uma análise conjunta dos experimentos para verificar o comportamento entre as cultivares aos tratamentos. As análises serão realizadas com auxílio do programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2010).



RESULTADOS ESPERADOS

Definição da complementação hídrica da mandioca com água produzida do petróleo sintética, levando em consideração seu nível de salinidade, para produção de biocombustíveis nas condições do semiárido brasileiro. Quantificar a produção potencial de bioetanol por hectare, além de determinar a produção de biomassa por hectare. Estimar o sequestro de carbono proporcionado pela cultura como subproduto, avaliando seu potencial de contribuição para o mercado de carbono. Comparar o potencial de produção de biocombustível com as principais culturas atualmente utilizadas no país, otimizando o uso de áreas e de águas disponíveis.

CONCLUSÕES

A adoção dessas práticas pode transformar a mandioca em uma cultura estratégica para a região, oferecendo uma alternativa sustentável e economicamente viável frente à salinização das águas de irrigação, favorecendo o processo de interiorização dos centros de produção de etanol. A implementação dos resultados deste projeto pode aumentar a produção de etanol no RN e fomentar o desenvolvimento regional.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP (PRH-ANP 55.1), gestão FAPESP, pela infraestrutura disponibilizada e pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G. *et al.* **Evapotranspiración del cultivo**: guías para la determinación de los requerimientos de água de los cultivos. Roma: FAO, 2006. v. 298, n. 0.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- BARROS, Rafael Novaes. *et al.* A utilização de resíduos agroindustriais para produção de bioetanol. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 31-43, 2019.
- 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.



FERREIRA, D. F. **SISVAR 5.3** - Sistema de análise de variância para dados balanceados. Lavras: UFLA, 2010.

OLIVEIRA, E. et al. Genetic parameters for drought-tolerance in cassava. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 3, p. 233-241, 2015.

RITI, J. S.; SONG, D.; SHU, Y.; KAMAH, M.; ATABANI, A. A. Does renewable energy ensure environmental quality in favour of economic growth? Empirical evidence from China's renewable development. **Quality & Quantity**, v. 52, n. 5, p. 2007-2030, 2018.

SCHMIDT, D. M.; LIMA, K. C.; JESUS, E. S. Variabilidade Climática da Disponibilidade Hídrica na Região Semiárida do Estado do Rio Grande do Norte. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v. 41, n. 3, p. 483-491, 2018.

TAYLAN, O. et al. Bioenergy life cycle assessment and management in energy generation. **Energy Exploration & Exploitation**, v. 36, n. 1, p. 166-181, 2018.

ZOU, S.; HE, Z. Enhancing wastewater reuse by forward osmosis with self-diluted commercial fertilizers as draw solutes. **Water Research**, v. 99, p. 235-243, 2016.



USO DA ÁGUA PRODUZIDA NO CULTIVO DE ESPÉCIES OLEAGINOSAS VISANDO A GERAÇÃO DE BIODIESEL

Cydianne Cavalcante da Silva

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Daniel Valadão Silva

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

RESUMO

A utilização de água produzida do petróleo (AP) em irrigação representa uma abordagem inovadora para mitigar os desafios relacionados à escassez hídrica, especialmente em regiões semiáridas. Este recurso, tradicionalmente descartado ou subutilizado, pode ser reaproveitado de forma sustentável, contribuindo para a economia circular e promovendo soluções para a agricultura em áreas com limitações de recursos hídricos. Todavia, para a implementação da técnica são necessários estudos que assegurem viabilidade ambiental e agrônômica. Desta forma, esta pesquisa tem como objetivo avaliar o potencial do uso da água produzida na irrigação de girassol (*Helianthus annuus*), cártamo (*Carthamus tinctorius*) e moringa (*Moringa oleífera*) visando a produção de biodiesel. O experimento está sendo conduzido em casa de vegetação, e os tratamentos correspondem a cinco diluições de água produzida e água de abastecimento, sendo elas: (AP0+AA100; AP25+AA75; AP50+AA50; AP75+AA25 e AP100+AA0), que correspondem aos tratamentos AA; 25%; 50%; 75% e 100%, respectivamente. Duas fontes de água produzida estão sendo utilizadas no experimento, a fim de avaliar qual delas é mais adequada ao cultivo destas oleaginosas em questão. Alguns resultados visuais já foram identificados na condução do experimento com o girassol. Serão realizadas análises morfológicas das plantas, avaliações físico-químicas da água e do solo, e análises microbiológicas do solo. A análise estatística incluirá teste de normalidade, Anova e comparações de médias. Ao final, espera-se obter resultados significativos sobre o crescimento das espécies, além de fornecer insights para futuras pesquisas, reforçando a viabilidade e o potencial sustentável da abordagem para a produção de biocombustíveis.

Palavras-chave: tolerância das cultivares; petróleo; solo.

INTRODUÇÃO

O cultivo de plantas oleaginosas utilizando a água produzida do petróleo como fonte de irrigação é uma alternativa inovadora que visa a utilização de um subproduto de maneira sustentável. A água produzida, gerada durante a extração de petróleo e gás natural, é considerada um resíduo da indústria e sua composição por substâncias químicas e impurezas é apontada como sendo bastante variável.



Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2024), o volume de água produzida gerada no último ano (jan/2023 a fev/2024) no Rio Grande do Norte foi de 63.383.884,65 m³ (Agência Nacional de Petróleo, 2024). A geração de grandes volumes de água produzida representa um problema para o setor. Entretanto, após tratamentos adequados, essa água pode ser utilizada para irrigação de culturas agrícolas, incluindo as oleaginosas, como girassol, cártamo e moringa, sendo estas espécies consideradas oleaginosas de grande importância econômica, uma vez que suas sementes fornecem óleos vegetais amplamente utilizados na indústria alimentícia, cosmética e de biocombustíveis.

A irrigação com a água produzida pode ser uma solução eficaz para a escassez de água potável em áreas de cultivo onde esse recurso é limitado. Estudos apontam que, quando tratada e manuseada corretamente, a água produzida pode ser uma fonte viável para a irrigação, contribuindo para o aumento da produtividade agrícola e a redução não somente dos impactos ambientais associados à disposição inadequada desse resíduo, como também na diminuição nos custos com água de abastecimento. No entanto, o uso da água produzida exige monitoramento rigoroso acerca dos seus efeitos nas plantas e no solo, a fim de evitar contaminações que possam comprometer a qualidade do cultivo e a saúde ambiental.

Em resumo, este trabalho visa estudar o uso da água produzida para irrigação de plantas oleaginosas, podendo representar uma solução inovadora e sustentável para a agricultura, com potencial para beneficiar tanto o setor agrícola quanto o petróleo, ao transformar um resíduo em recurso produtivo.

METODOLOGIA

Na condução do experimento com girassol (*Helianthus annuus*), foram utilizados dois solos de textura média. Os experimentos foram montados em casa de vegetação utilizando duas cultivares, com cinco tratamentos e cinco repetições, totalizando 100 unidades experimentais (UE), 50 UE para cada experimento. Colunas de PVC foram utilizadas como vasos com tamanho de 35 cm. As colunas foram preenchidas com os dois solos, com peso médio de 3,700 quilos juntamente com uma adubação de implantação com 3 g de NPK 6-24-12. Após isso, as colunas ainda receberam uma irrigação para o início da dissolução do adubo. As culturas foram plantadas através de sementes, utilizando duas cultivares distintas.

Para as águas de irrigação foram preparadas soluções de mistura com água de abastecimento e água produzida utilizando as duas fontes de água produzida, em que uma foi concedida pela Fazenda Polo Belém (água A) e a outra pela empresa Mandacaru Energia (água B). As diluições foram correspondentes às proporções da água produzida em água de abastecimento da seguinte forma: 100% de água produzida, 75%, 50%, 25% e AA (água de abastecimento). A irrigação foi mantida

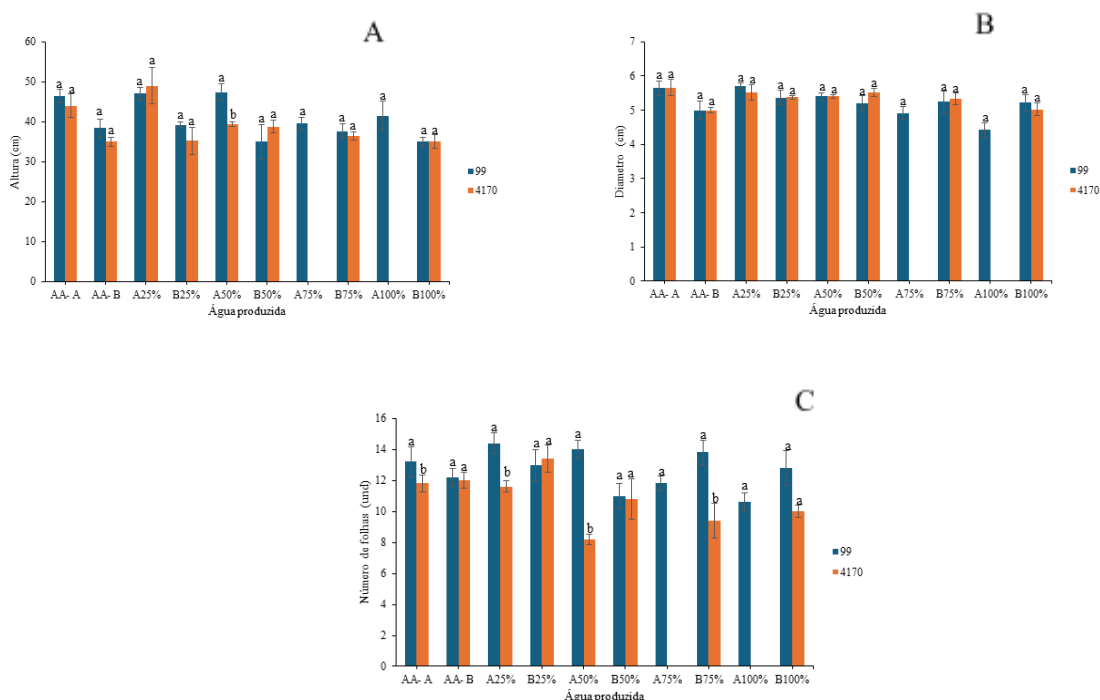


conforme necessidade da cultura. Aos dois meses de condução do experimento com girassol, mediu-se altura da planta, diâmetro do caule e número de folhas. As demais análises de planta e solo serão realizadas ao fim deste experimento. Para as culturas do cártamo e moringa, a mesma conformação será realizada. Para análise dos dados, utilizou-se teste de médias de Tukey ($P < 0,05$).

RESULTADOS PARCIAIS

A altura média das plantas não variou entre as cultivares. Porém, a irrigação com água A causou mortalidade nas plantas a 75% e 100%, indicando maior sensibilidade desta cultivar em comparação com a cultivar 99 irrigada com água B em alta concentração de água produzida (Figura 1A).

Figura 1- Influência da água produzida no crescimento de cultivares de girassol.



Legenda: Altura (A), diâmetro (B) (cm) e número de folhas (C) de cultivares de girassol (*Helianthus annuus*) Altis 99 e Nusol 4170, semeadas e irrigadas com fontes diferentes de água produzida A (Polo Fazenda Belém), B (Mandacaru Energia) em cinco concentrações diferentes (25%, 50%, 75% e 100%) com um controle AA (água de abastecimento). Diferentes letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos ($P < 0,05$). Os dados são apresentados como média $\pm$ desvio padrão (barras de erro) de 5 repetições.

Para os resultados de diâmetro do caule, as plantas irrigadas com os tratamentos da água produzida não diferiram estatisticamente das plantas irrigadas com água de abastecimento. As plantas da cultivar 4170, irrigadas com a água A foram sensíveis ao tratamento de 75% e 100%, demonstrando a maior sensibilidade desta



cultivar, o que ocasionou a morte das plantas (Figura 1B). As plantas irrigadas com as águas produzidas A e B, em ambas as cultivares, apresentaram uma redução média no número de folhas em comparação com aquelas irrigadas com água de abastecimento. na irrigação com a água A, houve maior redução no número de folhas nos tratamentos de 25% e 50%. Nos tratamentos de 75% e 100% não havia plantas vivas. Uma menor diferença estatística entre o número médio de folhas que foi observado quando as plantas foram irrigadas com a água B. Porém foi observado que nos tratamentos de 75% e 100% houve redução do número de folhas (Figura 1C).

Resultados semelhantes foram encontrados por Silva (2018) e Costa (2018), em que o tratamento de 25% aos parâmetros estudados, teve comportamento similar às plantas controle, embora não houvesse diferença estatística entre os tratamentos. Nestas duas pesquisas, as autoras concluíram que o tratamento com 100% permitiu obter plantas de maiores alturas em relação aos demais tratamentos.

CONCLUSÕES

Os dados preliminares indicam que a irrigação com água produzida não interferiu significativamente o crescimento das plantas de girassol no que diz respeito à altura das plantas, diâmetro do caule e número de folhas. Os resultados apontam que, diante da maior tolerância da cultivar, a água produzida representa uma alternativa viável e sustentável, sem comprometer o desenvolvimento inicial das plantas em estudo. Assim, ela pode ser utilizada como fonte de irrigação, em conjunto com a água de abastecimento, sem prejudicar o cultivo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP (PRH-ANP 55.1), gestão FAPESP, pela infraestrutura disponibilizada e pelo financiamento da pesquisa. Além disso, agradecem às empresas produtoras de petróleo onshore Mandacaru Energia e Brava Energia pelo financiamento de projetos com água produzida e fornecimento de água para os experimentos.

REFERÊNCIAS

SILVA, Audilene Dantas. **Efeitos de diluições de água produzida do petróleo no desenvolvimento do girassol cultivado em casa de vegetação**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrícola e Ambiental) – Universidade Federal do Semi-Árido, Mossoró-RN, 2018.



COSTA, Fabrícia Gratyelli Bezerra. **Produção e capacidade de fitoextração do girassol (*Heliantus annuus*) irrigado com água produzida**. 2018. Tese (Doutorado em Manejo de Solo e Água) – Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água, Universidade Federal do Semi-Árido, Mossoró-RN, 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Painel Dinâmico de Produção de Petróleo e Gás Natural**. ANP, 2024. Disponível em: <https://app.powerbi.com/viewr=eyJrIjoiNzVmNzI1MzQtNTY1NC00ZGVhLTk5N2ItNzBkMDNhY2IxZTlxliwidCI6IjQ0OTlmNGZmLTl0YTtytNGI0Mi1iN2VmLTExNGFmY2FkYzkyMyJ9>. Acesso em: 2 nov 2024.



AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE SEQUESTRO DE CARBONO NO SOLO EM CULTIVOS DE OLEAGINOSAS DO SEMIÁRIDO POTIGUAR: UMA ANÁLISE COM O MODELO ROTH C

Darliane Cristina S. de Souza

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Lívia Christina de Araújo S. Moura

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Frederico Ribeiro do Carmo

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

RESUMO

O sequestro de carbono no solo é considerado uma estratégia para a mitigação antropogênica de gases de efeito estufa (GEE). Considerando que o Brasil tem o aumento da produção de biocombustíveis como uma das formas de descarbonização de sua matriz energética, este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de sequestro de carbono no solo em cultivos de algodão, girassol e gergelim no Semiárido Potiguar, utilizando o modelo de dinâmica de matéria orgânica no solo RothC. Foram realizadas simulações de estoque de oleaginosas num período de 20 anos. Dentre as culturas avaliadas, o algodão apresentou o maior potencial de sequestro de carbono (61,42 tC/ha), seguido pelo girassol (55,20 tC/ha) e gergelim (50,84 tC/ha). Os resultados obtidos podem ser atribuídos às características agronômicas de cada cultura, como taxa fotossintética e alocação de biomassa. Assim, o modelo RothC mostrou-se eficaz para avaliar o sequestro de carbono no solo para cultivos de oleaginosas no Semiárido Potiguar.

Palavras-chave: simulação; descarbonização; mudanças climáticas.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas representam um dos principais desafios globais da atualidade, sendo impulsionadas sobretudo pelo aumento das concentrações de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O). Entre esses gases, o CO_2 destaca-se por ser o mais abundante, com emissões fortemente relacionadas a atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis, desmatamento e práticas agrícolas inadequadas (Brasil, 2024).

Nesse contexto, o Brasil reafirma seu compromisso com ações de mitigação, conforme estabelecido em sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) no âmbito do Acordo de Paris. O país estabeleceu metas ambiciosas de redução das



emissões de GEE, visando cortes de 48% até 2025 e 53% até 2030, em relação aos níveis de 2005 (Brasil, 2024).

O Carbono Orgânico do Solo (COS) desempenha um papel essencial no ciclo global do carbono, sendo o solo o maior reservatório deste elemento na superfície terrestre. O aumento no estoque de COS contribui diretamente para a redução das concentrações de CO₂ na atmosfera. Assim, estimar as alterações nos estoques de carbono do solo é fundamental para desenvolver estratégias eficazes de mitigação das emissões de GEE, especialmente em sistemas agrícolas e cultivos energéticos (Lal, 2004; Nguyen *et al.*, 2017).

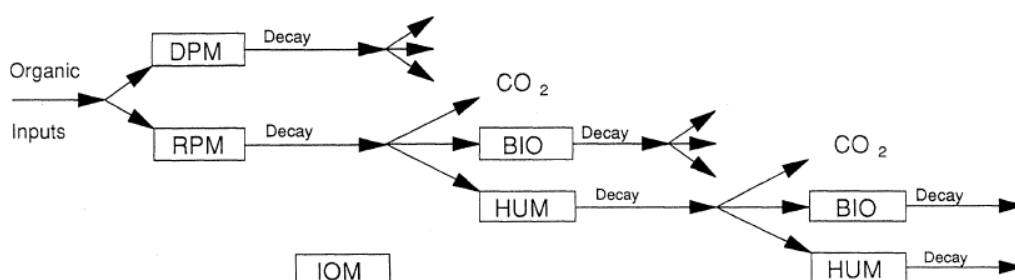
Diante dessa perspectiva, este estudo avaliou o potencial de sequestro de carbono no solo em cultivos de oleaginosas (algodão, girassol e gergelim), matérias-primas essenciais para a produção de biocombustíveis, como biodiesel e bioquerosene de aviação. Para esta análise, utilizou-se o modelo RothC (Coleman; Jenkinson, 1996), amplamente reconhecido por sua eficácia em análises de dinâmica de carbono em solos.

METODOLOGIA

As simulações foram divididas em quatro etapas, a saber: (1) desenvolvimento de um banco de dados experimentais do solo e clima; (2) validação e calibração do modelo; (3) coleta de dados experimentais da produção de biochar por cultura, assim como dados de manejo e de produtividade dessas culturas; (4) desenvolvimento de rotina computacional utilizando o modelo RothC em linguagem R através da biblioteca SoilR (Sierra; Müller; Trumbone, 2012) e (5) análise dos resultados obtidos. A simulação é realizada considerando que há uma adição de matéria orgânica feita a partir dos resíduos dos cultivos.

A Figura 1 apresenta como a dinâmica de carbono no solo é avaliada no modelo RothC. O FPM (material vegetal fresco) é inicialmente dividido em dois reservatórios de decomposição, denominados DPM (material vegetal decomponível) e RPM (material vegetal recalcitrante). Estes compartimentos se decompõem posteriormente em dois diferentes reservatórios de carbono orgânico do solo, BIO (biomassa microbiana) e HUM (matéria orgânica humificada). A decomposição em cada reservatório é modelada por uma cinética de primeira ordem. Os dados necessários para a simulação são: precipitação mensal, temperatura média mensal do ar, evapotranspiração mensal, teor de carbono orgânico no solo, teor de argila no solo, profundidade do solo, densidade aparente do solo, coeficiente de partição e quantidade de estrume.

Figura 1 – Fluxo de carbono no modelo RothC.

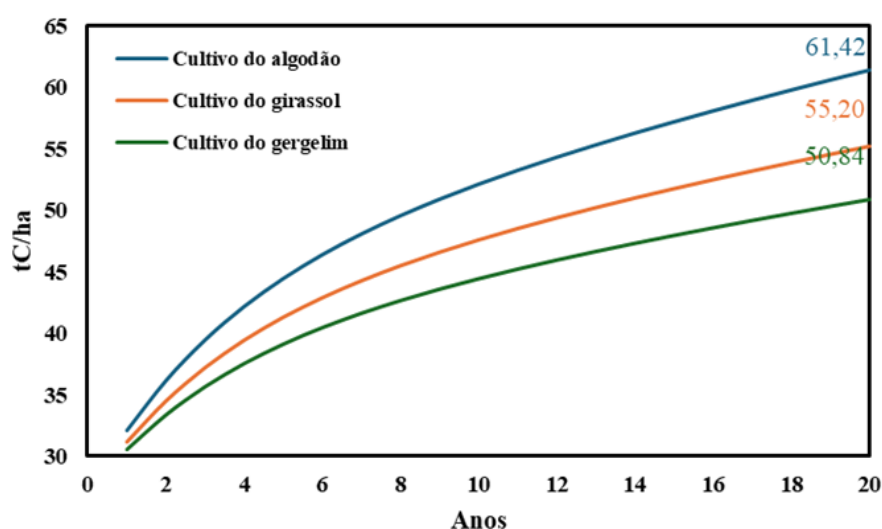


Fonte: Coleman e Jenkinson (1996).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta o comportamento do carbono no solo, em um período de 20 anos, nos cultivos das oleaginosas estudadas. O algodão se destacou como a cultura que apresentou maior acúmulo de carbono no solo, atingindo um estoque de 61,42 tC/ha, um valor 11,27% superior ao cultivo do girassol e 20,81% superior ao do gergelim. O girassol, por sua vez, apresentou um acúmulo de carbono de 55,20 tC/ha, enquanto o gergelim demonstrou o menor potencial de sequestro dentre as três culturas, alcançando um valor de 50,84 tC/ha. A diferença no acúmulo de carbono entre as espécies pode ser atribuída a diversos fatores, como características intrínsecas das plantas, tais como taxa fotossintética, alocação de biomassa e longevidade das raízes, além de práticas de manejo adotadas.

Figura 2 – Sequestro de carbono no solo em cultivos de algodão, girassol e gergelim ao longo de 20 anos



CONCLUSÕES

Ao longo de 20 anos, o algodão se destacou como a cultura com maior acúmulo de carbono no solo, alcançando 61,42 tC/ha, seguido pelo girassol e gergelim, que apresentaram 55,20 tC/ha e 50,84 tC/há, respectivamente. Esses resultados sugerem



que o algodão, devido às suas características agronômicas, possui um maior potencial para a captura e armazenamento de carbono em comparação às outras culturas estudadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Programa MAI/DAI do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à empresa Mandacaru Energia. Agradecemos também ao Programa de Pós-Graduação em Manejo do Solo e Água e à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), bem como ao Núcleo de Pesquisa em Economia de Baixo Carbono (NPCO2).

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **NDC - a ambição climática do Brasil**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/mudanca-do-clima/NDC>. Acesso em: 14 out. 2023.

COLEMAN, K.; JENKINSON, D. S. RothC-26.3-aA Model model for the turnover of carbon in soil. *In: Evaluation of soil organic matter models: using existing long-term datasets*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1996. p. 237-246. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-61094-3_17.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, v. 123, n. 1-2, p. 1-22, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.032>.

NGUYEN, T. H.; WILLIAMS, S.; PAUSTIAN, K. Impact of ecosystem carbon stock change on greenhouse gas emissions and carbon payback periods of cassava-based ethanol in Vietnam. **Biomass and Bioenergy**, v. 100, p. 126-137, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.02.009>.



AVALIAÇÃO DA QUEBRA DE EMULSÃO DE PETRÓLEO POR EXTRAÇÃO LÍQUIDO-LÍQUIDO UTILIZANDO TENSOATIVOS COMO AGENTE EXTRATOR

Dayane Mylena Gomes Rêgo

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Geraldine Angélica Silva da Nóbrega

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

RESUMO

O presente estudo aborda a aplicação de microemulsões na quebra de emulsões de petróleo, com o intuito de melhorar a recuperação de óleo em reservatórios petrolíferos. As emulsões formadas entre água e petróleo nas fases de perfuração e processamento podem ser estabilizadas por emulsificantes naturais, o que torna essencial o estudo de sistemas microemulsionados, caracterizados por baixa tensão interfacial e grande estabilidade. O trabalho propõe o uso de tensoativos de baixo custo e comerciais, como óleo de soja saponificado para desestabilizar essas emulsões. A extração líquido-líquido é utilizada como método de separação, com a aplicação de ferramentas estatísticas, como o planejamento de experimentos e a metodologia de superfície de resposta, para otimizar o processo de quebra das emulsões.

Palavras-chave: microemulsões; desestabilização; planejamento.

INTRODUÇÃO

A água e o petróleo são encontrados juntos nos poços de perfuração, em fases separadas. Ao serem escoados pelas tubulações de processamento, essas fases são submetidas a agitações intensas e à tensão de cisalhamento. O petróleo, por sua vez, contém emulsificantes naturais (asfaltenos, resinas, ácidos naftênicos, dentre outras espécies químicas), dessa forma ocorre a dispersão de uma fase na outra, formando emulsões do tipo água-óleo A/O (Araújo, 2004).

Diante disso, as microemulsões têm sido amplamente estudadas principalmente devido ao seu elevado poder de solubilização (Silva *et al.*, 2015). As microemulsões são constituídas por um solvente polar (fase aquosa), apolar (fase orgânica), tensoativo (não iônico) e tensoativo mais cotensoativo (em casos de tensoativos iônicos). A principal característica das microemulsões é a sua baixa tensão interfacial, grande estabilidade e seu alto poder de solubilização tanto na fase oleosa quanto aquosa (Araújo, 2004). Dessa forma, torna-se relevante a aplicação de sistemas



microemulsionados com o intuito de recuperar o óleo em reservatórios petrolíferos, facilitando a mobilização.

Além dos sistemas microemulsionados, pode-se fazer a combinação de microemulsões com tensoativos para facilitar a distribuição homogênea de substâncias imiscíveis. Tensoativos são moléculas anfifílicas, ou seja, possuem uma estrutura com uma parte hidrofílica (afinidade com água) e uma parte hidrofóbica (afinidade com óleos e gorduras), essa característica permite que atuem como agentes conciliadores entre fases imiscíveis, como óleo e água, facilitando a mistura entre essas fases. Podem ser classificados como: aniônicos, catiônicos, não iônicos e anfóteros (Lima, 2016).

Com o objetivo de obter uma recuperação de petróleo eficiente, propõe-se uma avaliação da quebra de emulsões por meio do método de extração líquido-líquido utilizando tensoativos. Além disso, pretende-se agregar ao estudo a otimização do processo de quebra de emulsão, visando alcançar a máxima eficiência possível.

METODOLOGIA

Diagrama de fases

A construção do diagrama é realizada por meio de titulação volumétrica com pesagem analítica, que permite uma determinação precisa da composição em cada ponto do sistema. Inicialmente é adicionada uma quantidade fixa do componente orgânico e da razão cotensoativo/tensoativo, seguida da adição gradual de água, com registro da massa de cada adição até o aparecimento de turbidez. Esse método permitiu determinar a fronteira entre as regiões monofásica e bifásica, delineando a extensão da área de microemulsão. Para cada composição, a fração em massa dos três componentes é calculada com base nas pesagens analíticas, e os pontos são plotados em um diagrama pseudoternário (Dantas Neto *et al.*, 1993). Inicialmente serão usados tensoativos iônicos e não iônicos, sendo eles: óleo de soja saponificado (iônico) e tween (não iônico); solventes orgânicos (hexano e pentano), e para o caso do uso do tensoativo iônico, o álcool isoamílico como cotensoativo.

Extração Líquido-Líquido e BSW (Basic Sediment Water)

Embora o BSW não seja um método de extração em si, ele revela a necessidade de remoção de água e impurezas. Pois se o petróleo possui um alto teor de BSW, o uso de extração líquido-líquido pode facilitar a remoção de compostos indesejados, como emulsões ou ácidos na fase aquosa, melhorando a qualidade do petróleo e reduzindo a necessidade de processos intensivos de dessalinização ou destilação. A extração líquido-líquido pode ajudar a desestabilizar emulsões água-em-petróleo. Isso ocorre porque a INTRODUÇÃO de um solvente imiscível ajuda a "quebrar" a estabilidade da emulsão. Após a extração, a água pode ser mais facilmente separada, reduzindo o BSW.



Aplicação de métodos estáticos para otimização

O uso de métodos estatísticos e de ferramentas de otimização, como o planejamento de experimentos (DOE - *Design of Experiments*) e a metodologia de superfície de resposta (RSM - *Response Surface Methodology*), são amplamente aplicados e permitem estudar o efeito de diferentes variáveis do processo, e dessa forma determinar quais fatores são mais significativos e estabelecer as condições ideais para a quebra da emulsão.

RESULTADOS ESPERADOS

- Identificar tensoativos iônicos e não iônicos adequados para formar sistemas microemulsionados estáveis.
- Avaliar a influência de diferentes relações de tensoativo/cotensoativo e proporções de solventes na estabilidade da microemulsão.
- Analisar o desempenho de diferentes sistemas microemulsionados em condições simuladas de emulsões de petróleo.
- Determinar os parâmetros ótimos para quebra de emulsão e separação de fases.
- Obter resultados eficientes de otimização de processo de quebra de emulsão, utilizando ferramentas estatísticas.

CONCLUSÕES

Os resultados preliminares indicam que sistemas microemulsionados, combinados com tensoativos adequados, podem ser eficazes na quebra de emulsões de petróleo, permitindo uma recuperação mais eficiente do óleo. A utilização de tensoativos de baixo custo e comerciais pode demonstrar eficiência na desestabilização das emulsões, e a aplicação da extração líquido-líquido é considerada promissora na separação dos componentes. Além disso, o uso de métodos estatísticos para otimização do processo de quebra de emulsões possibilitará a identificação de variáveis significativas para melhorar a eficiência do processo. A continuidade do estudo permitirá o aprimoramento dessas técnicas e a validação de seus resultados, contribuindo para a maximização da recuperação de petróleo em ambientes de perfuração.



AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP (PRH-ANP 55.1), gestão FAPESP, pela infraestrutura disponibilizada e pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Manuelle Meike Silva de. **Estudo de quebra de emulsões de petróleo utilizando microemulsões e célula de desidratação eletrostática**. 2004. 131 f. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal, 2004.

DANTAS NETO, A. A.; DANTAS, T. N. C.; DUARTE, M. M. L.; AVELINO, S. Equilibrium diagrams at 27 °C of the water + sodium tungstate + dodecylamine chloride system. **Journal of Chemical and Engineering**, v. 38, p. 67-69, 1993.

LIMA, Láysa Rocha; **Estudo De Parâmetros Que Podem Influenciar A Temperatura Do Ponto De Nuvem Do Tensoativo Renex-120**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal, 2016.

SILVA, José Dilson F. da; SILVA, Yara P. da; PIATNICKI, Clarisse M. S.; BÖCKEL, Wolmir José; MENDONÇA, Carla R. B. Microemulsões: Componentes, Características, Potencialidades Em Química De Alimentos E Outras Aplicações. **Química-Nova**, Rio Grande do Sul, v. 38, n. 9, p. 1196-1206, 2015.



ANÁLISE DA CORROSIVIDADE DAS MISTURAS AB-DIESEL: CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS MISTURAS

Diovana de Lima Coutinho

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Jardel Dantas da Cunha

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

RESUMO

A crescente emissão de poluentes tem gerado uma preocupação global com a preservação ambiental, incentivando ações para o controle e redução dessas emissões. O biodiesel destaca-se como alternativa promissora por ser produzido a partir de fontes renováveis, sendo mais sustentável e menos poluente que combustíveis fósseis. O presente trabalho investiga misturas de biodiesel de soja puro, diesel e etanol testados e certificados conforme a norma da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). As proporções B15, B17, B19 e B21 foram selecionadas para os testes, com resultados positivos de miscibilidade, sem separação de fases, e em conformidade com a norma. A próxima etapa incluirá etanol nas misturas e a realização de testes de miscibilidade, caracterização e combustão, a fim de se criar um biodiesel mais sustentável. Em seguida, serão realizados testes de corrosividade para avaliar o potencial corrosivo de cada mistura, buscando a formulação com menor taxa de corrosão para ser utilizada em motores ciclo diesel.

Palavras-chave: biodiesel; propriedades físico-químicas; caracterização.

INTRODUÇÃO

A implementação dos biocombustíveis desempenha um papel necessário na diversificação da matriz energética, especialmente considerando que o biodiesel é obtido a partir de fontes renováveis de matéria-prima. Esse caráter renovável confere ao biodiesel uma maior sustentabilidade e menor impacto ambiental em comparação a outros combustíveis, posicionando-o como uma alternativa viável para o alcance de metas de sustentabilidade. Além disso, ele tem o potencial de promover a geração e o fornecimento de energia, contribuindo para a redução de parâmetros poluentes e favorecendo a recuperação gradual do meio ambiente. (Fukuda *et al.*, 2001; Stavinoha *et al.*, 1999).

A corrosão é um grande problema para a indústria moderna, causando danos diretos e indiretos. No caso do biodiesel, fatores como umidade, microrganismos e rancificação oxidativa contribuem para o desgaste de peças como bombas, injetores e rolamentos, podendo ocorrer oxidação ao entrar em contato com o diesel e biodiesel. Esses danos resultam na necessidade de substituição das peças e geram prejuízos



ambientais devido ao descarte inadequado dos resíduos. (Roberge, 1999; Merçon, 2011). O presente estudo tem como objetivo realizar análises físico-químicas para a caracterização do Biodiesel de soja, certificando que o mesmo se encontre dentro dos padrões estabelecidos pela norma para utilizá-lo em misturas de biodiesel, diesel e álcool. Posteriormente, serão realizadas análises de corrosividade, a fim de avaliar o potencial de corrosividade de cada mistura para se descobrir um biodiesel mais sustentável e com menor potencial corrosivo, para utilizá-lo em motores de ciclo diesel.

METODOLOGIA

Este estudo foi conduzido por meio de uma revisão bibliográfica e análises físico-químicas das amostras de biodiesel e diesel, considerando as diferentes proporções estabelecidas: B15 (15% de biodiesel de soja e 85% de diesel), B17 (17% de biodiesel de soja e 83% de diesel), B19 (19% de biodiesel de soja e 81% de diesel) e B21 (21% de biodiesel de soja e 79% de diesel). O objetivo foi verificar se essas misturas atendem aos padrões estabelecidos pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Em seguida, será realizado um estudo do potencial corrosivo de cada uma dessas proporções, visando identificar a composição com menor impacto corrosivo. Para a preparação da mistura foram inicialmente realizados cálculos para determinar o volume de biodiesel em diesel nas proporções B15, B17, B19 e B21. Os ensaios foram feitos com amostras de 250 ml, e os cálculos foram realizados conforme a Equação 1.

$$V_{bio} = V (C_{biox}\% - C_{bio10}\%) \quad (1)$$

Em que V_{bio} é o volume do biodiesel a ser inserido no diesel; V é o volume da amostra (ml); $C_{biox}\%$ é a concentração percentual de biodiesel desejada na amostra; e $C_{bio10}\%$ é a concentração percentual de biodiesel existente na amostra em análise.

As misturas foram preparadas em Becker, nas proporções estabelecidas, e submetidas à agitação magnética em temperatura ambiente por 60 segundos. Após 24 horas, verificou-se a possível separação de fases, procedendo-se então com os testes subsequentes de caracterização.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados das análises conforme a Resolução N° 909/2022 da ANP, que define as especificações do óleo diesel BX a B30. Todas as proporções analisadas estão dentro dos parâmetros estabelecidos pela norma, indicando que as amostras atendem aos requisitos de qualidade e têm potencial para o sucesso nas etapas subsequentes. A próxima fase envolverá a adição de álcool às



misturas, com avaliação da miscibilidade entre os componentes, seguida pelos testes de combustão e, posteriormente, os testes de corrosividade.

Tabela 1 – Caracterização das blends biodiesel e diesel.

Característica	Unidade	Método	Limite	Amostras			
				B 15	B17	B19	B21
			815,0 a				
Massa específica a 20°C	kg/m ³	ASTM D93-A	850,0	842,38	843,55	844,41	845,19
Viscosidade cinemática a 40°C	mm ² /s	ASTM D93-A	2,0 a 4,5	2,68	2,71	2,74	2,76
Ponto de fulgor	°C	ASTM D93-A	38	62	62	63	63

CONCLUSÕES

As amostras de biodiesel de soja puro, diesel e das misturas de biodiesel/diesel estão todas em conformidade com os parâmetros estabelecidos pela norma, indicando um grande potencial para o sucesso nas etapas subsequentes. A próxima fase consistirá na adição de etanol nas proporções B15, B17, B19 e B21. Espera-se que as misturas com etanol obtenham resultados positivos, uma vez que o objetivo é reduzir a quantidade de diesel na composição, sem comprometer as propriedades do combustível conforme estabelecido pela norma. Além disso, busca-se garantir que o combustível resultante seja compatível com motores de ciclo diesel e que apresente a menor taxa de corrosão possível.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (PRH-55.1 - ANP), gestão FAPESP, pela concessão da bolsa.



REFERÊNCIAS

FUKUDA, H.; KONDO, A.; NODA, H. Biodiesel fuel production by transesterification of oils. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 92, p. 405-416, 2001.

KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J.; RAMOS, L. P. **Manual de Biodiesel**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

MERÇON, F.; GUIMARÃES, P. I. C.; MAINIER, F. B. Sistemas experimentais para o estudo da corrosão de metais. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 33, n. 1, 2011.

ROBERGE, P. R. Introduction: the cost of corrosion. In: ROBERGE, P. R. **Handbook of Corrosion Engineering**. New York: McGraw Hill, 1999. p. 1-130.

STAVINOHA, L. L.; HOWELL, S. Alternative fuels. **Society of Automotive Engineers**, p. 70-83, 1999.



SORGO SACARINO IRRIGADO COM ÁGUA PRODUZIDA DO PETRÓLEO: UMA PROPOSTA DE ECONOMIA CIRCULAR PARA O SETOR ONSHORE

Francimar Maik da Silva Moraes

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Frederico Ribeiro do Carmo

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

José Francismar de Medeiros

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

RESUMO

A água produzida do petróleo (AP) é gerada durante o processo de extração de petróleo e gás, sendo destinado à reutilização ou descarte após o tratamento. A sua utilização para irrigação de plantas pode promover grandes avanços, principalmente em regiões que sofrem com irregularidade de chuvas. O experimento foi desenvolvido com a cultura do sorgo sacarino (BRS 506), associado a duas lâminas de irrigação ($L_1=0,5\text{ETc}$ e $L_2=1,00\text{ETc}$) e quatro diluições de APP para gerar quatro níveis de salinidade ($S_1=0,5$; $S_2=2,0$; $S_3=3,5$ e $S_4=4,8 \text{ dS m}^{-1}$), totalizando 32 unidades experimentais. A S_2 promoveu os melhores parâmetros de crescimento e de produção de biomassa do sorgo, e a redução de 50% da lâmina de irrigação não ocasionou efeitos significativos na produção de biomassa.

Palavras-chave: déficit hídrico, salinidade, reuso, semiárido.

INTRODUÇÃO

A água produzida do petróleo (AP) é gerada durante o processo de extração de petróleo e gás natural, sendo resultado da mistura da água que já existente no reservatório petrolífero e da água utilizada durante o processo de extração (Dickhout *et al.*, 2017; Al-Ghouti *et al.*, 2019). A APP pode apresentar contaminação por sais, metais pesados e compostos orgânicos (Almat *et al.*, 2020). Desta forma, faz-se necessário o tratamento adequado desse subproduto, uma vez que pode ocasionar contaminação ao meio ambiente e à saúde humana. Pesquisas sobre reutilização dessa água estão em andamento, buscando soluções que minimizem os impactos ambientais (Almat *et al.*, 2020).

O sorgo é uma cultura agrícola que se destaca pela sua capacidade de tolerância a estresses ambientais, conseguindo se desenvolver e gerar altas produtividades mesmo quando cultivado em condições de diversos estresses abióticos (Silva *et al.*, 2023). Dentro das várias cultivares de sorgo, tem-se o sorgo sacarino (BRS



506), que se destaca pelos seus elevados teores de açúcares (IMPA *et al.*, 2019). Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento do sorgo sacarino quando irrigado com diluições de APP e lâminas de irrigação.

METODOLOGIA

O experimento foi desenvolvido com a cultura do sorgo sacarino (BRS 506) e foi conduzido em ambiente desprotegido no campus Leste da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). O experimento foi conduzido em blocos casualizados em parcelas subdivididas, com 2 lâminas de irrigação ($L1=0,5ETc$ e $L2=1,00ETc$), 4 diluições de água produzida do petróleo ($S1=0,5$; $S2=2,0$; $S3=3,5$ e $S4=4,8 dS m^{-1}$) e 4 repetições, totalizando 32 unidades experimentais.

Cada unidade experimental foi representada por fileiras duplas de plantas de aproximadamente 4,0 metros de comprimento, contendo aproximadamente 130 plantas. Foi realizada a determinação de altura, diâmetro do caule e número de folhas com utilização de trena, paquímetro digital e contagem, respectivamente. Além disso foi realizada pesagem fresca e seca de 5 plantas por tratamento, para quantificar a produção de matéria fresca (PMF), teor de matéria seca (%MS) e produção de matéria seca (PMS). Os dados foram avaliados durante a fase de florescimento do sorgo. Foi realizada análise estatística pelo teste *f* utilizando o software Rstudio, e quando significativo, realizada análise de regressão e teste de média.

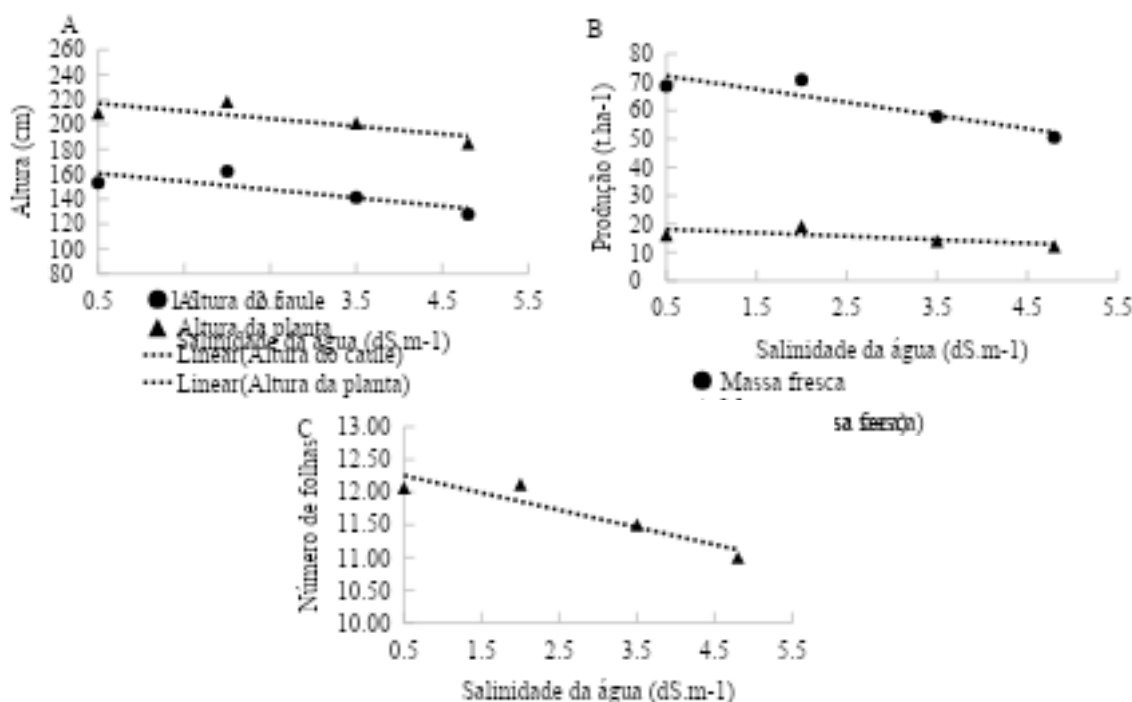
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito significativo ($p \leq 0,05$) das lâminas de irrigação (LAM) nas variáveis altura do caule (AC), altura da planta (AT), produção de massa fresca (PMF) e teor de matéria seca (%MS). As águas ocasionaram efeito significativo ($0,01 \geq p \leq 0,05$) na altura do caule, altura das plantas, número de folha (NF), produção de massa fresca e massa seca (PMS). A variável diâmetro do caule não foi influenciada pelos tratamentos e não houve interação entre os fatores para nenhuma das variáveis estudadas.

A AC, AT, PMF e PMS apresentaram resposta significativa para o modelo quadrático, de forma que a utilização de $S2$, que corresponde a 33% de APP, promoveu os maiores resultados para essas variáveis (figura 1A e 1B). Com o incremento de maiores quantidades de APP na irrigação do sorgo sacarino, verificou-se uma redução no seu crescimento e na produção de massa seca e massa fresca. O incremento de crescimento e produtividade observado na água com $2 dS.m^{-1}$ em relação à água de $0,5 dS.m^{-1}$ está relacionado aos maiores teores de elementos como Ca, Mg e K, presentes na APP.



Figura 1 – A: Altura da planta em função das águas de irrigação, B: Produção em função das águas de irrigação, e C: Número de folhas em função das águas de irrigação.



A produção de matéria seca das plantas irrigadas com 33% de APP foi de 19,03 t·ha⁻¹, valor 18% maior que as plantas irrigadas apenas com água de abastecimento (AAB). Já quando irrigado somente com APP, a produção de matéria seca foi 12,12 t·ha⁻¹, valor 25% menor que o tratamento testemunha, entretanto pode-se considerar uma produção aceitável, uma vez que foi utilizada uma água de qualidade muito inferior. Silva (2023) não encontrou diferença na PMS do sorgo irrigado com águas de salinidades variando de 1,50 a 6,00 dS.m⁻¹, resultado distinto do presente trabalho, entretanto, utilizando a cultivar IPA SF 15, e avaliando essa variável no final do ciclo.

Com o aumento da quantidade de APP na irrigação do sorgo BRS 506, observou-se uma redução no número de folhas, sendo que quando irrigado com AAB o número médio de folhas foi de 12,07, e quando irrigado somente com APP foi de 11 (Figura 1C). O diâmetro médio do caule do sorgo foi de 18,5 mm, não ocorrendo diferença significativa entre os tratamentos estudados.

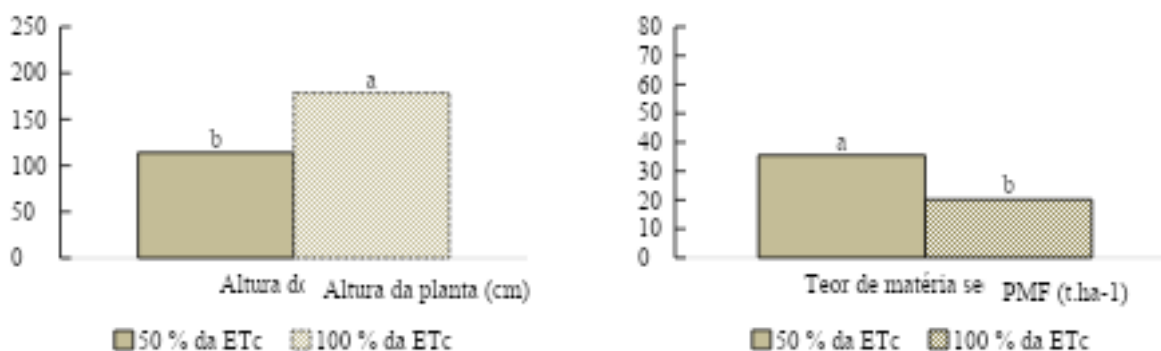
A irrigação com 100% da evapotranspiração de referência da cultura promoveu maior altura do caule, altura da planta e produção de matéria fresca, entretanto, o teor de matéria seca foi maior nos tratamentos irrigados com 50% da ET_c (Figura 2). Desta forma, a produção de biomassa seca foi igual para as duas condições, com média de 15,45 t·ha⁻¹.

O estresse ocasionado pela lâmina de irrigação ocasionou maior interferência negativa nas variáveis de crescimento quando comparado com a utilização de diluições de água produzida, resultados semelhantes aos encontrados por Queiroz (2023) em



experimentos realizados também no semiárido potiguar com a cultura do sorgo sacarino (BRS 506).

Figura 2 – Teste de média para altura do caule, altura da planta, teor de matéria seca e produção de matéria fresca.



CONCLUSÕES

Visando a produção de biomassa do sorgo sacarino, obteve-se resultados positivos para a utilização de lâminas de irrigação reduzidas e para utilização de APP na irrigação dessa cultura, porém, foi necessário acompanhar o desenvolvimento até o fim do ciclo, para alcançar uma resposta mais assertiva. A utilização de 33% de APP na irrigação do sorgo promoveu os melhores parâmetros de crescimento para a cultivar estudada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), ao Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP (PRH-ANP 55.1), gestão FAPESP, e à Brava Energia pela infraestrutura disponibilizada e pelo financiamento da pesquisa.



REFERÊNCIAS

ALMAT, K. *et al.* A risk-based approach to produced water management in offshore oil and gas operations. **Process Safety and Environmental Protection**. v. 39, p. 341-361, 2020.

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.

DICKHOUT J.M. *et al.* Produced water treatment by membranes: A review from a colloidal perspective. **Journal of Colloid and Interface Science**, v.487, p. 523-534, 2017.

IMPA, S. M. *et al.* Water Deficit and Heat Stress Induced Alterations in Grain Physico-Chemical Characteristics and Micronutrient Composition in Field Grown Grain Sorghum. **Journal Cereal Science**. v.86, p.124–131, 2019.

QUEIROZ, G. C. M. *et al.* Growth, Solute Accumulation, and Ion Distribution in Sweet Sorghum under Salt and Drought Stresses in a Brazilian Potiguar Semiarid Area. **Agriculture**, v. 13, n. 4, p. 803-824, 2023.

SILVA, R. R. *et al.* Ionic Response and Sorghum Production under Water and Saline Stress in a Semi-Arid Environment. **Agriculture**, v. 13, n. 6, p. 1127-1139, 2023.



AVALIAÇÃO DO USO DE ÁGUA PRODUZIDA DE PETRÓLEO E GÁS EM SOLOS ARENOSOS DO GRUPO BARREIRAS, ESTADO DO CEARÁ

Francisco das Chagas Araujo de Paiva

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Carolina Malala Martins Souza

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

RESUMO

As altas temperaturas e a irregularidade de chuvas que influenciam o semiárido brasileiro fazem dessa região um ambiente com severas restrições de ordem hídrica, o que resulta na necessidade de irrigação para o desenvolvimento de algumas culturas. No estado do Ceará, onde há uma forte atuação desses sistemas, associadas às áreas onde estão presentes os sedimentos da Formação Barreiras, com solos comumente arenosos, embora propícios à exploração agrícola, exigem alternativas hídricas que incluem o uso de águas de fontes não convencionais. Surge a necessidade da utilização da água produzida de petróleo (AP), que mesmo após os minuciosos tratamentos ainda pode apresentar potenciais danos à estrutura do solo. Nesse sentido, um estudo envolvendo a aplicação dessa AP em solos arenosos e indicação de risco de possíveis contaminações resultariam na mitigação de água doce na irrigação, favorecendo o reaproveitamento hídrico e tornando-se uma alternativa sustentável para o semiárido.

Palavras-chave: semiárido; irrigação; sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

A região semiárida brasileira, que abrange 982.563,3 km², apresenta características geoambientais singulares que influenciam diretamente na sua dinâmica, marcada por temperaturas elevadas e chuvas escassas e irregulares, o que dificulta o convívio com a indisponibilidade hídrica (Silva *et al.*, 2010). Nesse cenário de variações climáticas onde as taxas de evapotranspiração são superiores às precipitações, gera um déficit hídrico em reservatórios abertos e fechados, tornando a irrigação uma alternativa essencial para fornecer a quantidade de água necessária para as culturas, permitindo que completem seu ciclo de vida mesmo nos períodos prolongados de escassez (Putti *et al.*, 2023).

Margeando a costa brasileira ocorre a presença de longos depósitos sedimentares que compreendem a formação do Grupo Barreiras. Estes depósitos abrangem desde o estado do Ceará, Nordeste do Brasil, até a região sudeste do país. Esses depósitos oriundos do Mioceno têm sua origem vinculada ao preenchimento



ocorrido durante a fragmentação das placas tectônicas africana e sul-americana. Sua litologia é composta de arenitos, depósitos heterolíticos e conglomerados (Rossetti *et al.*, 2013). Segundo Bezerra *et al.* (2006), na sua formação é comum encontrar formação de horizontes lateríticos recobertos por sedimentos derivados do Pós-Barreiras do Quaternário brasileiro.

O estado do Ceará possui um clima semiárido que cobre cerca de 68% de seu território, caracterizado por chuvas irregulares, concentradas em três a cinco meses, e temperaturas elevadas, o que gera escassez hídrica e a necessidade de alternativas para o uso de águas, inclusive de fontes não convencionais (Queiroz *et al.*, 2022). A região abriga extensos tabuleiros costeiros, com mais de 10.000 km², formados pela sedimentação da Formação Barreiras, onde predominam solos arenosos com alto potencial hidrogeológico e características coesas, essenciais para a exploração agrícola, com importante impacto social e econômico (Lima *et al.*, 2004).

Dados obtidos da Agência Nacional de Petróleo e Biocombustíveis (ANP) estimam a presença de 1900 poços de petróleo e gás em operação nessa área, tornando uma atividade de grande expressividade na costa litorânea. Durante a extração, ocorre o surgimento da água que é conhecida como água produzida (AP). Esta tende a aumentar conforme o amadurecimento do poço e o esgotamento da extração da matéria-prima (Motta *et al.*, 2013).

Ainda de acordo com Motta *et al.* (2013), as principais destinações adotadas em relação à AP após seu tratamento são o descarte, a injeção e o reúso. Uma possibilidade de reaproveitamento seria aplicação nas regiões semiáridas, promovendo uma alternativa interessante para o desenvolvimento territorial (Sousa *et al.*, 2016). Entretanto, mesmo tratada, a AP ainda pode conter substâncias potencialmente perigosas para os corpos hídricos ou limitação da fertilidade do solo, como altas concentrações de sódio (Na⁺) e cloretos (Cl⁻), além de constituintes orgânicos e minerais, como metais tóxicos, que demanda cautela técnica, operacional e ambiental (Weber *et al.*, 2017; Lopes *et al.*, 2014).

A redução do uso da água doce para irrigação e a reutilização de águas residuais são estratégias importantes, especialmente no semiárido brasileiro, onde a disponibilidade de água é limitada (Sousa *et al.*, 2016). No Ceará, a diversidade geológica resulta em uma vasta diversidade de solos, com características físicas, químicas e biológicas distintas. Diante disso, o presente trabalho irá avaliar o comportamento da AP oriunda de poços de petróleo da região do município de Icapuí-CE em solos de textura arenosa ao longo de uma topossequência.

METODOLOGIA

A metodologia consistirá na descrição e coleta de amostras de perfis de solo localizados em uma topossequência no município de Icapuí, no estado do Ceará. Serão realizadas análises físicas, químicas e mineralógicas, com o objetivo de caracterizar e



classificar os solos, seguindo os procedimentos descritos por Teixeira *et al.* (2017). A classificação dos solos será realizada de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos *et al.*, 2018).

As águas utilizadas no experimento serão coletadas de empresas de petróleo da região e, posteriormente, caracterizadas fisicamente e quimicamente conforme as orientações da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), conforme descrito por Silva (2009). Posteriormente será determinada a Relação de Adsorção de Sódio (RAS) utilizando a metodologia de Richards (1954). E análises de imagens utilizando o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), com o objetivo de obter informações micromorfológicas das partículas de areia dos horizontes de solo coletados.

RESULTADOS ESPERADOS

Com os dados obtidos será possível classificar os solos e estimar a quantidade de água que pode ser aplicada até determinado horizonte sem que ocorram grandes impactos ambientais, havendo assim a redução do uso do volume de água doce aplicada na irrigação. Além disso, será possível prever as interações químicas esperadas entre colóides organominerais e AP, principalmente ao compreender a dinâmica dos óxidos de ferro que capeiam os grãos de quartzo e podem promover interações aniônicas com elementos químicos presentes na AP.

CONCLUSÕES

A água resultante desse processo de extração, quando aplicada na irrigação dos solos arenosos estudados, pode ser eficiente para o manejo da irrigação, mitigando custos e tornando a agricultura sustentável.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP (PRH-ANP 55.1), gestão FAPESP, pela infraestrutura disponibilizada e pelo financiamento da pesquisa.



REFERÊNCIAS

- BEZERRA, F. H. R.; MELLO, C. L.; SUGUIO, K. A Formação Barreiras: recentes avanços e antigas questões. **Geologia USP - Série Científica**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 19-42, 2006. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/guspsc/article/view/12345>. Acesso em: 15 jun. 2024.
- DE QUEIROZ, D. B. *et al.* Tecnologias sociais na redução da vulnerabilidade às mudanças climáticas nos municípios do Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 37, n. 2, p. 261-268, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/9876543210/>. Acesso em: 10 jun. 2024.
- LIMA, H. V. de *et al.* Identificação e caracterização de solos coesos no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 467-476, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/5678901234/>. Acesso em: 12 jun. 2024.
- LOPES, E. D. O. R.; WEBER, O. B.; CRISOSTOMO, L. A.; MATTOS, E. P. N. B. Short-term effects of produced water on microbial activity in semiarid soil. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 3, p. 395-403, 2014. Disponível em: <https://www.ijcmas.com/3/2/395-403.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2024.
- MOTTA, A. R. P.; BORGES, C. P.; KIPERSTOK, A.; ESQUERRE, K. P.; ARAÚJO, P. M.; BRANCO, L. P. N. Tratamento de água produzida de petróleo para remoção de óleo por processos de separação por membranas: revisão. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 18, p. 15-26, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/2345678901/>. Acesso em: 20 jun. 2024.
- PUTTI, F. F. *et al.* Effects of water deficit on growth and productivity in tomato crops irrigated with water treated with very low-frequency electromagnetic resonance fields. **Plants**, Basel, v. 12, n. 21, p. 3721, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/12/21/3721>. Acesso em: 25 jun. 2024.
- ROSSETTI, D. F.; BEZERRA, F. H. R.; DOMINGUEZ, J. M. L. Transgressões do Oligoceno-Mioceno Superior ao longo das margens equatorial e oriental do Brasil. **Revisões de Ciências da Terra**, v. 123, p. 87-112, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rct/a/1357902468/>. Acesso em: 30 jun. 2024.
- SILVA, P. C. G. da *et al.* Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. In: SÁ, I. B.; SILVA, P. C. G. da (org.). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. p. 18-48. Disponível em: <https://www.embrapa.br/semiario/publicacoes>. Acesso em: 5 jul. 2024.
- SOUSA, A. F.; CRISÓSTOMO, L. A.; WEBER, O. B.; ESCOBAR, M. E. O.; OLIVEIRA, T. S. Nutrient content in sunflowers irrigated with oil exploration water. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 29, p. 94-100, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/0987654321/>. Acesso em: 8 jul. 2024.



TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; WENCESLAU, A. F.; TEIXEIRA, G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017. 573 p.
Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/publicacoes>. Acesso em: 10 jul. 2024.



BIOCHAR DE MORINGA: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA MELHORAR A FERTILIDADE DO SOLO NO SEMIÁRIDO E POTENCIALIZAR A PRODUÇÃO DE CAPIM-ELEFANTE PARA PRODUÇÃO DE BIOENERGIA E ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO

Francisco Rodrigues de Lima Neto

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Marcelo Medeiros

Shell

Bruno Caio Chaves Fernandes

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

RESUMO

As regiões áridas e semiáridas representam 34,9% da área terrestre global e incluem 12% do Brasil, tendo como desafios a baixa fertilidade do solo, escassez de água e alta evapotranspiração, o que limita a produção de biomassa e a retenção de carbono. O uso de biochar, um material rico em carbono produzido pela pirólise de resíduos orgânicos, surge como alternativa promissora para melhorar as propriedades físico-químicas do solo, favorecendo a fertilidade, a estruturação e o sequestro de carbono. O capim-elefante (BRS Capiapu) é destacado como uma cultura eficiente para a produção de biomassa e bioenergia, com potencial para o etanol de segunda geração. O experimento em andamento na Ufersa, em Mossoró (RN), avalia a aplicação de biochar derivado da biomassa de moringa em solos semiáridos, com foco no desenvolvimento do capim-elefante e produção e biomassa para o etanol de segunda geração. O biochar, produzido sob pirólise a 350°C, apresentou pH de 9,83, condutividade elétrica de 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 66% de carbono orgânico. A análise do solo revelou pH médio de 6,59, baixa condutividade elétrica (15,74 $\mu\text{S}/\text{m}$) e deficiência de fósforo (0,0 cmolc/dm^3) e potássio (0,11 cmolc/dm^3), além de capacidade de troca catiônica (CTC) média de 1,85 cmolc/dm^3 . O experimento envolve 10 tratamentos com quatro repetições para avaliar os impactos do biochar na estrutura do solo e na produtividade do capim-elefante. Espera-se que o biochar melhore a estrutura do solo, fertilidade do solo, aumente a produção de biomassa e o sequestro de carbono, contribuindo para práticas agrícolas sustentáveis e a recuperação de solos degradados no semiárido brasileiro.

Palavras-chave: pirólise; bioenergia; economia circular; descarbonização.



INTRODUÇÃO

As regiões áridas e semiáridas ocupam 34,9% da área terrestre global e incluem mais de 50 países, enfrentando problemas como escassez de água e baixa fertilidade do solo (Yang *et al.*, 2020; Cen, 2017). No Brasil, a região semiárida representa 12% do território e enfrenta baixa precipitação (≤ 800 mm), ventos fortes e evapotranspiração elevada, o que limita a produção de biomassa e a retenção de carbono (Sudene, 2021). Uma alternativa para melhorar a qualidade do solo é o uso de biochar, especialmente proveniente de resíduos como a moringa, que pode aumentar o carbono orgânico do solo de forma sustentável (Azimzadeh, 2023). Biochar é um material rico em carbono, produzido pela pirólise de resíduos orgânicos, que melhora a estrutura do solo e reduz a perda de nutrientes, favorecendo a estabilidade do carbono e a retenção de minerais essenciais (Tan *et al.*, 2015; Khorram *et al.*, 2016; Xiao *et al.*, 2017). O biochar também aumenta a fertilidade do solo e a adsorção de contaminantes, além de melhorar as propriedades físico-químicas, como o pH e a capacidade de troca catiônica e aniônica (Lehmann; Joseph, 2015; Liu *et al.*, 2016). O capim-elefante destaca-se como cultura promissora para a bioenergia no Brasil, com potencial de sequestro de carbono e produção de biomassa elevada (Coelho *et al.*, 2015; Sparrevik *et al.*, 2014). Este trabalho visa avaliar o biochar de moringa na recuperação de solos degradados e no aumento da biomassa do capim-elefante, favorecendo a produção sustentável de bioenergia e etanol de segunda geração (Ricardo *et al.*, 2020; Biederman *et al.*, 2014).

METODOLOGIA

O experimento em andamento está sendo realizado na Universidade Federal Rural do SemiÁrido (UFERSA), em casa de vegetação localizada em Mossoró, RN. Iniciado em outubro de 2024, o estudo tem previsão de conclusão em fevereiro de 2025. O biochar utilizado foi produzido a partir de biomassa de moringa coletada no estado do Rio Grande do Norte, seguindo o processo de pirólise a uma temperatura controlada de 350°C, conforme protocolos padronizados (Puro Earth, 2022). A caracterização do biochar inclui a análise de seu pH, condutividade elétrica, teor de carbono orgânico e carbono lábil, além de outras análises físico-químicas, como espectroscopia de infravermelho, fluorescência de raios X, termogravimetria, área superficial e porosidade, que visam entender sua composição e propriedades estruturais. A análise do solo, realizada com métodos padronizados da Embrapa (1999) e do protocolo de Bouyoucos (1962) avalia o pH, a condutividade elétrica, os teores de nutrientes e a capacidade de troca catiônica (CTC), fornecendo informações sobre sua fertilidade. O delineamento que será utilizado é o inteiramente casualizado (DIC), o



método estatístico para analisar distinção será submetido à análise de variância (ANOVA), e nos tratamentos significativos serão realizados testes de médias de Tukey a 5% para a cultivar e análise de regressão para doses, utilizando o software Sisvar.

O delineamento experimental contempla 10 diferentes condições de tratamento, com quatro repetições cada, para avaliar o impacto do biochar na estrutura do solo e no desenvolvimento do capim-elefante (BRS Capiapu). A aplicação do biochar foi ajustada com base na teoria da matéria orgânica, garantindo condições controladas para minimizar interferências externas. Este estudo adota uma abordagem abrangente para investigar os efeitos do biochar na estrutura do solo, no crescimento do capim-elefante e na produção de bioenergia, com especial atenção ao etanol de segunda geração. Os resultados esperados, respaldados por análises estatísticas robustas, visam fornecer dados confiáveis sobre os benefícios e as limitações do uso de biochar em solos do semiárido brasileiro, contribuindo para práticas agrícolas mais sustentáveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização inicial do biochar indicou pH de 9,83, condutividade elétrica de 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, carbono orgânico de 66% e carbono lábil de 60%. Outras análises físico-químicas, incluindo espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR), fluorescência de raios X (FRX), termogravimetria (TG) e avaliações de área superficial e porosidade, estão em andamento para explorar a composição e as propriedades estruturais do material. A análise de solo, conduzida com métodos padronizados da Embrapa (1999) e do protocolo de Bouyoucos (1962), revelou pH médio de 6,59 (ligeiramente ácido a neutro), condutividade elétrica média de 15,74 $\mu\text{S}/\text{m}$ (baixa salinidade) e baixos teores de nutrientes, como fósforo (0,0 cmolc/dm^3) e potássio (0,11 cmolc/dm^3), além de uma capacidade de troca catiônica (CTC) média de 1,85 cmolc/dm^3 . Espera-se que esse biochar contribua para o desenvolvimento saudável do capim-elefante e para o aumento da produção de biomassa e bioenergia. Além disso, sua aplicação pode desempenhar um papel crucial no sequestro de carbono, ajudando a reduzir as emissões e o armazenamento de carbono orgânico no solo, promovendo uma estratégia sustentável para a mitigação de impactos ambientais e melhoria.

CONCLUSÕES

O uso de biochar de moringa em solos degradados da região semiárida pode apresentar um potencial significativo para melhorar as propriedades físico-químicas e estruturais do solo, além de favorecer o desenvolvimento do capim-elefante. Essa abordagem se destaca como uma possível estratégia eficiente para aumentar a



produção de biomassa e bioenergia. O biochar pode contribuir não apenas para o aprimoramento da fertilidade do solo, estruturação e a retenção de nutrientes, mas também para o sequestro de carbono, promovendo práticas agrícolas mais sustentáveis.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP (PRH-ANP 55.1), gestão FAPESP, pela infraestrutura disponibilizada e pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- AZIMZADEH, H. Carbon sequestration by biochar: a novel approach in environmental management. **Journal of Environmental Management**, v. 317, 2023.
- BIEDERMAN, L. A.; HARPOLE, W. S. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: A meta-analysis. **Global Change Biology Bioenergy**, v. 6, n. 2, p. 241-252, 2014.
- BOUYOUCOS, G. J. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. **Agronomy Journal**, v. 54, p. 464-465, 1962.
- CEN, Y. H. Desertification control and land degradation in arid regions. **Environmental Research Letters**, v. 12, 2017.
- COELHO, S. T.; GOLDENBERG, J.; PEREIRA, M. G. Biomass for energy in Brazil. **Renewable Energy**, v. 76, p. 750-761, 2015.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Relatório Anual de Energia**. Brasília: EPE, 2014.
- KHORRAM, M. S.; FATEMI, M.; YOON, K. M. Comparative analysis of biochar from biomass wastes. **Bioresource Technology**, v. 206, p. 7-14, 2016.
- LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Biochar for Environmental Management: Science, **Technology and Implementation**. 2. ed. Londres: Routledge, 2015.
- LIU, Z.; DEMOOR, J. L.; XIE, Q. et al. Effects of low-temperature biochar on soil properties and plant growth. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 95, p. 173-179, 2016.
- PLAZA-BONILLA, D.; MARIANI, L. et al. Carbon sequestration in Mediterranean soils with biochar. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 201, p. 1-6, 2015.
- PURO EARTH. Protocolos para produção de biochar. **Puro Earth Documentation**, 2022.



RICARDO, E.; SILVA, R. L.; NUNES, M. Biomass growth and soil fertility improvement with elephant grass and biochar. **Renewable Energy**, v. 155, p. 84-92, 2020.

SPARREVIK, M.; WHEATON, D. R. *et al.* Life cycle assessment of biochar for climate change mitigation. **Environmental Science & Technology**, v. 48, n. 13, p. 7355-7362, 2014.

SUDENE. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Características do semiárido brasileiro**. 2021.

TAN, Z.; LI, J.; KONG, J.; LI, J.; *et al.* Pyrolysis temperature's effect on biochar properties. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 112, p. 440-445, 2015.

XIAO, Y.; LI, J.; KONG, J. Biochar application in soil: potential benefits and implications. **Soil Science**, v. 30, p. 256-265, 2017.

YANG, X.; LI, C.; *et al.* Desertification trends and climate adaptation in arid lands. **Earth Science Reviews**, v. 208, 2020.



PRODUÇÃO DE BIOCHAR NO NORDESTE BRASILEIRO: *INSIGHTS* BASEADO EM DADOS

Gabriel Almeida Lima

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Frederico Ribeiro do Carmo

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

RESUMO

As emissões de gases de efeito estufa (GEE), especialmente o dióxido de carbono (CO_2), são apontadas como uma das principais causas do desequilíbrio climático, resultando em eventos extremos. Tecnologias de remoção de dióxido de carbono (CDR, em inglês) são consideradas estratégias importantes para estabilizar a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera e mitigar os impactos das mudanças climáticas. Entre essas tecnologias, destaca-se o biochar, um material rico em carbono formado a partir da conversão térmica de biomassa sob condições controladas de oxigênio. Além de atuar como sequestrante de carbono, o biochar contribui para a melhoria da fertilidade do solo. Este estudo objetiva mapear, quantificar e analisar o potencial de resíduos de biomassa no Nordeste Brasileiro para a produção de biochar. Os dados utilizados foram obtidos do IBGE, referentes a 2022. Foram consideradas diferentes categorias de resíduos de biomassa para a realização da quantificação, assumindo um rendimento de 25% da biomassa seca na produção de biochar por pirólise a temperaturas superiores a 600°C . A análise de incerteza foi realizada por meio da simulação de Monte Carlo, com 10.000 iterações e um desvio padrão de 20%, 5% e 5% na produção e rendimento. Os resultados obtidos mostram que os resíduos com maior potencial quantitativo para produção de biochar são: cana de açúcar, milho e algodão que compreende cerca de 77,16% dos resíduos na Região Nordeste.

Palavras-chave: descarbonização; economia circular; ESG.

INTRODUÇÃO

O desequilíbrio nas concentrações de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera é um dos principais fatores que contribuem para o aquecimento global. Essas emissões não apenas intensificam o aumento da temperatura global, mas também estão associadas à maior frequência e intensidade de fenômenos meteorológicos extremos, como secas e inundações. Entre 1850 e 2019, a humanidade emitiu cerca de 2.390 bilhões de toneladas de CO_2 , sendo a maior parte proveniente da queima de combustíveis fósseis (IPCC, 2022).



De acordo com Wolf *et al.* (2016), o biochar destaca-se como uma das tecnologias de remoção de dióxido de carbono (CDR, em inglês) mais promissoras, especialmente em cenários onde investimentos em tecnologias como Bioenergia com Captura e Armazenamento de Carbono (BECCS, em inglês) não são viáveis. O biochar é um material rico em carbono, produzido pela pirólise de matéria orgânica, capaz de armazenar de forma estável no solo o carbono fixado durante a fotossíntese. Além de sequestrar carbono, o biochar pode aumentar a produtividade agrícola, reduzir emissões de outros gases, como N_2O e CH_4 , do solo e melhorar a resiliência das culturas à seca (Wolf *et al.*, 2016; IPCC, 2022).

A produção de biochar a partir de resíduos de biomassa – como resíduos agrícolas, estrume animal e resíduos florestais – tem o potencial de ser solução promissora para contribuir na redução de gases de efeito estufa na atmosfera e consequente mitigação das mudanças climáticas. Considerando que o aproveitamento do potencial de resíduos de biomassa no Nordeste Brasileiro pode estimular a implementação de projetos sustentáveis na região, este trabalho tem como objetivo mapear e quantificar os principais resíduos de biomassa gerados no Nordeste Brasileiro e avaliar seu potencial para a produção de biochar.

Metodologia

Os dados de produção agrícola utilizados foram os disponíveis pelo IBGE (2022). A quantificação dos resíduos de biomassa seguiu a metodologia proposta pelo Lefebvre *et al.* (2023). Os dados estatísticos incluíram a quantidade produzida de biomassa (t) e a área colhida (ha). Para os dados de biochar, foi realizada uma análise de incerteza utilizando a técnica de simulação de Monte Carlo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 representa a quantidade de produção de biochar obtido através da quantificação de resíduos gerados no ano 2022 na Região Nordeste. Para cada estado foi quantificado as produções de resíduos das principais culturas. Na região Nordeste dentre as principais culturas os estados que mais se destacaram em potencial de produção de biochar foram Bahia ($1,6 \cdot 10^6$ t), Alagoas ($9 \cdot 10^5$ t) e Pernambuco ($9,2 \cdot 10^5$ t), destacando-se a cultura de cana de açúcar como maior produtora de resíduo nesses estados e representando cerca de 34,23% do total de resíduo gerado na região Nordeste. Já no estado do Rio Grande do Norte as culturas que se destacam como potenciais para produção de biochar são: cana de açúcar, mandioca e coco com casca que representam 62,54%; 12,06%; 10,81% respectivamente.



Tabela 1 – Principais culturas geradoras de resíduos para produção de biochar do Nordeste brasileiro.

Estado	Potencial de Produção de Biochar (t)	Intervalo Inferior de Confiança (t)	Intervalo Superior de Confiança (t)	Principais Resíduos
AL	844.296,21	429.145,34	1.133.561,85	Cana de açúcar
	85.086,87	55.131,26	121.697,46	Mandioca
	42.431,49	28.947,59	58.807,10	Coco com casca
BA	809.295,49	489.524,02	1.163.097,98	Milho
	558.265,85	382.805,33	753.091,15	Algodão
	243.194,06	155.562,11	334.603,04	Cana de açúcar
CE	195.712,80	115.470,71	275.564,12	Coco com casca
	160.098,64	98.283,99	227.857,32	Milho
	114.353,40	67.284,70	160.088,49	Mandioca
MA	684.386,70	455.473,08	933.137,10	Milho
	131.155,88	93.779,90	178.904,21	Cana de açúcar
	62.250,89	38.220,89	86.767,16	Mandioca
PB	280.256,14	166.202,18	388.615,45	Cana de açúcar
	21.253,26	13.142,68	28.635,59	Mandioca
	20.985,47	13.950,91	30.802,62	Coco com casca
PE	814.693,65	456.818,07	1.127.055,61	Cana de açúcar
	53.967,93	33.218,22	76.202,81	Coco com casca
	54.665,27	35.118,69	73.668,91	Mandioca
PI	751.437,75	482.146,33	1.006.539,53	Milho
	67.447,19	39.481,68	96.165,73	Mandioca
	48.931,99	33.637,74	64.929,07	Cana de açúcar
RN	169.092,16	120.097,16	231.204,34	Cana de açúcar
	32.592,91	22.172,00	43.510,62	Mandioca
	29.238,80	16.564,71	42.680,06	Coco com casca
SE	231.745,24	148.650,14	347.944,98	Milho
	107.528,94	66.617,53	139.150,96	Cana de açúcar
	54.178,27	31.450,45	75.486,84	Coco com casca

Com os resultados obtidos, foi possível estimar o sequestro de CO₂ a partir do biochar de cada estado em relação ao total de emissões do Nordeste. Em 2022, a região emitiu 299.464.202 toneladas de CO₂. O potencial de mitigação de CO₂ de cada estado foi distribuído da seguinte forma: Bahia (1,9%), Pernambuco (0,9%), Alagoas (0,8%), Maranhão (0,8%), Piauí (0,8%), Ceará (0,5%), Sergipe (0,4%), Paraíba (0,3%) e Rio Grande do Norte (0,2%).



CONCLUSÕES

A partir dos dados analisados, foi possível quantificar os resíduos de biomassa gerados na Região Nordeste no ano de 2022 e estimar o potencial de produção de biochar. O potencial de produção de biochar estimado de cada estado da Região Nordeste foi: Bahia (2.147.733 t), Alagoas (1.004.507 t), Pernambuco (994.945 t), Maranhão (988.907 t), Piauí (959.696 t), Ceará (597.606 t), Sergipe (432.665 t), Paraíba (364.973 t) e Rio Grande do Norte (270.365 t). As culturas que apresentaram maior potencial de produção de biochar foram: Milho (2.702.090 t), Cana de Açúcar (2.663.791 t) e Algodão (628.434 t). Além disso, o sequestro de CO₂ estimado corresponde a 6,6% das emissões anuais da região, indicando a relevância do biochar como ferramenta de mitigação climática.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP (PRH-ANP 55.1), gestão FAPESP, pela infraestrutura disponibilizada e pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA**. 2022. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 16 nov. 2024.

INTERGOVERNMENTAL PAINEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2022**: mitigation of climate change. Working Group III Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press, 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>. Acesso em: 19 ago. 2024.

LEFEBVRE, D. *et al.* Biomass residue to carbon dioxide removal: quantifying the global impact of biochar. **Biochar**, v. 5, Article number 5, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42773-023-00258-2>.

WOOLF, D.; LEHMANN, J.; LEE, D. R. Optimal bioenergy power generation for climate change mitigation with or without carbon sequestration. **Nature Communications**, v. 7, p. 1-11, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/ncomms13160>

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. **Plataforma SEEG**. Disponível em: https://plataforma.seeg.eco.br/?_gl=1nz7qsh_gaNzq0MDk4MTU4LjE3MzlwNTM1MTM1_ga_XZWSWEJDWQ*MTczMjM3MDA4MC41LjAuMTczMjM3MDA4MC4wLjAuMA. Acesso em: 16 nov. 2024.



AVALIAÇÃO DE EMISSÃO DE GASES E DESEMPENHO DE MOTOR DE BANCADA UTILIZANDO MISTURAS AB-DIESEL

Gabriel Alvino Ribeiro

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Daut de Jesus Nogueira Peixoto Couras

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Zoroastro Torres Vilar

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

RESUMO

O presente estudo visa analisar o desempenho e as emissões de um motor diesel utilizando o diesel S10 convencional puro. Os testes foram realizados com o apoio da NBR 1585. Foram elaborados gráficos que relacionam o torque com a potência, bem como as emissões de dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), dióxigênio (O_2), óxidos de nitrogênio (NO_x) em função da rotação. Os resultados demonstraram um aumento linear da potência com o crescimento da rotação, especialmente em condições de torque elevado, além de uma tendência de redução nas emissões de HC e NO_x em rotações mais altas, indicando uma combustão mais completa nessas condições, mas também destaca o potencial impacto ambiental, reforçando a necessidade de alternativas de combustíveis ou tecnologias para a mitigação de CO_2 .

Palavras-chave: dióxido de carbono; efeito estufa, eficiência térmica.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos diversos estudos foram feitos com o intuito de compreender o desempenho e as emissões de um motor operando parcial ou totalmente com biocombustíveis (Cardoso, 2018). Formulações do tipo álcool + biodiesel + diesel (AB-Diesel) têm atraído atenção devido a algumas de suas características, como calor de combustão semelhante ao do diesel “puro” e redução da emissão de material particulado e gases tóxicos (Silveira, 2013). Essas formulações são alternativas de combustível interessantes para contribuir com o aumento das fontes de energia renováveis na matriz energética brasileira (Pereira, 2024).

Dessa forma, o presente estudo terá o intuito de avaliar o desempenho e as emissões (HC, NO_x , CO, CO_2 e O_2) de um motor BFDE 10.0 diesel de marca Buffalo – Motores e Acoplados em bancada dinamométrica de marca Intechno, operando com diesel puro (como referência) e misturas AB-Diesel para fins de análise comparativa de potência, torque, consumo específico, emissões e opacidade entre as misturas.



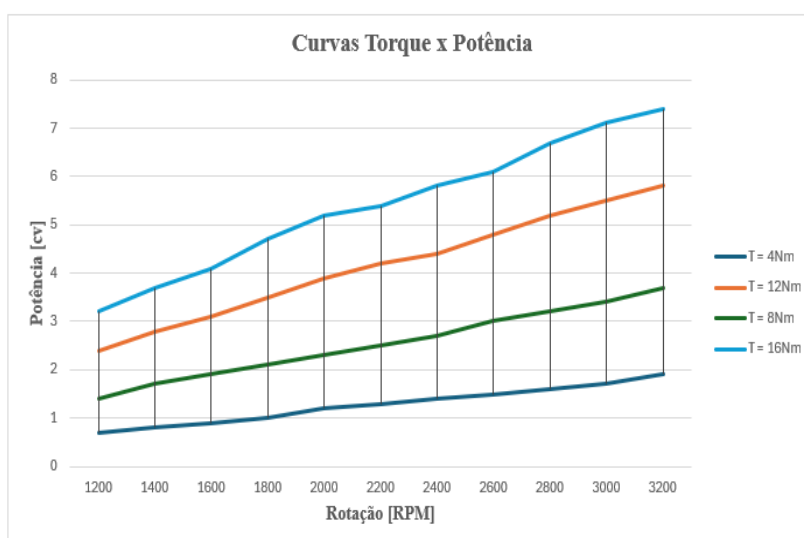
METODOLOGIA

O motor utilizado no experimento foi um BFDE 10.0 diesel acoplado a uma bancada dinamométrica. O combustível de referência é um óleo diesel 100%, o S10, adquirido pela empresa Brava Energia – Mossoró, RN. Os testes foram realizados com uma adaptação na NBR ISSO 1585. Os parâmetros a serem analisados foram as curvas de torque, potência e consumo específico, ajustando valores nas faixas de torque desde a condição sem carga até a condição de plena carga. As emissões gasosas do motor foram avaliadas a partir de um analisador infravermelho para CO, CO₂, HC, O₂ e NO_x dos gases de escape PC – Multigás Napro, enquanto as emissões de partículas foram medidas utilizando-se um analisador de opacidade NA-9000.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Figura 1 demonstra a relação entre torque, rotação e potência, evidenciando o comportamento do motor a diesel operando com o diesel S10 convencional puro.

Figura 1 – Curvas de Torque x Potência [S10 – 100% Diesel convencional].



Observa-se que, para todos os valores de torque analisados, há um crescimento linear da potência com o aumento da rotação do motor.

As Figuras 2 e 3 demonstram as emissões de HC, Nox, CO₂, CO e O₂, em diferentes faixas de rotação e torque.



Figura 2 – Emissões HC e NO_x para T = 8Nm [S10 – 100% Diesel convencional].

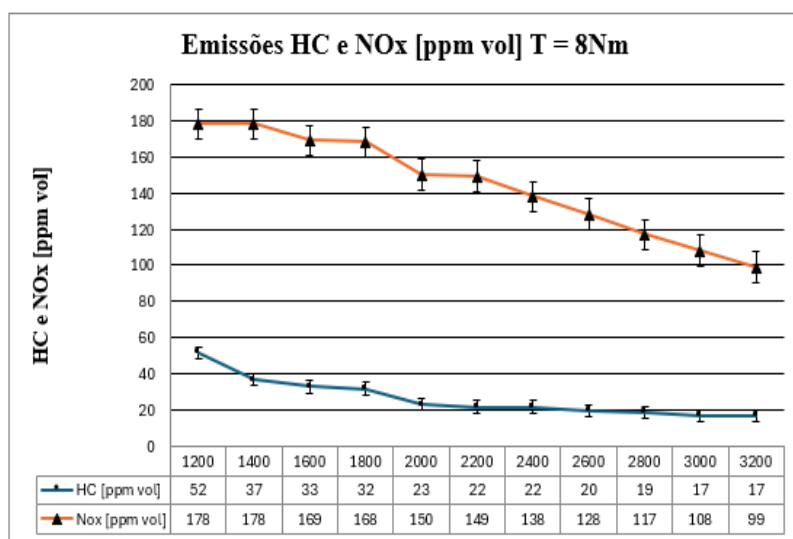
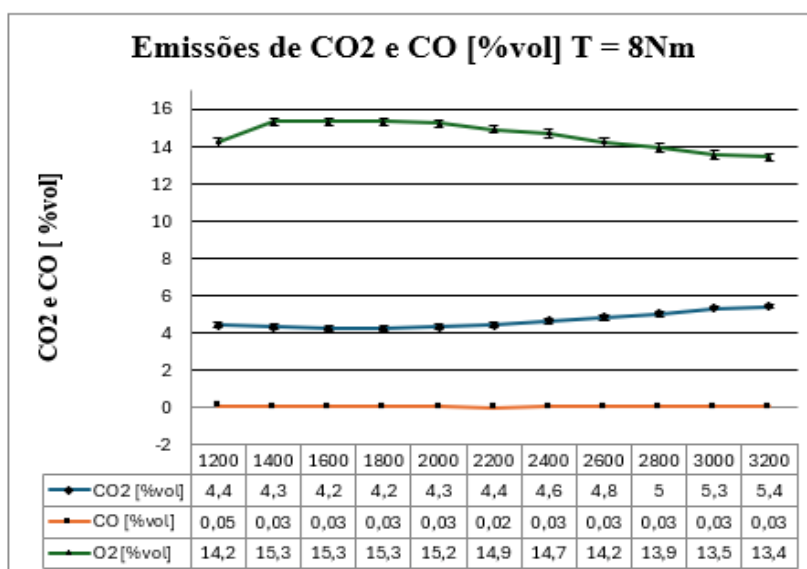


Figura 3 – Emissões CO₂, CO e O₂ para T = 8Nm [S10 – 100% Diesel convencional].



As emissões de HC e NO_x diminuem gradualmente com o aumento da rotação, especialmente em torques mais baixos. No entanto, o NO_x ainda se mantém alto em torques elevados devido a altas temperaturas e pressões. Observa-se um leve aumento de CO₂ com a rotação, enquanto o CO permanece estável e o O₂ residual reduz. No entanto, o aumento de CO₂ representa um desafio ambiental, reforçando a necessidade de alternativas de combustíveis de captura de carbono.

CONCLUSÕES

Os resultados do experimento indicam que o motor BFDE 10.0 diesel, ao operar com diesel S10 puro, demonstrou que torques mais elevados resultam em um



incremento significativo da potência máxima alcançada, confirmando a eficiência do combustível sob diferentes cargas. A redução nas emissões de HC e NO_x com o aumento da rotação traduz uma combustão mais completa em altas rotações, enquanto os níveis de NO_x permaneceram elevados em altos torques, devido às condições de alta temperatura e pressão na câmara de combustão. O leve aumento de CO₂ com a rotação indica uma combustão mais eficiente, porém também ressalta o impacto ambiental potencial, reforçando a importância de alternativas de combustíveis ou tecnologias para mitigação de CO₂. A continuidade da pesquisa com misturas AB-Diesel será essencial para verificar possíveis reduções de emissões e ganhos de eficiência, contribuindo para alternativas sustentáveis no uso de motores a diesel.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP (PRH-ANP 55.1), gestão FAPESP, pela infraestrutura disponibilizada e pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 1585**: Veículos rodoviários - Código de ensaio de motores - Potência líquida efetiva. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

CARDOSO, Bárbara. **Análise das emissões, desempenho e estudo paramétrico da combustão em um motor automotivo do ciclo Diesel usando biocombustíveis derivados da cana de açúcar**. 2018. 183 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de São João Del Rei, São João Del Rei, 2018.

CASTELLANELLI, Márcio *et al.* Desempenho de motor ciclo diesel em bancada dinamométrica utilizando misturas diesel/biodiesel. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 483-490, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/123456789/>. Acesso em: 15 jun. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional (BEN) 2024**: ano base 2023. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/>. Acesso em: 20 jun. 2024.

GOLDEMBERG, J.; COELHO, S.; GUARDABASSI, P. The sustainability of ethanol production from sugarcane. **Energy Policy**, London, v. 36, n. 6, p. 2086-2097, 2008.

PEREIRA, João Paulo de Souza. **Produção de biodiesel de óleo de algodão e estudo da sua miscibilidade na mistura etanol-biodiesel-diesel**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2024.



SILVEIRA, Márcia Bezerra. **Estudo do sistema álcool + biodiesel + diesel (ab-diesel): equilíbrio e propriedades termofluidodinâmicas**. 2013. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.



VIABILIDADE DE REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA PRODUZIDA DE PETRÓLEO PARA IRRIGAÇÃO DO CAPIM ELEFANTE CV. BRS CAPIAÇU

Gthielly Maira Fernandes

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Marcelo Tavares Gurgel

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Daniel Valadão Silva

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

RESUMO

Sendo uma das indústrias mais fortes no Brasil e promovendo grande desenvolvimento ao país, a indústria do petróleo vem cada vez mais gerando preocupações ambientais, uma vez que grandes quantidades dos recursos hídricos são afetados com a extração do óleo. Diante da crescente demanda por um uso sustentável e que propague a economia circular dessa água, surge a possibilidade de estudos de uso desse resíduo líquido na agricultura. Desde a década de 1980, gramíneas perenes têm sido estudadas como culturas energéticas, sendo o capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) pertencente ao grupo das gramíneas perenes de alto rendimento. O presente estudo busca auxiliar no desenvolvimento de esquemas de manejo apropriados de água produzida na irrigação do Capim Elefante, prezando pela manutenção da qualidade do solo, bem como da produção da cultura em questão. O experimento será realizado em estufa localizada na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), sendo composto por colmos de Capim elefante em vasos de 30 L, que receberão 3 diluições de água produzida (AP) em água de abastecimento (AA) e 3 lâminas de irrigação (LAM), sendo organizados os seguintes tratamentos: T1 (100% AP +100% LAM), T2 (100% AP +75% LAM), T3 (100% AP + 50% LAM), T4 (50% AP +100% LAM), T5 (50% AP +75% LAM), T6 (50% AP +50% LAM), T7 (0% AP + 100% LAM), T8 (0% AP +75% LAM) e T9 (0% AP +50% LAM). Cada tratamento contará com 5 repetições. A aplicação dos tratamentos ocorrerá durante 90 dias, sendo a análise das diluições feita ao início do experimento; análises de solo realizadas aos 0 e 90 dias, e análises qualitativas e quantitativas referentes à cultura realizadas a cada 15 dias após o início dos tratamentos. Com a obtenção de todos os resultados, estes serão comparados estatisticamente e submetidos à análise de variância, teste de Tukey e análises de regressão, empregando o programa computacional SISVAR (Sistemas para Análises de Variância), onde espera-se obtenção de resultados significativos no que se trata do bom desempenho da cultura, bem como resultados satisfatórios também nas análises de solo, que seria a detecção do menor número de danos possíveis à sua composição química e física iniciais.

Palavras-chave: economia circular; reuso; manejo.



INTRODUÇÃO

Essencial à vida moderna, o petróleo é matéria-prima para a produção de milhares de produtos de forma indireta, podendo ser encontrado no subsolo em profundidades variáveis (Gauto *et al.*, 2016). Grandes quantidades de recursos hídricos são movimentados durante a extração do petróleo. Sabe-se que, quanto mais maduro o campo, maior se apresenta o volume de água produzida associada ao óleo e gás extraídos. Somente no último ano, segundo a Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis – ANP (2024), entre os meses de outubro de 2023 e outubro de 2024, o Brasil obteve cerca de 98 milhões de m³ de água produzida em campos *onshore*. Hoje, todo esse resíduo é tratado adequadamente e, na maioria das vezes, reinjetado, o que vem se tornando inviável em poços maduros que já apresentam grandes volumes de água produzida.

Alterações climáticas têm causado cada vez mais a necessidade de uso inteligente da água, e, diante da necessidade de ampliação das práticas de economia circular no setor petrolífero, visando o desenvolvimento sustentável dessa atividade, bem como mitigar a escassez de água nas regiões semiáridas do país, se torna necessário o desenvolvimento de estudos acerca de águas que podem estar sendo descartadas e que poderiam vir a ter uso útil e eficiente, principalmente para a agricultura, tornando essencial o desenvolvimento de estratégias para a reutilização das águas produzidas tratadas, de modo a utilizá-las como base para um desenvolvimento sustentável.

De acordo com Almeida (2010), a qualidade da água para irrigação deve ser avaliada com base em parâmetros físicos, químicos e biológicos, incluindo pH, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais, alcalinidade, dureza, taxa de adsorção de sódio, metais pesados e alguns outros parâmetros. Isso indica que, antes de qualquer uso, a água produzida deve passar por tratamento adequado, a fim de que se torne apta ao uso e cause o menor impacto possível ao ambiente ao qual será destinada.

Outro ponto importante é que, atualmente, um dos maiores desafios que enfrentamos é encontrar fontes alternativas de energia, e o uso de biomassa vegetal vem ganhando espaço como fonte de energia limpa e renovável. Uma das principais espécies vegetais utilizadas é o capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum), (Jank *et al.*, 2013). De acordo com Silva *et al.* (2010), o capim-elefante é uma forrageira com alto potencial para produção de matéria seca e de grande eficiência fotossintética.

Então, considerando que o capim elefante é moderadamente tolerante à condição salina da água, pode ser usado na produção de biomassa e ainda não foi explorado em pesquisas com água produzida de petróleo, o presente estudo tem como objetivo desenvolver técnicas de manejo para irrigação de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) com água produzida, visando avaliar o desempenho da cultura submetida a tratamentos de diluições de água produzida real com diferentes lâminas



de irrigação, bem como avaliar os impactos na planta e no solo que podem vir a ser causados pela uso da água em questão.

METODOLOGIA

O experimento será realizado nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2024, em estufa pertencente à Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), localizada em Mossoró, no Rio Grande do Norte.

Serão utilizados vasos de 30 L para o cultivo do capim elefante cv. BRS capiaçu. Serão utilizados 30 kg de Argissolo vermelho por vaso, trazido da zona rural da cidade de Mossoró/RN. O capim-elefante será implantado por meio de propagação vegetativa, utilizando colmos trazidos de plantas saudáveis. Inicialmente serão implementados quatro colmos de capim-elefante por vaso. Após o pegamento dos colmos, será realizado desbaste, deixando-se apenas duas plantas vigorosas por vaso.

Os tratamentos utilizados serão 3 diluições de água produzida (AP) em água de abastecimento (AA) e 3 lâminas de irrigação (LAM), sendo organizados os seguintes tratamentos: T1 (100% AP +100% LAM), T2 (100% AP +75% LAM), T3 (100% AP + 50% LAM), T4 (50% AP +100% LAM), T5 (50% AP +75% LAM), T6 (50% AP + 50% LAM), T7 (0% AP + 100% LAM), T8 (0% AP +75% LAM) e T9 (0% AP +50% LAM). Cada tratamento terá o total de 5 repetições, a fim de estimar o erro experimental, aumentando a precisão do experimento pela redução do erro padrão da média dos tratamentos. Durante a realização do experimento não serão fornecidas fertirrigações, pois, apesar de comprovadas melhorias no desempenho da cultura, a adição de fertilizantes pode comprometer as análises experimentais dos resultados, uma vez que a quantidade dos nutrientes seria alterada.

Quanto às análises experimentais, serão realizadas análises de todas as diluições aos 0 dias, a fim de se verificar a composição dessas águas ao longo do experimento. As análises culturais ocorrerão nos períodos de 15, 30, 45, 60, 75 e 90 dias após os tratamentos, abrangendo variáveis biométricas como número de folhas, diâmetro do colo, altura do colmo, altura geral e área foliar, com métodos não destrutivos. Após 100 dias, serão realizadas análises de trocas gasosas com um analisador de fotossíntese e, em seguida, análises destrutivas para medir a massa fresca e seca das folhas e caules e o teor de macronutrientes. Também serão avaliados parâmetros de qualidade de biomassa, incluindo porcentagens de cinza, fibras em detergente neutro e ácido, celulose, lignina e hemicelulose, conforme metodologias padronizadas da literatura científica. No que se refere ao solo, serão realizadas 2 coletas de amostras compostas (composição de amostras simples coletadas nas camadas 0 a 0,10 m; e 0,10 a 0,20 m) do solo nos vasos de cada tratamento, a primeira no dia 0, e as demais aos 30, 60 e 90 dias, e serão feitas para medição do pH, condutividade elétrica no extrato de saturação do solo, e também os metais cobre (Cu),



ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), chumbo (Pb), níquel (Ni), cádmio (Cd) e bário (Ba), seguindo as recomendações da EMBRAPA (Teixeira *et al.*, 2017).

Com a obtenção de todos os resultados, eles irão ser comparados estatisticamente, sendo submetidos à análise de variância, teste de Tukey e análises de regressão, empregando o programa computacional SISVAR - Sistemas para Análises de Variância, desenvolvido por Ferreira (2011).

RESULTADOS ESPERADOS

Com a realização do experimento, espera-se obtenção de resultados significativos no que se trata do bom desempenho da cultura, incluindo crescimento adequado e manutenção das características vitais da mesma, bem como resultados satisfatórios também nas análises de solo, que seria a detecção do menor número de danos possíveis à sua composição química e física iniciais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP (PRH-ANP 55.1), gestão FAPESP, e à Mandacaru Energia pela infraestrutura disponibilizada e pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, O. A. de. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- GAUTO, M. A.; APOLUCENO, M.D.; D.; AMARAL, M. C.; AURÍQUIO, P. C. **Petróleo e gás: princípios de exploração, produção e refino**. Bookmann Editora, 2016.
- JANK, L.; LIMA, E. A.; SIMEÃO, R. M.; ANDRADE, R. C. Potential of Panicum maximum as a source of energy. **Tropical Grasslands – Forrajes Tropicales**, v.1, n.1, p.92–94, 2013.
- SILVA, A. L. C.; SANTOS, M. V. F.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; LIRA, M. A.; FERREIRA, R. L. C.; FREITAS, E. V.; CUNHA, M. V.; SILVA, M. C. Variabilidade e herdabilidade de caracteres morfológicos em clones de capim-elefante na Zona da Mata de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 1, p. 2132-2140, 2010.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA G. K.; WENCESLAU, A. F.; TEIXEIRA, G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017.



ÓLEOS LUBRIFICANTES: ASSEGURANDO VENTOS DE EFICIÊNCIA E CONFIANÇA

Guilherme Alexandre Gomes Cândido

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Jardel Dantas da Cunha

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

RESUMO

A transição energética no Brasil enfrenta desafios estruturais, mas a energia eólica surge como uma solução promissora, sendo limpa, barata e de baixo impacto ambiental. Este trabalho propõe um plano de monitoramento para aerogeradores no RN, focado na análise de lubrificantes para garantir eficiência e confiabilidade. A revisão aborda óleos lubrificantes utilizados em turbinas eólicas, seus benefícios e técnicas de análise para avaliar o estado dos equipamentos.

Palavras-chave: transição energética; energia eólica; manutenção.

INTRODUÇÃO

A preocupação com as emissões de gases do efeito estufa começou com o Protocolo de Kyoto em 1997, que visava reduzir as emissões em 55%. Em documento enviado à ONU, o Brasil assumiu as seguintes metas: reduzir as emissões em 37% abaixo dos níveis de 2005 até 2025 e, sucessivamente, em 43% até 2030. A transição energética consiste na substituição de combustíveis fósseis por fontes limpas e renováveis (Correa, 2021).

O Brasil apresenta grande potencial para a transição energética devido à sua matriz elétrica predominantemente renovável, composta por 84% de fontes limpas. O país também dispõe de abundantes recursos naturais para explorar energia solar e eólica, que têm crescido nos últimos anos, além de ser um dos maiores produtores de biocombustíveis, como etanol e biodiesel (Brasil, 2023).

A energia eólica, obtida pela força do vento com aerogeradores que transformam energia cinética em elétrica, representa cerca de 12% da matriz energética brasileira em 2023. Esse crescimento é essencial para o desenvolvimento sustentável, contribuindo para a redução das emissões e a diversificação energética. O Nordeste concentra mais de 70% da capacidade instalada, gerando benefícios como empregos e aumento de renda (Brasil, 2021).

A manutenção mecânica assegura o bom funcionamento, segurança e durabilidade de máquinas e pode ser corretiva, preditiva ou preventiva. Inclui



atividades como lubrificar, ajustar, trocar e inspecionar componentes. Para a eficiência dos aerogeradores, é crucial que estejam bem lubrificados. Óleos lubrificantes reduzem desgaste e corrosão, prolongando a vida útil dos componentes.

Este trabalho propõe um plano de monitoramento para aerogeradores no RN, baseado na análise de lubrificantes.

METODOLOGIA

Com base no levantamento realizado em periódicos como “Overview of Problems and Solutions in Fire Protection Engineering of Wind Turbines” (UADIALE *et al.*, 2014), identificaram-se três variáveis proativas no funcionamento dos aerogeradores: operacionais, de manutenção e ambientais. A análise revelou que a variável operacional, especialmente a avaliação e qualidade do óleo lubrificante, tem maior associação com problemas em aerogeradores. Dados indicam que máquinas com óleo em condições inadequadas apresentam maior probabilidade de falhas mecânicas, menor eficiência e maior consumo de energia.

Resultados futuros

Ao analisar óleos para aerogeradores, destacam-se os tipos: mineral, sintético e de base biológica. Apesar da variedade de óleos, as análises seguem padronização, incluindo contaminações (Insolúveis em pentano, Karl Fischer, Destilação), físico-química (viscosidade, infravermelho, TBN & TAN) e espectrometria (emissão ótica ou absorção atômica). Tais análises podem ser analíticas ou quantitativas, avaliando modificações, partículas de desgaste e condição dos equipamentos. Normas técnicas determinam parâmetros essenciais para avaliar o desgaste do lubrificante.

A viscosidade é um parâmetro crítico, com desvios de $\pm 10\%$ indicando condições normais, 10-20% sugerindo degradação moderada, e $>20\%$ refletindo falhas críticas (Barret, 2013).

O ferro (Fe) indica desgaste em engrenagens e rolamentos, enquanto o cobre (Cu) reflete deterioração de rolamentos e mancais. Limites: Fe ≤ 75 ppm e Cu ≤ 50 ppm indicam desgaste esperado, Fe: 75–100 ppm e Cu: 50–75 ppm sugerem atrito aumentado, e Fe >200 ppm e Cu >75 ppm indicam falhas iminentes (Sheng, 2016).

O aumento do índice de acidez (TAN) reflete oxidação ou contaminação, com até 40% indicando oxidação inicial, 40–75% degradação moderada, e $>75\%$ risco elevado de corrosão e falha (Coronado, 2014).

Sedimentos visíveis indicam degradação severa e desgaste de componentes (Gao, 2018). A presença de água acelera a degradação, com limites: ≤ 500 ppm (baixo risco), 500–1000 ppm (risco moderado) e >1000 ppm (alto risco), com falha iminente (Barret, 2013).



A contagem de partículas avalia a limpeza do óleo, com limites recomendados: ≤ 100 partículas/mL (baixo), 100–300 (intermediário) e > 300 (alto), otimizando a manutenção preditiva (Dupuis, 2010).

CONCLUSÕES

O uso de óleos lubrificantes de alta qualidade em aerogeradores é essencial para sua operação confiável. Esses óleos ajudam a reduzir o desgaste, a corrosão e outros danos aos componentes mecânicos, prolongando sua vida útil e aumentando a disponibilidade do equipamento.

Contudo, a análise de óleos lubrificantes é uma ferramenta importante para avaliar a condição dos equipamentos e identificar problemas potenciais. A realização de análises periódicas pode ajudar a evitar falhas prematuras e reduzir custos de manutenção.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP (PRH-ANP 55.1), gestão FAPESP, pela infraestrutura disponibilizada e pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

BARRET, Michael P. *et al.* **Compreendendo a análise de óleo:** como ela pode melhorar a confiabilidade das caixas de engrenagens de turbinas eólicas. 2013. Disponível em: <https://www.geartechnology.com/ext/resources/issues/1113x/understanding-oil-analysis.pdf>. Acesso em: 10 out. 2023.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Transição energética:** a mudança de energia que o planeta precisa. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/transicao-energetica-a-mudanca-de-energia-que-o-planeta-precisa>. Acesso em: 29 out. 2023.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Expansão de usinas eólicas no país bate recorde em 2021, segundo Aneel.** Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/transicao-energetica-a-mudanca-de-energia-que-o-planeta-precisa>. Acesso em: 29 out. 2023.

CORONADO, D. *et al.* Avaliação e validação de sistemas de sensores de óleo para monitoramento on-line das condições de óleo de caixas de engrenagens de turbinas eólicas. 2014. In: **2ª Conferência Internacional sobre Inteligência Integrada de Sistemas: Desafios para Engenharia de Produto e Produção.** Disponível em:



<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212017314001625>. Acesso em: 10 jan. 2024.

CORREA, L. **Transição energética, políticas de inovação e desenvolvimento econômico: uma análise das iniciativas em energias eólica e solar fotovoltaica no Brasil**. 2021. Dissertação (Mestrado em Economia) – Programa de Pós-Graduação em Economia, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2021.

DUPUIS, Richard. Aplicação do monitoramento de detritos de óleo para prognósticos e gerenciamento de saúde de caixas de engrenagens de turbinas eólicas. 2010. In: **Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society**. Disponível em: <https://www.papers.phmsociety.org/index.php/phmconf/article/view/1867>. Acesso em: 02 fev. 2024.

GAO, Yali *et al.* Efeitos da concentração de sedimentos suspensos e do tipo de óleo na formação de óleos submersos e suspensos no Mar de Bohai. **Environmental Science: Processes & Impacts**, 2018.

SEQUEIRA, C. D. **Uma análise de vibrações como ferramenta para a melhoria da manutenção em aerogeradores**. 2012. Dissertação (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdades de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova Lisboa, Lisboa, 2012. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/9961/1/Sequeira_2012.pdf. Acesso em: 02 dez. 2023.

SHENG, Shuangwen. Monitoramento das condições da caixa de engrenagens de turbinas eólicas por meio da análise de óleo e resíduos de desgaste: uma perspectiva de testes em larga escala. **Tribology Transactions**, v. 59, n. 1, p. 149-162, 2016.

UADIALE, S.; URBÁN, E.; CARVEL, R.; LANGE, D.; REIN, G. Overview of Problems and Solutions in Fire Protection Engineering of Wind Turbines. In: **Proceedings of the Eleventh International Symposium on Fire Safety Science**, 2014. *Fire Safety Science*, v. 11, p. 983–995, 2014. Disponível em: https://publications.iafss.org/publications/fss/11/983/view/fss_11-983.pdf. Acesso em: 10 out. 2023.



ANÁLISE DA MISCIBILIDADE DO SISTEMA BIODIESEL METÁLICO DE GIRASSOL + DIESEL + ETANOL

Izaac Adonai do Nascimento

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Aline Mara Maia Bessa

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

RESUMO

O estudo da mistura álcool + biodiesel + diesel (AB-Diesel) apresenta-se como uma alternativa de combustível promissora, especialmente para o Brasil, um dos principais produtores de biodiesel e bioetanol do planeta. A adição do biodiesel e do álcool ao diesel tem ganhado atenção devido às características dessa mistura, uma vez que promove uma queima mais eficiente e reduz as emissões de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) e material particulado (MP). Uma característica importante para um combustível é ele ser monofásico, contribuindo para melhor queima e consequentemente melhor performance no motor. Neste sentido, este trabalho consistiu em avaliar a miscibilidade e estabilidade de diferentes composições da mistura entre etanol anidro ou hidratado, diesel comercial e biodiesel de girassol. As amostras foram avaliadas visualmente em período de 7, 14 e 28 dias em duas temperaturas (5 e 30 °C). Os resultados mostraram que o sistema contendo etanol anidro apresentou miscibilidade total na maior parte das composições testadas, enquanto no sistema contendo etanol hidratado a maioria das composições apresentaram imiscibilidade. Portanto, a mistura AB-Diesel com etanol hidratado apresenta menos possibilidades de composições possíveis. Foi verificado que ao longo do tempo a miscibilidade não foi alterada.

Palavras-chave: biocombustíveis; equilíbrio de fases; transição energética.

INTRODUÇÃO

O biodiesel é um biocombustível renovável produzido a partir de material graxo proveniente de óleos vegetais ou gorduras animais. Ele oferece alguns benefícios em comparação ao diesel derivado de petróleo, incluindo a redução das emissões de gases de efeito estufa, diminuição da dependência de recursos não renováveis, além da possibilidade de aproveitar matérias-primas residuais, como o óleo de fritura, por exemplo. Se comparado ao óleo diesel comum, o biodiesel pode reduzir em 78% as emissões de gás carbônico, reduz em 90% as emissões de fumaça e praticamente elimina as emissões de óxido de enxofre (Miyashiro *et al.*, 2013). O biodiesel é constituído de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos, obtidos da reação de transesterificação de um triglicerídeo (TG) com um álcool de cadeia curta na presença



de um catalisador, ou da reação de esterificação entre ácidos graxos com um álcool de cadeia curta (Knothe, 2006).

Misturas AB-Diesel contêm compostos oxigenados que favorecem uma combustão mais eficiente e diminuem as emissões de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) e material particulado (MP) (Torres-Jimenez *et al.*, 2011). Portanto, este estudo teve como objetivo analisar a miscibilidade e estabilidade entre etanol, diesel comum e biodiesel de girassol em diferentes composições e em duas temperaturas (5 e 30 °C).

METODOLOGIA

O biodiesel metílico de girassol foi produzido através da reação de transesterificação pela rota catalítica alcalina (NaOH), como descrito por Mesquita *et al.* (2011). O diesel S10 foi cedido pela empresa Brava Energia. Todas as amostras foram cuidadosamente armazenadas em condições controladas para evitar a absorção de umidade e a degradação.

Os parâmetros físico-químicos foram determinados por meio de análises laboratoriais, utilizando equipamentos fornecidos pelo Núcleo de Pesquisa de Baixo Carbono (NPCO2). A densidade, viscosidade e Ponto de Fulgor nos equipamentos da Anton Paar, DMA 4501, SVM 1101 e PMA 500, respectivamente. O índice de acidez foi determinado por meio de titulação. O espectro de infravermelho por transformada de Fourier no FTIR Cary 630 da Agilent.

Misturas de biodiesel, diesel e etanol foram preparadas em diferentes proporções volumétricas para determinar miscibilidade do sistema, tomando como base o estudo de Kwachareon *et al.* (2007). Foram preparadas 66 amostras compostas com volumes de 10 mL em frasco de vidro com tampa de silicone para observação da aparência física, variando as proporções de biodiesel, diesel e álcool anidro (99,5%) e hidratado (95%). Após a preparação, as formulações foram mantidas em repouso, em temperatura ambiente e a baixas temperaturas. A avaliação visual foi realizada em intervalos de 7, 14 e 28 dias, com o objetivo de observar o comportamento das misturas em termos de miscibilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os parâmetros de caracterização do biodiesel produzido. Todos os parâmetros estão em conformidade com a Resolução ANP n° 920, de 4 de abril de 2023. Como mostrado na Tabela 1, a densidade, a viscosidade e o índice de acidez do biodiesel produzido a partir de óleo de girassol estão dentro da faixa estabelecida pela ANP.

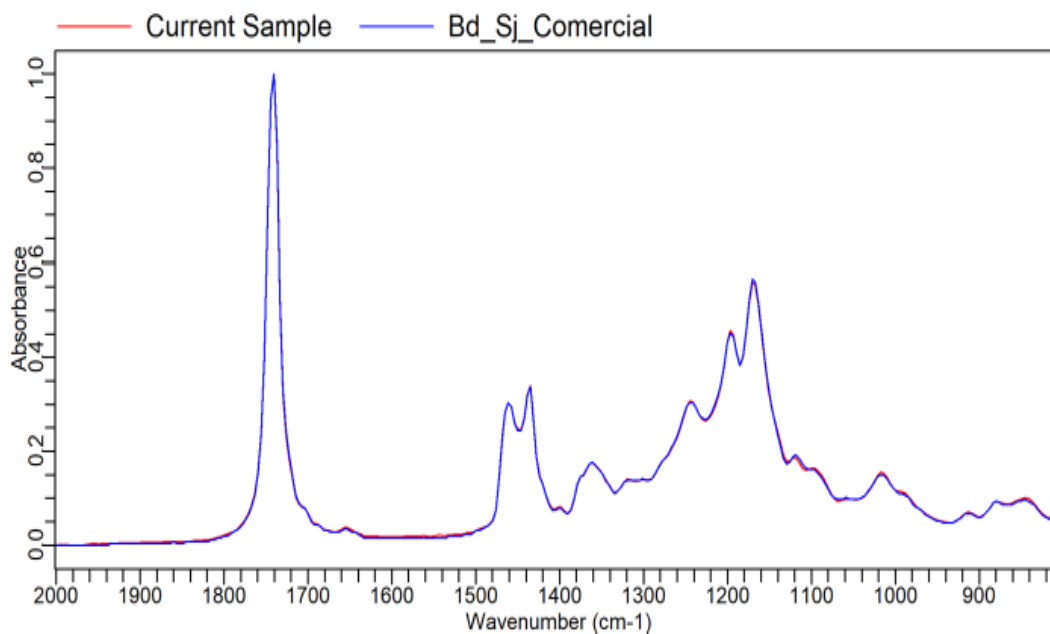


Tabela 1 - Parâmetros de caracterização do biodiesel de girassol.

Característica	Unidades	Valor limite	Valor obtido
Massa específica a 20 °C	Kg/m ³	850 - 900	867
Visc. Cinemática a 40°C	mm ² /s	3 - 6	4,3
Índice de acidez	mg KOH/g	>0,5	0,2
Ponto de fulgor	°C		169

O resultado do FTIR, mostrado na Figura 1, onde a linha azul representa o biodiesel produzido e em vermelho o comercial, fornece uma concepção de que a composição do biodiesel produzido é semelhante à do biodiesel comercial, onde a taxa de similaridade foi de 99,97%.

Figura 1 – Análise de FTIR.



As Figuras 2 e 3 mostram os diagramas ternários, obtidos a partir da análise visual após 14 dias de repouso das amostras para o etanol anidro e hidratado, respectivamente.



Figura 3 – Diagramas ternários para as misturas AB-Diesel com álcool anidro.

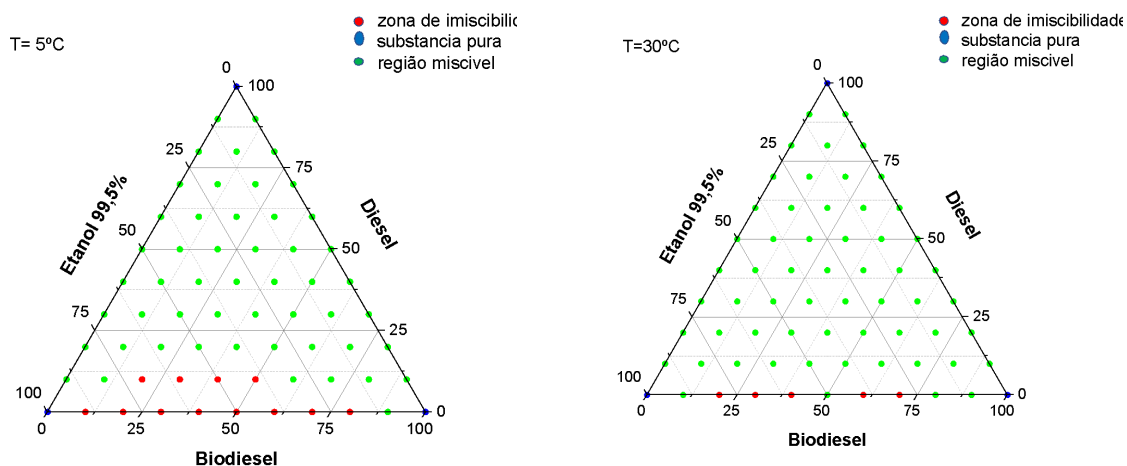
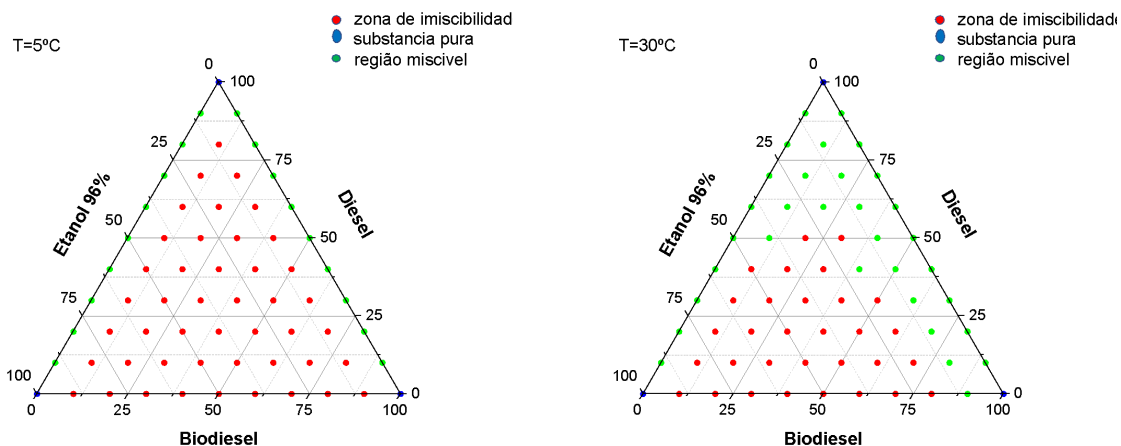


Figura 4 – Diagramas ternários para as misturas AB-Diesel com álcool hidratado.



Os diagramas ternários indicam que o etanol com pureza de 99,5% apresenta uma melhor miscibilidade com Diesel e Biodiesel em comparação ao etanol de 96%, comportamento esperado devido a maior quantidade de água no etanol hidratado. Portanto, o sistema contendo etanol anidro apresenta mais possibilidades de composições para a formulação da mistura combustível. Em temperaturas mais baixas, como 5°C, a região de imiscibilidade é maior, mostrando a influência da temperatura na mistura AB-Diesel.

CONCLUSÕES

Utilizando etanol anidro em temperatura ambiente e em baixas temperaturas, observou-se uma maior miscibilidade quando comparado ao etanol hidratado, o que pode indicar uma faixa maior de composições possíveis para testes em motores de ciclo diesel.



AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP (PRH-ANP 55.1), gestão FAPESP, pela infraestrutura disponibilizada e pelo financiamento da pesquisa, incentivo e oportunidade. Agradecem também à empresa Brava Energia por disponibilizar diesel puro para os experimentos realizados.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. **Resolução ANP 42 de 24/11/2004**. Disponível em: <http://www.anp.gov.br>. Acesso em: 7 nov. 2024.

DIAS, F. P. **Aproveitamento de vísceras de tilápia para produção de biodiesel**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

GANDOLFI, M. V. C. **Estudo da síntese de biodiesel a partir do óleo de girassol refinado e etanol anidro**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

HANSEN, A. C.; ZHANG, Q.; LYNE, P. W. L. Ethanol-diesel fuel blends: a review. **Bioresource Technology**, v. 96, n. 3, p. 277-285, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.04.007>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção de milho em grão**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/milho-em-grao/br>. Acesso em: 8 nov. 2024.

KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J.; RAMOS, L. P. **Manual do biodiesel**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Edgar Blücher, 2006.

KWANCHAREON, P.; LUENGNARUEMITCHAI, A.; JAI-IN, S. Solubility of a diesel-biodiesel-ethanol blend, its fuel properties, and its emission characteristics from diesel engine. **Fuel**, v. 86, n. 7-8, p. 1053-1061, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.09.034>.



SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BIOCHAR A PARTIR DA CASCA DA CASTANHA DE CAJU

Jesus Glaubert da Conceição Santos

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Frederico Ribeiro do Carmo

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

RESUMO

O biochar é um material rico em carbono produzido a partir da pirólise de matéria orgânica, como resíduos orgânicos, agrícolas e agroindustriais. Reconhecido como uma das principais tecnologias para a remoção de dióxido de carbono da atmosfera, o biochar também é aplicado em solos agrícolas, contribuindo para o sequestro de carbono e a melhoria da fertilidade do solo. No Rio Grande do Norte, terceiro maior produtor de castanha de caju no Brasil, a casca da castanha de caju destaca-se como um subproduto abundante e com potencial para a produção de biochar. Neste trabalho foi realizada a simulação do processo de pirólise da casca de castanha de caju utilizando um simulador de processos Aspen Plus v.11. Os resultados apresentaram o seguinte desvio relativo: 18,11%, 3,03%, -23,80% e -22,16% para as temperaturas de reação iguais a 350°C, 450°C, 550°C e 700°C, respectivamente.

Palavras-chave: simulação de processos; descarbonização; pirólise.

INTRODUÇÃO

O biochar é um produto rico em carbono obtido a partir da pirólise de matéria orgânica, especialmente resíduos agrícolas. Reconhecido como um excelente sequestrante de carbono em solo, o biochar tem ganhado destaque como uma solução promissora para a mitigação das mudanças climáticas. Sua aplicação no solo não apenas auxilia na remoção de dióxido de carbono da atmosfera, mas também melhora a qualidade do solo, promovendo benefícios ambientais e agrícolas. (Wolf; Lehmann; Lee, 2016)

Simulações de processos ajudam a otimizar o rendimento do biochar, economizando recursos em relação a experimentos físicos, e a viabilidade econômica da produção de biochar pode ser afetada pelo tipo de biomassa. A combinação de simulações e estudos práticos contribui para a modelagem econômica e ambiental do processo, promovendo o uso do biochar na gestão de resíduos agrícolas e na economia de baixo carbono. (Liu *et al.*, 2022)

Considerando que a simulação do processo de produção de biochar é uma etapa importante para viabilizar projetos sustentáveis tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico, neste trabalho, realizou-se a simulação do processo de produção de biochar a partir da casca de castanha de caju, resíduo amplamente gerado no estado do Rio Grande do Norte, utilizando o simulador de processos Aspen Plus v. 11.



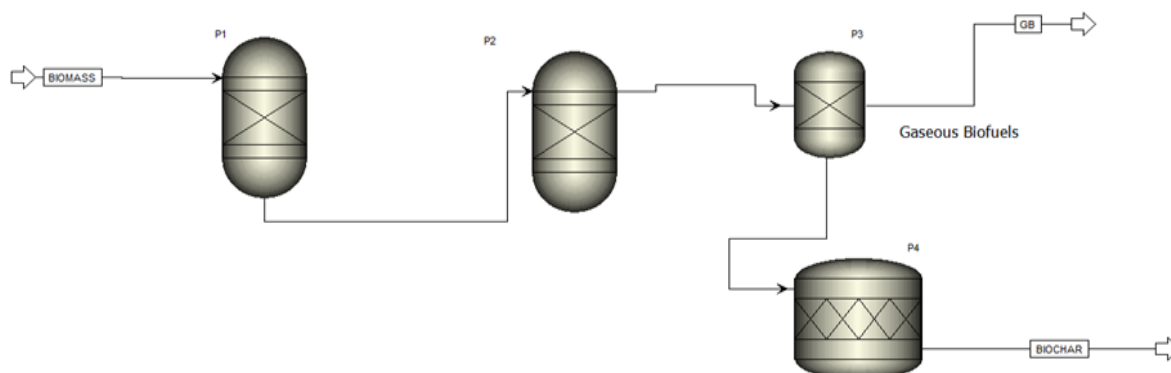
METODOLOGIA

A simulação do processo de pirólise da biomassa para produção de biochar foi realizada no software Aspen Plus V11, configurado para operar em estado estacionário. A biomassa utilizada foi a casca da castanha de caju, configurada como componente não-convencional, pois não possui fórmula molecular única e não está no banco de dados do Aspen Plus (Liu *et al.*, 2022). Neste caso, os dados de entrada são a análise elementar e imediata da biomassa.

O fluxograma do processo simulado é apresentado na Figura 1. A biomassa seca foi processada em um reator de rendimento (RYield-P1), que converte componentes não-convencionais da biomassa em seus equivalentes convencionais, permitindo a continuação da simulação. A pirólise foi realizada em um reator de equilíbrio (Rgibbs-P2), que opera com base no princípio de minimização da energia livre de Gibbs para decompor a biomassa em biochar, gases e outros produtos ao longo de uma faixa de temperatura que variou entre 350 °C e 700 °C. Usou-se um separador (SEP-P3) para separar a parte sólida das demais, um reator (Rstoic-P4) para simular a composição do biochar e seu rendimento final.

Ao variar a temperatura do reator (Rgibbs-P2), foi possível observar a relação entre a temperatura e o rendimento, buscando identificar a condição ideal para maximizar sua produção. De modo a avaliar a precisão da simulação, comparou-se os resultados com os dados de experimentos realizados no Laboratório de Tecnologia da Biomassa do Núcleo de Economia de Baixo Carbono (NPCO2) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Durante a simulação, as cinzas presentes na biomassa foram consideradas inertes, não participando das reações subsequentes.

Figura 1 – Fluxograma do processo de produção de biochar no Aspen Plus v. 11.





RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os valores de rendimento de biochar, experimental e simulado, em função da temperatura de reação para o processo de pirólise da casca da castanha de caju. Conforme pode ser observado, os valores obtidos na simulação seguem o padrão dos dados experimentais, onde o rendimento diminui à medida que a temperatura de pirólise aumenta.

Tabela 1 – Dados de rendimento em função da temperatura para a pirólise da casca da castanha de caju.

Temperatura de reação/°C	Rendimento (experimental)	Rendimento (simulado)	Desvio relativo
350	45,82%	37,52%	18,11%
450	36,01%	37,10%	3,03%
550	29,41%	36,41%	-23,80%
700	23,92%	29,22%	-22,16%

Conforme a temperatura de pirólise aumenta, há uma diminuição mais acentuada no rendimento de biochar acima de 700 °C, sendo que entre 350°C e 550 °C a variação é menos significativa. Essa tendência está relacionada com a despolimerização de componentes da biomassa e o aumento da liberação de voláteis em temperaturas mais elevadas, como apontado em estudos prévios (Kaur *et al.*, 2023). Conforme observado na Tabela 1, para temperaturas abaixo de 550°C os valores simulados são superestimados, enquanto para temperaturas acima os valores são subestimados.

CONCLUSÕES

A simulação do processo de produção de biochar a partir da casca de castanha de caju, realizada no software Aspen Plus V11, demonstrou ser uma ferramenta eficaz para prever o rendimento do biochar, apresentando desvios relativos entre -23,80% e 3,03% nas temperaturas avaliadas. Esses resultados destacam a viabilidade e a precisão das simulações computacionais como uma alternativa prática e eficiente para o estudo de processos de pirólise. Além de reduzir significativamente a necessidade de experimentos laboratoriais, que frequentemente demandam tempo e recursos elevados, a simulação permite a otimização do processo de produção, contribuindo para a maximização do rendimento de biochar.



AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP (PRH-ANP 55.1), gestão FAPESP, pela infraestrutura disponibilizada e pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- KAUR, R. *et al.* Characterization of slow pyrolysis products from three different cashew wastes. **Bioresource Technology**, v. 376, p. 128859, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.128859>.
- LIU, Y. *et al.* Process simulation of preparing biochar by biomass pyrolysis via Aspen Plus and its economic evaluation. **Waste and Biomass Valorization**, v. 13, n. 5, p. 2609-2622, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01671-z>.
- WOOLF, D.; LEHMANN, J.; LEE, D. R. Optimal bioenergy power generation for climate change mitigation with or without carbon sequestration. **Nature Communications**, v. 7, p. 1-11, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/ncomms13160>.



ANÁLISE DA PEGADA DE CARBONO DA PRODUÇÃO DE BIOCHAR NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO A PARTIR DE MATÉRIAS-PRIMAS CULTIVADAS EM ÁREAS AFETADAS POR SAIS

Juciane Vieira de Assis

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Thiago Henrique Freire de Oliveira

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Bárbara Samartini Queiroz Alves

Shell

Frederico Ribeiro do Carmo

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

RESUMO

Em 2020, o Brasil se comprometeu a reduzir suas emissões de gases de efeito estufa em 37%, abrangendo setores como agricultura e bioenergia. Como um dos maiores produtores de alimentos e biocombustíveis, o país enfrenta desafios na expansão sustentável, especialmente nas regiões semiáridas, onde solos salinos dificultam a agricultura. Este estudo tem como objetivo avaliar sistemas BEBCS (bioenergia-biochar com captura de carbono) para viabilizar a produção sustentável de energia, o aumento do sequestro de carbono e a recuperação de solos salinizados na região. Serão realizados um mapeamento de áreas salinas e um inventário de matérias-primas para a produção de biochar. Até o momento foram produzidos biochars da erva-sal e cascas de castanha de caju em diferentes temperaturas. Os resultados indicaram que, à medida que a temperatura aumentava, o rendimento do biochar diminuía, enquanto o pH e a condutividade elétrica aumentavam. Na análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV), temperaturas mais altas também evidenciaram a formação de poros na estrutura do material. No entanto, análises adicionais são necessárias para uma caracterização mais completa do material.

Palavra-chave: descarbonização; biochar; bioenergia; mudanças climáticas.

INTRODUÇÃO

Em dezembro de 2020, o Brasil enviou à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança Climática (UNFCCC) sua nova Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) ao Acordo de Paris, comprometendo-se a reduzir em 37% suas emissões líquidas de gases de efeito estufa (GEE) até 2025 e em 43% até 2030, com base nos níveis de 2005. Esses compromissos abrangem os setores de energia, agricultura, florestas, resíduos e processos industriais, com foco na bioenergia como



uma fonte chave para a sustentabilidade e a mitigação dos impactos climáticos (Brasil, 2023).

Embora o Brasil se destaque como um dos maiores produtores de alimentos e biocombustíveis, a expansão sustentável dessas atividades encontra desafios, especialmente nas regiões semiáridas. Nessas áreas, os solos marginais, frequentemente salinizados, limitam a produtividade agrícola. No entanto, estudos apontam que o Semiárido Brasileiro, com cerca de 16 milhões de hectares de solos afetados por sais, apresenta grande potencial para a expansão da bioenergia, utilizando terras que não competem com a produção de alimentos (Gheyi *et al.*, 2022).

Dado o papel estratégico do Semiárido Brasileiro na expansão da bioenergia e o potencial do biochar — um material produzido pela conversão térmica de biomassa orgânica em condições controladas de oxigênio — como ferramenta para recuperar solos salinos, a produção de biochar a partir de matérias-primas locais surge como uma solução promissora. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar a aplicação de sistemas BEBCS (bioenergia-biochar com captura de carbono) para viabilizar a produção sustentável de energia, o aumento do sequestro de carbono e a recuperação de solos salinizados na região.

METODOLOGIA

O estudo iniciou com a identificação das áreas afetadas pela salinização no Semiárido Brasileiro, utilizando uma revisão sistemática da literatura baseada em fontes confiáveis, como EMBRAPA, INPE e FAO, para garantir a precisão na localização e caracterização das regiões impactadas.

Na sequência, será elaborado um inventário das matérias-primas com potencial para a produção de biochar, considerando sua viabilidade de cultivo em áreas salinas e secas, bem como sua adequação ao sistema de bioenergia-biochar (BEBCS). Para isso, foram consultados bancos de dados da EMBRAPA, FAO e USDA, com foco em espécies tolerantes às condições adversas do Semiárido, assegurando sua adaptabilidade e funcionalidade no sistema.

A terceira etapa, atualmente em andamento, consiste na produção e caracterização do biochar a partir das principais espécies e resíduos agrícolas gerados na região. A produção será realizada em três diferentes temperaturas, a saber: 350° C, 450° C e 550° C. A caracterização seguirá as recomendações do World Biochar Certificate (2023).

Posteriormente, será realizada simulação para diferentes cenários de aplicação de biochar, considerando o efeito da decomposição do material e a retenção de carbono no solo. A calibração e validação do modelo RothC serão realizadas utilizando dados reais da região. Por fim, será conduzida uma avaliação do ciclo de vida (ACV), conforme as normas ISO 14040, 14044 e 14067, para quantificar a pegada de carbono do sistema BEBCS das espécies avaliadas.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a identificação das áreas impactadas pela salinização no Semiárido Brasileiro, foi utilizado o estudo de Cordeiro (2003), que mapeou as regiões afetadas na região, destacando estados como Bahia (3.067.700 hectares) e Ceará (2.325.700 hectares).

Até o momento, as espécies adaptadas ao clima Semiárido que apresentam boa tolerância à salinidade escolhidas para este trabalho foram: erva-sal (*Atriplex nummularia*), palma forrageira (*Opuntia stricta Howard*), sorgo biomassa (*Sorghum bicolor*), capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) e agave (*Agave sisalana*). Além disso, resíduos agrícolas amplamente disponíveis na região, como casca de castanha de caju e de coco também serão avaliados.

Até o momento foram produzidos os biochars da erva-sal (ES) e da casca da castanha de caju (CCC) em três temperaturas (350° C, 450° C e 550° C). No tocante à caracterização, os seguintes parâmetros foram obtidos para os biochars produzidos: rendimento, pH, condutividade elétrica (CE) e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Os resultados indicam que o rendimento do biochar diminuiu com o aumento da temperatura de pirólise. A ES apresentou rendimentos de 46%, 39% e 33% e a CCC de 45%, 33% e 28% a 350°C, 450°C e 550°C, respectivamente, refletindo maior decomposição em temperaturas elevadas.

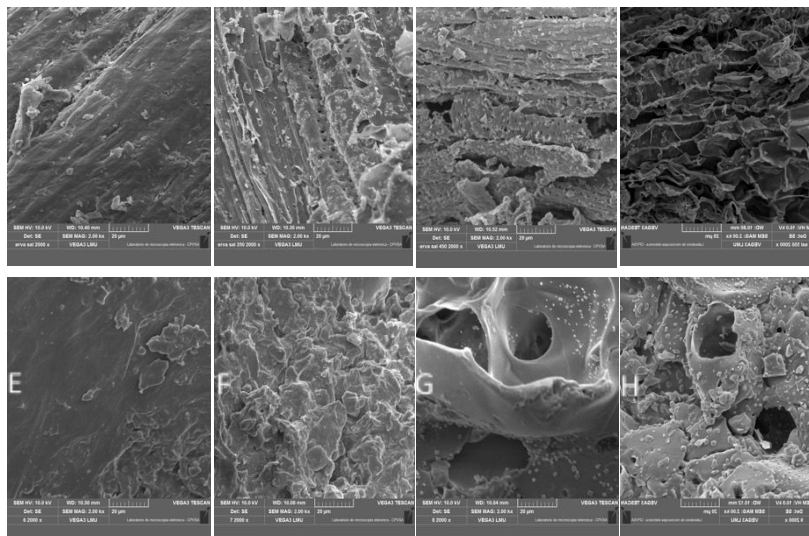
O pH da ES aumentou de 6,9 *in natura* para 9,7 a 350°C e 10,5 a 450°C e 550°C, enquanto o pH da CCC subiu de 3,93 *in natura* para 6,14 a 350°C, 8,37 a 450°C e 9,53 a 550°C, sugerindo o potencial do biochar para correção de solos ácidos.

A CE também variou com a temperatura: na ES, aumentou de 0,00364 dS/m *in natura* para 0,00592 dS/m a 350°C, 0,00875 dS/m a 450°C e 0,00954 dS/m a 550°C; na CCC, foi de 0,8145 dS/m *in natura*, caindo para 0,2205 dS/m a 350°C, subindo para 0,488 dS/m a 450°C e 1,661 dS/m a 550°C.

A Figura 1 apresenta os resultados de MEV dos biochars mencionados. Conforme pode ser observado, com o aumento da temperatura, há uma intensificação no desenvolvimento de poros na superfície do material. Esse comportamento ocorre porque, durante o aquecimento da biomassa, os compostos orgânicos voláteis, como a água e diversos gases, além de componentes estruturais como celulose e hemicelulose, são degradados e liberados na forma de gases. Esse processo, particularmente evidente nas amostras mais aquecidas, resulta na formação de espaços vazios e cavidades, gerando porosidade.



Figura 1 – Microscopia Eletrônica de Varredura da erva-sal (A: *in natura*, B: 350, C: 450, D: 550) e da casca da castanha de caju (E: *in natura*, F: 350, G: 450, H: 550).



CONCLUSÕES

Os biochars produzidos até momento, a partir da ES e CCC, mostraram-se promissores, mas é necessário avaliar outras características. Ainda serão produzidos biochars de outras biomassas, como capim-elefante, sorgo biomassa, agave e casca do coco, que também passarão por caracterização detalhada. Posteriormente, simulações com o modelo RothC serão conduzidas para avaliar o estoque de carbono no solo com a incorporação do biochar, além da realização de uma Avaliação de Ciclo de Vida.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio financeiro do Programa de Formação de Recursos Humanos para o Setor de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (PRH-ANP), gestão FAPESP. Além disso, ao Programa de Pós-Graduação em Manejo do Solo e Água (PPGMSA) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), bem como ao Núcleo de Pesquisa em Economia em baixo Carbono, pela infraestrutura disponibilizada.



REFERÊNCIAS

BRASIL. **Nationally Determined Contribution (NDC) to the Paris Agreement under the UNFCCC**. 2023. Disponível em: <https://unfccc.int/documents/633022>. Acesso em: 19 ago. 2024.

CORDEIRO, G. G. **Salinidade em áreas irrigadas**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 32 p. 2003.

GHEYI, H. R. *et al.* Management and reclamation of salt-affected soils: general assessment and experiences in the Brazilian semiarid region. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 53, p. e20217917, 2022.

WORLD BIOCHAR CERTIFICATE. **Guidelines for a sustainable production of biochar and its certification**. Frick, Switzerland: Carbon Standards International, 2023. Disponível em: <https://www.carbon-standards.com/docs/transfer/4000036EN.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2024.



POTENCIALIDADE DO USO DA ÁGUA PRODUZIDA DA INDÚSTRIA PETROLÍFERA NA PRODUÇÃO DO ALGODOEIRO NATURALMENTE COLORIDO

Karen Geovana da Silva Carlos

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Francisco de Assis de Oliveira

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

RESUMO

Na região Nordeste grande parte dos poços são classificados como maduros e produzem elevado volume de água produzida (AP). Essas águas podem apresentar potencial elevado de contaminação ambiental. Estudos têm demonstrado que essa fonte hídrica tem potencial para ser utilizada na produção agrícola, no entanto deve se dar atenção a escolha da cultura, tendo em vista que se deve evitar o uso da mesma em culturas que sejam utilizadas diretamente para o consumo humano ou animal. A presente pesquisa será desenvolvida com o objetivo de avaliar a potencialidade do uso de AP na produção do algodoeiro de pluma naturalmente colorida, com foco no rendimento e qualidade da pluma. O experimento será desenvolvido seguindo o delineamento em blocos casualizados, no arranjo de esquema fatorial 2x5, sendo duas cultivares de algodoeiro de fibra naturalmente colorida (BRS Rubi e BRS Topázio) e com 5 tipos de água obtidas pela mistura de três fontes (AA - água de abastecimento; AP1 - água produzida da Brava Energia; AP2 - água produzida da Mandacaru), assim definidas: A1 - 100% AA, A2 - 100% AP1, A3 - 100% AP2, A4 - 50%AA + 50%AP1, A5 - 50%AA + 50%AP2. O experimento terá 4 repetições, cada tratamento representado por 2 vasos com capacidade para 20L e uma planta por vaso. Será utilizado o sistema de irrigação por gotejamento. As plantas serão analisadas a partir das variáveis fisiológicas, crescimento, variáveis agrônômicas e qualidade da fibra. Os resultados obtidos nessa pesquisa serão de grande importância nos aspectos econômicos e ambientais, pois será possível determinar a viabilidade do uso da AP, de duas empresas parceiras, e a cultivar que apresente maior adaptação utilizando essas águas.

Palavras-chave: *Gossypium hirsutum* L.; reuso industrial; recursos naturais; mitigação de danos ambientais.

INTRODUÇÃO

O petróleo é uma fonte energética fundamental para muitos países, uma vez que serve de insumo para inúmeros setores industriais (automobilístico, têxtil, agrícola, químico), devido aos seus diversos derivados como: a gasolina, o óleo diesel, óleos combustíveis e entre outros. Inclusive os usos na indústria petroquímica possuem vasta



aplicabilidade, tornando-se uma matéria prima de difícil substituição, em curto prazo, na matriz energética mundial (Gomes, 2014).

Na região nordeste a maior parte do petróleo produzido é oriundo de poços terrestres. No Rio Grande do Norte a maior parte dos campos de produção de petróleo e gás localizados na sua região semiárida são classificados como maduros, sendo uma das principais características a produção de grandes volumes de água produzida (AP) juntamente com o óleo. Além disso, o petróleo é o fluido de interesse econômico e neste caso a água não possui nenhum valor comercial (Assunção; Vieira; Ho, 2020).

Devido a composição química da água produzida pela indústria do petróleo, o seu uso na irrigação deve-se preferencialmente em culturas que não sejam destinadas para o consumo direto. De acordo com Costa (2018), quando adequadamente tratada, a água produzida pode-se tornar uma alternativa para irrigar culturas cujos produtos não se destinam diretamente ao consumo humano ou animal, como é o caso do algodão (*Gossypium hirsutum* L.) podendo ser destinado para a produção de pluma ou de biocombustível. No Brasil, o cultivo de algodão irrigado na região semiárida é uma ótima oportunidade para o setor algodoeiro, visto que devido às características climáticas na região semiárida são produzidas fibras de ótima qualidade, e em áreas irrigadas são alcançadas excelentes produtividades (Brito *et al.*, 2011).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho será avaliar a potencialidade do uso da água produzida na produção do algodoeiro de pluma naturalmente colorida, com foco no rendimento e na qualidade da pluma.

METODOLOGIA

O experimento será conduzido em área experimental do Departamento de Ciências Agrônômicas e Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), campus Oeste, a 5°12'48" de latitude Sul, 37°18'44" longitude Oeste e altitude de 37 m acima do nível do mar, localizada na BR 110, km 47, no município de Mossoró-RN.

As águas produzidas utilizadas no experimento serão fornecidas pelas empresas Brava Energia e Mandacaru Energia, sendo um sistema de irrigação por gotejamento independente para cada tipo de água, contendo: 5 caixas d'água, 5 motobomba, mangueiras laterais de 16mm e gotejador do tipo microtubo para cada vaso e duas cultivares de algodão de pluma naturalmente colorida, sendo elas a BRS Rubi e a BRS Topázio (Carvalho, 2011).

O solo será coletado na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, pertencente à UFERSA, localizada no distrito de Alagoinha, em Mossoró - RN, e classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico argissólico (Costa Filho *et al.*, 2019). A adubação será realizada de fundação e fertirrigação ao longo do experimento de acordo com a análise do solo.



O delineamento será em blocos casualizados, no arranjo de esquema fatorial 2x5, sendo duas cultivares de algodoeiro de fibra naturalmente colorida (BRS Rubi e BRS Topázio) e com 5 tipos de água obtidas pela mistura de três fontes (AA - água de abastecimento; AP1 - água produzida da Brava Energia; AP2 - água produzida da Mandacaru), assim definidas: A1 - 100% AA, A2 - 100% AP1, A3 - 100% AP2, A4 - 50%AA + 50%AP1, A5 - 50%AA + 50%AP2. O experimento terá 4 repetições, cada tratamento representado por 2 vasos com capacidade para 20L e uma planta por vaso. A implantação da cultura será feita por meio da semeadura direta, colocando cinco sementes em cada vaso.

As características avaliadas serão: 1- Variáveis fisiológicas: fotossíntese e trocas gasosas; 2- Crescimento: altura total, área foliar, ramos vegetativos e ramos reprodutivos, número de capulhos e massa seca (caule, folhas e frutos); 3- Variáveis agrônômicas: produtividade de algodão em caroço, produtividade de algodão em pluma, percentual de fibra, massa de sementes totais, número de sementes totais e peso de 100 sementes; 4- Qualidade de fibra: comprimento de fibra, índice de micronaire, maturidade de fibra, resistência da fibra, uniformidade de comprimento, índice de fibras curtas e reflectância.

As análises serão feitas usando o programa estatístico SISVAR, versão 5.3 (Ferreira, 2011).

RESULTADOS ESPERADOS

Com os dados obtidos será possível mensurar o consumo hídrico de AP e a economia de água potável na produção e na qualidade de algodão de fibra naturalmente colorida, determinando dentre as empresas parceiras, qual a fonte de AP apresenta melhor características químicas com potencial para irrigação. Além disso, analisar a viabilidade técnica e econômica do uso de AP no setor da cotonicultura e avaliar a potencialidade da cultura do algodão colorido na redução do descarte de AP e, conseqüentemente, menor dano ambiental.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nessa pesquisa serão de grande importância nos aspectos econômicos e ambientais, pois será possível determinar a viabilidade do uso da AP, de duas empresas parceiras, e a cultivar que apresente maior adaptação utilizando essas águas.



AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP (PRH-ANP 55.1), gestão FAPESP, pela infraestrutura disponibilizada e pelo financiamento da pesquisa, e as empresas Brava Energia e Mandacaru Energia pela disponibilização da água residual de petróleo.

REFERÊNCIAS

ASSUNÇÃO, C. S. L. T.; VIEIRA, M. M.; HO, L. L.; The use of control chart for a continuous monitoring of the water-oil ratio in fields of the Potiguar basin/Brazil. *Acta Scientiarum. Technology*, Maringá, v. 42, e42066, 2020.

BRITO, G. G. et al. Physiological traits for drought phenotyping in cotton. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 33, n. 1, p. 117-125, 2011.

COSTA FILHO, G. D.; SILVA, A. C. R.; SOUZA, C. M. M.; MANIÇOBA, F. E.; LIMA, R. N. S.; RÊGO, L. G. S. Formas de ferro em solos representativos da fazenda experimental “Rafael Fernandes”, no município Mossoró-RN. *In: reunião nordestina de ciência do solo: uso sustentável do solo e segurança alimentar no nordeste brasileiro*, 4., 2019, Teresinha Anais...Teresina: NRNE/SBCS, Embrapa Meio-Norte, UFPI, UESPI, IFPI, 2019.

COSTA, Fabrícia Gratyelli Bezerra. **Produção e capacidade de fitoextração do girassol (*Heliantus annus*) irrigado com água produzida**. 2018. 92 f. Tese. Pós – graduação em manejo de solo e água- Universidade Federal do Semi-Árido, Mossoró-RN, 2018.

DE CARVALHO, LUIZ PAULO; DE ANDRADE, FRANCISCO PEREIRA; DA SILVA FILHO, JOÃO LUIS. Cultivares de algodão colorido no Brasil. 2011. **Revista Brasileira de oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v.15, n.1, p.37-44, jan./abr. 2011

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

GOMES, A. P. P. **Gestão ambiental da água produzida na indústria de petróleo: melhores práticas e experiências internacionais**. 2014. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 120f., 2014.



SÍNTESE DE BIOCHAR A PARTIR DE RESÍDUOS DE COCO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA PRODUZIDA

Lara Beatriz Pereira de Lima

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Marcos Luiz Melo Chaves Fontes

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Frederico Ribeiro do Carmo

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Poliana Pinheiro da Silva

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

RESUMO

O biochar proveniente do coco (*Cocos nucifera*) é considerado um dos principais adsorventes naturais devido à sua disponibilidade, baixo custo e composição química favorável. Este estudo tem como objetivo produzir biochar a partir de resíduos de coco, visando sua utilização como adsorvente de nitrato em águas produzidas. Inicialmente, a biomassa passou por pré-tratamento físico, incluindo moagem e peneiração para padronizar a granulometria. A caracterização incluiu a análise de umidade, cinzas e morfológica. Os biochars foram produzidos sob condições controladas, variando a temperatura de pirólise (500 e 700°C), resultando em rendimentos de 35,30% e 31,45%, respectivamente, com a redução do rendimento explicada pela maior conversão da biomassa à medida que a temperatura aumentava. A análise morfológica (MEV) mostrou uma estrutura com feixes vasculares e poros internos, destacando-os como potenciais adsorventes de baixo custo para remoção de contaminantes. O estudo contribui para soluções sustentáveis na purificação da água utilizando um recurso renovável.

Palavras-chave: biomassa; pirólise; adsorvato.

INTRODUÇÃO

O descarte em massa de resíduos agrícolas, impulsionado pelo crescimento populacional, gera poluição ambiental e problemas de saúde, criando uma demanda por formas sustentáveis de utilização da biomassa para reduzir emissões de gases de efeito estufa, poluição e perda de nutrientes no solo. O biochar se destaca como uma solução eficiente e de baixo custo, produzido por pirólise, um processo termoquímico que decompõe a biomassa em ambiente de baixo oxigênio. O coco, uma cultura tropical com grande importância econômica, pois o Brasil é o quarto maior produtor mundial de coco, com 2,47 milhões de toneladas em 2022 (FAOSTAT, 2022).



O interesse no biochar surge pela sua versatilidade, sendo utilizado para adsorver metais e purificar água (Palansooriya *et al.*, 2019). Para evitar impactos ambientais e problemas à saúde humana, o Ministério da Saúde, por meio da Portaria de Consolidação nº 5 de 2017, estabeleceu a concentração máxima permitida de nitrato [N-NO₃] em 10 mg·L⁻¹ nas águas de abastecimento (Brasil, 2017). Com o aumento da preocupação por tecnologias eficientes e econômicas para remoção de contaminantes, a adsorção utilizando biochar se destaca, dado que a matéria-prima é amplamente disponível e os biochars são eficazes para diversos tipos de contaminantes (Sulyman *et al.*, 2017). Este estudo preliminar tem como objetivo investigar a produção de biochar a partir de resíduos de coco, visando seu uso como adsorvente para nitrato em águas produzidas.

METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada nos laboratórios do Núcleo de Pesquisa em Economia de Baixo Carbono da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, em Mossoró, Rio Grande do Norte, utilizando resíduos de coco (endocarpo, mesocarpo e epicarpo) cedidos por comerciantes locais. Os resíduos foram cortados em partículas de aproximadamente 5 cm, lavados com água de abastecimento e secos em estufa a 65 °C por 72 horas para remoção de umidade. Após, passaram por moagem utilizando uma forrageira, sendo peneirados a 35 mesh para padronização da granulometria. A caracterização da biomassa seguiu os procedimentos de análise de material lignocelulósico da EMBRAPA (Morais, 2010), com os parâmetros avaliados em triplicata, incluindo umidade, voláteis, carbono fixo e cinzas.

Em seguida os biochars foram sintetizados sob atmosfera de baixo oxigênio, baseado na metodologia adaptada de (Silva *et al.*, 2024). Para produção foram usado 200 g de resíduo do coco em uma cápsula devidamente fechada em um forno mufla (EDG, modelo 3000), com tempo de residência de 1 h, taxa de aquecimento de 10 °C/min e a temperatura variando entre 500 e 700 °C. Após a reação calculou-se o rendimento de biochar de acordo com a equação 1.

$$R (\%) = \frac{m_b}{m_{ic}} \cdot 100 \quad (1)$$

Em que m_b representa a massa produzida de biochar e m_{ic} a massa inicial do coco.

A análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) avalia as características morfológicas e estruturais das amostras. Para isso, foi utilizado o equipamento Tescan Vega 3, operando a 30 kV com detector de elétrons secundários, em ampliações de 5000x, 20000x e 40000x. A análise foi realizada no Laboratório de Microscopia Eletrônica da UFRSA.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização imediata da biomassa do coco visou conhecer a potencialidade deste material no que concerne à sua utilização para produção de biochar, baseado na análise da sua composição com relação aos teores de umidade, cinzas, voláteis e carbono fixo. Os dados quanto a estes teores são apresentados na Tabela 1. Além disso, apresenta-se um comparativo com os dados obtidos por Windeatt *et al.* (2014) e Tsamba *et al.* (2006).

Tabela 1 – Comparação da caracterização da biomassa do coco.

Componente da biomassa	Teor (% em base seca) ^a	Teor (% em base seca) ^b	Teor (% em base seca) ^c
Umidade	6,2	5,7	-
Voláteis	73,3	85,3	74,9
Carbono fixo	23,9	14,7	24,4
Cinzas	2,7	-	0,7

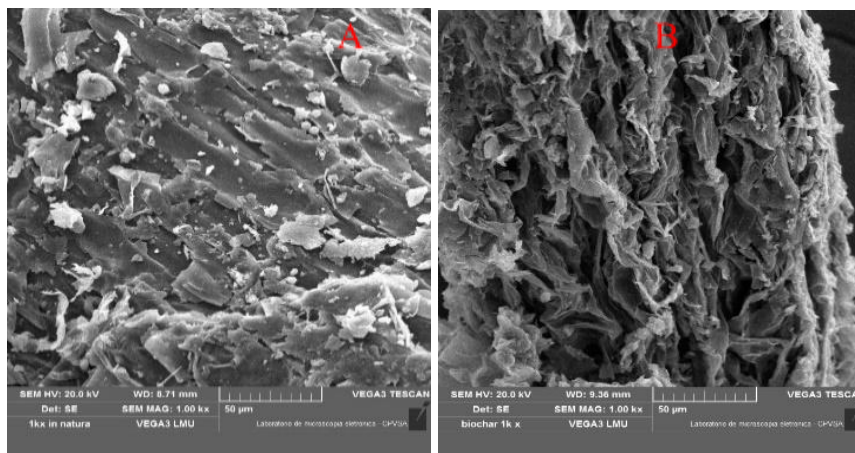
Fonte: ^a Este trabalho; ^b Windeatt *et al.* (2014) e ^c Tsamba *et al.* (2006).

A composição da biomassa de coco utilizada neste estudo foi semelhante à descrita na literatura, com pequenas variações que podem ser atribuídas às diferentes idades e períodos de colheita da biomassa, que influenciam as propriedades das fibras e a composição química. Os biochars produzidos a 500 e 700 °C apresentaram rendimentos de 35,30% e 31,45%, respectivamente, indicando que a redução no rendimento com o aumento da temperatura pode ser relacionada à transformação da composição lignocelulósica da biomassa e à desidratação do grupo hidroxila (AL-WABEL *et al.*, 2013).

As micrografias MEV são apresentadas na Figura 1, onde a morfologia da biomassa do coco (Figura 1A) revelou que a biomassa é fibrosa e possui superfície heterogênea e rugosa. Já a micrografia do biochar produzido a 500 °C (Figura 1B) mostra que sua superfície apresenta pequenos poros distribuídos uniformemente como resultado da volatilização destrutiva de compostos orgânicos lignocelulósicos, o que resultou na perda de alguns compostos.

Com os resultados obtidos foi possível identificar os parâmetros de produção do biochar a partir da biomassa do coco, obtendo-se um material que fornecerá subsídios importantes para o desenvolvimento de pesquisas futuras voltadas à aplicação do biochar em ensaios de adsorção.

Figura 1 – Micrografias eletrônicas de varredura da biomassa do coco (A) e Biochar 500 °C (B).



CONCLUSÕES

Diante disso, a biomassa do coco apresenta uma proposta promissora para produção de biochar, visto que os biochars produzidos apresentaram bons rendimentos. Os rendimentos de biochar foram de 35,30% e 31,45% para as temperaturas estudadas, mostrando que o aumento da temperatura reduz o rendimento, pois intensifica a conversão da biomassa em produtos gasosos. A análise morfológica (MEV) revela que os biochars possuem estrutura de feixes vasculares e poros internos, o que os torna bons adsorventes de baixo custo. Com base nesse estudo preliminar é possível conhecer os parâmetros de produção do biochar proveniente do resíduo do coco e assim obter um adsorvente com características que possibilitem seu emprego como adsorvente para contaminantes presentes em águas produzidas, como por exemplos nitrato.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP (PRH-ANP 55.1), gestão FAPESP, pela infraestrutura disponibilizada e pelo financiamento da pesquisa.



REFERÊNCIAS

- AL-WABEL, M. I. *et al.* Pyrolysis temperature induced changes in characteristics and chemical composition of biochar produced from conocarpus wastes. **Bioresource Technology**, v. 131, p. 374-379, 2013. DOI: [10.1016/j.biortech.2012.12.016](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.12.016);
- BRASIL. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Ministério da Saúde. Disponível em: <https://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/29/PRC-5-Portaria-de-Consolida-o-n-5-de-28-de-setembro-de-2017.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2024;
- DA SILVA, N. E. P. *et al.* Coconut shell-based biochars produced by an innovative thermochemical process for obtaining improved lignocellulose-based adsorbents. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 275, p. 1-10, ago. 2024. DOI: [10.1016/j.ijbiomac.2023.12.062](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.12.062);
- FAOSTAT. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura – Divisão de Estatísticas. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 13 nov. 2024;
- MORAIS, J. P. S.; ROSA, M. F.; MARCONCINI, J. M. **Análise Lignocelulósica**. 1. ed. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2010.
- PALANSOORIYA, K. N. *et al.* Ocorrência de contaminantes em fontes de água potável e o potencial do biochar para melhoria da qualidade da água: uma revisão crítica. **Revista de Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia**, v. 1, p. 63-75, 2019;
- SULYMAN, M.; NAMIESNIK, J.; GIERAK, A. Low-cost adsorbents derived from agricultural by-products/wastes for enhancing contaminant uptakes from wastewater: a review. **Science of the Total Environment**, v. 26, n. 2, p. 479-510, 2017. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2017.07.044](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.044);
- TSAMBA, A. J.; YANG, W.; BLASIAK, W. Pyrolysis characteristics and global kinetics of coconut and cashew nut shells. **Fuel Processing Technology**, v. 87, n. 6, p. 523-530, jun. 2006. DOI: [10.1016/j.fuproc.2006.03.010](https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2006.03.010);
- WINDEATT, J. H. *et al.* Characteristics of biochars from crop residues: Potential for carbon sequestration and soil amendment. **Journal of Environmental Management**, v. 146, p. 189-197, dez. 2014. DOI: [10.1016/j.jenvman.2014.07.026](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.026).



BIOCHAR DA CASCA DA CASTANHA DE CAJU NO CULTIVO DE CÁRTAMO: SOLUÇÃO SUSTENTÁVEL PARA SEQUESTRO DE CARBONO E REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA PRODUZIDA EM UM CAMPO ONSHORE

Larissa Fernandes da Silva

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Pedro Lucas Nogueira de Freitas

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Frederico Ribeiro do Carmo

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

RESUMO

Este trabalho propõe o uso de biochar, produzido a partir de resíduos de casca de castanha de caju, para melhorar a qualidade do solo e a produtividade do cártamo (*Carthamus tinctorius* L.), visando a produção de biodiesel em cultivo irrigado com água produzida de petróleo. O biochar foi obtido em três temperaturas de pirólise (350°C, 450°C e 550°C) e será aplicado em doses de 10 e 30 t/ha, buscando avaliar seu impacto no sequestro de carbono, na retenção de água e na estrutura do solo. A irrigação será realizada com água de abastecimento e com diluições de água produzida em 33%, 67% e 100%. Espera-se que a combinação do biochar com a água produzida aumente a produtividade e a qualidade das sementes, além de promover práticas agrícolas sustentáveis em regiões semiáridas, com potenciais benefícios econômicos e ambientais, como o sequestro de carbono e a redução no uso de fertilizantes.

Palavras-chave: pirólise; manejo; biodiesel.

INTRODUÇÃO

As regiões semiáridas enfrentam desafios significativos em relação à escassez de água e condições climáticas adversas. Portanto, é fundamental explorar alternativas sustentáveis de cultivo adaptáveis às condições de semiaridez, que possam contribuir para o desenvolvimento econômico sustentável nessas áreas.

O aproveitamento da água produzida pela indústria do petróleo para irrigação agrícola pode representar uma solução sustentável para os desafios hídricos enfrentados pela agricultura, especialmente em regiões áridas e semiáridas. Além de conservar os recursos hídricos, o aproveitamento dessa água pode fornecer nutrientes adicionais às plantas, contribuindo para um melhor crescimento e produtividade das culturas. No entanto, é crucial garantir que o tratamento da água seja realizado com rigor para evitar impactos negativos na saúde das plantas, no solo e no meio ambiente.



Quando implementado de forma responsável e eficiente, o aproveitamento de água produzida de petróleo para a agricultura pode representar uma estratégia valiosa para promover a sustentabilidade hídrica e alimentar (Cerri *et al.*, 2021).

O cártamo é uma cultura que apresenta características de adaptação a ambientes áridos e possui múltiplos usos, incluindo a produção de óleo para biodiesel. A utilização do cártamo na produção de biodiesel pode diversificar a matriz energética, reduzir a dependência de combustíveis fósseis e promover uma economia mais sustentável. Portanto, é de suma importância investigar o cultivo de cártamo irrigado com água produzida em regiões semiáridas, visando a maior produção de óleo por hectare (Oliveira, 2021).

O biochar é um material produzido pelo processo de pirólise, que consiste na decomposição térmica da biomassa em condições controladas e na ausência de oxigênio. Ele pode ser obtido a partir de diversos tipos de biomassa, incluindo resíduos agrícolas, como a casca de castanha de caju. Esse aproveitamento não apenas contribui para a gestão sustentável de resíduos, mas também resulta em um material altamente poroso e estável, que, quando adicionado ao solo, traz múltiplos benefícios. O biochar melhora a retenção de água e nutrientes, aumenta a porosidade e a aeração do solo, favorecendo o desenvolvimento das raízes e a absorção de nutrientes pelas plantas. Além disso, ele é amplamente reconhecido por sua capacidade de sequestrar carbono, ajudando a mitigar as mudanças climáticas. Por ser extremamente estável, o biochar pode armazenar o carbono fixado pela biomassa original por centenas ou até milhares de anos, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Na agricultura, o uso de biochar pode reduzir a dependência de fertilizantes químicos, diminuindo assim a pegada de carbono associada à produção agrícola, ao mesmo tempo em que promove práticas agrícolas mais sustentáveis e resilientes (Giongo; Angelotti, 2022)

Avaliar o potencial do biochar produzido a partir de resíduos agrícolas, como a casca de castanha de caju, apresenta-se como prática de manejo sustentável do solo, sendo fundamental para promover a agricultura de baixo carbono (Barioni; Albertini; Medeiros, 2011).

Este trabalho visa abordar questões relevantes relacionadas à agricultura sustentável, uso eficiente de recursos naturais e mitigação das mudanças climáticas em regiões semiáridas, oferecendo contribuições significativas para o avanço do conhecimento científico e para o desenvolvimento de práticas agrícolas sustentáveis. Dessa forma, o objetivo deste projeto é avaliar a viabilidade técnica e ambiental da produção do biochar e seu uso no cultivo de cártamo irrigado com água produzida de petróleo no Semiárido Potiguar.



METODOLOGIA

O resíduo da casca de castanha de caju (CCC) foi triturado em moinho de facas para obter uma granulometria uniforme de 1 mm. O material passou por um pré-tratamento de secagem em estufa a 105°C até atingir umidade inferior a 10%. A produção do biochar foi realizada em forno mufla EDG adaptado para reduzir a presença de oxigênio. As condições de pirólise foram: temperaturas de 350°C, 450°C e 550°C, com tempo de residência de 60 minutos e taxa de aquecimento de 10°C/min. A caracterização dos biochars seguirá as diretrizes do manual Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for Biochar da International Biochar Initiative (IBI), versão 2015.

O experimento será conduzido em casa de vegetação no Campus Leste da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Serão utilizadas colunas de PVC preenchidas com solo classificado como Chernossolo, seco ao ar e passado por peneira de 5 mm, com 7 kg de solo por coluna. Cada unidade experimental será composta por uma mistura do solo com três doses de biochar: 0 t/ha (controle), 10 t/ha e 30 t/ha. As quantidades de biochar por coluna foram calculadas considerando que a camada arável de solo possui profundidade de 20 cm, resultando em um volume de 2000 m³ de solo por hectare.

A irrigação será manual, utilizando quatro tipos de água: água de abastecimento (controle) e diluições de água produzida de petróleo a 33%, 67% e 100%. O cultivo do cártamo (variedade IMAMT 894) será estabelecido com a semeadura de quatro sementes por coluna; após a germinação, será realizado desbaste para manter uma planta por coluna. A adubação de fundação será feita com aplicação de NPK em dosagem única.

Após 120 dias, serão avaliadas as seguintes variáveis: altura de planta, número de ramificações e capítulos por planta, número de sementes por capítulo, diâmetro do capítulo, produtividade, massa de 1000 grãos, teor de nitrogênio e proteínas (método Kjeldahl) e teor de óleo das sementes (método Soxhlet). A massa fresca e seca da parte aérea, raiz e sementes serão obtidas após secagem em estufa a 65°C por 96 horas.

O solo de cada tratamento será coletado, seco ao ar, peneirado em malha de 2 mm, embalado em sacos plásticos e armazenado para análise dos parâmetros químicos e físicos, de acordo com o Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes da EMBRAPA (2009).

RESULTADOS ESPERADOS

Espera-se que o biochar, aplicado em diferentes temperaturas e taxas, aumente produtividade do cártamo e melhore a estrutura e qualidade do solo, incluindo retenção de água, nutrientes e sequestro de carbono. A irrigação com diluições de



água produzida (33% e 67%) deve contribuir com nutrientes adicionais sem efeitos tóxicos, promovendo sustentabilidade em regiões semiáridas.

Parâmetros como altura das plantas, número de ramificações e capítulos, e teor de óleo nas sementes devem mostrar melhorias significativas. A aplicação de biochar e água produzida pode se revelar economicamente vantajosa e ambientalmente sustentável, com potencial de atrair interesse no setor agrícola.

CONCLUSÕES

Este projeto avaliará a eficácia do biochar produzido a partir da casca de castanha de caju e a estratégia de uso de água produzida para a irrigação, promovendo uma agricultura mais sustentável e adaptada às condições semiáridas. Além disso, contribuirão para o avanço do conhecimento científico e para a implementação de práticas agrícolas que podem mitigar os efeitos das mudanças climáticas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Programa MAI/DAI do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à empresa Mandacaru Energia. Agradecemos também ao Programa de Pós-Graduação em Manejo do Solo e Água e à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), bem como ao Núcleo de Pesquisa em Economia de Baixo Carbono (NPCO2).

REFERÊNCIAS

BARIONI, L. G.; ALBERTINI, T. Z.; MEDEIROS, S. R. Modelagem matemática do balanço de gases do efeito estufa na pecuária de corte. **Revista Brasileira De Zootecnia**, v. 40, p. 201–212, 2011.

CERRI, C. E. P. *et al.* **Sequestro de carbono do solo através da adoção de práticas de manejo sustentável**: potencial e oportunidades para os países das américas. São José, Costa Rica. IICA, 2021. ISBN: 978-92-9248-967-0.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

GIONGO, V.; ANGELOTTI, F. (Ed). **Agricultura de baixa emissão de carbono em regiões semiáridas**: experiência brasileira. Brasília, DF: Embrapa, 2022.

INTERNATIONAL BIOCHAR INITIATIVE . **Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil**. Version 2.1. IBI, 2015.

OLIVEIRA A. J. A cultura do *Carthamus tinctorius* L.: Principais usos e variabilidade genética. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, e24810212683, 2021.



ÁGUA PRODUZIDA DO PETRÓLEO NA IRRIGAÇÃO DE CLONES HÍBRIDOS DE *Eucalyptus* spp.

Larissa Rayanny Silva da Fonseca

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Tarlei Vitor Lopes Jácome

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Poliana Coqueiro Dias Araújo

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

RESUMO

A exploração de petróleo e gás natural gera um grande volume de água produzida (AP). Devido ao potencial poluente dessa água e poucas informações sobre seu uso na irrigação de espécies florestais, é necessário pesquisas que abordem o assunto. Com base na hipótese de que a AP pode ser utilizada eficientemente na irrigação de espécies perenes, evitando descarte inadequado e armazenamento dispendioso, este estudo tem como objetivo examinar os efeitos da diluição da AP da extração de petróleo e gás natural na produção de mudas e crescimento inicial de diferentes genótipos híbridos de *Eucalyptus* spp. Os experimentos serão realizados na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), campus Mossoró-RN. O experimento I avaliará a germinação e a emergência de sementes irrigadas com três soluções utilizando AP diluída em Água Destilada (AD), nas proporções de 0% (AD), 50 % AD + 50% AP e 100% AP. O experimento II será conduzido em três fases: enraizamento, aclimação, e crescimento e rustificação, conduzido no delineamento experimental de blocos inteiramente casualizados, no esquema fatorial 3 x 5 (3 soluções - 50 % Água do Abastecimento + 50% AP, 100% AP e a testemunha 100% de AA e 5 genótipos), com 5 repetições, 25 indivíduos por parcela. O experimento III será conduzido em delineamento experimental de blocos inteiramente casualizados, com arranjo fatorial 5 x 5 (5 soluções - controle, 25% de AP, 50% de AP, 75% de AP e 100% de AP e 5 genótipos) e 5 repetições. Serão realizadas caracterizações físico-químicas da AP, do solo e das plantas, quantificação de fitomassa, avaliação de caracteres de crescimento, fisiológicos, bioquímicos e morfológicos, e quantificação de carbono. Espera-se que a AP não interfira nos processos morfológico, fisiológico e bioquímico nas fases de germinação, obtenção de mudas e crescimento inicial de clones híbridos de *Eucalyptus* spp., contribuindo para superar a limitação hídrica na irrigação de espécies florestais no Nordeste brasileiro.

Palavras-chave: águas residuárias; impactos ambientais; sequestro de carbono.

INTRODUÇÃO

A região Nordeste do Brasil, mesmo enfrentando desafios relacionados à escassez hídrica, tem a indústria petrolífera como uma força motriz para o desenvolvimento regional (Moura, 2021). Contudo, a exploração de petróleo e gás



natural gera elevados volumes de água residual, cuja gestão eficiente é essencial para mitigar impactos ambientais e operacionais (Silva *et al.*, 2019).

Nos reservatórios, a água está presente tanto misturada ao petróleo quanto nos aquíferos adjacentes (Rosa *et al.*, 2011). Durante o processo de extração, ela emerge como um subproduto químico complexo, separado do óleo em estágios primários (Thomas, 2001). Em poços maduros, a produção de água residual pode atingir até 99% do volume total extraído (Silva *et al.*, 2007; Gabardo, 2007), o que torna seu gerenciamento um desafio crítico.

Uma alternativa promissora para o reaproveitamento dessa água residual tratada é seu uso na irrigação de mudas. Essa prática não só reduz custos em comparação ao descarte em poços comerciais, como também é uma solução sustentável (Dolan *et al.*, 2018). No entanto, o reuso deve obedecer às normas ambientais, como as Resoluções CONAMA nº 430/2011 e nº 357/2005, além da Lei nº 9.433/1997 e legislações estaduais, como a Lei nº 6.908/1996 do Rio Grande do Norte. Tais regulamentações permitem a utilização de água residual tratada em culturas não comestíveis, como espécies florestais, a exemplo do eucalipto.

O presente estudo está alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU, contribuindo para metas como saúde, energia limpa, cidades sustentáveis, consumo responsável e combate às mudanças climáticas. A proposta é testar genótipos de eucalipto adaptados ao clima semiárido, irrigados com água residual tratada proveniente das indústrias de petróleo e gás natural no Oeste Potiguar, viabilizando uma solução economicamente acessível e ambientalmente responsável.

METODOLOGIA

Para avaliar a influência, o experimento será dividido em três partes, explicadas a seguir, em condições simuladas de campo. A AP e o solo utilizados como substrato para os experimentos serão fornecidos por uma empresa de extração de petróleo localizada em Mossoró-RN. A pesquisa será conduzida no Laboratório de Patologia e Biotecnologia Florestal do Departamento de Ciências Agrônômicas e Florestais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró-RN, no ano de 2024.

Experimento I: Efeito da água produzida na germinação e emergência de sementes

A avaliação será realizada com base nas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 1992). Os resultados serão expressos em porcentagem e índice de velocidade de germinação (IVG), calculado de acordo com a fórmula de Edmond & Drapala (1958), representada em número médio de dias para germinação.

Os caracteres morfológicos analisados incluem: Comprimento da parte aérea; Comprimento da raiz principal; Número de raízes; Diâmetro do coleto; Número de



folhas; Área foliar. Também serão realizadas análises de biomassa, separando parte aérea e raízes para determinar a massa fresca e seca. Outras análises incluem: Teor Relativo de Água (TRA); Conteúdo de açúcar total, ácido ascórbico, proteínas totais, carboidratos totais e amido; macro e micronutrientes.

Para o teste de germinação, serão utilizadas 4 repetições de 25 sementes por tratamento. Já para o teste de emergência, serão realizadas 4 repetições com 50 sementes. O experimento será conduzido em delineamento inteiramente casualizado, e as médias serão analisadas por análise de variância (ANOVA). Quando identificados efeitos significativos, as médias serão comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa Sisvar.

Experimento II: Influência da água produzida na produção de mudas de clones de *Eucalyptus spp.*

Este experimento será realizado em três fases: Enraizamento; Aclimação; Crescimento e rustificação. O delineamento experimental será de blocos inteiramente casualizados, com esquema fatorial 2 x 5 (2 soluções de irrigação e 5 genótipos híbridos de *Eucalyptus spp.*), com 5 repetições e 25 indivíduos por parcela. Os tratamentos consistem na irrigação com duas soluções: 100% de AP e a testemunha com 100% de Água de Abastecimento.

As soluções serão aplicadas na irrigação de cinco genótipos híbridos de *Eucalyptus spp.*: **C1:** *E. urophylla* x *E. brassiana*; **C2:** *E. tereticornis* x *E. brassiana* x *E. urophylla*; **C3:** *E. tereticornis* x *E. brassiana* x *E. grandis*; **C4 e C5:** *E. urophylla* x *E. tereticornis*.

Experimento III: Crescimento inicial em condições simuladas de campo

Nesta etapa, o crescimento inicial dos genótipos será avaliado sob condições simuladas de campo. Após um período de aclimação em casa de vegetação (45 dias), os indivíduos serão transferidos para pleno sol, onde permanecerão por 60 dias.

O delineamento experimental será de blocos inteiramente casualizados, em esquema fatorial 5 x 5 (5 genótipos e 5 soluções: 0%, 25% de AP, 50% de AP, 75% de AP e 100% de AP), com 5 repetições e 1 indivíduo por tratamento, totalizando 125 unidades experimentais. Os tratamentos consistem em cinco soluções de AP tratada e diluída na AA, aplicadas aos genótipos híbridos de *Eucalyptus spp.*. A irrigação será de 1L por indivíduo, dividida em 500 ml pela manhã e 500 ml à tarde.

As análises laboratoriais incluirão: as mesmas aplicadas ao experimento I; análises físico-químicas do solo; parâmetros fisiológicos: prolina, polifenóis, enzimas antioxidantes, potencial osmótico, atividade de catalase, e capacidade antioxidante dos extratos vegetais; determinação dos componentes estruturais da parede celular



(lignina, celulose e hemicelulose); análises nutricionais para macronutrientes e micronutrientes; fixação de carbono.

RESULTADOS ESPERADOS

- Avaliação dos impactos da AP na germinação e emergência de sementes.
- Recomendações técnicas para o uso sustentável da AP.
- Caracterização do desempenho dos clones híbridos de *Eucalyptus spp.* em clima semiárido.
- INTRODUÇÃO de práticas sustentáveis no manejo de efluentes.
- Contribuição para a silvicultura em regiões semiáridas.
- Sustentabilidade e alinhamento a agendas globais.

CONCLUSÕES

O presente projeto propõe uma abordagem inovadora e sustentável para o aproveitamento da AP, um subproduto gerado em grande volume pela indústria de petróleo e gás, como recurso alternativo na produção de mudas e na irrigação de plantios florestais no semiárido. Por meio da avaliação detalhada dos impactos da AP sobre germinação, emergência, desenvolvimento inicial e crescimento de genótipos híbridos de *Eucalyptus spp.*, espera-se não apenas identificar as melhores práticas de uso desse recurso, mas também estabelecer diretrizes técnicas que assegurem a viabilidade ecológica e econômica de sua aplicação. Por fim, a reutilização da AP representa uma solução integrada para os desafios ambientais e econômicos enfrentados no semiárido brasileiro, contribuindo para o avanço da ciência e para a sustentabilidade no setor florestal.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Programa de Formação de Recursos Humanos da Agência Nacional de Petróleo (PRH-ANP 55.1), gestão FAPESP, pela infraestrutura disponibilizada e pelo financiamento da pesquisa.



REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 1992. 365 p
- DOLAN, F. C.; CATH, T. Y.; HOGUE, T. S. Assessing the feasibility of using produced water for irrigation in Colorado. **The Science of the Total Environment**, v. 640-641, p. 619-628, 2018. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.05.039.
- EDMOND, J. B.; DRAPALA, W. J. The effects of temperature, sand and soil, and acetone on germination of okra seeds. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, New York, v. 71, p. 428-434, jun. 1958.
- GABARDO, I. T. **Caracterização química e toxicológica da água produzida descartada em plataformas de óleo e gás na costa brasileira e seu comportamento dispersivo no mar**. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2007.
- MOURA, Y. R. da S. **Impactos de choques macroeconômicos no setor industrial do Nordeste: uma abordagem com modelos VAR/VEC**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências Econômicas) – Programa de Pós-Graduação em Economia (PPECO), Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal-RN, 2021.
- OLIVEIRA, E. B. de; PINTO JUNIOR, J. E. **O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. 1160 p. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1131510>. Acesso em: 30 jul. 2024.
- ROSA, Adalberto José; CARVALHO, Renato Souza; XAVIER, Jorge André Dias. **Engenharia de reservatórios de petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.
- SILVA, A. L. F. *et al.* Processamento primário de petróleo. In: **Processamento primário de petróleo**. Recursos Humanos, Universidade Petrobras, Escola de Ciências e Tecnologias E&P, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <https://engenhariaquimica.files.wordpress.com/2010/04/apostila-ppp.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2024.
- SILVA, T. C. da; TAMIASSO-MARTINHON, P.; DE SOUZA, J. M. T.; SOUSA, C.; ROCHA, A. S. **Breve revisão sobre água produzida**. In: 16º Congresso Nacional do Meio Ambiente, Poço de Caldas-MG, ISSN online N° 2317-9686 – v. 11, n. 1, 2019.
- THOMAS, J. E. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência, 2001.



AVALIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO DE ASFALTENO NOS PETRÓLEOS E ÓLEOS COMBUSTÍVEIS DA REGIÃO DO SEMIÁRIDO

Lívia Dantas Fernandes

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Andrea Francisca Fernandes Barbosa

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Jardel Dantas da Cunha

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

RESUMO

O petróleo é uma mistura complexa de hidrocarbonetos e compostos orgânicos com heteroátomos de peso molecular e polaridade variados. O petróleo é dividido em quatro frações distintas: saturados, aromáticos, resinas e asfaltenos. O teor de asfalto aumenta com o peso do petróleo, e alguns petróleos brutos possuem altas concentrações de asfaltenos, que podem apresentar problemas de estabilidade em condições específicas de pressão, temperatura ou regime de fluxo. A estabilidade é a propriedade de um óleo de manter seus asfaltenos em estado de peptização, evitando sua precipitação e floculação. A caracterização dos vários tipos de petróleo bruto e o impacto que eles têm na estabilidade dos asfaltenos são de grande importância. Três amostras foram coletadas e levadas para o laboratório, onde foram preparadas para realizar os ensaios de suas determinações. A técnica de caracterização é baseada nas normas ASTM D1217-20 e ASTM D4007-02, o trabalho é dedicado à execução da ASTM D4740 e otimização de uma metodologia para separar os asfaltenos pela norma ASTM D2007-01, o fracionamento SARA, e a utilização do método de cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) e análise termogravimétrica (TGA).

Palavras-chave: petróleo; garantia de escoamento; asfaltenos.

INTRODUÇÃO

O petróleo bruto é uma mistura complexa de hidrocarbonetos e compostos orgânicos com heteroátomos de peso molecular e polaridade variados. A indústria do petróleo divide o petróleo bruto em quatro frações quimicamente distintas designadas como SARA: saturados, aromáticos, resinas e asfaltenos (Demirbas, 2002). Os compostos saturados são considerados não solventes, enquanto as resinas e os aromáticos são considerados solventes em relação à sua capacidade de manter o asfalto em estado solubilizado (Gauto *et al.*, 2016; Guzmán *et al.*, 2020).

O teor de asfalto geralmente aumenta com o peso do petróleo, ou seja, quanto menor é a gravidade do American Petroleum Institute (API), mais asfalto apresenta (Guzmán *et al.*, 2020). Dependendo da situação, de sua origem e natureza,



alguns petróleos possuem altas concentrações de asfaltenos, que podem apresentar problemas de estabilidade sob condições específicas de pressão, temperatura ou regime de fluxo, o que dificulta o transporte e o armazenamento (Demirbas, 2002; Kord *et al.*, 2014).

O desequilíbrio da estrutura coloidal permite que as fases se separem, causando instabilidade no meio que frequentemente resulta na precipitação de asfaltenos (Gauto *et al.*, 2016). Assim, a estabilidade é a propriedade de um óleo de manter seu asfaltenos em estado de peptização, evitando sua precipitação e floculação. Por isso, a caracterização dos vários tipos de petróleo bruto e o impacto que eles têm na estabilidade dos asfaltenos são de grande importância.

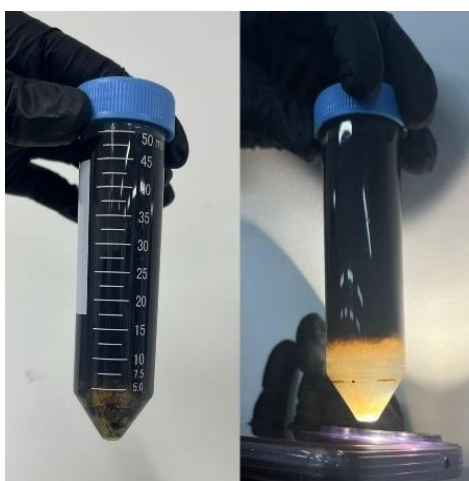
Em função disso, o presente trabalho tem como objetivos identificar lodos em óleos combustíveis ou petróleo com base na norma American Society for Testing and Materials (ASTM) D4740, otimizar uma metodologia para separar os asfaltenos pela norma ASTM D2007 e comparar qualitativamente os padrões com os possíveis problemas encontrados nas empresas da região semiárida.

METODOLOGIA

Três amostras foram coletadas e levadas para o laboratório, onde foram preparadas para realizar os ensaios de suas determinações.

A caracterização se deu a partir da ASTM D1217-20, que conta com um método de teste padrão para determinação de densidade por picnometria e cálculo do $^{\circ}\text{API}$ e da ASTM D4007-02 para determinar a quantidade de água e sedimentos (BS&W), que está exemplificada na Figura 1.

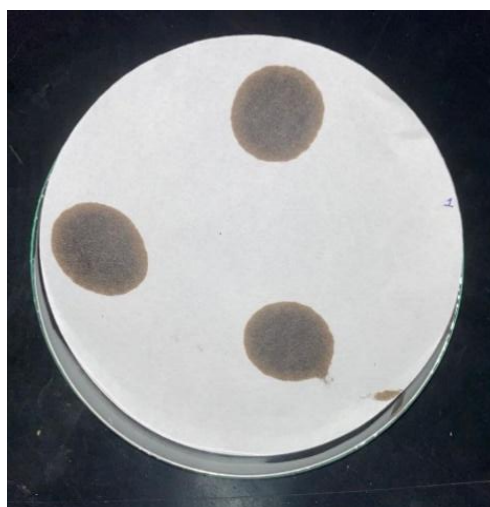
Figura 1 - Determinação de BS&W das amostras.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Foram realizados também testes tendo como fundamentação a norma ASTM D4740-19 para analisar a estabilidade, conforme a Figura 2.

Figura 2 - Teste da mancha.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Posteriormente, o presente trabalho se dedicará à execução da ASTM D2007-01, ao fracionamento SARA, e à utilização do método de cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) e análise termogravimétrica (TGA) para comprovação dos métodos realizados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ambos os petróleos se comportam como óleos instáveis baseados no teste da mancha, pois as manchas apresentadas são descritas como a Mancha 5 da tabela de referência da Norma ASTM D4740, logo, não apresentam as quantidades de resinas e aromáticos necessárias para manter os asfaltenos dispersos, já que não são solúveis em hidrocarbonetos. Os resultados obtidos estão reportados conforme pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 - Características das amostras.

Características	P1	P2	P3
Densidade a 26 °C (g/mL)	0,8964	0,9334	0,8927
Densidade (°API)	26	20	27
BS&W (%)	1	18	2

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

CONCLUSÕES

Conclui-se que a amostra P2 apresenta maior densidade e conseqüentemente menor °API. E as três amostras se comportam como óleos instáveis e/ou incompatíveis, com base na norma ASTM D4740.



Visto isso, os óleos combustíveis não apresentam estabilidade, sendo então suscetíveis à avaliação posterior para obter possíveis respostas para esse comportamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP (PRH-ANP 55.1), gestão FAPESP, pela infraestrutura disponibilizada e pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D1217 – 20**: standard test method for density and relative density (specific gravity) of liquids by Bingham pycnometer1. West Conshohocken: ASTM International, 2020.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D4007 – 02**: standard test method for water and sediment in crude oil by the centrifuge method (laboratory procedure). West Conshohocken: ASTM International, 2002.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D4740 – 19**: standard test method for cleanliness and compatibility of residual fuels by spot test. West Conshohocken: ASTM International, 2019.

DEMIRBAS, A. Caracterizações físicas e químicas de asfaltenos de diferentes fontes. **Petroleum Science and Technology**, v. 20, n. 5-6, p. 485-495, 2002.

GAUTO, M. A. et al. **Petróleo e gás**: princípios de exploração, produção e refino. Porto Alegre: Bookman Editora, 2016.

GUZMÁN, R. et al. Avaliação da estabilidade do asfaleno de uma ampla gama de óleos brutos mexicanos. **Energy & Fuels**, v. 35, n. 1, p. 408-418, 2020.

KORD, S. et al. Investigação adicional sobre os mecanismos de deposição de asfaleno e comprometimento da permeabilidade em meios porosos usando um modelo analítico modificado. **Fuel**, v. 117, p. 259-268, 2014.



AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DO BIOCHAR DE CASCA DE CASTANHA DE CAJU PARA TRATAMENTO DE ÁGUA PRODUZIDA

Marcos Luiz Melo Chaves Fontes

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Lara Beatriz Pereira de Lima

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Frederico Ribeiro do Carmo

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Poliana Pinheiro da Silva

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

RESUMO

Os resíduos agrícolas, como a casca da castanha de caju (CCC), representam um problema ambiental, pois 30 a 40% da biomassa gerada é descartada. O Rio Grande do Norte lidera a produção de castanha de caju, com a casca representando 70% do peso. Uma solução para o descarte é o tratamento térmico, como a pirólise, que modifica as propriedades da biomassa. Este estudo investiga a influência das temperaturas de pirólise (300°C, 500°C e 700°C) na produção de biochar a partir da casca de castanha de caju e suas propriedades de adsorção. A biomassa foi tratada fisicamente, seguida de análise morfológica e química. Os rendimentos de biochar foram de 40,67%, 31,68% e 26,42% respectivamente, mostrando que o aumento da temperatura reduz o rendimento da conversão. Ensaio de adsorção de nitrato serão realizados para avaliar a eficácia do biochar como material adsorvente, visando o tratamento de águas residuais.

Palavras-chave: pirólise; economia circular; tratamento de efluentes.

INTRODUÇÃO

A agroindústria transforma matérias-primas agrícolas em produtos de valor agregado, preservando suas características e prolongando sua disponibilidade. No entanto, os resíduos agrícolas representam 30 a 40% da biomassa produzida, impactando o meio ambiente nas etapas de colheita, industrialização e preparo dos alimentos (Ellen *et al.*, 2020).

A região Nordeste do Brasil, especialmente os estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, concentra 92% da produção nacional de castanha de caju, sendo que 70% do peso da castanha é composto pela casca (IBGE, 2024; EMBRAPA, 2010). Com isso, é necessário destinar adequadamente os resíduos da casca, o tratamento térmico, como a pirólise, surge como uma solução viável para melhorar suas propriedades físico-químicas.



A pirólise é um processo que degrada materiais orgânicos na ausência de oxigênio, gerando biocarvão, bio-óleo e biogás. A temperatura de pirólise influencia o rendimento do biocarvão, sendo maior em temperaturas mais baixas (< 450°C), enquanto temperaturas elevadas favorecem a produção de bio-óleo e biogás (Roshan *et al.*, 2023). O biochar, material carbonáceo resultante desse processo, é utilizado para correção do solo, captura de carbono e adsorção de poluentes (Silva *et al.*, 2024). Este estudo tem como objetivo utilizar a casca de castanha de caju para produzir biochar, investigando a influência das temperaturas de pirólise (300°C, 500°C e 700°C) na remoção de NO_3^- em águas residuais.

METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida nos laboratórios do Núcleo de Pesquisa em Economia de Baixo Carbono da Universidade Federal Rural do Semiárido, Campus Mossoró, Rio Grande do Norte. Para fins da pesquisa, foram utilizadas cascas da castanha do caju (CCC) adquiridas de um fornecedor local da cidade de Mossoró, Rio Grande do Norte -RN.

Na primeira etapa, as cascas de castanha de caju foram lavadas, secas a 65°C em estufa, trituradas em um liquidificador industrial e peneiradas com granulometria de 0,5 mm (Nguyen *et al.*, 2024). Determinou-se o teor de umidade, voláteis, carbono fixo e cinzas conforme a metodologia da EMBRAPA (2010). Na etapa seguinte, 200 g da casca foram submetidas à pirólise em forno mufla (modelo EDG 3000), com tempo de residência de 1 h e taxa de aquecimento de 10°C/min (Li *et al.*, 2019). A temperatura de pirólise foi variada para 300°C, 500°C e 700°C. As amostras de biochar obtidas foram pesadas para calcular o rendimento e armazenadas para futuras análises.

A análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) avalia as características morfológicas e estruturais das amostras. Para isso, foi utilizado o equipamento Tescan Vega 3, operando a 30 kV com detector de elétrons secundários, em ampliações de 5000x, 20000x e 40000x. A análise foi realizada no Laboratório de Microscopia Eletrônica da UFERSA.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

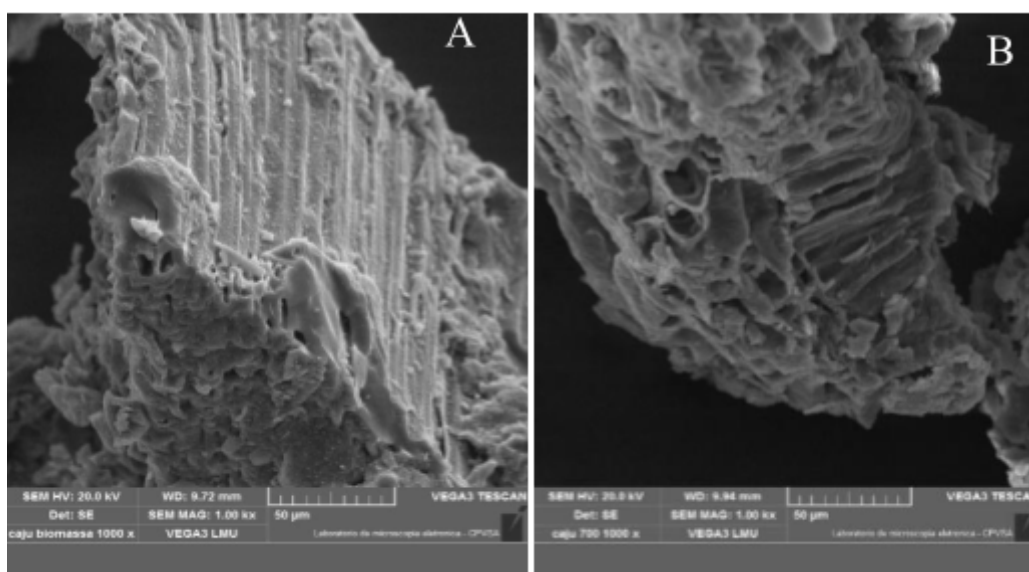
A caracterização imediata da biomassa visou avaliar seu potencial para a produção de biochar, analisando os teores de umidade, cinzas, substâncias voláteis e carbono fixo. O teor de umidade da casca de castanha foi de 6,37%, após 6 horas de análise, resultado consistente com estudos anteriores (Sawekwiharee *et al.*, 2015). O teor de voláteis foi de 74,80%, esperado para resíduos agrícolas, e tende a diminuir após o tratamento térmico, que volatiliza materiais orgânicos. A fração de cinzas foi de



1,48%, representando os grupos inorgânicos, e deve aumentar com a pirólise. O carbono fixo apresentou 17,35%, e espera-se que maiores temperaturas durante a pirólise aumentem esse teor, melhorando a estabilidade e a capacidade de captura de carbono (NOVRIANY A.; EKA, E., 2021).

Os rendimentos de biochar foram de 40,67%, 31,68% e 26,42% para as temperaturas de 300°C, 500°C e 700°C, respectivamente. Observou-se que o aumento da temperatura de pirólise reduz o rendimento do biochar, devido à maior formação de subprodutos como biogás e à degradação da celulose, hemicelulose e lignina em temperaturas elevadas (Roshan *et al.*, 2023).

Figura 1- MEV biomassa (A) e biochar 700 °C (B)



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

A Figura 1.(A) mostra a superfície da biomassa da CCC, na qual percebe-se uma estrutura pouco rugosa e visualmente com baixo volume de sítios vazios. Entretanto, a Figura 1.(B) apresenta uma superfície friccionada com volumes vazios, possivelmente os adsorvatos seriam retidos nesses sítios. Sendo assim, essa diferença entre as superfícies, pode ser explicada devido ao tratamento térmico degradar os materiais orgânicos presentes na superfície da biomassa, aumentando, com isso, a área superficial proporcionalmente a elevação da temperatura de pirólise (Roshan, 2023).

CONCLUSÕES

A temperatura de pirólise modifica as propriedades finais do biochar, e o rendimento é reduzido devido à alta degradação térmica. A área superficial específica apresentou mudanças plausíveis, enfatizando as fricções e estrutura de poros finos formados, indicando que a maior temperatura (700 °C) causa aumento no volume de



sítios ativos para retenção do adsorbato. Portanto, o biochar produzido será aplicado na adsorção do NO_3^- em águas produzidas, com o objetivo de estudar maneiras de otimizar a capacidade adsortiva do biochar através das mudanças nas suas propriedades físico-químicas devido à variação da temperatura de pirólise.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP (PRH-ANP 55.1), gestão FAPESP, pela infraestrutura disponibilizada e pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ELLEN, I.; NATHALYA, M.; NETO, S. Vantagens e possibilidades do reaproveitamento de resíduos agroindustriais. **Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente**, v. 8, p. 55-79, 2020.

EMBRAPA. Procedimento para análise lignocelulósica. [S.l.]: Embrapa, 2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/883400/1/DOC236.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2024.

EMBRAPA. Valorização da casca da castanha de caju por meio do aproveitamento do LCC e dos resíduos sólidos. Embrapa, 2010. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/211566/valorizacao-da-casca-da-castanha-de-caju-por-meio-do-aproveitamento-do-lcc-e-do-residuo-solido>. Acesso em: 06 nov. 2024.

IBGE. Em julho, o IBGE prevê safra de 298,0 milhões de toneladas para 2024. **Agência de Notícias**, 2024. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/40954-em-julho-ibge-preve-safra-de-298-0-milhoes-de-toneladas-para-2024>. Acesso em: 01 nov. 2024.

LI, W.; CHEN, C. Efeitos da temperatura, taxa de aquecimento, tempo de residência, atmosfera de reação e pressão nas propriedades do biochar. **Journal of Biobased Materials and Bioenergy**, v. 13, n. 1, p. 1-10, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1166/jbmb.2019.1669>.

NGUYEN, T. B.; CHEN, C. W.; CHEN, W. H.; BUI, X. T.; LAM, S. S.; DONG, C. D. Aumentando a degradação do acetaminofeno na água pela ativação do ácido peracético: uma nova abordagem usando biochar derivado da casca da castanha em temperaturas de pirólise variadas. **Environmental Research**, v. 252, p. 119143, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119143>.



NOVRIANY, A.; EKA, E. Pirólise assistida por micro-ondas de casca de castanha de caju. **International Journal of Design & Nature and Ecodynamics**, v. 16, n. 2, p. 227-232, 2021. DOI: <https://doi.org/10.18280/ij dne.160208>.

ROSHAN, Akash; MAITI, Subodh Kumar. Como a temperatura afeta as propriedades do biochar para aplicação em resíduos de minas de carvão? Uma meta-análise. **Carbon Research**, v. 2, n. 1, p. 3, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42600-023-00013-4>.

SAWEKWIHAREE, S.; CHATHIRAT, N. Briqueletes de energia de aquecimento a partir de casca de castanha de caju. **Applied Mechanics and Materials**, v. 804, p. 283-286, 2015. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.804.283>.

SILVA, C. H.; ARAÚJO, T. P.; SOUZA, A. T.; SCALIANTE, M. H. N. O.; MARTINS MOREIRA, W. Síntese de biocarvão ativado da casca da *Moringa oleifera* para adsorção do fármaco metronidazol presente em meio aquoso. **Processes**, v. 12, n. 3, p. 560, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr12030560>.



APLICAÇÃO DE SISTEMAS MICROEMULSIONADOS E DESEMULSIFICANTES COMERCIAIS NA QUEBRA DE EMULSÕES DE PETRÓLEO

Maria Clara de Oliveira Souza

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Geraldine Angélica Silva da Nóbrega

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

RESUMO

A separação de emulsões de óleo e água é um grande desafio na recuperação de petróleo. Sistemas microemulsionados ajudam a reduzir as barreiras interfaciais, melhoram a extração do óleo e aumentam a eficiência no reservatório. Essa pesquisa utilizou sistemas microemulsionados, compostos por OSS (tensoativo), pentano (fase orgânica), álcool isoamílico (cotensoativo) e água destilada, para avaliar a influência da razão C/T na formação e estabilidade das microemulsões. Os resultados mostram que a maior formação de microemulsão ocorre na razão C/T=8, demonstrando que o aumento da razão amplia a área de microemulsão.

Palavras-chave: tensoativos; processos de separação; recuperação de petróleo.

INTRODUÇÃO

Na atualidade, uma das principais dificuldades enfrentadas pelas indústrias de perfuração de poços de petróleo, no quesito dos processos de recuperação de óleo, caracteriza-se pela separação do petróleo e da água que vem emulsionada com o óleo quando extraídos do poço (Nascimento, 2014). A formação de emulsões de óleo acontece quando duas fases imiscíveis entram em contato, acompanhadas da presença de emulsificantes naturais de óleo sob forte cisalhamento durante a extração, que permite a dispersão dessas fases entre si. Ácidos naftênicos e asfaltenos são destacados por agilizar a estabilidade de emulsões de petróleo bruto. E por consequência disso, sérios empecilhos são comumente associados à produção de petróleo (Bahú *et al.*, 2022; Adewunmi; Kamal, 2019).

Os desemulsificantes são moléculas que facilitam a separação do óleo da água. Alguns desemulsificantes são polímeros compostos por macromoléculas formadas por unidades repetidas menores. Outros ainda possuem estruturas parecidas com emulsificantes não iônicos, sem carga específica (Crespo *et al.*, 2020).

A aplicação de sistemas microemulsionados, visando a recuperação do petróleo, consegue reduzir os efeitos de diferenças interfaciais entre os fluidos água e óleo, além de otimizar a dissolução do óleo da rocha e atuar na saturação de óleo



residual no reservatório. É um método que também aumenta a eficiência do deslocamento, minimizando a formação de canais preferenciais ocasionados pela injeção de água. A eficiência da injeção de microemulsão se deve à formação de micelas e à estabilidade da microemulsão (Vale, 2009).

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é estudar a quebra das emulsões de petróleo a partir de sistemas microemulsionados e desemulsificantes comerciais.

METODOLOGIA

Reagentes

Os reagentes utilizados foram: óleo de soja saponificado (OSS), pentano P.A. (Neon Comercial LTDA.), álcool isoamílico P.A. (ACS Científica) e água destilada. A fase aquosa utilizada nas microemulsões foi água destilada.

Diagrama de fases

A elaboração dos diagramas de fases é feita por titulações volumétricas e pesagem analítica do OSS/Álcool Isoamílico e Pentano. Em seguida, adiciona-se água e realiza-se agitação em misturador vórtex. A miscibilidade é avaliada pela homogeneidade e transparência das amostras após agitação (MA *et al.*, 2015).

Cálculo da área da região microemulsionada

A área da região microemulsionada é determinada pela integração da curva que delimita a região de miscibilidade. Dado que essa área não apresenta uma forma geométrica regular, o diagrama ternário é convertido em um diagrama retangular. Em seguida, por meio de regressão linear, obtém-se a equação que descreve a curva $f(x)$, permitindo a sua interação de acordo com a Equação 1.

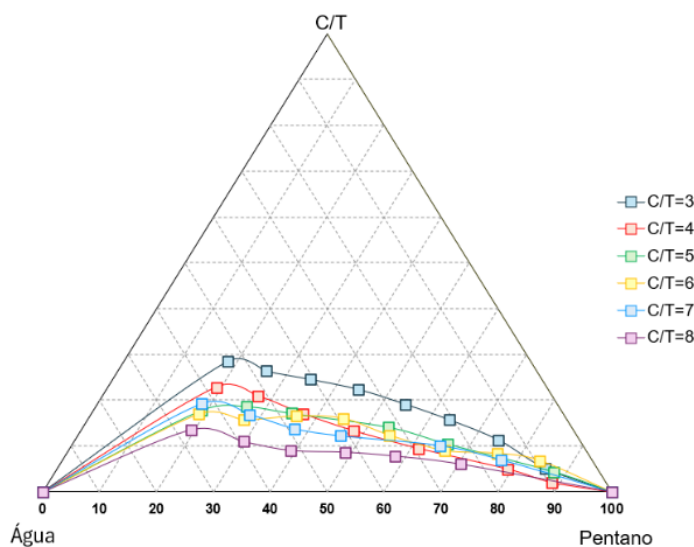
$$S = S_{\text{triângulo}} \int_a^b f(x) dx \quad (1)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os diagramas de fases, Figura 1, foram elaborados com o intuito de estudar o comportamento dos sistemas microemulsionados em função do efeito da razão C/T para uma temperatura de 25°C. Para determinar o tamanho da área da região microemulsionada, os diagramas pseudoternários foram convertidos em diagramas retangulares, Figura 2, e as equações que representam as linhas limites, que indicam a transição de fase, foram obtidos por meio de regressão linear. A análise das áreas microemulsionadas tem por intuito selecionar o que apresenta maior região de microemulsão.

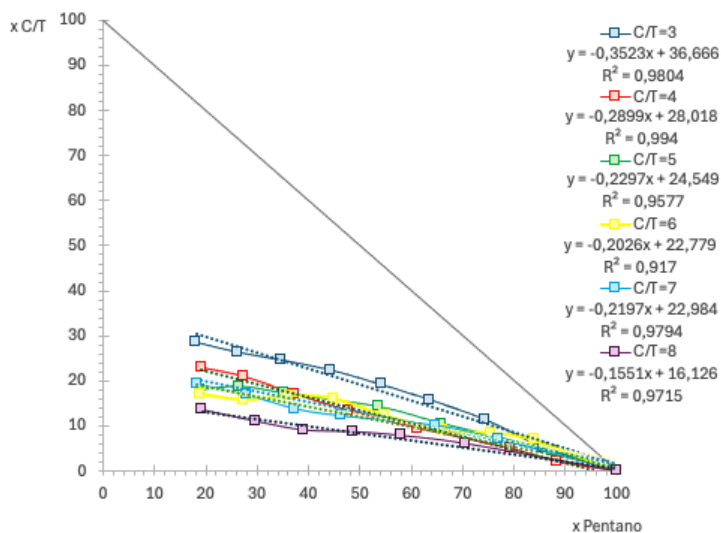


Figura 1 - Diagrama de fases pseudoternário: Pentano-OSS/Álcool Isoamílico-Água, para razões C/T= 3, 4, 5, 6, 7, 8.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Figura 2 - Diagramas retangulares: Pentano-OSS/Álcool Isoamílico-Água, para razões C/T= 3, 4, 5, 6, 7, 8.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

A Tabela 1 apresenta os valores da área para cada razão C/T. Observa-se que a maior área foi obtida pela razão C/T=8, indicando a maior região de microemulsão. Esse comportamento está em concordância com estudos que mostram um aumento da região de microemulsão à medida que a razão C/T cresce (Leite, 1995; Rossi *et al.*, 2007; Oliveira *et al.*, 2017).



Tabela 1 – Área da região microemulsionada dos sistemas estudados

C/T	Área (unidade de área)	C/T	Área (unidade de área)
3	632,04	6	1520,04
4	1340,12	7	1584,36
5	1430,32	8	2071,40

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

CONCLUSÕES

A partir dos diagramas, é possível avaliar como a variação da razão C/T influencia na formação e estabilidade das microemulsões. Os sistemas pseudoternários, compostos por OSS como tensoativo, álcool isoamílico como cotensoativo, pentano como fase orgânica e água destilada como fase aquosa, demonstraram a capacidade de formar microemulsões. O aumento da razão C/T influencia diretamente no aumento da região de microemulsão, tornando assim a razão C/T=8 com a maior área de região de microemulsão. A presença do cotensoativo na microemulsão causa o aumento da flexibilidade e fluidez na interface.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP (PRH-ANP 55.1), gestão FAPESP, pela infraestrutura disponibilizada e pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ADEWUNMI, A. A.; KAMAL, M. S. Demulsification of water-in-oil emulsions using ionic liquids: effects of counterion and water type. **Journal Of Molecular Liquids**, v. 279, p. 411-419, 2019.
- BAHÚ, J. O. *et al.* Crude oil emulsion breaking: an investigation about gravitational and rheological stability under demulsifiers action. **Journal Of Petroleum Science And Engineering**, v. 210, p. 110089, 2022.
- CRESPO, K. E. *et al.* Avaliação de Desempenho de um Desemulsificante Subsea Injetado Via Umbilical. **Revista de Engenharia da Faculdade Salesiana**, n. 12, p. 7-15, 2020.
- LEITE, R. H. L. **Extração de cromo de efluentes de curtumes utilizando microemulsões**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1995.



MA, Y. *et al.* Phase diagrams for pseudo-ternary system {IPM (1) + [CTAB (21) + butan-1-ol (22)] (2) + water (3)} at temperature 303.15K. **Journal of Molecular Liquids**, v. 209, p. 603-610, 2015.

NASCIMENTO, G. E. do. **Estudo da eficiência dos sistemas microemulsionados na recuperação de petróleo, utilizando como matéria-prima o óleo de coco saponificado**. 2014. 60 f. Monografia (Especialização) - Curso de Licenciatura em Química, Universidade Federal de Campina Grande, Cuité, 2014.

OLIVEIRA, J. L. *et al.* Influência da razão C/T e salinidade da fase aquosa em sistemas microemulsionados com OCS-butanol-água-querosene. **Holos**, v. 4, p. 235-248, 2017.

ROSSI, C. G. F. T. *et al.* Microemulsões: uma abordagem básica e perspectivas para aplicabilidade industrial. **Revista Universidade Rural: Série Ciências Exatas e da Terra**, v. 6, n. 1-2, p. 45-66, 2007.

VALE, T. Y. F. **Desenvolvimento de tensoativos e sistemas microemulsionados para recuperação de petróleo**. 2009. 276 f. Tese (Doutorado em Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologias Regionais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.



ANÁLISE DE ESTABILIDADE EM MISTURAS AB-DIESEL À BASE DE ETANOL E BIODIESEL DE ÓLEO RESIDUAL

Maria Israele Silva de Sousa

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Stefani da Silva de Melo

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Raniere Dantas Valença

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Frederico Ribeiro do Carmo

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Aline Mara Maia Bessa

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

RESUMO

O uso de combustíveis fósseis gera impactos ambientais negativos, especialmente devido a emissões de gases poluentes. Para mitigar esses efeitos e na busca por maior diversificação na matriz energética, está sendo estudado o AB-Diesel, uma mistura combustível de álcool, biodiesel e diesel, com o objetivo de minimizar os danos ambientais. O estudo analisou a estabilidade de misturas AB-Diesel em diferentes composições de etanol anidro e hidratado, diesel e biodiesel, em diferentes temperaturas. As amostras foram avaliadas visualmente em período de tempo de 7, 14 e 28 dias. Resultados mostram que o etanol anidro apresentou miscibilidade total na maior parte das composições testadas, enquanto com o etanol hidratado a maioria das composições apresentaram imiscibilidade. Por apresentar mais composições com imiscibilidade o etanol hidratado tem um faixa de composição menor que o etanol anidro em formulações possíveis para o AB-Diesel. Foi verificado que ao longo do tempo a miscibilidade não foi alterada.

Palavras-chave: biocombustível; transição energética; equilíbrio líquido-líquido.

INTRODUÇÃO

O avanço social e tecnológico, aliado ao crescimento da população global, tem gerado uma intensa demanda por energia e um aumento da poluição. Consequentemente, nos últimos anos, a procura por fontes de energias alternativas mais limpas e renováveis tem se intensificado (Knothe *et al.*, 2006). As misturas do tipo álcool + biodiesel + diesel têm atraído atenção devido a suas características, uma vez que a presença de compostos oxigenados promove uma queima mais eficiente, bem



como reduz as emissões de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) e material particulado (MP) (Silveira, 2013).

Fontes de matéria-prima a preços acessíveis, como óleos e gorduras residuais, têm despertado o interesse dos produtores de biodiesel por causa de seu custo reduzido. A reutilização do óleo de fritura como biocombustível não apenas eliminaria um resíduo indesejado do ambiente, mas também proporcionaria uma alternativa de energia renovável, menos poluente, que representa um significativo apelo em favor da preservação ambiental (Dib, 2010).

Misturas compostas por óleo diesel, biodiesel e álcool contêm compostos oxigenados que favorecem uma combustão mais eficiente, além de diminuir as emissões de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) e material particulado (MP). Já as misturas de óleo diesel e etanol apresentam características semelhantes às do diesel puro, principalmente no que se refere a propriedades relacionadas à combustão e ao desempenho do motor, mas requerem o uso de aditivos para garantir a estabilidade da mistura em baixas temperaturas (Torres-Jimenez *et al.*, 2011).

Geralmente, o etanol pode ser misturado ao diesel sem grandes modificações a motores do ciclo diesel. No entanto, uma desvantagem significativa nas misturas de etanol e diesel é a imiscibilidade entre os dois líquidos, devido às diferenças nas suas estruturas moleculares e propriedades físico-químicas. O etanol, sendo polar, não se mistura adequadamente com o diesel, que é apolar, o que resulta em instabilidade na mistura e consequente separação de fases (Kwanchareon *et al.*, 2007).

A estabilidade do combustível refere-se à resistência global de um combustível a transformações ou alterações em suas propriedades, ou seja, descreve a capacidade do combustível de manter suas características químicas e físicas em condições ambientais controladas ao longo de períodos prolongados, sem degradação significativa e capacidade de resistir a variações térmicas elevadas, por curtos períodos, sem sofrer alterações substanciais em sua composição ou desempenho (Batts *et al.*, 1991).

Esse estudo tem como foco analisar a estabilidade das formulações da composição álcool, diesel e biodiesel de óleo residual, em períodos de 7, 14, 21 e 28 dias em baixas temperaturas e temperatura ambiente. Com o objetivo de avaliar a possível ocorrência de separação de fases entre os componentes.

METODOLOGIA

Para a preparação das formulações foram utilizados frascos de vidro de 10mL, biodiesel metílico de óleo residual. O diesel S10 foi cedido pela empresa Brava Energia. Foram preparadas 264 amostras compostas com volumes de 10 mL, variando as proporções de biodiesel de óleo residual, diesel e álcool anidro (99,5%) e hidratado (95%). Após a preparação, as formulações foram mantidas em repouso, em

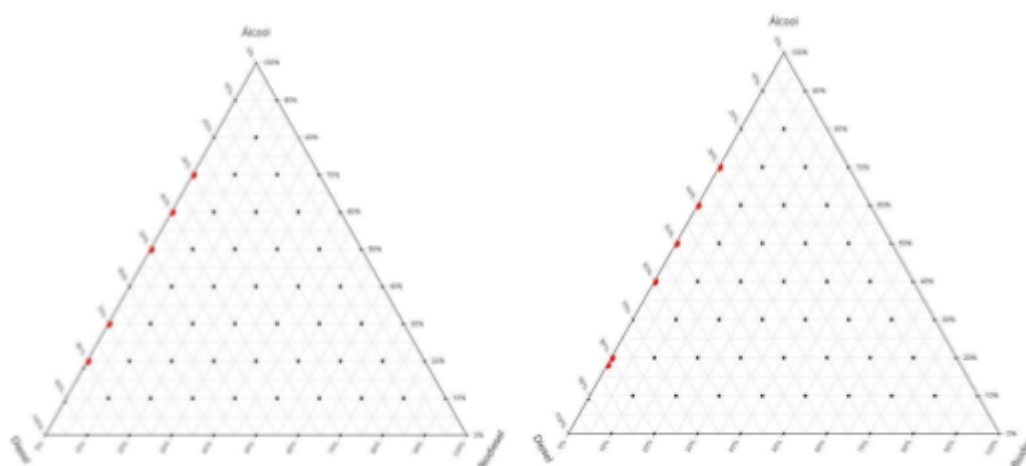


temperatura ambiente e a baixas temperaturas. A avaliação visual foi realizada em intervalos de 7, 14 e 28 dias, com o objetivo de observar o comportamento das misturas em termos de miscibilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teste de estabilidade foi realizado inicialmente utilizando etanol anidro à temperatura ambiente e a baixas temperaturas. Realizando o acompanhamento das formulações por 7, 14, 21 e 28 dias, observou-se que o comportamento das misturas analisadas no 7º dia permaneceu até o 28º dia para as temperaturas estabelecidas. Para o etanol hidratado foi possível observar que o diesel e o etanol são imiscíveis nas faixas de composição testadas. Os pontos vermelhos indicam amostras imiscíveis, enquanto os pontos pretos são amostras miscíveis. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 1.

Figura 1 – Diagrama ternário para teste de estabilidade para álcool anidro.

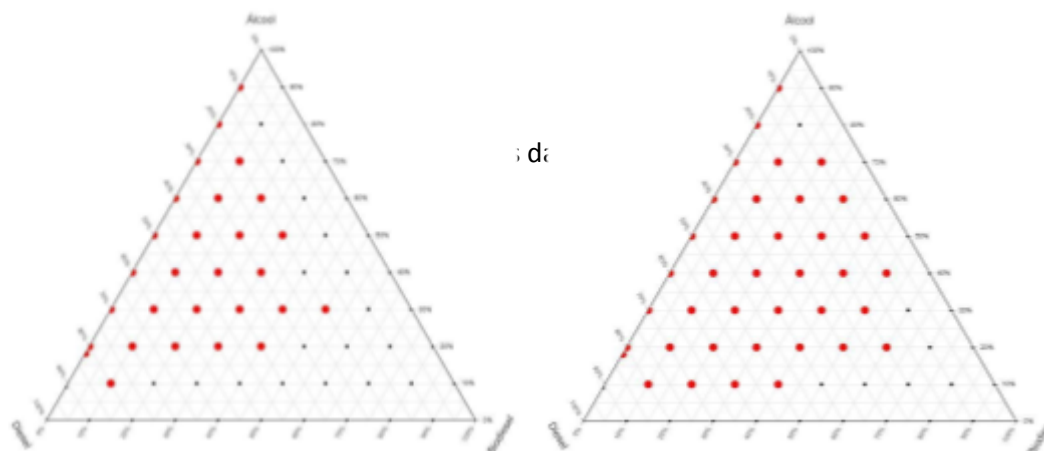


Fonte: Dados da pesquisa (2024).

É possível observar que, com o etanol hidratado, a maior parte das composições testadas, como mostra a Figura 2, apresentaram imiscibilidade, sendo apenas poucas composições que apontam miscibilidade total. Essa miscibilidade total pode ser observada em formulações que possuem pouca quantidade de álcool na sua composição. Assim sendo, uma possível composição para combustíveis, visto que uma das principais características de combustíveis é ser uma mistura homogênea.



Figura 02 – Diagrama ternário para teste de estabilidade para álcool hidratado.



CONCLUSÕES

Utilizando etanol anidro em temperatura ambiente e em baixas temperaturas, observou-se uma maior miscibilidade das formulações, quando comparado com o etanol hidratado, o que pode indicar uma faixa maior de mistura para futuros testes em motores de ciclo diesel.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP (PRH-ANP 55.1), gestão FAPESP, pela infraestrutura disponibilizada e pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ATTS, B. D.; FATHONI, A. Z. A literature review on fuel stability studies with particular emphasis on diesel oil. *Energy & Fuels*, Washington, DC, v. 5, n. 1, p. 2–21, 1991. DOI: <https://doi.org/10.1021/ef00025a001>

DIB, F.H. **Produção de biodiesel a partir de óleo residual reciclado e realização de testes comparativos com outros tipos de biodiesel e proporções de mistura em um moto-gerador**. 2010. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2010.

KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J.; RAMOS, L. P. **Manual do biodiesel**. São Paulo: Blücher, 2006. 352p.



KWANCHAROEN, P.; LUENGNARUEMITCHAI, A.; JAI-IN, S. Solubility of a diesel–biodiesel–ethanol blend, its fuel properties, and its emission characteristics from diesel engine. **Fuel**, v. 86, n. 7–8, p. 1053–1061, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.09.024>.

SILVEIRA, M. B. **Estudo do sistema álcool + biodiesel + diesel (AB-Diesel): equilíbrio e propriedades termofluidodinâmicas**. 2013. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

TORRES-JIMENEZ, M. S.; JERMAN, A.; GREGORC, I.; LISEC, M. P.; DORADO, M. P.; KEGL, B. Physical and chemical properties of ethanol-diesel fuel blends. **Fuel**, Oxford, v. 90, p. 795-802, 2011.



ESTUDO DO MECANISMO DE ADSORÇÃO DO EXTRATO DA ESPINHEIRA SANTA (*Maytenus ilicifolia*) EM MEIO SALINO

Marília Nara M. Fernandes de Oliveira

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Andrea Francisca Fernandes Barbosa

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Jardel Dantas da Cunha

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

RESUMO

Este estudo investigou o extrato da espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia*) como inibidor de corrosão em meio salino (1% NaCl), considerando sua adsorção na superfície metálica. A alternativa verde foi escolhida devido ao alto custo e toxicidade dos inibidores sintéticos. Aplicado em concentrações de 1%, 2% e 3%, o extrato reduziu significativamente a corrosão, alcançando eficiência máxima de 77,18% na concentração de 2%. A isoterma de Flory-Huggins foi a melhor para descrever o processo de adsorção, com um R^2 de 0,999, indicando moléculas grandes que ocupam mais de um sítio ativo. Esses resultados apontam a espinheira-santa como uma alternativa ecológica promissora para proteger metais em ambientes salinos.

Palavras-chave: adsorção; inibidor de corrosão; corrosão.

INTRODUÇÃO

Os inibidores de corrosão são compostos que, ao serem adicionados a ambientes corrosivos em determinadas condições, conseguem diminuir ou até mesmo erradicar o processo de corrosão. Os materiais sintéticos são amplamente utilizados como inibidores de corrosão em metais, devido à sua efetividade. Contudo, sua aplicação traz impactos negativos ao meio ambiente, uma vez que apresentam alta toxicidade (Schmitzhaus *et al.*, 2024).

Atualmente, com uma maior preocupação com o meio ambiente surge como alternativa os inibidores de corrosão verde. São compostos formados por extratos vegetais, naturais e orgânicos, que apresentam várias vantagens, sendo geralmente biodegradáveis, não tóxicos, ecologicamente sustentáveis, econômicos, facilmente acessíveis, renováveis e seguros para utilização (Silva *et al.*, 2023).

A Espinheira santa (*Maytenus ilicifolia*) é uma planta da família *Celastraceae*, e o estudo tem como objetivo analisar o mecanismo de adsorção do seu extrato em meio salino, e avaliá-lo como potencial inibidor de corrosão verde.



METODOLOGIA

Extração da fase ativa

A extração da fase ativa foi realizada utilizando a técnica Soxhlet, que permite a extração contínua de compostos de amostras sólidas usando solventes. O solvente empregado foi o álcool etílico, que foi aquecido, condensado e recirculado pela amostra, dissolvendo os compostos desejados.

Ensaio polarização linear

Os ensaios de corrosão serão realizados empregando-se a técnica de polarização linear, realizados com eletrodos de aço AISI 1018 (composto por Fe, C, Mn, P e S). Essa técnica foi escolhida pela rápida resposta e reprodutibilidade. A curva de Tafel é utilizada para obter a corrente de corrosão, com varredura potenciométrica no intervalo de ± 2 mV, a uma velocidade de 0,01 V/s. Os ensaios são conduzidos com um potenciostato/galvanostato AUTOLAB, monitorado pelo software NOVA 1.8.

Levantamento da isoterma de adsorção

Isotermas de adsorção são equações matemáticas utilizadas para descrever, em termos quantitativos, as relações entre a quantidade de determinado elemento químico adsorvido e sua quantidade remanescente na solução de equilíbrio. A eficiência de inibição é diretamente proporcional à fração de moléculas adsorvidas na superfície coberta (θ), que foi calculada de acordo com os dados obtidos a partir dos valores e equações de cada isoterma. O ajuste dos dados obtidos foi realizado para diferentes isotermas de adsorção (Langmuir; Temkin; Flory-Huggins; El-Awady, 1992). De acordo com as Equações 1 a 5:

$$q = n\%/100 \quad (1)$$

$$\text{Langmuir: } C/q = 1/K + C \quad (2)$$

$$\text{Temkin: } q = (-2,303/2a) \log K + (-2,303/2a) \log C \quad (3)$$

$$\text{Flory-Huggins: } \log(q/C) = \log K + x \log(1-q) \quad (4)$$

$$\text{El-Awady: } \log(q/(1-q)) = \log K + y \log C \quad (5)$$



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inúmeros critérios são adotados na avaliação de um inibidor de corrosão, e um dos principais é a eficiência de proteção. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos a partir das curvas de polarização linear, empregando a equação de Tafel para os fluidos com concentração de 1% de NaCl, com 1, 2 e 3% de inibidor.

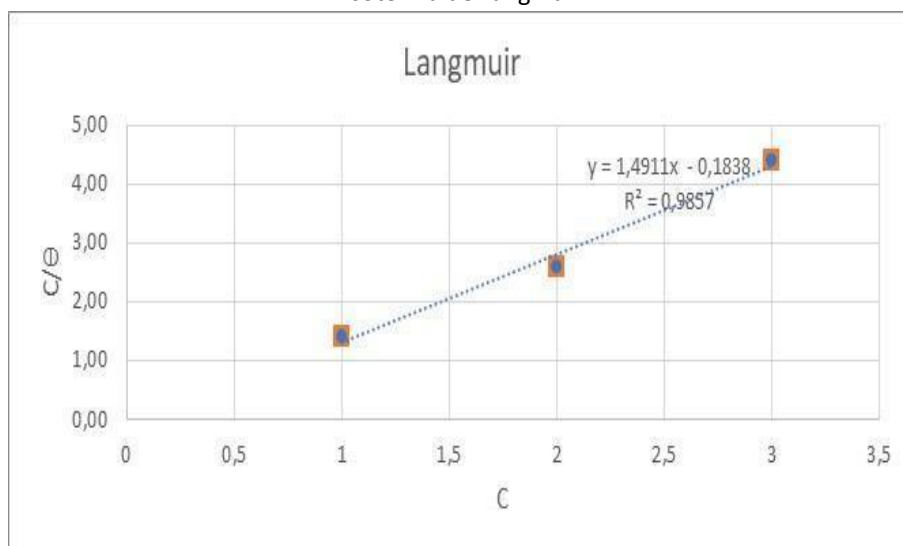
Tabela 1. Dados de inibição obtidos experimentalmente para solução salina de NaCl a 1%.

Fluido	Ecorr (V)	Corrosão (mm/ano)	Eficiência (%)
Branco	-0,52093	0,18999	0,00%
Inibidor_1%	-0,51767	0,055323	70,88%
Inibidor_2%	-0,5806	0,04335	77,18%
Inibidor_3%	-0,56214	0,060244	68,29%

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

De acordo com a Tabela 1, percebe-se que o extrato diminui a taxa de corrosão, obtendo eficiência máxima de 77,18%. As demais concentrações estudadas não foram eficientes no processo de passivação da superfície. Ainda no contexto de corrosão, outro aspecto bastante importante de ser estudado são as isotermas de adsorção. As isotermas mais adequadas e coerentes foram a isoterma de Langmuir e a isoterma de Flory-Huggins, Figura 01 e Figura 02.

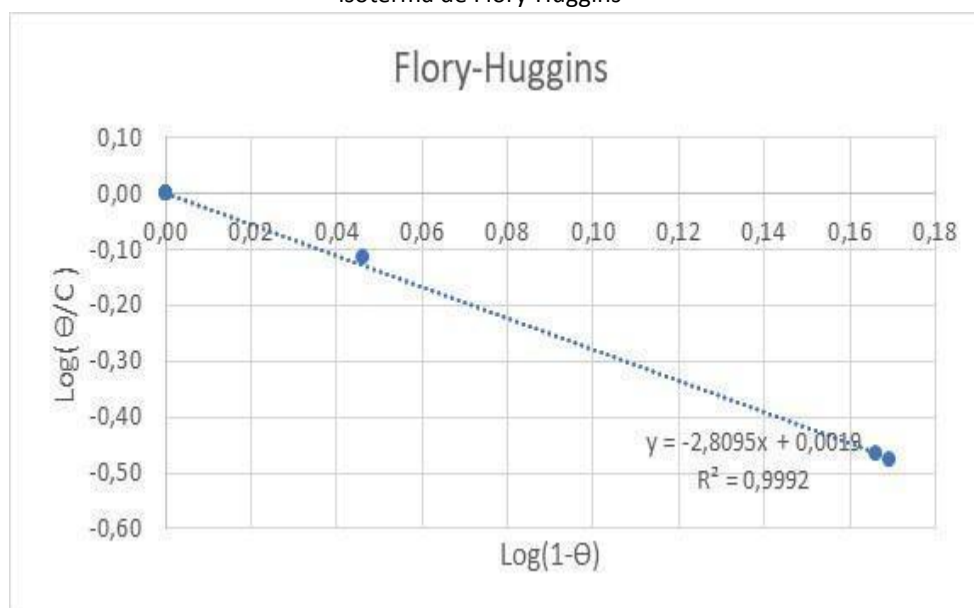
Figura 1- curva de adsorção adequada para o processo corrosivo estudado com espinheira santa: isoterma de Langmuir



Fonte: Autoria própria (2024).



Figura 2- curva de adsorção adequada para o processo corrosivo estudado com espinheira santa:
isoterma de Flory-Huggins



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

A Tabela 2 apresenta a relação dos modelos de adsorção de Langmuir, Tekim, Flory-Huggins e El-Awady obtidos dos dados de eficiência de inibição.

Tabela 2. Relação dos modelos de adsorção vs R^2 de cada equação.

Isotermas de adsorção	R^2
Langmuir	0,9857
Tekim	0,0134
Flory-Huggins	0,9992
El-Awady	0,4801

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Os dados obtidos da Tabela 2 indicam que os modelos de adsorção de Langmuir e Flory-Huggins apresentaram maiores valores de R^2 .

O extrato da espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia*), quando aplicado como inibidor de corrosão em meio salino com 1% de NaCl, apresentou reduções significativas nas taxas corrosivas. A isoterma de Flory-Huggins foi a mais adequada para estudar a espinheira santa como inibidor de corrosão, sugerindo que as moléculas adsorvidas do extrato são volumosas e ocupam mais de um sítio ativo.



AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP (PRH-ANP 55.1), gestão FAPESP, pela infraestrutura disponibilizada e pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

SILVA, Lucas Costa; DE SOUSA RIOSA, Maria Alexsandra. Inibidores de corrosão verde: uma breve revisão bibliométrica. **Revista Virtual de Química**, p. 01-10, 2023.

EL-AWADY, A. A.; ABD-EL-NABEY, B. A.; AZIZ, S. G. Elucidation of the Inhibition Mechanism of Metal Corrosion by Organic Compounds. **Journal of The Electrochemical Society**, v. 139, n. 8, p. 2149-2154, 1992.

SCHMITZHAUS, Tobias Eduardo *et al.* Utilização do extrato de produtos naturais da região do Pantanal-MS para obtenção de inibidores de corrosão verde. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 7, p. e5493-e5493, 2024.



Ab-diesel: combustível sustentável à base de óleo residual e n-propanol

Stefani da Silva de Melo

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

Maria Israele Silva de Sousa

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

Raniere Dantas Valença

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

Frederico Ribeiro do Carmo

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

Aline Mara Maia Bessa

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

RESUMO

A utilização intensiva de combustíveis fósseis, fundamentais na matriz energética mundial, tem contribuído com problemas ambientais, tais como a emissão de gases de efeito estufa e poluição do ar, além de ser proveniente de fontes não renováveis. Diante desta problemática, vem se estudando a formulação de um novo combustível AB-Diesel, uma combinação de álcool, biodiesel e diesel. O presente estudo visou obter biodiesel de óleo residual, a fim de analisar suas propriedades termo-físicas para futuras aplicações em óleo diesel comercial, juntamente com propanol. O biodiesel apresentou aspecto homogêneo, límpido e isento de impurezas. Os parâmetros medidos de densidade a 20 °C e viscosidade a 40 °C apresentaram valores de 0,88359 g/cm³ e 4,4262 mm²/s, respectivamente, assim como a análise de espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier apresentou um valor de 99,95% de similaridade ao biodiesel vendido comercialmente. Portanto, a produção desse biodiesel é relevante para a criação de um combustível que diversifique a matriz energética e reduza emissões.

Palavras-chave: Miscibilidade; Transesterificação; Sustentabilidade energética.



INTRODUÇÃO

Com o objetivo de reduzir os impactos ambientais e diversificar a matriz energética global, surge o estudo do combustível alternativo AB-Diesel, uma mistura pseudoternária composta por álcool, biodiesel e diesel.

O biodiesel é um combustível renovável, constituído por ésteres alquílicos de ácidos carboxílicos de cadeia longa produzidos por processos de transesterificação ou esterificação de gorduras vegetais ou animais e materiais graxos (Bezerra et al., 2023). A adição do álcool em sistemas de diesel e biodiesel contribui para equilibrar a composição do combustível gerado, ajustando as propriedades como viscosidade, densidade, estabilidade a oxidação, e, se usados de forma adequada, o álcool e o biodiesel são capazes de melhorar a estabilidade da mistura pseudoternária e reduzir a geração de gases poluentes (Kahn et al., 2021).

Os combustíveis AB-Diesel são desenvolvidos com diferentes proporções dos componentes em suas formulações, o que pode ocasionar imiscibilidade da mistura, sendo um fator indesejável ao produto final, pois o combustível deve ser miscível e estável. A partir disso, é necessário realizar estudos de equilíbrio líquido-líquido (ELL) no intuito de compreender o comportamento das fases da mistura, bem como realizar estudos de estabilidade (Bezerra et al., 2023).

Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo a produção de biodiesel a partir do óleo residual, a fim de analisar suas propriedades físico-químicas (densidade, viscosidade, e ponto de fulgor), análise de espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), e posteriormente aplicar esse biodiesel ao diesel e propanol, onde será avaliado experimentalmente teste de estabilidade e a avaliação experimental da miscibilidade.

METODOLOGIA

O óleo residual foi recolhido no Restaurante Universitário da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), e submetido a um processo de filtração para separação de resíduos sólidos e particulados. Na sequência foi determinado o índice de acidez pela metodologia da AOCS (American Oil Chemists Society) Ca 5-40 (Instituto Adolfo Lutz, 2008).

Para a produção de biodiesel, foi utilizada uma razão molar de 1:6, 1% de catalisador (NaOH,). A reação foi conduzida a uma temperatura de 60 °C por um período de 1 hora em um reator batelada. Após a reação, o biodiesel passou por processo de decantação no qual o glicerol foi removido. Em seguida, o biodiesel foi submetido a um processo de extração utilizando água destilada, com o objetivo de remover impurezas e subprodutos indesejados que poderiam comprometer a



qualidade e o desempenho do combustível. Finalmente, o biodiesel passou por um processo de desumidificação, sendo aquecido a 100 °C.

Os parâmetros físico-químicos foram determinados por meio de análises laboratoriais, utilizando equipamentos de precisão fornecidos pelo Núcleo de Pesquisa de Baixo Carbono (NPCO2), com exceção do índice de acidez feito por titulação. O espectro de infravermelho no FTIR Cary 630 da Agilent e a densidade, viscosidade e Ponto de Fulgor nos equipamentos da Anton Paar, DMA 4501, SVM 1101 e PMA 500, respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O biodiesel de óleo residual apresentou coloração amarelada, límpida, homogênea, sem particulados. Foram realizadas análises de parâmetros essenciais deste biodiesel para verificar se está em conformidade com as normas estabelecidas pela Resolução Nº 920/2023, emitida pela Agência Nacional de Petróleo e Gás Natural. De acordo com essa resolução, a densidade deve ser medida a 20°C e deve estar entre 850 e 900 kg/m³, enquanto a viscosidade, medida a 40°C, deve estar entre 3,0 e 5,0 mm²/s. Como mostrado na Tabela 1, tanto a densidade quanto a viscosidade do biodiesel produzido a partir de óleo residual estão dentro da faixa estabelecida pela ANP.

Tabela 1 – Análise dos parâmetros do biodiesel

Parâmetro	Valor	Unidade
Densidade (20°C)	0,88359	g/cm ³
Viscosidade (40°C)	4,4262	mm ² /s
Ponto de Fulgor (VF)	182	°C

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Realizou-se uma análise de espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), como mostrado na Figura 1, onde a linha azul representa o biodiesel produzido e em vermelho o comercial.

O resultado do FTIR fornece uma concepção de que a composição do biodiesel produzido é semelhante à do biodiesel comercial, onde a taxa de similaridade foi de 95,99%, indicando que a taxa de conversão de éster está acima de 96,5 % (Res. ANP 920/2023).

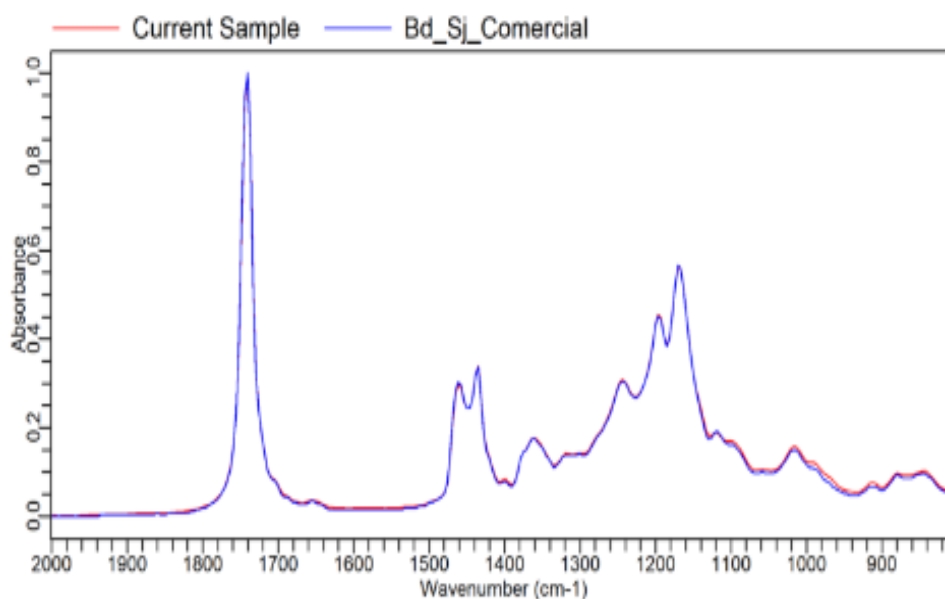
O ponto de fulgor indica a temperatura mínima a qual o biodiesel começa a liberar vapores, tornando-se inflamável. Para o biodiesel, esse ponto foi identificado em 182°C. Esta análise é essencial para garantir a segurança no transporte e o armazenamento do combustível.

Em etapa posterior, pretende-se realizar estudos de ELL e estabilidade para a mistura biodiesel de óleo residual + diesel + propanol, com isso, espera-se definir a



proporção ideal da mistura combustível. E por fim, realizar o teste em motor bancada, analisando as emissões e performance do combustível.

Figura 1 – Análise de FTIR.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

CONCLUSÃO

O biodiesel a partir do óleo residual produzido apresentou densidade e viscosidade dentro das especificações determinadas pela agência nacional de petróleo e gás. O espectro obtido por FTIR do biodiesel produzido apresentou similaridade ao biodiesel comercial. Posteriormente, esse biocombustível será adicionado ao propanol, e ao diesel, a fim de formular um combustível alternativo, avaliando sua estabilidade, miscibilidade, e será testado em motor de ciclo diesel para avaliar as emissões de gases e sua eficiência.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP (PRH-ANP 55.1), gestão FAPESP, pela infraestrutura disponibilizada e pelo financiamento da pesquisa. Também agradecemos à Brava Energia pelo fornecimento do diesel puro para os experimentos realizados.



REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (Brasil). Resolução nº 920, de 4 de abril de 2023. **Diário Oficial da União: seção 1**, Brasília, DF, 5 abr. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (Brasil). Resolução nº 968, de 30 de abril de 2024. **Diário Oficial da União: seção 1**, Brasília, DF, 2 maio 2024.

BEZERRA, J. K. A. *et al.* Experimental study of liquid–liquid equilibrium and thermodynamic modeling for systems containing alcohols + biodiesel + diesel. **Journal of Chemical & Engineering Data**, v. 68, n. 7, p. 1739–1747, jul. 2023.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (São Paulo). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Coordenadores: Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p. Versão eletrônica.

KHAN, M. M. *et al.* An assessment of alcohol inclusion in various combinations of biodiesel-diesel on the performance and exhaust emission of modern-day compression ignition engines – a review. **Materials Science for Energy Technologies**, v. 5, p. 81–98, 2022.

YESILYURT, Murat Kadir; YILBASI, Zeki; AYDIN, Mustafa. The performance, emissions, and combustion characteristics of an unmodified diesel engine running on the ternary blends of pentanol/safflower oil biodiesel/diesel fuel. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 140, n. 6, p. 2903–2942, jun. 2020.



SOBRE OS ORGANIZADORES

Frederico Ribeiro do Carmo

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5965241819609616>

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0666-2956>

E-mail: frederico.ribeiro.c@ufersa.edu.br

Graduado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Ceará (2009), com mestrado (2012) e doutorado (2014) no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da mesma instituição. É Professor do Departamento de Engenharia e Tecnologia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e do Programa de Manejo de Solo e Água da mesma instituição, ministrando principalmente disciplinas relacionadas às seguintes áreas: Termodinâmica, Operações Unitárias, Petróleo, Biocombustíveis e Descarbonização. Desenvolve projetos de pesquisa e de desenvolvimento tecnológico nas áreas de biocombustíveis, garantia de escoamento, transição energética, economia circular e descarbonização de processos. Atua como revisor de periódicos científicos internacionais e consultor ad hoc de agências de fomento. É o coordenador do Núcleo de Pesquisa em Economia de Baixo Carbono da UFERSA. Ademais, possui experiência na coordenação de projetos de pesquisa e de desenvolvimento tecnológico financiados por agências de fomento e empresas, sendo atualmente coordenador do Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (PRH-ANP 55.1), localizado na UFERSA.

Poliana Pinheiro da Silva

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4680359631249875>

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4026-5583>

E-mail: ppinheiroeq@gmail.com

Graduada em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), onde atuou como monitória em diversos projetos acadêmicos e exerceu os cargos de diretora e consultora no núcleo de Engenharia Química da Empresa Júnior Multidisciplinar. Possui mestrado em Engenharia Química pela UFCG, com foco no tratamento e aproveitamento de resíduos sólidos a partir da estabilização por solidificação em matrizes cimentícias, período no qual participou de cursos voltados para planejamento experimental e estatístico aplicado a engenharia química. É doutora em Engenharia Química pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPGEQ/UFRN), com ênfase no aproveitamento de biomassas lignocelulósicas para o desenvolvimento e produção de aditivos para biocombustíveis. Durante o doutorado, aprofundou seus conhecimentos por meio de cursos de capacitação em caracterização e aproveitamento de biomassas agroindustriais, além de análise termogravimétrica para caracterização de materiais. Atualmente é pesquisadora visitante do Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (PRH-ANP) na UFERSA.

Daniel Valadão Silva

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2100406454919685>

Orcid: daniel.valadao@ufersa.edu.br

E-mail: daniel.valadao@ufersa.edu.br

Engenheiro Agrônomo (2009) e mestre em Produção Vegetal (2011) pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Doutor em Fitotecnia (2014) pela Universidade Federal de Viçosa, onde também realizou seu Pós-Doutorado (2015). Atualmente é Professor Adjunto



da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água (Conceito 4). Foi Pró-reitor de Pesquisa e Pós-Graduação (2020), Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia (conceito 6) de 2016 a 2020 e coordenador do Comitê Institucional de Iniciação Científica da UFERSA(2019). É bolsista de Produtividade nível 1C do CNPq. Já orientou mais de 50 alunos de iniciação científica, 25 mestres, 14 doutores e foi supervisor de 4 estágios de pós-doutorado. Foi editor-chefe da Weed Control Journal (antiga Revista Brasileira de Herbicidas) de 2016 a 2024. É editor de seção da Revista Caatinga e da Advances in Weed Science. Revisor de vários periódicos nacionais e internacionais. Recebeu o prêmio de Jovem Pesquisador em 2018 pela Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas. Coordena diversos projetos financiados por agências de fomento, como o CNPq, CAPES, FINEP e a FAPERN, bem como com empresas privadas dos setores de agricultura e energia. Na área de Ciências Agrárias, tem suas pesquisas relacionadas com economia de baixo carbono, modelagem ambiental, economia circular, ecotoxicologia de herbicidas e manejo integrado de plantas daninhas em espécies cultivadas.

**Endereço**

Sistemas de Bibliotecas da UFRSA

Biblioteca Orlando Teixeira (BOT)

Av. Francisco Mota, 572 - Campus Leste

Bairro: Costa e Silva | Mossoró, RN | CEP: 59.625-900 | Telefone: (84) 3317-1807 | Ramal 1005

Portal: <https://periodicos.ufrsa.edu.br/atena> | E-mail: periodicos@ufrsa.edu.br

Composição da Obra

Dimensões: A4

Característica: Digital

Formato: PDF-A

Números de páginas: 160

Paleta de cores: Colorido

Estilo da fonte: Calibri



V WORKSHOP

DO PRH 55.1

