

**XXIX *Workshop* do PRH44.1 em Petróleo, Gás e Energias Renováveis**  
**23 a 26 de abril de 2024**  
**Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN**  
**Núcleo de Ensino e Pesquisa em Petróleo e Gás - NUPEG**



# LIVRO DE RESUMOS

## Sumário

<i>Utilização de Bactérias Imobilizadas para a Biodegradação de Petróleo Bruto: Uma Revisão da Literatura</i> .....	3
<i>Tecnologia de Carbonatação Mineral Integralizada com Circulação de Monoetanolamina</i> .....	5
<i>Aplicação da Tecnologia de Membranas na Separação de Misturas Análogas ao Biodiesel</i> .....	7
<i>Influência de Métodos de Síntese na Regeneração de Catalisadores De Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> na Reforma a Seco de Metano</i> .....	9
<i>Aprimoramento de Malha de Aço Inoxidável para Produção de Hidrogênio através do Método Dinâmico de Bolha de Hidrogênio Empregando Ni</i> .....	11
<i>Síntese de Green Diesel a partir da Desoxigenação dos Triglicerídeos de Óleos Vegetais</i> .....	13
<i>Fluido de Perfuração Base Água Contendo Pó de Conchas de Moluscos (PCM): Formulação, Propriedades Reológicas e Parâmetros de Filtração</i> .....	15
<i>Síntese de Acetato de Celulose a partir da Biomassa Lignocelulósica para Obtenção de Membranas para Captura de CO<sub>2</sub> do Gás Natural: Uma Revisão da Literatura</i> .....	17
<i>Estudo da Matéria Prima e Caracterização do Óleo de Eucalipto para Aplicação do Equilíbrio de Fases</i> .....	19
<i>Grafeno Derivado de Biomassa para Obtenção de Supercapacitores</i> .....	21
<i>Parâmetros de instrumentação para avaliação do desempenho tribológico de caixa de engrenagem</i> .....	23
<i>Usinagem e tratamento térmico em aço sae 52100</i> .....	25
<i>Simulação Numérica no Estudo do Ruído Aerodinâmico presente nos Perfis (Pás) de Aerogeradores</i> .....	27
<i>Implementação da comunicação bidirecional para a aplicação do conceito de gêmeo digital na indústria do petróleo</i> ..	29
<i>Estudo dos esforços estáticos na estrutura de um veículo leve híbrido (vlh) com o auxílio do método dos elementos finitos</i> .....	31
<i>Avanços no desenvolvimento de um sistema eletrônico para a medição da energia consumida na esclerometria pendular de passe único</i> .....	33
<i>Um sistema de visão computacional baseado em redes neurais convolucionais artificiais para o reconhecimento de objetos em um protótipo de um sistema flexível de manufatura</i> .....	35
<i>Adsorção de Fenol em Água por Argilas Organofílicas</i> .....	37
<i>Aplicação do Pó de Areia Argilosa como Catalisador do Processo Foto-Fenton Visando Tratamento de Água Produzida Contaminada com Fenol</i> .....	39
<i>Artificial Neural Network Modeling for Predicting CO<sub>2</sub> Solubility in MEA Aqueous Solutions</i> .....	41
<i>Determinação da Porosidade de Espuma de Poliuretano Pós-Consumo Alterada por Adição de Óxido de Zinco para Sorção de Óleos Derramados em Alto Mar</i> .....	43
<i>Potencial da Microalga na Produção de Biocombustíveis: Revisão Bibliográfica</i> .....	45
<i>Densidade de Misturas Aquosas contendo Eletrólitos Fortes: Aplicação de Machine Learning e Comparação com Modelos da Literatura</i> .....	47
<i>Carbonatação mineral do CO<sub>2</sub></i> .....	49
<i>Análise do processo de mineralização de CO<sub>2</sub> em carbonatos: solubilidade do CaCO<sub>3</sub></i> .....	51
<i>Influência de promotores na formação de cristais de carbonatos: uma análise revisional</i> .....	53
<i>Processos na indústria de petróleo</i> .....	55
<i>Recrutamento de Estagiário e Trainee</i> .....	56

## Utilização de Bactérias Imobilizadas para a Biodegradação de Petróleo Bruto: Uma Revisão da Literatura

Francisco Bruno F. de Freitas<sup>1</sup>; Carlos Eduardo de A. Padilha<sup>2</sup>; Nathalia S. Rios<sup>3</sup>; Everaldo S. dos Santos<sup>4</sup>  
Laboratório de Engenharia Bioquímica – Departamento de Engenharia Química  
\*brunoferreirafrei@gmail.com

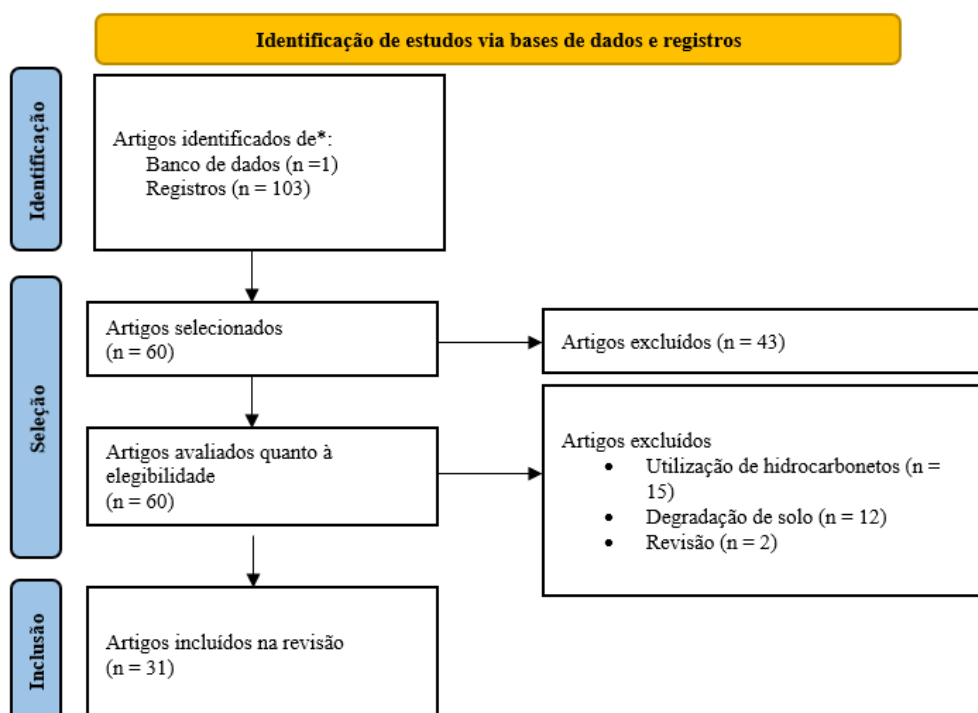
### Introdução

Atualmente, a indústria de petróleo ainda se mantém como uma importante área de desenvolvimento e exploração, gerando matérias primas para o desenvolvimento de produtos essenciais para a sociedade [1]. Porém, esse aumento no desenvolvimento pode ocasionar sérios problemas ambientais decorrentes do derramamento no ambiente marinho, gerando, assim, preocupações para a sociedade [2]. Técnicas físicas e químicas para remediação de locais poluídos por petróleo bruto são ambientalmente destrutivas e caras, e subprodutos podem causar contaminação ambiental secundária [3]. Em comparação, a biorremediação pode ser uma abordagem mais sustentável e comum devido ao seu procedimento simples, economia e adaptação à natureza [4]. A extensão da biorremediação de petróleo bruto é frequentemente limitada por uma variedade de fatores ambientais, incluindo concentração de óleo, salinidade, pH e temperatura, bem como fatores bióticos e competição com microrganismos nativos [5,3]. A imobilização de células microbianas ajuda a preservar a estabilidade e a atividade celular, fornecendo suporte físico e aumentando a permeabilidade celular, o que resulta em um aumento na taxa de biorremediação [6]. Assim, objetivou-se traçar um perfil dos dados científicos atualmente disponíveis sobre imobilização de microrganismos com ênfase na biodegradação de petróleo e produtos derivados por meio de análise bibliométrica.

### Metodologia

Foi realizada uma revisão mista com abordagem bibliométrica, composta por análise bibliométrica e revisão da literatura, com base no PRISM (Figura 1) [7]. Foi utilizada a base de dados *Scopus*. Os campos incluídos na busca foram título, resumo e palavras-chave, com a aplicação de filtros para "artigos" como um tipo de documento e independentemente do idioma. Foram utilizadas como palavras-chaves em inglês: "immobilization", "microorganisms", "biodegradation" e "petroleum".

**Figura 1:** Fluxograma do método misto utilizado para busca na literatura de artigos relevantes sobre imobilização de microrganismos para a biodegradação de petróleo.



### Resultados e Discussão

A partir dos dados da Figura 2, observa-se que durante os anos de 2016 e 2023 ocorreram a maior quantidade de publicações referentes ao uso de immobilizações de células para a biodegradação de petróleo bruto, 10 artigos foram publicados. Assim, é possível observar que durante os últimos cinco anos ocorreram as maiores quantidades de publicações evidenciando assim a preocupação da comunidade científica em buscar métodos mais eficazes e “limpos” para a degradação do petróleo e seus derivados. Além disso, pode-se também relacionar essa maior quantidade de publicações com as novas descobertas de novos poços de petróleo e acontecimentos de derramamento de petróleo atuais. A partir da Figura 2-B, observa-se que a maior quantidade de publicações foi referente à China, publicando mais de 40 artigos referentes ao tema de interesse, fato esse um pouco preocupante para o Brasil, tendo em vista que o mesmo não aparece com nenhuma publicação. Isso deve ser destacado, pois no ano de 2019 o Brasil sofreu com o maior derramamento de petróleo da história, atingindo e prejudicando até hoje inúmeros moradores e o ecossistema como um todo, do litoral nordestino, mostrando que é de extrema importância a pesquisa nessa área no Brasil. Dai *et al.*, [8], utilizando um consórcio lacase-bactéria immobilizada em zeólita modificada para a degradação de óleo pesado encontraram uma eficiência de 66,5% de degradação do petróleo após 100 dias de degradação, 27,1% maior que o tratamento usando apenas a bactéria livre. Kumar *et al.*, [9], utilizaram farelo de trigo para a immobilização de um consórcio bacteriano hidrocarbonoclastico, encontrando resultados satisfatórios, pois o consórcio co-immobilizado degradou mais de 85% do total de hidrocarbonetos após 10 dias de incubação.

**Figura 2:** Quantidades de artigos publicados por ano (a) e por países (b) na base de pesquisa *Scopus*



## Conclusões

A partir dos dados apresentados no presente trabalho, pode-se observar a importância da realização de pesquisas no Brasil referentes a immobilização de células de microrganismos para a biodegradação de petróleo, sendo uma técnica promissora, apresentando resultados positivos, além de ser uma técnica pesquisada por países desenvolvidos, gerando menos impactos ambientais e gerando subprodutos menos tóxicos, em comparação a técnicas físicas.

## Referências Bibliográficas

- [1] Bhattacharya, M., Guchhait, S., Biswas, D., & Singh, R. (2019). Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 18, 101034. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101034>.
- [2] Luo, Q., Hou, D., Jiang, D. et al. Biodegradation 32, 165–177 (2021).
- [3] Speight, J., & El-Gendy, N. (2018). In (pp. 419–470).
- [4] Bidja Abena, M. T., Sodbaatar, N., Li, T., Damdinsuren, N., Choidash, B., & Zhong, W. (2019). Applied Biochemistry and Biotechnology, 189(4), 1223–1244. <https://doi.org/10.1007/s12010-019-03058-2>.
- [5] Hamoudi-Belarbi, L., Hamoudi, S., Belkacemi, K., Nouri, L., Bendifallah, L., & Khodja, M. (2018). 5, 124.
- [6] Prapagdee, B., & Wankumpha, J. (2017). Env. Science and Pollution Research, 24(23), 19249–19258.
- [7] Page, M.J.; McKenzie, J.E.; Bossuyt, P.M.; Boutron, I.; Hoffmann, T.C.; Mulrow, C.D.; Shamseer, L.; Tetzlaff, J.M.; Akl, E.A.; Brennan, S.E.; et al. BMJ 2021, 372, n71.
- [8] Dai, X., Lv, J., Yan, G., Chen, C., Guo, S., & Fu, P. (2020). Bioresource technology, 309, 123305.
- [9] Kumar, A.G., Rajan, N.N., Kirubakaran, R., & Dharani, G. (2019). Marine pollution bulletin, 146, 741-750.

*Gleyson B. Oliveira\*; Carlos E.A. Padilha; Domingo F.S. da Souza*

*Laboratório de Energia Alternativa e Fenômeno de Transporte – Departamento em Engenharia Química*

*\*gleysonbatista35@gmail.com*

## Introdução

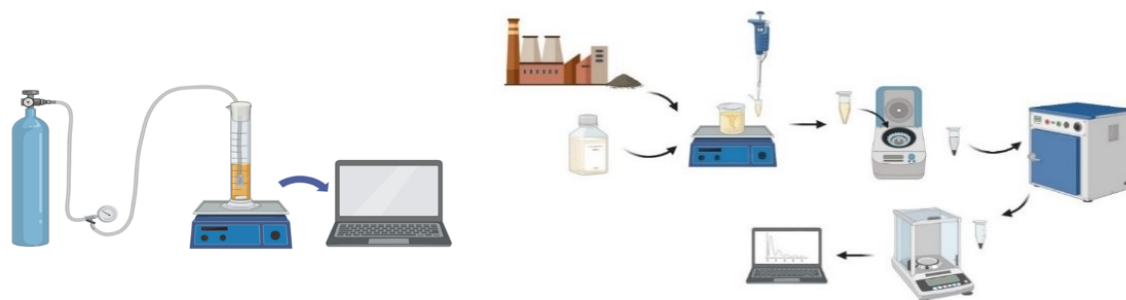
Existem evidências científicas claras sobre a ligação entre as emissões antropogênicas de carbono e demais GEE (Gases do Efeito Estufa) que vem provocando o aumento das temperaturas globais, levando às incidências de fenômenos meteorológicos extremos e outros impactos relacionados com o clima [1]. De acordo com o levantamento realizado pelo IPCC, dentre as principais fontes globais de emissão de CO<sub>2</sub> destacam-se as plantas que utilizam carvão como fonte de energia e óleo, com parcela representante de 33% e 29%, respectivamente [2]. Desse modo, buscando a redução e neutralização dos efeitos causados pelos GEE diferentes tecnologias vêm sendo estudadas ao longo dos últimos anos. As tecnologias de captura e armazenamento existentes têm como objetivo impulsionar a descarbonização das emissões gasosas das usinas existentes, apesar da concentração de CO<sub>2</sub> emitida ser de aproximadamente 8% v/v [3].

A tecnologia de captura e armazenamento de carbono (CCS) tem atraído muita atenção por ser considerada uma forma eficaz de reduzir as emissões globais de carbono [4]. A carbonatação mineral, surge como uma das tecnologias pertencente ao conjunto de técnicas em unidades CCS com um grande potencial de aplicação em escala industrial. Seu princípio se baseia na interação das moléculas de CO<sub>2</sub> reagindo com materiais contendo óxidos alcalinos, resultando na formação de carbonatos. Associado à tecnologia de mineralização, o consorcio com outras técnicas vem tomando espaço na aplicação direta, uma dessas, que vem mostrando eficiência, é a *amine-looping*. Este processo tem sido adotado devido à sua alta solubilidade em água, baixo custo e rápida cinética [5].

## Metodologia

Os experimentos de captura de CO<sub>2</sub> e mineralização de carbono *ex situ* foram realizados para regeneração da MEA (Monoetanolamina) em sistema de béquer com agitação e temperatura ambiente. A mineralização de CO<sub>2</sub> consiste na mistura de diferentes concentrações de óxido de cálcio e magnésio (CaO e MgO) de 2%, 5% e 8% (p/p) em 70 mL de solução carbonatada de MEA. A velocidade de agitação para todos os experimentos foi fixada em 300 rpm à uma temperatura de 25°C. A fase aquosa consistia em MEA em composições de 10, 20 e 30 (%v/v). O experimento foi realizado com tempo de reação de 2 h, coletando alíquotas ao longo do tempo para medição do pH. Após o tempo de reação, aguarda-se a estabilização das condições até à temperatura ambiente, o conteúdo obtido é isolado e submetido a filtração à vácuo. O produto sólido coletado foi seco em estufa com circulação de ar a 105 °C por 12 h e armazenado em tubos *Eppendorf*. Uma representação da implementação experimental é mostrada na Figura 1.

Figura 1. Representação esquemática da unidade de captura e mineralização de CO<sub>2</sub>.

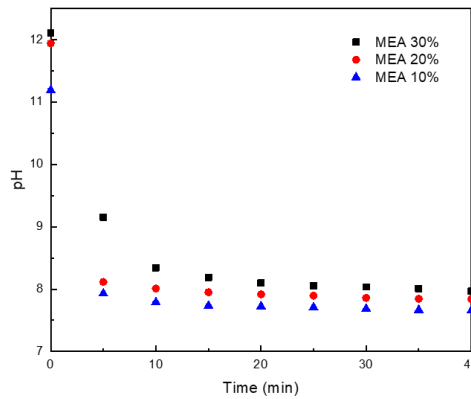


## Resultados e Discussão

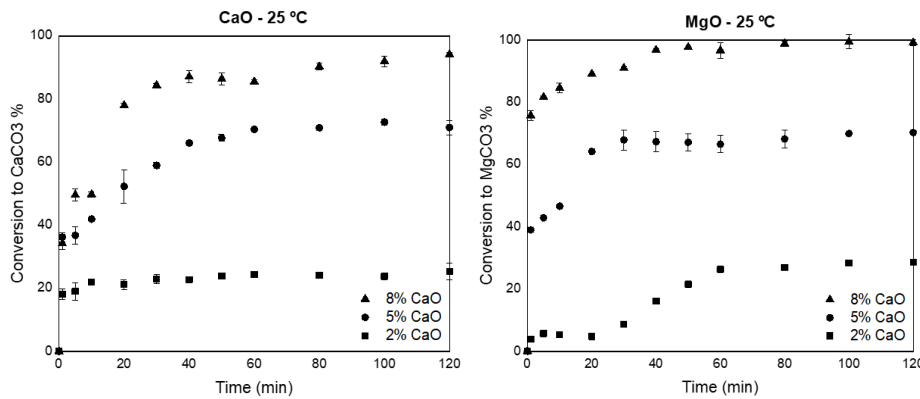
No início do processo de captura, entre 0 e 5 min, é vista uma redução significativa no pH da solução absorvedora. O decréscimo do pH ao longo da reação de captura ocorre devido às interações entre as moléculas de CO<sub>2</sub> na presença das aminas contidas nas moléculas de MEA. Tal ocorrência promove a formação de íons de carbonato e bicarbonatos a partir da interação entre as moléculas de MEA, H<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub>. Como consequência da ação é tido

o aumento da acidez do meio e consequentemente a redução do pH. O mecanismo da reação entre CO<sub>2</sub> e a solução de MEA é no cenário atual amplamente reconhecido como um mecanismo zwitteriônico proposto por Caplow e Danckwerts [3].

**Figura 2.** Cinética de captura de CO<sub>2</sub> em sistema convencional com soluções de 10, 20 e 30% (v/v) de MEA.



**Figura 3.** Cinética de mineralização de CO<sub>2</sub> em condição 25 °C na presença do CaO e MgO.



O aumento rápido no início do processo indica que a reação de carbonatação prossegue muito rapidamente nos primeiros minutos, após a reação é lenta indicando que a carbonatação pode ser concluída em curto espaço de tempo, fazendo o uso de 5% (p/p) de CaO e MgO. Ao final do tempo de reação (60 min) foi obtida uma conversão de aproximadamente 66% de CaCO<sub>3</sub> e 70% para MgCO<sub>3</sub>, o que representa um bom cenário para a formação do produto desejado.

### Conclusão

Portanto, conclui-se que o aprisionamento ocorreu seguido da dissociação das moléculas de CO<sub>2</sub> e MEA na presença de concentrações de CaO e MgO, que por sua vez está associada à formação de CaCO<sub>3</sub> e MgCO<sub>3</sub>. Em concentrações de ambos os óxidos acima de 5%, a conversão mostrou-se mais eficiente. Concentrações mais altas de MEA promovem melhor sequestro e comportamento de armazenamento de CO<sub>2</sub>.

### Referências Bibliográficas

- [1] PÖRTNER et al. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. 2022.
- [2] IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. 2022.
- [3] VAZ et al. Technologies for carbon dioxide capture: A review applied to energy sectors. *In Cleaner Engineering and Technology*. v. 8, 2022.
- [4] JEONG, J., PARK, E., HAN, W. S., KIM, K. Y., & YUN, S. T. *Journal of Hydrology*, 572, 32–39. 2019.

## *Aplicação da Tecnologia de Membranas na Separação de Misturas Análogas ao Biodiesel*

*Glória L. V. Costa\*; Liana F. Padilha; Osvaldo Chiavone-Filho*

*Núcleo de Ensino e Pesquisa em Petróleo e Gás – Departamento de Engenharia Química (UFRN);*

*\*glorialouine@hotmail.com*

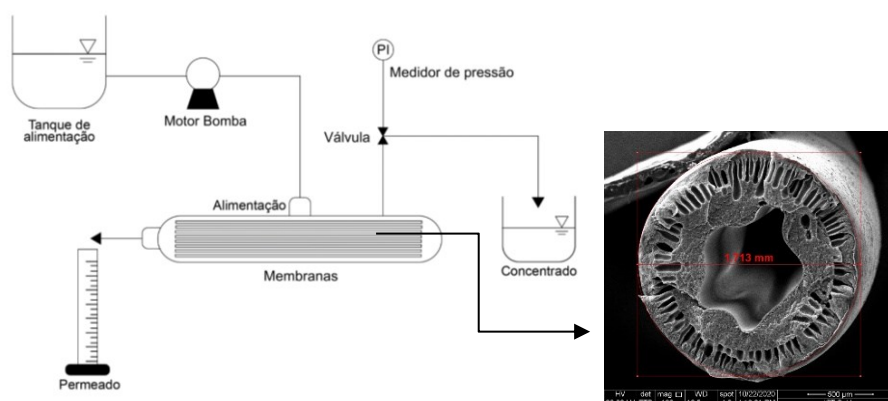
### **Introdução**

A produção de energia a partir de biocombustíveis apresenta várias vantagens. No entanto, o seu alto custo segue sendo um obstáculo para a ampliação da produção e consumo em países subdesenvolvidos. O Brasil possui um destaque significativo no cenário mundial de produção e uso de biocombustíveis, particularmente em relação ao biodiesel derivado de óleos vegetais ou de gorduras animais [1]. Apesar disso, a área de produção de biodiesel ainda demanda estudos para tornar seus processos mais sustentáveis. Industrialmente, a transesterificação é a reação mais utilizada para a obtenção do biodiesel. Nesta etapa, triglicerídeos são reagidos com um álcool de cadeia curta, na presença de catalisador, e produzem ésteres de ácidos graxos (biodiesel) e glicerol [2]. A presença do glicerol como subproduto da reação torna necessária a realização de processos adicionais de purificação. O método mais tradicional de purificação é o por via úmida, em que é introduzida a água no processo de separação do biodiesel. Embora seja eficiente, a lavagem úmida consome bastante tempo, levando de horas a dias, o que resulta em águas residuais com maior volume do que o biodiesel bruto que está sendo lavado [3]. Diante do problema exposto, tem-se explorado a aplicabilidade do processo de separação por membranas (PSM) como método alternativo à lavagem aquosa no processo de purificação de biodiesel. Nesse contexto, o trabalho tem como objetivo avaliar a aplicabilidade do processo de separação por membranas poliméricas de Fluoreto de polivinilideno (PVDF) através da formulação de blendas que simulem a composição do biodiesel e posterior utilizando a tecnologia de membranas.

### **Metodologia**

Para o desenvolvimento da pesquisa e a realização dos experimentos, é necessário a montagem de um sistema de bancada, como mostra a Figura 1. As membranas foram acondicionadas em um módulo de PVC contendo uma área de membrana de 120 cm<sup>2</sup> e permeabilidade hidráulica média de 204,74 L/h.m<sup>2</sup>.bar. A morfologia das membranas mostra uma estrutura bem formada, com diâmetro externo e interno de 1,78 mm e 0,813 mm, respectivamente. Para avaliar a eficiência das membranas, foi proposta a realização de experimentos utilizando misturas que simulem a composição do biodiesel bruto, ou seja, antes do processo de separação.

Figura 1 – Sistema de separação por membranas de bancada.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A mistura proposta é constituída de ácido oleico, álcool etílico e glicerina; e as concentrações dos componentes estão expressas na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição das misturas de ácido oleico, etanol e glicerina.

Componente	Concentração (% m/m)		
Ácido oleico	75	80	85
Álcool etílico	12,5	10	7,5
Glicerina	12,5	10	7,5

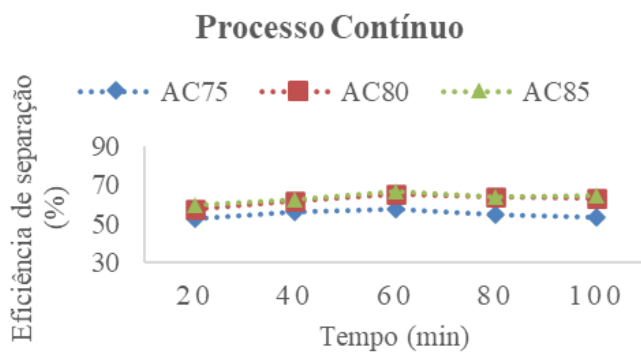
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Além da concentração das misturas, foram realizadas alterações no modo de operação do sistema (contínuo e em bateladas), para definir as melhores condições para a realização do processo de separação. O teor de pureza da mistura foi avaliado através do teor de conversão, baseado na análise físico-química de índice de acidez, conforme procedimento descrito pela *American Oil Chemists' Society* (AOCS), método Ca 5a-40.

## Resultados e Discussão

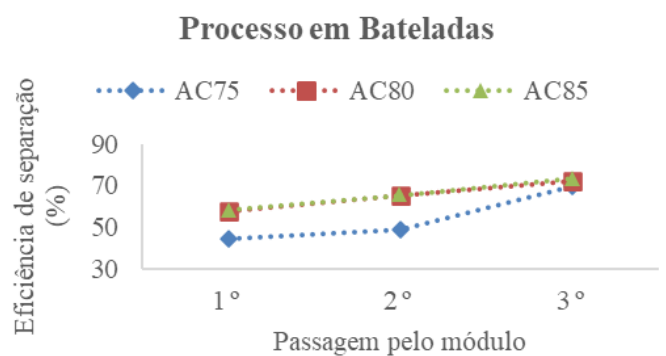
A análise do índice de acidez foi realizada tanto para a corrente de permeado quanto para a de concentrado nos dois processos aplicados. Em todas as correntes de permeado dos experimentos realizados não foi possível detectar acidez pela técnica aplicada, indicando que o ácido oleico foi retido pela membrana de PVDF. Na Figura 2, os valores médios para a eficiência de separação em processo contínuo são apresentados. A partir do gráfico pode-se observar que as membranas obtiveram a maior eficiência de separação no tempo de 60 min em contato com as misturas. Todas as amostras avaliadas demonstraram o mesmo comportamento, indicando que, embora uma maior porcentagem de ácido oleico facilite a separação, após 60 min de contato, o módulo diminui sua eficiência. A Figura 3 apresenta os valores médios para a eficiência de separação do processo em bateladas. Após a terceira passagem pelo módulo, as misturas obtiveram resultados médios superiores ao processo contínuo. De forma semelhante ao processo anterior, quanto maior a porcentagem de ácido oleico na mistura, maior a eficiência de separação das membranas.

Figura 2 – Gráfico da eficiência de separação em processo contínuo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 3 – Gráfico da eficiência de separação do processo em bateladas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

## Conclusões

A realização dos experimentos demonstrou boa eficiência de separação das membranas utilizadas em ambas as condições de processo avaliadas. Diante disso, a aplicação do processo de separação por membranas pode ser uma alternativa viável para aplicação no processo de separação do biodiesel, intensificando sua cadeia produtiva.

## Referências Bibliográficas

- [1] Vidal, M. F. Banco do Nordeste. Ano 4, nº 79, maio, 2019.
- [2] Navas, M. B.; Bolla, P. A.; Lick, I. D.; Casella, M. L.; Ruggera, J. F. *Chemical Engineering Science*, Vol. 187, p. 444-454. 2018.
- [3] Manaf, I. S. A.; Embong, N. H.; Khazaai, S. N. M.; Rahim, M. H. A.; Yusoff, M. M.; Lee, T. K.; Maniam, G. P. *Energy Conversion and Management*, v. 185, p. 508-517, 2019.



## Influência de Métodos de Síntese na Regeneração de Catalisadores De Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> na Reforma a Seco de Metano

Raony Assunção da Silva Borges<sup>1\*</sup>; Yuri Kauã R. de O. Silva; Fernando V. Maziviero; Rodrigo C. Santiago;

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Laboratório de Tecnologia Ambiental (LABTAM), Instituto de Química (IQ), Natal-RN

\*raony.borges.092@ufrn.edu.br

### Introdução

A reforma a seco do metano (RSM) é uma rota promissora na transição energética global, pois utiliza metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para produzir hidrogênio (H<sub>2</sub>), sendo aplicado nos setores de petróleo, gás natural, biocombustíveis e energias renováveis, contribuindo para o fomento de fontes de energia mais limpas e sustentáveis. Os catalisadores de Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> são essenciais na eficiência e seletividade da RSM, sendo amplamente estudados pela alta atividade catalítica e competitividade de preço [3]. A regeneração dos catalisadores é essencial para preservar sua atividade ao longo do tempo. A seleção do método de síntese do suporte na preparação de catalisadores desempenha um papel importante, uma vez que a interação entre o sítio metálico e o suporte influencia a eficiência catalítica. Características texturais, como alta área superficial, distribuição homogênea de partículas e porosidade, também afetam a eficiência catalítica [1,8]. Este estudo analisa o impacto de diferentes métodos de síntese do suporte de alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) nas propriedades, eficiência e regeneração dos catalisadores, buscando desenvolver catalisadores mais eficazes e sustentáveis.

### Metodologia

O precursor Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>.9H<sub>2</sub>O (*Sigma Aldrich*) foi utilizado em quatro métodos de síntese diferentes para preparar suportes de Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>): sol-gel (SG)[6], Pechini (PC)[7], hidrotermal (HT)[2], e combustão por micro-ondas (CM)[4]. Em seguida, os suportes foram calcinados a 700°C, 10°C/min, por 3 horas em forno mufla. Todos os suportes foram impregnados com 10% em massa de níquel, utilizando o precursor Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O (VETEC), por meio da técnica de impregnação via umidade incipiente. O material pastoso resultante foi seco em estufa a 80°C durante 24 horas e calcinado a 550°C, 10°C/min, por 3 horas em forno mufla, para a ativação da fase metálica e a obtenção das características desejáveis do catalisador sintetizado [5]. A Tabela 1 apresenta os catalisadores obtidos por cada método de síntese utilizado e suas respectivas siglas correspondentes.

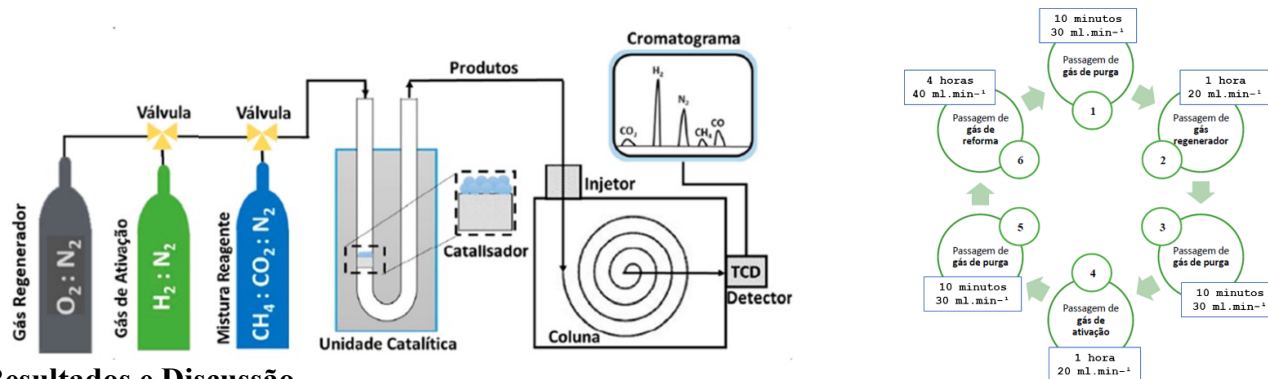
Tabela 1: Especificações dos suportes e catalisadores produzidos e suas respectivas siglas correspondentes

Amostra	Método de síntese da alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )				Comercial (CC)
	Sol-gel (SG)	Pechini (PC)	Hidrotermal (HT)	Combustão por micro-ondas (CM)	
Suporte (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	ASG	APC	AHT	ACM	ACC
Catalisador (Ni/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	CSG	CPC	CHT	CCM	CCC

Fonte: Autor (2023)

Todos os suportes e catalisadores produzidos foram caracterizados por: Difração de Raios-X (DRX), Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), Análises Termogravimétricas (TG) e fisissorção de nitrogênio, para determinar suas propriedades composicionais e texturais. Com base nessas caracterizações, três catalisadores (CSG, CHT e CCM) foram selecionados para testes de atividade e regeneração da RSM a 700°C, em um reator de leito fixo do tipo U. A Figura 1 detalha a configuração experimental e metodologia da etapa de regeneração, os testes foram realizados com 25 mg de cada catalisador a uma velocidade espacial (GHSV) de 96 L/g.h por 4 horas, seguidos por uma etapa de regeneração utilizando ar sintético.

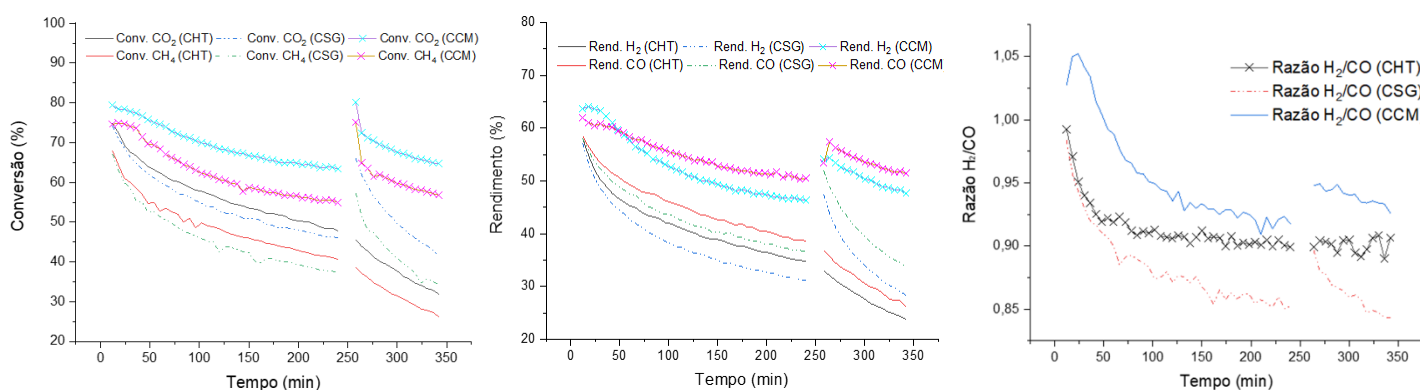
Figura 1: Esquema da configuração experimental e metodologia da RSM com etapa de regeneração



## Resultados e Discussão

Os gráficos da figura 2 apresentam a variação do rendimento de  $H_2$  e  $CO$ , a conversão dos gases reacionais  $CH_4$  e  $CO_2$ , e a razão molar  $H_2/CO$  ao longo do tempo durante o processo de reforma a seco de metano com regeneração para os catalisadores: CHT, CSG, CCM. Observou-se que os diferentes catalisadores apresentaram comportamentos distintos em termos de rendimento, conversão e razão molar. O catalisador CCM demonstra maior estabilidade e consistência ao longo do tempo, mantendo uma produção equilibrada de  $H_2$  e  $CO$ . Por outro lado, o CHT mostra uma menor capacidade de regeneração e uma maior vulnerabilidade a mecanismos de desativação, resultando em uma redução significativa na eficácia do processo.

Figura 2: Testes catalíticos de conversão, rendimento e seletividade dos catalisadores CHT, CSG, CCM



Fonte: Autor (2023)

## Conclusões

Este estudo ressalta a importância de considerar diversos parâmetros na avaliação de catalisadores visando processos catalíticos eficazes e sustentáveis considerando atividade catalítica, estabilidade e capacidade de regeneração. Suportes de alumina foram sintetizados com sucesso por quatro métodos: sol-gel (SG), Pechini (PC) e hidrotermal (HT) e combustão por micro-ondas (CM). O método de combustão por micro-ondas mostrou ser eficiente e vantajoso. O catalisador CCM se destacou nos testes de RSM, demonstrando maior atividade, melhor capacidade de regeneração e menor desativação, sendo considerado o mais promissor, seguido pelo CSG, enquanto o CHT mostrou limitações para uso contínuo.

## Referências Bibliográficas

- [1] CAZULA, B. B., et al. 2021. DOI: 10.1590/s1517-707620210002.1292.
- [2] LIN, J., YANG, Z., ZHAO, X., et al. 2021. DOI: 10.1016/j.ces.2021.116817.
- [3] LIU, Z., GRINTER, D. C., LUSTEMBERG, P. G., et al. 2016. DOI: 10.1002/anie.201602489.
- [4] MAZIVIERO, F. V., MEDEIROS, et al. 2021. DOI: 10.1016/j.matchemphys.2021.124408.
- [5] ROSS, Julian RH. Heterogeneous catalysis: fundamentals and applications. Elsevier, 2011.
- [6] SUHASINEE BEHERA, P., et al. 2017. DOI: 10.1016/j.ceramint.2017.08.057.
- [7] SALEM, R. E. P., et al. 2014a. DOI: 10.1590/S0366-69132014000100016.
- [8] XIAO, Z., LI, P., ZHANG, S., et al. 2023. DOI: 10.1155/2023/6504914.

## *Aprimoramento de Malha de Aço Inoxidável para Produção de Hidrogênio através do Método Dinâmico de Bolha de Hidrogênio Empregando Ni*

*Herbet L. Oliveira\*; J.C. Cardozo; C.A. Martínez-Huitle; Elisama V. Santos*

*Grupo de Pesquisa em Energias Renováveis e Sustentabilidade Ambiental, Instituto de Química*

*\*herbet.lima.097@ufrn.edu.br*

### **Introdução**

O hidrogênio é o elemento mais abundante no globo terrestre. O gás hidrogênio ( $H_2$ ) destaca-se como um importante transportador de energia, possuindo uma alta densidade energética de 140 MJ/kg, o que é duas vezes maior do que os combustíveis fósseis convencionais. Além disso, sua versatilidade é evidente, pois pode ser obtido a partir de diversas fontes, como água, biomassa, etanol e gás natural, por exemplo [1].

Atualmente, a principal rota de obtenção do  $H_2$  é a reforma a vapor do gás natural, processo pelo qual são gerados  $H_2$ , CO e  $CO_2$ . Outra rota é a eletrólise da água, um dos principais métodos para obter  $H_2$  de alta pureza e a qual o conceito encontra-se bem estabelecido na literatura. No entanto, diversos desafios relacionados à sua eficiência, como alto consumo de energia e baixa taxa de produção de  $H_2$ , limitam sua competitividade em comparação com a reforma a vapor do metano, tornando-o mais viável para aplicações em menor escala [1,2]. Quando a eletricidade utilizada na eletrólise é proveniente de fontes renováveis, como solar ou eólica, é possível produzir  $H_2$  sem emissões de  $CO_2$ , resultando no chamado  $H_2$  verde ( $H_2V$ ), um importante aliado na descarbonização do planeta [1].

O estudo dos materiais catalíticos para a produção de  $H_2$  é de extrema importância, pois a eficiência desse processo está diretamente ligada ao tipo de material utilizado. Embora a Pt e o Ru sejam os metais mais eficazes para essa finalidade, são também metais nobres de alto custo, o que inviabiliza sua aplicação em larga escala. Por outro lado, metais não nobres como Fe, Cu, Co e Ni têm sido amplamente investigados devido à sua boa performance e baixos potenciais, especialmente em meio alcalino [2]. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi modificar uma malha de aço inoxidável (Ni-Fe) utilizando o método dinâmico de bolha de hidrogênio (MDBH) [3], empregando Ni, e avaliar sua performance antes e após a modificação.

### **Metodologia**

O MDBH foi realizado em modo galvanostático. As espumas de níquel foram crescidas sobre uma malha de aço inoxidável (SS) 304 com área geométrica de  $1\text{cm}^2$ , utilizando um fio de platina como contraeletrodo. A solução eletrolítica consistia em  $NH_4Cl$  1,5 M e  $NiSO_4$  0,12 M, com pH ajustado para 4,5 usando uma solução de NaOH 0,5 M. Uma densidade de corrente de  $2,5\text{ A cm}^{-2}$  foi utilizada por 30 segundos para redução eletrolítica do Ni na superfície do SS. Os eletrodos SS e SS-Ni (SS com deposição de espuma de níquel) foram analisados por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e difração de raios X (DRX). A caracterização eletroquímica consistiu de voltametrias linear e espectroscopia de impedância.

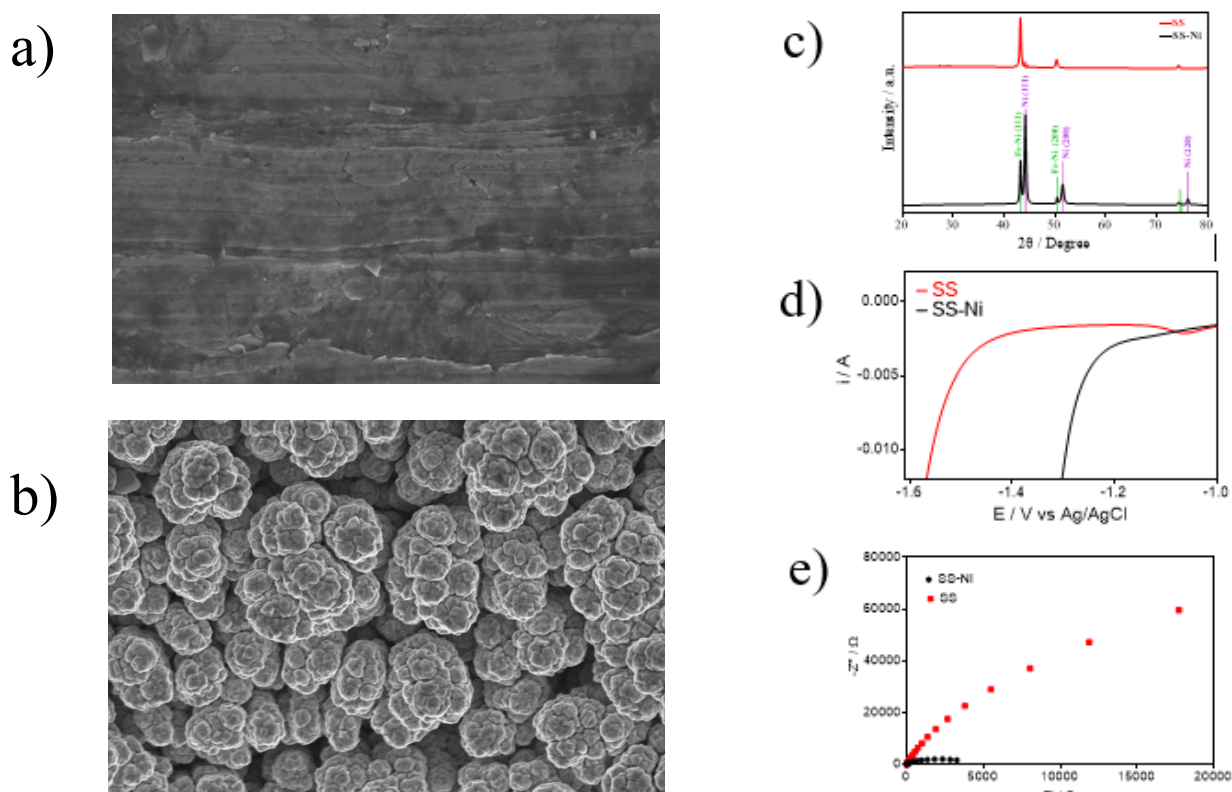
### **Resultados e Discussão**

As espumas de Ni são formadas por eletrodeposição sobre um suporte SS usando o MDBH. Na Figura 1, estão apresentados os resultados relacionados aos eletrodos de SS e SS-Ni (SS após formação das espumas de Ni). Na Figura 1a e 1b, estão apresentadas as imagens de MEV para SS e SS-Ni, respectivamente, na ampliação de  $\times 10.000$ , o surgimento de microporos foram observados devido à morfologia semelhante a couve-flor (ou dendrítica) do crescimento do níquel em altas densidades de corrente. A Figura 1c exibe os resultados de DRX, observou-se a presença de picos característicos de Fe-Ni (111) e (200), localizados em  $2\theta$  de  $43,25^\circ$  e  $50,45^\circ$ , respectivamente. Ao realizar o processo do MDBH para formar SS-Ni, observamos o surgimento de novos picos com intensidade significativamente

maior em comparação aos picos de Fe-Ni. Esses picos estão localizados em  $2\theta$  de  $44,20^\circ$ ,  $51,55^\circ$  e  $76,20^\circ$  e podem ser claramente atribuídos às facetas cristalinas (111), (200) e (220) da espuma de Ni.

Os eletrodos SS e SS-Ni foram utilizados como cátodos para a reação de evolução de hidrogênio. Utilizando uma configuração de célula padrão de três eletrodos em meio alcalino com 1M de NaOH como eletrólito. A Figura 1d demonstra uma redução no potencial do SS-Ni em comparação com SS, aumentando assim a eficiência do processo de geração de  $H_2$ . A Figura 1e demonstra a melhora significativa na transferência de carga e resistência do material de SS-Ni em comparação com o SS.

Figura 1. Imagens MEV da vista superior de a) SS e b) SS-Ni na ampliação de  $\times 10.000$ ; c) Padrões de DRX para SS (linha vermelha) e SS-Ni (linha preta); d) Curvas de polarização para SS (linha vermelha) e SS-Ni (linha preta); e) Espectroscopia de Impedância para SS (quadrados vermelhos) e SS-Ni (círculos pretos).



## Conclusões

Diante disso, este estudo destaca a eficácia da modificação de espuma de Ni em superfícies de SS para melhorar a eficiência dos eletrodos na reação de evolução de hidrogênio, resultando em maior porosidade e melhor desempenho na geração de  $H_2$ . Os eletrodos SS-Ni demonstraram uma significativa melhoria na eficiência energética do  $H_2$ , promovendo avanços em tecnologias de geração de  $H_2V$ .

## Referências Bibliográficas

- [1] Alharbi, A.F.; Abahussain, A.A.M.; Wazeer, W.; El-Deeb, H.; Ahmed Amine Nassr, A.B. International Journal of Hydrogen Energy, 48(80), 31172–31186, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.04.228>
- [2] Vincent, I.; Bessarabov, D. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81, 1690–1704, 2018.
- [3] Comisso, N.; Armelao, L.; Cattarin, S.; Guerriero, P.; Mattarozzi, L.; Musiani, M.; Rancan, M.; Vázquez-Gómez, L.; Verlato, E. Electrochimica Acta, 273, 454–461, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2018.04.069>

## *Síntese de Green Diesel a partir da Desoxigenação dos Triglicerídeos de Óleos Vegetais*

*João Brandão Junior\*, Osvaldo Chivone-Filho, Humberto*

*N. M. Oliveira e Renata Martins Braga*

*Universidade Federal do Rio Grande do Norte*

*\*brandjunor@hotmail.com*

### **Introdução**

Diferentemente do biodiesel, o green diesel é um hidrocarboneto e não apresenta na molécula de seus compostos constituintes o átomo de oxigênio e ligações insaturadas entre carbonos, para evitar problemas relacionados a baixa estabilidade química, alta viscosidade e baixa densidade de energia. Dentre as rotas disponíveis para produção do green diesel, o hidroprocessamento de ésteres e ácidos graxos (HEFA, em inglês), que realiza a hidredesoxigenação catalítica do óleo vegetal ou gordura animal, é considerado o mais vantajoso em termos de complexidade, rendimento, maturidade do mercado e viabilidade econômica. O biocombustível gerado por esse processo possui uma composição química similar à do diesel fóssil. Isso possibilita a formação do blend entre o green diesel e o diesel fóssil em qualquer proporção e sem a necessidade de qualquer tipo de alteração no motor. O aumento do percentual de biodiesel na mistura com o diesel pode ter impactos significativos nos aspectos econômico e técnico. A principal matéria-prima utilizada na produção de biodiesel no Brasil é o óleo de soja, uma vez que a soja desempenha um papel fundamental na cadeia alimentar humana e animal e é uma commodity amplamente exportada pelo país. Qualquer variação no preço do grão afeta diretamente os custos de produção do biocombustível e, se houver um aumento nas exportações, isso pode resultar em uma redução nos estoques internos de óleo de soja disponível para a produção de biodiesel. Além dos impactos econômicos, há também considerações técnicas importantes. O armazenamento do biodiesel requer cuidados especiais devido à sua menor vida útil, sendo suscetível à oxidação quando exposto ao ar. Essa propriedade está relacionada às ligações insaturadas nas cadeias carbônicas dos ácidos graxos. Adicionalmente, sua natureza higroscópica o torna propenso à absorção de água, o que cria um ambiente favorável ao desenvolvimento de bactérias responsáveis pela formação de borras no biocombustível [1,2]. O green diesel minimiza os danos aos motores, como entupimento de filtros, bombas e bicos injetores, aumentando a vida útil dos veículos e possui elevado patamar de cetano em relação ao diesel, o que melhora a qualidade da combustão no motor [2].

### **Metodologia**

Nesta pesquisa será sintetizado o green diesel a partir de diferentes triglicerídeos oriundos dos óleos de mamona, algodão e babaçu, via processo de desoxigenação catalítica. Serão estudados os catalizadores de níquel, cobalto e molibdênio suportados individualmente ou não em carvão ativado.

A proposta do uso do óleo de babaçu como matéria prima para produção do green diesel está fundamentada ao fato deste substrato ser composto, predominantemente, de ácidos graxos saturados de cadeia curta, como o ácido láurico. Esses ácidos proporcionam um menor consumo energético no processo de conversão, pois o green diesel é composto por hidrocarbonetos parafínicos com cadeia variando de 9 a 15 átomos de carbono [3,4,5]. O óleo de algodão é predominantemente insaturado. Diferentemente do óleo de babaçu, nesta biomassa haverá, provavelmente, uma maior demanda de hidrogênio para produção do green diesel. A planta de mamona tem se destacado por suas características singulares no contexto da produção de biocombustíveis. Seu potencial de cultivo em solos marginais é um aspecto relevante, pois reduz a competição por áreas destinadas à produção de alimentos. Além disso, as sementes de mamona apresentam um teor de óleo considerável, o que poderia ser vantajoso para a produção de biodiesel. No entanto, há algumas limitações que tornam o óleo de mamona menos ideal para a produção direta de biodiesel via

transesterificação. A viscosidade desse óleo é alta e afeta a fluidez do biodiesel resultante e sua capacidade de combustão em motores, o que pode ser problemático em termos de desempenho e eficiência energética [6].

**Tabela 1:** Composição química do óleo de babaçu

Ácido graxo	Símbolo	Teor (%)
ácido caprílico	(C8:0)	3,79%
ácido cáprico	(C10:0)	5,42%
ácido láurico	(C12:0)	47,75%
ácido mirístico	(C14:0)	16,54%
ácido palmítico	(C16:0)	8,58%
ácido esteárico	(C18:0)	3,45%
ácido oléico	(C18:1)	12,0%
ácido linoleico	(C18:2)	2,46%

Fonte: De Oliveira et al., (2020), adaptados

**Tabela 2:** Composição química do óleo de algodão

Ácido Graxo	Símbolo	Teor (%)
ác. láurico	C12:0	0 – 0,2
ác. mirístico	C14:0	0,6 – 1,0
ác. palmítico	C16:0	21,4 – 26,4
ác. palmitoléico	C16:1	0 – 1,2
ác. esteárico	C18:0	2,1 – 3,3
ác. oleico	C18:1	14,7 – 21,7
ác. linoleico	C18:2	46,7 – 58,2
ác. linolênico	C18:3	0 – 0,4
ác. araquídico	C20:0	0,2 – 0,5

Fonte: Grimaldi, (2017).

**Tabela 3:** Composição química do óleo de mamona

Ácido Graxo	Símbolo	Teor (%)
ác. palmítico	C16:0	1,1
ác. esteárico	C18:0	1,0
ác. oleico	C18:1	3,3
ác. ricinoleico	C18:1*	87,7
ác. linoleico	C18:2	4,7
ác. linolênico	C18:3	0,7
outros	-	1,5

(\* ) ácido graxo exclusivo do óleo de mamão

Fonte: Osorio-González et al., (2020).

A desoxigenação catalítica é um processo químico em que compostos contendo oxigênio, como os encontrados em óleos vegetais, são convertidos em hidrocarbonetos por meio de reações catalisadas. Nesse processo, ocorre a remoção do oxigênio dos compostos orgânicos, resultando na produção de produtos com menor teor de oxigênio, como o green diesel. Existem vários tipos de reações de desoxigenação catalítica que podem ocorrer durante o processo de conversão de óleos vegetais em diesel verde. Alguns dos principais tipos de reações de desoxigenação catalítica incluem: Hidrogenação; Hidrogenólise; Descarboxilação (DCO<sub>2</sub>); Descarboxilação (DCO) e Hidrodesoxigenação (HDO). Os catalisadores a serem utilizados nesse experimento serão obtidos da combinação dos metais de Ni e Mo suportados em carvão ativado, sob uma atmosfera de hidrogênio, temperatura de 350 °C e pressão de até 50 bar.

## Resultados e Discussão

A síntese do green diesel a partir dos referidos óleos vegetais será realizada num reator Parr em atmosfera de hidrogênio, sob uma pressão de até 50bar, temperatura de até 350 °C e utilizando catalisadores com diferentes quantidades de Ni e Mo suportados em carvão ativado (CA). A combinação de Ni e Mo (13:15) suportados em CA apresentou maior seletividade para C17 e C18, com uma distribuição de produto similar ao catalisador comercial sulfeto de Ni e Mo suportado em alumina [7]. Eles observaram ainda que os suportes de alumina, zeólitas, SBA-15 e NCM-41 possuem alta atividade de craqueamento devido à sua acidez e, portanto, são menos favoráveis ao processo de hidrotreatamento.



## Conclusão

Será realizada uma comparação dos rendimentos das sínteses dos green diesel dos três óleos vegetais. Possivelmente, o óleo rico em ácido láurico (saturado) terá menor consumo energético, mas não sabemos se terá um maior rendimento, pois poderá sofrer um craqueamento maior que os óleos predominantemente insaturados.

## Referências Bibliográficas



## *Fluido de Perfuração Base Água Contendo Pó de Conchas de Moluscos (PCM): Formulação, Propriedades Reológicas e Parâmetros de Filtração*

*João Pedro G. S. Soares\*; Fabiola D. S. Curbelo; Renata M. Braga.*

*Laboratório de Tecnologia Ambiental (LABTAM) – Departamento de Engenharia Química (DEQ/UFRN)*

*\*joao.goncalves.081@ufrn.edu.br*

### **Introdução**

Fluidos de perfuração são essenciais para a segurança e eficiência da perfuração de qualquer tipo de poço de petróleo. Eles são responsáveis por carregar e suspender os cascalhos advindos da perfuração, resfriar a broca e a coluna de perfuração, limpar a interface entre a broca e a seção de perfuração e estabilizar a pressão de formação, que aumenta ao longo da profundidade do poço [1]. Os fluidos podem ser classificados como sintéticos, oleosos ou aquosos, sendo este último o mais atrativo por sua fácil preparação e seu baixo custo [2]. Comumente são utilizados diversos aditivos químicos nas formulações de fluidos de perfuração. O  $\text{CaCO}_3$  é um dos principais agentes obturantes utilizados. O Pó de Conchas de Moluscos (PCM) é um resíduo rico em  $\text{CaCO}_3$  e surge como uma alternativa de reaproveitamento deste resíduo como fonte de  $\text{CaCO}_3$  em formulações de fluidos de perfuração [3]. Neste sentido, o objetivo principal deste trabalho é formular um fluido de perfuração base água contendo o PCM como agente obturante e avaliar as propriedades reológicas e os parâmetros de filtração do fluido.

### **Metodologia**

O fluido de perfuração estudado foi formulado contendo 400 mL de água destilada, 4 g de goma xantana e 40 g de PCM com granulometria – 80 + bandeja ( $d_p = 0,09 \text{ mm}$ ) [4]. Após formulado, mediu-se o pH do fluido com pHmetro de bancada e a massa específica pela balança de lama FANN. As propriedades reológicas do fluido foram analisadas no Reômetro FANN 35-A. Os parâmetros de filtração foram determinados em um Filtro Prensa API pressurizado, marca FANN, modelo 300. O experimento de filtração foi conduzido em  $P = 100 \text{ psi}$ , com duração de 30 min. Papel de filtro Whatman nº 50 com 9 cm de diâmetro foi o meio filtrante utilizado.

### **Resultados e Discussão**

O fluido formulado se manteve estável e não apresentou sedimentação de partículas após 24 h em repouso. Os resultados de pH, massa específica e parâmetros reológicos do fluido estão apresentados na Tabela 1.

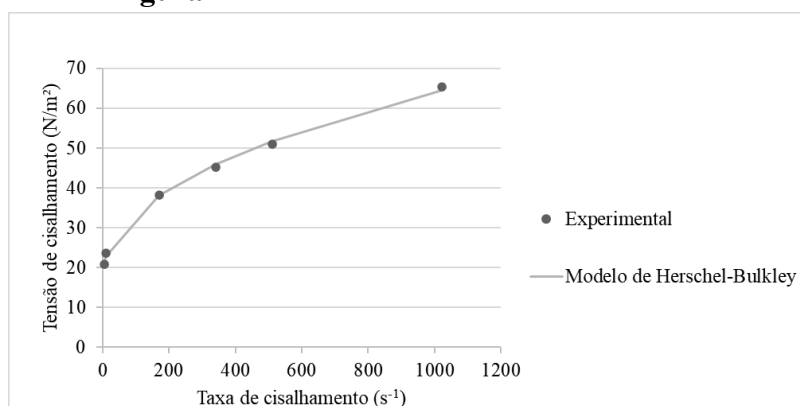
**Tabela 1.** Medidas de pH, massa específica e parâmetros reológicos do fluido.

$pH(T = 25,4^\circ\text{C})$	$\rho_{\text{fluido}} [g/cm^3]$	$VA [cp]$	$VP [cp]$	$LE \left[ \frac{lb_f}{100ft^2} \right]$	$G_0 \left[ \frac{lb_f}{100ft^2} \right]$	$G_f \left[ \frac{lb_f}{100ft^2} \right]$
7,74	1,066	64,0	28,0	72,0	38	41

$VA$  = Viscosidade Aparente,  $VP$  = Viscosidade Plástica,  $LE$  = Limite de Escoamento,  $G_0$  = Gel Inicial e  $G_f$  = Gel Final.

Os resultados de pH e massa específica estão dentro da margem estabelecida pela Norma N-2604 da Petrobrás. A curva de fluxo do fluido (Figura 1) segue uma tendência não linear com tensão inicial de escoamento, comportamento característico de fluidos não-newtonianos. O modelo de Herschel-Bulkley ajustou-se aos dados da curva de fluxo com  $R^2 = 0,9944$ . O índice de comportamento calculado foi  $n = 0,4517$  e o índice de consistência  $k = 2,0739 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-n}$ . Todos estes resultados estão semelhantes aos relatados na literatura [3,4].

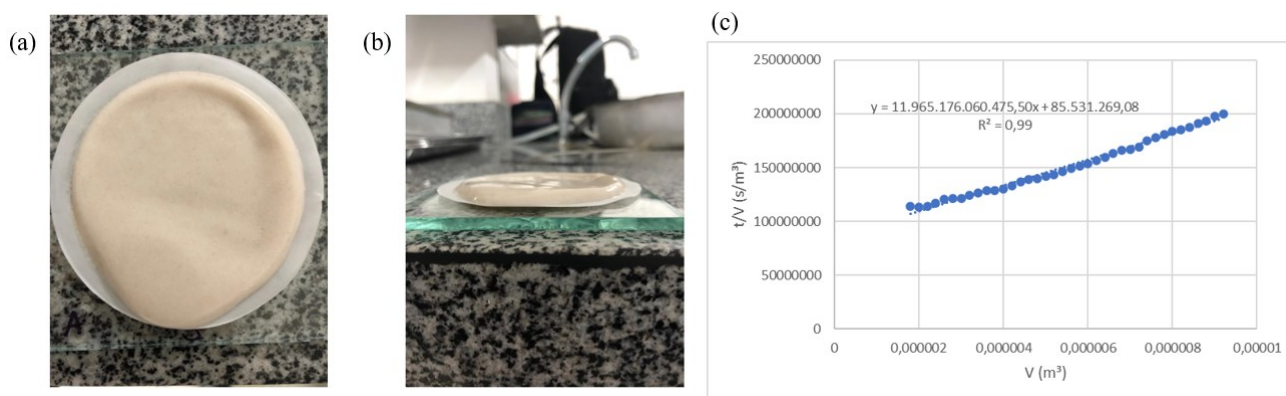
Figura 1. Curva de fluxo do fluido formulado.



Fonte: Autores.

O experimento de filtração estática exibiu uma perda de filtrado de 9,2 mL após 30 min de ensaio. A espessura da torta de filtração formada foi de 2,5 mm. A formação da torta de filtração oferece maior resistência à filtração do fluido, onde o PCM atua como agente obturante e controlador de filtrado. Os resultados estão de acordo com os trabalhos já relatados na literatura [3,4].

Figura 2. Resultados do ensaio de filtração; (a) e (b): vistas superior e lateral da torta; (c):  $t/V$  versus  $t$ .



Fonte: Autores.

## Conclusões

O PCM pode ser utilizado como fonte de  $\text{CaCO}_3$  em fluidos de perfuração, atuando como controlador de filtrado. O fluido de perfuração estudado neste trabalho é uma formulação de baixo custo e utiliza um rejeito para obtenção de um produto final de maior valor agregado. O fluido apresentou propriedades reológicas e de filtrado adequadas para aplicações em perfurações de poços de petróleo.

## Referências Bibliográficas

- [1] DESHMUKH, V.; SATISH KUMAR DEWANGAN. **Review on various borehole cleaning parameters related to oil and gas well drilling**. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, v. 44, n. 5, 13 abr. 2022. <https://doi.org/10.1007/s40430-022-03501-2>.
- [2] FINK, J. K. **Water-Based Chemicals and Technology for Drilling, Completion, and Workover Fluids**. Elsevier eBooks, 1 jan. 2015. <https://doi.org/10.1016/C2014-0-02960-7>.
- [3] VIANA, L. R. **Uso da concha de marisco na formulação de fluidos de perfuração de petróleo**. 121 f. 2021. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Universidade Federal da Paraíba. 2021.
- [4] PESSOA, M. E. A. *et al.* **Influência da Granulometria do Pó da Concha do Molusco (PCM) no Volume de Filtrado de um Fluido de Perfuração Aquoso**. In: Anais Do 24º Congresso Brasileiro De Engenharia Química, 2023, Salvador. Disponível em: <<https://proceedings.science/cobeq-2023/trabalhos/influencia-da-granulometria-do-pó-da-concha-do-molusco-pcm-no-volume-de-filtrado?lang=pt-br>>. Acesso em: 17 Abr. 2024.



## *Síntese de Acetato de Celulose a partir da Biomassa Lignocelulósica para Obtenção de Membranas para Captura de CO<sub>2</sub> do Gás Natural: Uma Revisão da Literatura*

*Otávio Lima da Silva\*<sup>;</sup> Nathália Saraiva Rios<sup>;</sup> Everaldo Silvino dos Santos*

*Laboratório de Engenharia Bioquímica*

*\*otavio.lima.116@ufrn.edu.br*

### **Introdução**

Alternativas para diminuição dos impactos ambientais gerados pelos gases de efeito estufa têm sido amplamente estudadas e desenvolvidas, como o cultivo de microalgas para biofixação de CO<sub>2</sub> (ANDRADE, 2023), o uso de zeólitas devido suas características adsorptivas e pela afinidade com o dióxido de carbono (RUFFORD et al, 2012) e o uso de membranas com alta taxa de permeação e alta seletividade (BELAISSAOUI; FAVRE, 2014). Com esse intuito, o uso de membranas para captura de CO<sub>2</sub> do gás natural à base de celulose se apresenta como via para mitigar os danos causados pela alta concentração de emissão desse gás. A biomassa lignocelulósica é uma excelente fonte biodegradável de celulose, no qual esta pode ser isolada usando diversos tipos de pré-tratamento. Devido a capacidade de formar filmes transparentes, por sua neutralidade e baixo custo, o acetato de celulose (AC) pode ser sintetizado a partir da biomassa lignocelulósica e usado no processo de separação por membranas (CERQUEIRA, 2010).

### **Metodologia**

Neste trabalho, uma revisão da literatura foi realizada para o processo de síntese do acetato de celulose. **Síntese de Acetato de Celulose:** No trabalho realizado por Pinheiro et al (2019), utilizou-se a bainha foliar da Palmeira-Real Australiana como biomassa. O primeiro procedimento consiste no pré-tratamento Peróxido Alcalino da biomassa a fim de retirar hemicelulose e lignina. A etapa posterior foi a acetilação da celulose, obtida na primeira etapa, pelo método de Buhner (1996). Neste procedimento, 2g de biomassa pré-tratada foram agitados com 20 mL de ácido acético glacial, 9,2 mL de anidrido acético e 0,56 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> por 6h. Em seguida, a mistura foi filtrada à vácuo e o retido foi seco em dessecador por 10h. Partindo da biomassa pré-tratada, foi realizada uma nova síntese de acetato de celulose utilizando metodologia adaptada de Meireles (2007). Neste caso, 30 mL de ácido acético foram adicionados a 2g da biomassa purificada e agitado por 30 min. Em seguida, 0,2 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado e 13,2 mL de ácido acético foram adicionados à mistura e agitados por 15 min. Foi retirado o sobrenadante e adicionado a este 30 mL de anidrido acético. Essa mistura foi adicionada ao sistema contendo a biomassa pré-tratada. O sistema permaneceu em agitação por 30 min e, em seguida, mantido em repouso por 24h. Foi adicionada água destilada até o surgimento dos primeiros cristais de AC e permaneceu em repouso por 5 dias. Após esse período, a amostra foi centrifugada a 2.400 rpm por 10 min. O processo foi repetido 4x retirando o sobrenadante entre os intervalos. Por último, a mistura foi filtrada a vácuo com água destilada gelada e seco em dessecador por 10h. Para obtenção de Triacetato de Celulose (TAC), em trabalho realizado por Cerqueira et al (2010), 1g de bagaço de cana-de-açúcar foi adicionado a 25 mL de ácido acético e agitado por 30 min. Em seguida, 0,08 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e 9 mL de ácido acético foram adicionados ao sistema, permanecendo em agitação por 25 min. A mistura foi filtrada e, em seguida, foi adicionado 32 mL de anidrido acético ao filtrado. Essa nova solução foi inserida ao meio contendo a biomassa pré-tratada e agitada por 30 min. A mistura permaneceu em repouso por 14h em temperatura ambiente. Após esse período, foi filtrada para retirar os sólidos não dissolvidos. Água foi adicionada ao meio filtrado para precipitação do TAC, sendo lavado com água destilada para remoção do ácido acético. Por fim, o material obtido foi seco em temperatura ambiente. Em trabalho realizado por Barcellos (2015), resíduo de coco verde foi utilizado para produção de membranas a partir do acetato de celulose. Para pré-tratamento da biomassa, foi aplicado o tipo combinado Ácido/Alcalino usado por Ribeiro et al (2014), com modificações. Para a

síntese do acetato de celulose, seguiu-se o método descrito por Cerqueira et al (2010). **Caracterização do acetato de celulose:** No trabalho realizado por Pinheiro et al (2019), foi utilizado o espectrômetro PerkinElmer Frontier com o auxílio do acessório de refletância ATR. A espectroscopia por FTIR também foi utilizada por Barcellos (2015). Cerqueira et al (2010) utilizou a espectroscopia de H-RMN. Em ambas as análises foi possível a detecção de grupos que indicaram a formação de TAC, porém a técnica de H-RMN se mostrou conclusiva para a acetilação da celulose. Na determinação do Grupos Acetila (GA), Pinheiro et al (2019) obtiveram 82,23% de grupos acetila para o método de Buhner. Já para o método de Meireles, foi obtido 64,5% de grupos acetila, o que indica a formação do triacetato de celulose. De forma semelhante, foi obtido uma média de 42% de grupos acetila por Barcellos et al (2015). A metodologia foi aplicada de forma semelhante no trabalho realizado por Cerqueira et al (2010).

## Resultados e Discussão

Após a realização da revisão bibliográfica, foram escolhidos os métodos de pré-tratamento e síntese aplicados por Pinheiro et al (2019) para os primeiros ensaios utilizando a fibra de coco verde. Além dos resultados satisfatórios obtidos, a escolha dessa metodologia se deu pela maior acessibilidade de aplicação. Pretende-se realizar a caracterização do triacetato de celulose a partir dos métodos descritos. Posteriormente, serão aplicados diferentes métodos, com as necessárias variações nos parâmetros de síntese, a fim de compará-los. Ainda, além da fibra de coco verde, pretende-se replicar a metodologia utilizando o bagaço de cana-de-açúcar e o sabugo de milho como fonte de celulose devido aos diferentes teores de lignina desses materiais.

## Referências Bibliográficas

- [1] BARCELLOS, Cátia Pereira. Reciclagem química da fibra da casca do coco para síntese de acetato de celulose e produção de membranas. Monografia de Conclusão de Curso, UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO, 2015.
- [2] CERQUEIRA, Daniel A.; RODRIGUES FILHO, Guimes; CARVALHO, Rui de A.; *et al.* Caracterização de acetato de celulose obtido a partir do bagaço de cana-de-açúcar por H-RMN. *Polímeros*, v. 20, n. 2, p. 85–91, 2010;
- [3] PINHEIRO, Gabriela; DÖGE, Maiely; DE ARAUJO, Larissa; *et al.* Síntese do acetato de celulose a partir da bainha foliar da Palmeira-Real Australiana (*Archontophoenix alexandrea*). [s.l.: s.n.], 2019.
- [4] RIBEIRO, E.A.M; Rodrigues Filho, G;Vieira, J.G; SOUSA, R.M.F; ASSUNÇÃO, R.M.N; MEIRELES, S.C; DUARTE, J; ZEN, M. Caracterização de membranas assimétricas de acetato de celulose produzidas a partir do aproveitamento do resíduo da palha de milho para uso em ultrafiltração. *Química Nova*, Vol. 37, No. 3, 385-391, 2014
- [5] RUFFORD, T.e. *et al.* The removal of CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub> from natural gas: A review of conventional and emerging process technologies. *Journal Of Petroleum Science And Engineering*, [s.l.], v. 94-95, p.123-154, set. 2012.
- [6] BELAISSAOUI, B.; FAVRE, E. Membrane Separation Processes for Post-Combustion Carbon Dioxide Capture: State of the Art and Critical Overview. *Oil & Gas Science and Technology - Rev. IFP Energies*, v. 69, No. 6, 2014

## *Estudo da Matéria Prima e Caracterização do Óleo de Eucalipto para Aplicação do Equilíbrio de Fases*

*Layssa Cristine Alves\*; Anderson Alles de Jesus; Osvaldo Chivone-Filho*

*Laboratório de Fotoquímica e Equilíbrio de Fases – Departamento de Engenharia Química (UFRN)*

*\*email: layssa.alves.089@ufrn.edu.br*

### **Introdução**

A utilização do petróleo nos dias atuais permanece contínua e robusta, especialmente nas economias avançadas. Entretanto, essa grande demanda fornece riscos negativos significativos para o meio ambiente. A biomassa pode servir como fonte de energia e de carbono orgânico e, sendo renovável, é a única fonte sustentável para a nossa sociedade industrial. Ademais, a produção de energia a partir da biomassa tem o potencial de gerar menos emissões de gases de efeito estufa em comparação com a combustão de combustíveis fósseis.

Diante disso, existem inúmeras matérias primas que compõem a gama de biomassa existente no mundo, as quais precisam de valorizações ambientalmente sustentáveis. Nesse contexto, encontra-se o eucalipto que apresenta quantidades consideráveis de celulose e um poder calorífico elevado. Além das favoráveis condições ambientais, o eucalipto destaca-se pelo seu crescimento rápido e isso se deve ao enorme desenvolvimento das práticas de silvicultura, principalmente o melhoramento genético da espécie. As indústrias de papel e celulose do país utilizam majoritariamente o eucalipto como matéria-prima de celulose. Durante o processo produtivo são gerados 800 quilos de resíduos sólidos para cada tonelada de celulose produzida, incluindo principalmente lama de cal, lodo ativado, cinza de caldeira, casca, etc. A casca é a maior parte dos resíduos produzidos durante a fabricação da celulose [1].

Uma alternativa para o aproveitamento de matérias primas é a geração de bio-óleo através do processo de pirólise. Esse processo é um tratamento térmico em que a matéria orgânica é submetida ao aquecimento em meio normalmente inerte, na ausência ou em baixas concentrações de oxigênio. A utilização de compostos celulósicos produz após a pirólise frações líquidas compostas por aldeídos, ácidos, cetonas, álcoois e compostos fenólicos [2].

### **Metodologia**

Inicialmente foram estudadas algumas possíveis matérias primas e foi escolhido trabalhar previamente com o óleo pirolítico do eucalipto; como o óleo era bastante viscoso, teve-se que fazer testes de solubilidade com o mesmo. O teste foi realizado com dois tipos de solventes: etanol ( $C_2H_6O$ ) e diclorometano ( $CH_2Cl_2$ ) e foi verificada também a porcentagem de melhor miscibilidade solvente-óleo, que foi analisado partindo de 10% até 90% de etanol (Tabela 1).

Tabela 1 – Misturas de solvente (etanol) no óleo de eucalipto testadas.

<b>Análise do solvente no óleo</b>			
Percentual de solvente (w/w)	Massa de Óleo (g)	Massa de Solvente (g)	Massa Total (g)
10%	2,0000	0,2222	2,2222
20%	2,0000	0,5000	2,5000
30%	2,0000	0,8571	2,8571
40%	2,0000	1,3333	3,3333
50%	2,0000	2,0000	4,0000
60%	2,0000	3,0000	5,0000
70%	2,0000	4,6667	6,6667
80%	2,0000	8,0000	10,0000
90%	2,0000	18,0000	20,0000

Fonte: Autor, 2024.

Em seguida, para o desenvolvimento do trabalho, foi feita a análise de densidade no densímetro digital da Anton Paar. Da mesma forma, serão realizadas outras caracterizações do bio-óleo para o conhecimento dos componentes e suas propriedades, sendo elas: Termogravimetria, Cromatografia Gasosa, Espectroscopia Infravermelho por Transformada de Fourier e Destilação PEV.

## Resultados e Discussão

O teste de solubilidade do bio-óleo favoreceu o etanol como mais miscível. Feito isto, entre os testes de porcentagem de solubilidade entre etanol-óleo, observou-se uma completa solubilidade na fração de 70% de etanol para 30% de óleo, a qual será utilizada para realização dos ensaios.

Para a análise da densidade, foram feitas em triplicata, os quais foram obtidos resultados a 25°C de 0,90308 g/cm<sup>3</sup>, 0,90338 g/cm<sup>3</sup> e 0,90321 g/cm<sup>3</sup>, sendo estes em conformidade com a literatura, onde variam entre 0,700 g/cm<sup>3</sup> e 0,950 g/cm<sup>3</sup>.

## Conclusões

Com os resultados alcançados, promove-se um impacto benevolente afim de contribuir para o progresso e aperfeiçoamento de métodos convencionais e impulsionar os avanços na pesquisa científica, favorecendo largamente a indústria, principalmente as biorrefinarias.

## Referências Bibliográficas

- [1] RODRIGUES, Leticia Demuner. Contribuições para o estudo da pirólise da casca de eucalipto. 2018. 70 f. Dissertação (Mestrado em Energia) - Programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2018.
- [2] Melo, A. C. C. de. Equilíbrio líquido-líquido aplicado à separação de produtos da pirólise de biomassa. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2014.
- [3] Monteiro, M.F.; Moura-Neto, M.H.; Macedo, G.M.; Silva, G.V.; Silva, D.J.; Pereira, L.S.; Nascimento, J.F.; Chiavone-Filho, O. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v. 58, n. 27, p. 12159-12165, 2019. American Chemical Society.

## *Grafeno Derivado de Biomassa para Obtenção de Supercapacitores*

*Adison P.S. Junior\*; Osvaldo Chiavone-Filho; José H.O. Nascimento*

*Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química*

*\*adison.junior.017@ufrn.edu.br*

### **Introdução**

O trabalho apresenta uma visão abrangente sobre o papel do grafeno derivado de biomassa na revolução da armazenagem e utilização de energia, com foco particular nos supercapacitores e suas aplicações em setores diversos, como a indústria de petróleo, gás, refino e energias renováveis. Inicialmente, destaca-se o potencial transformador do grafeno derivado de biomassa, que surge como uma fonte promissora e sustentável desse material avançado.

A produção convencional de grafeno muitas vezes envolve processos químicos complexos e caros. A utilização de grafeno derivado de biomassa surge como uma alternativa sustentável e eficaz, explorando uma fonte renovável e abundante de matéria-prima. Os supercapacitores surgem como uma alternativa inovativa às tradicionais baterias e acumuladores, oferecendo vantagens como tempos de recarga rápidos, longa vida útil e alta densidade de energia. Conforme ressaltado por Wang et al. (2017), "a estrutura porosa do grafeno proporciona uma área superficial significativamente maior, permitindo uma maior quantidade de íons elétricos para serem armazenados, resultando em supercapacitores mais eficientes e potentes".

Embora o grafeno tenha sido objeto de pesquisa há muitos anos, sua aplicação na indústria de petróleo e gás é mais recente. As propriedades únicas do grafeno, como suas características químicas, estruturais, elétricas e mecânicas, tornam-no aplicável em várias áreas desses setores industriais. No entanto, a implementação industrial é desafiada por questões econômicas e de escala. A interface entre o grafeno derivado de biomassa e a indústria de petróleo, gás e refino abre portas para a criação de novos materiais inteligentes e funcionais. Materiais flexíveis, como plásticos e tecidos de grafeno, podem servir como fontes de energia portáteis, alimentando dispositivos eletrônicos integrados, como smartphones e sensores embutidos, conforme observado por Zhou et al. (2022).

Além disso, o grafeno derivado de biomassa desempenha um papel crucial nas estratégias de armazenamento de energia para fontes renováveis. Conforme destacado por Zhang et al. (2022), os supercapacitores de grafeno oferecem uma alternativa promissora para armazenar essa energia excedente de maneira rápida e eficiente. Embora haja avanços significativos nesse campo, ainda existem desafios a serem superados, como a otimização de processos de produção em larga escala e a garantia de consistência na qualidade do grafeno. No entanto, à medida que a pesquisa avança e a demanda por soluções sustentáveis cresce, é provável que esses desafios sejam superados.

### **Metodologia**

A fibra da Calotropis é destacada como uma fonte abundante e subutilizada, rica em compostos orgânicos que podem ser convertidos em grafeno por processos controlados. A metodologia adotada nessa pesquisa é crucial para garantir resultados consistentes e controlados. As etapas fundamentais desse processo incluem: coleta e preparação da biomassa, tratamento térmico (pirólise), caracterização estrutural, produção de supercapacitores e testes de desempenho.

Na etapa de coleta e preparação da biomassa, a fibra da Calotropis é criteriosamente coletada de fontes sustentáveis e passa por etapas de limpeza e corte para remover impurezas e garantir um material homogêneo. Em seguida, ocorre o tratamento térmico, onde a biomassa é submetida a altas temperaturas em uma atmosfera controlada na mufla, resultando na decomposição térmica dos componentes orgânicos. A introdução do ferroceno como catalisador é crucial para acelerar a reação e favorecer a formação eficiente de grafeno.

Após a síntese, o grafeno passa por uma fase de caracterização estrutural, utilizando técnicas como espectroscopia Raman, microscopia eletrônica de varredura (MEV), difração de raios-X (DRX) e espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR). Essas técnicas permitem avaliar a estrutura cristalina, morfologia, topografia, orientação das camadas e presença de grupos funcionais na superfície do grafeno, garantindo sua qualidade e integridade. Com o grafeno caracterizado, a produção de supercapacitores é realizada, envolvendo a deposição do grafeno sobre substratos adequados e a montagem dos dispositivos. Por fim, os supercapacitores produzidos passam por testes extensivos de desempenho, incluindo medidas de capacitância, ciclagem e resistência interna, para verificar sua eficiência e adequação para aplicações práticas.

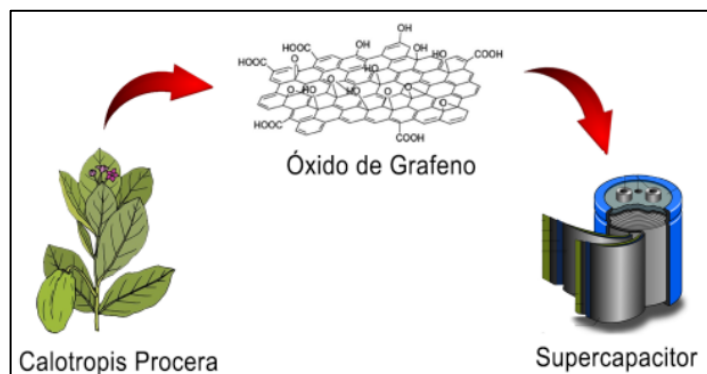


Figura 1 – Síntese verde para obtenção de energia renovável.

## Resultados e Discussão

Ao finalizar a aplicação desta metodologia, espera-se obter supercapacitores eficientes e sustentáveis, utilizando grafeno derivado da biomassa da Calotropis. Os resultados dessas pesquisas não apenas contribuirão para o conhecimento científico, mas também oferecerão soluções práticas para desafios contemporâneos na área de energias renováveis.

A combinação do estado atual das pesquisas sobre a produção de grafeno derivado de biomassa, com ênfase na fibra da Calotropis, e uma metodologia integrada destaca-se como uma abordagem inovadora. A aplicação desse método na produção de supercapacitores não apenas impulsiona avanços tecnológicos, mas também responde à crescente demanda por soluções sustentáveis em um mundo cada vez mais consciente do meio ambiente.

## Conclusões

Em suma, o grafeno derivado de biomassa para supercapacitores representa uma narrativa disruptiva de sustentabilidade e inovação tecnológica. Ao aproveitar resíduos orgânicos para produzir materiais avançados, busca-se não apenas aprimorar o desempenho dos dispositivos de armazenamento de energia, mas também reduzir a pegada de carbono associada à sua produção. Esse enfoque integral visa não só redefinir os padrões de eficiência na armazenagem de energia, mas também contribuir para a transição para uma economia mais circular e sustentável.

## Referências Bibliográficas

- [1] Wang, N., Kuzmenko, V., Haque, M., Naboka, O., Flygare, M., Svensson, K., Gatenholm, P., Liu, J., & Enoksson, P. (2017). Cellulose-derived carbon nanofibers/graphene composite electrodes for powerful compact supercapacitors†. *RSC Advances*, 7(73), 45968-45977. DOI: 10.1039/C7RA07533B.
- [2] Zhou, Y., He, J., Chen, R., & Li, X. (2022). Recent advances in biomass-derived graphene and carbon nanotubes. *Materials Today Sustainability*, 18, 100138. ISSN 2589-2347. DOI: 10.1016/j.mtsust.2022.100138.
- [3] Zhang, J., Liu, J., Zhao, Z., et al. (2022). A facile scalable conductive graphene-coated Calotropis gigantea yarn. *Cellulose*, 29(9), 3545–3556. DOI: 10.1007/s10570-022-04475-z.

## *Parâmetros de instrumentação para avaliação do desempenho tribológico de caixa de engrenagem*

*Maycon G. A. Lima\*, Rayane D. da Cunha, Salete M. Alves*

*Grupo de Estudos de Tribologia e Integridade Estrutural (GET) – Departamento de Engenharia Mecânica*

*\*maycon.lima.118@ufrn.edu.br*

### **Introdução**

Apesar de distintas, a Internet das Coisas (IoT) e a tribologia podem ser interligadas com benefícios significativos. A Internet das Coisas (IoT) está desempenhando um papel significativo na Indústria 4.0, utilizando redes de dispositivos interconectados, sensores e software para monitorar e otimizar o processo de produção. A IoT colabora com a manutenção preditiva, também sendo aplicada nos mais diversos equipamentos para evitar falha, reduzir o tempo de inatividade e prolongar a vida útil dos equipamentos [1]. A tribologia, por sua vez, é a ciência utilizada para estudar a interação entre duas superfícies separadas por um lubrificante. Trata-se de um campo interdisciplinar que aborda questões relacionadas ao atrito, desgaste e lubrificação [2].

A sinergia entre essas duas áreas abre caminho para pesquisas inovadoras e aplicações práticas que contribuem para o avanço tecnológico e a sustentabilidade. Por exemplo, sensores IoT podem ser instalados em sistemas mecânicos para monitorar o desgaste das peças e prever falhas antes que ocorram, pois eles podem coletar dados em tempo real sobre as condições de atrito, temperatura e desgaste das superfícies em contato, onde as informações são então transmitidas pela IoT para sistemas de análise de dados, onde algoritmos podem processá-las e identificar padrões ou anomalias. Isso permite a realização de manutenções preventivas, reduzindo custos e aumentando a segurança.

Diante deste cenário, o objetivo desta pesquisa é utilizar um sistema integrado entre IoT e um protótipo de caixa de engrenagens, pois observou-se que as engrenagens fazem parte de um conjunto mecânico que desempenha um papel crucial na conversão de energia eólica em energia elétrica nas turbinas eólicas. No entanto, sua durabilidade e eficiência podem ser significativamente comprometidas por problemas tribológicos, tais como micro-pitting, desgaste e lascamento. Esses desafios tribológicos representam obstáculos importantes que precisam ser enfrentados para garantir o desempenho ótimo e a longevidade desses sistemas de conversão de energia [3]. Para fazer essa implementação iniciou-se fazendo um levantamento dos parâmetros essenciais no funcionamento de caixa de multiplicação para coletar dados em condições de trabalhos do protótipo em longos períodos de serviço.

### **Metodologia**

A metodologia utilizada neste semestre para a aplicação do conceito em IoT em um protótipo de caixa de engrenagem que reproduza as condições de funcionamento de aerogeradores instalados em torres de turbinas eólicas foi escolher qual software será utilizado no monitoramento e fazer análises para identificar os parâmetros e equipamentos que devem ser monitorados tanto para garantir o funcionamento adequado e seguro da caixa, quanto para fins de pesquisa. O protótipo já se encontra em desenvolvimento.

### **Resultados e Discussão**

Neste período, decidiu-se que o software utilizado para o monitoramento dos dados será o LabView. Escolheu-se o LabVIEW por sua natureza de programação gráfica intuitiva e fácil compreensão, simplificando o processo de desenvolvimento e oferece uma interface interativa para os usuários e integração direta com o chassi de aquisição de

dados NI cDAQ-9172 da National Instruments, tornando a configuração e operação mais eficientes. Esse chassi servirá para fazer a interconexão entre o software e os módulos de aquisição de dados.

Além disso, foram realizadas análises para identificar os parâmetros/equipamentos para monitoramento e fornecer dados para as pesquisas desenvolvidas no GET. A temperatura, vibração e carga se destacaram como parâmetros essenciais.

A análise da temperatura é importante para garantir a operação dentro de uma faixa adequada, evitando que o lubrificante perca suas propriedades, como a viscosidade, e comprometa o funcionamento da caixa. Esta variável será verificada através de um termopar do tipo k, e a leitura do sinal será realizada pelo módulo NI 9211.

A análise da vibração permite identificar falhas e anomalias no funcionamento da caixa, para a qual foi identificada a necessidade de um acelerômetro do tipo 4397 da Brüel & Kjær, junto a um módulo NI 9234. Esse sensor permite monitorar a vibração da caixa ao longo do tempo e acompanhar seu comportamento.

Também identificou o uso de uma célula de carga como essencial, uma vez que o eixo de saída estará sujeito a diferentes carregamentos. A inclusão da célula de carga permitirá um acompanhamento preciso desses dados, fornecendo informações sobre as forças aplicadas ao eixo durante o funcionamento da caixa de multiplicação.

Importante falar também que neste período, o protótipo da caixa de multiplicação foi desenvolvido pelo aluno de mestrado do Programa de Pós-graduação de Engenharia Mecânica, Deryky Flávio Fernandes da Silva, com o objetivo de replicar as características de uma caixa de engrenagens encontrada em turbinas eólicas e em campos de geração de energia.

A caixa de multiplicação vai operar sem interrupções por longos períodos, suportando inclusive ensaios que durem horas ou dias. Nesse contexto, a aplicação do conceito de IoT torna-se fundamental para garantir a segurança e a eficiência do equipamento. Através do monitoramento contínuo das condições de operação, com a devida programação e os sensores adequados, pode acompanhar parâmetros como temperatura, vibração e carga sobre o eixo em tempo real.

## Conclusões

Conclui-se que a aplicação do conceito de IoT na caixa de multiplicação não só oferece segurança e autonomia, mas também possibilita uma compreensão mais profunda do comportamento das engrenagens e do impacto dos lubrificantes, contribuindo assim para avanços significativos na área de energia eólica.

Os elementos utilizados para aplicar o sistema integrado entre IoT e o protótipo de caixa de engrenagem será um software LabVIEW para a programação e visualização dos dados, os módulos NI 9211 e NI 9234, com o chassi NI cDAQ-9172, e os sensores termopar, acelerômetro e célula de carga.

## Referências Bibliográficas

- [1] SOORI, Mohsen; AREZOO, Behrooz; DASTRES, Roza. Internet of things for smart factories in industry 4.0, a review. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, 2023.
- [2] WAGH, Vivek Pratap; SABOO, Nikhil; GUPTA, Ankit. Tribology as emerging science for warm mix technology: A review. *Construction and Building Materials*, v. 359, p. 129445, 2022.
- [3] GRECO, A. et al. Friction and wear behaviour of boron based surface treatment and nano-particle lubricant additives for wind turbine gearbox applications. *Wear*, v. 271, n. 9-10, p. 1754-1760, 2011.



## *Usinagem e tratamento térmico em aço sae 52100*

*Arthur C. de Abreu; Salete M. Alves*

*Laboratório do Grupo de Estudos da Tribologia e Integridade Estrutural – Departamento de Engenharia Mecânica*

*arthur.abreu.704@ufrn.edu.br*

### **Introdução**

Quando se trata das condições de serviço dos aerogeradores, estas variáveis resultam em problemas na superfície dos componentes mecânicos como rachaduras, trincas, desgastes do tipo “scuffing” e “micropitting”. O desgaste “scuffing” é caracterizado pelo modo de contato deslizante de dano superficial tipicamente caracterizado por deformação plástica severa, normalmente causado pelo aquecimento por fricção local na superfície onde a espessura do filme de lubrificação é inadequada. Já o desgaste do tipo “micropitting” está normalmente associado à tensão de cisalhamento tangencial causada pelo contato de rolamento-deslizamento, e é comumente um precursor de falhas de superfícies maiores, como a fadiga hertziana, também causada por contato sobrecarregado, inclusões de material e outros fatores [1].

Diante deste cenário, pesquisadores vem estudando métodos para melhorar as superfícies desses componentes mecânicos, ganhando destaque o tratamento superficial de nitretação a plasma, pois ele se trata de um processo de tratamento termoquímico assistido por plasma no qual o nitrogênio se difunde na superfície alvo para formar uma fase enriquecida com nitrogênio e nitretos na camada superior. Tem sido amplamente utilizado em larga escala nas indústrias para tratamento de superfície de ferro, aço, ferro fundido, titânio, alumínio e algumas ligas. A nitretação é uma forma eficaz de melhorar a dureza superficial e as propriedades tribológicas e anticorrosivas. Outra vantagem significativa da nitretação é a temperatura de processamento relativamente baixa (abaixo de 570 °C), por isso causa menos distorção do que o tratamento normal de endurecimento e cementação, como destaca [2].

A partir disso, o presente estudo investigou o efeito do tratamento superficial de nitretação a plasma em esferas de aço SAE 52100, com foco nas características mecânicas.

### **Metodologia**

A metodologia utilizada durante esse período consistiu em três etapas principais. Inicialmente, foram obtidas quatro amostras do aço SAE 52100. Posteriormente, cada uma das amostras foi temperada, partindo de 840 °C (temperatura de austenitização) e resfriadas em óleo a 60 °C. Sendo assim, após a conclusão de ensaios iniciais em discos de aço SAE 1045, preparou-se discos de aço SAE 52100, para avaliar o comportamento da camada nitretada em material com resistência similar.

As técnicas de usinagem (corte, torneamento, faseamento e lixamento) foram empregadas para alcançar a geometria ideal dos discos. Os cortes foram realizados utilizando uma serra de fita do tipo FM 500 Franho. Após os cortes iniciais, as amostras foram usinadas em um torno com uma velocidade de rotação de 400 rpm e um avanço de 1 mm/s, reduzindo a espessura para 10 mm com uma tolerância de 0,2 mm permitindo futura retificação. Posteriormente, as amostras foram retificadas para atingir as dimensões de 9,85 mm com tolerância de 0,15 mm. Em seguida, foram lixadas com as lixas: #100 e #220 para garantir que a peça esteja com a superfície lisa e uniforme.

O processo de têmpera e revenimento consistiu no aquecimento dos corpos de prova a uma temperatura de 840 °C e mantidas por 30 minutos. Em seguida, foram resfriadas no óleo aquecido a 60 °C por 10 minutos, seguido em resfriamento ao ar livre, como padroniza a norma NBR - 13284 ABNT.

Adicionalmente, novo tratamento superficial de nitretação a plasma foi realizado com alteração do gás inerte para analisar a eficácia da camada nitretada e seus efeitos na superfície da esfera de aço SAE 52100.

## Resultados e Discussão

O aço escolhido para fazer os discos foi SAE 52100, que é o mesmo material das esferas utilizadas anteriormente, e por ser um aço que, devido a seu alto teor de cromo e de carbono, é recomendado em aplicações que demandam boa resistência ao desgaste e dureza. Por essa razão, é amplamente utilizado em lâminas e utensílios cortantes, esferas, pistas e anéis de rolamento, além de brocas, punções e outras ferramentas para extrusão a frio [3].

Os parâmetros geométricos adquiridos nos discos de aço SAE 52100, e os tratamentos térmicos que foram submetidos, estão descritos na tabela 1. Tais dimensões foram baseados no suprote do tribômetro pino sobre o disco, que será utilizado para realizar os ensaios de desgaste.

Tabela 1 – Geometria dos discos de aço SAE 52100

	<b>Espessura (mm)</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Tratamento Térmico</b>
Disco 1	9,45	79,35	Temperado
Disco 2	11,45	70,40	Temperado
Disco 3	11,50	79,35	Temperado e Revenido
Disco 4	11,35	78,40	Temperado e Revenido

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Em relação a têmpera realizada, foi feita para simular as condições de trabalho na indústria eólica. A próxima etapa será as amostras foram submetidas novamente a um processo de lixamento com lixas de #600, #1000 e #1200 e posteriormente polidas com alumina (1  $\mu\text{m}$ ). Tal procedimento foi necessário para a rugosidade média ( $R_a$ ) estar entre 0,3 a 0,1  $\mu\text{m}$  para uma melhor aderência do tratamento de nitretação a plasma no material. A microdureza será medida através de microdurômetro HMV-2000 digital em 5 pontos distintos, nas condições de tempo 20 segundos e força de 9,8 N e a rugosidade será verificada por um perfilômetro Surtronic 25 da Taylor Hobson Precision de acordo com a norma ISO 4288.

Quanto ao tratamento termoquímico (nitretação a plasma) que será empregado nas esferas e aos discos tratados, tem o objetivo de investigar a influência das condições da nitretação na estrutura da superfície e na microestrutura do aço como todo. Essa investigação partiu de um resultado que foi obtido em uma das esferas tratadas termo quimicamente, que teve sua dureza superficial diminuída após sido tratada, saindo de uma dureza de 797,4 vickers (HV), para uma dureza 643.7 HV.

Por fim, testes tribológicos serão conduzidos com um tribômetro pino sobre disco modelo TE-165 LE-131/2014 com contato não conforme (esfera-disco) para avaliar o comportamento e a influência dos parâmetros modificados.

## Referências Bibliográficas

- [1] GRECO, A., SHENG, S., ERDEMIR. Material Wear and Fatigue in Wind Turbine Systems, 2016.
- [2] XIA, Yanqiu et al. Remarkable friction stabilization of AISI 52100 steel by plasma nitriding under lubrication of alkyl naphthalene. *Wear*, v. 268, n. 7-8, p. 917-923, 2010.
- [3] Amaral, C. C. (2023). Efeito da temperatura de austenitização nas propriedades do aço SAE 52100. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Mecânica, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro.

## Simulação Numérica no Estudo do Ruído Aerodinâmico presente nos Perfis (Pás) de Aerogeradores

*Kécia de Lima Gabriel; William Henrique de Lima Fiuza; Sandi Itamar Schafer de Souza.*

*Departamento de Engenharia Mecânica (UFRN)*

*\*e-mail: kecia.lima.095@ufrn.edu.br*

### Introdução

Apesar de serem tecnologias recentes, as fontes renováveis já exprimem importância na conversão de energia e, de acordo com IEA 2023 [1], houve um aumento de 23% de 2000 a 2023 do consumo de energias de fontes renováveis. Sendo assim, com o desenvolvimento de novas tecnologias essas fontes tendem a ser mais utilizadas.

A energia eólica, apesar de gerar benefícios, pode causar desconforto na população que mora próximo aos parques, devido ao ruído ocasionado pelos aerogeradores. Esse desconforto é provocado pelo nível de intensidade sonora do ruído aerodinâmico originado pelo escoamento nas pás, podendo atingir dezenas de decibels. A intensidade sonora é o valor médio do fluxo de energia por unidade de área perpendicular à direção de propagação, medida em watt por metro quadrado, e a intensidade de referência é  $10^{-12} \text{ W/m}^2$  [2].

Alguns estudos indicam que há possibilidade de diminuição do ruído ao realizar alterações geométricas nas pás. Neste sentido, este projeto de pesquisa tem como objetivo compreender quais os níveis de potência sonora (relacionados à intensidade sonora) presentes em um aerofólio (pá) e conseqüentemente verificar se há possibilidade de adição de serrilhamento no perfil para diminuir o ruído de fonte aerodinâmica.

### Metodologia

A pá de um aerogerador possui uma grande extensão não-linear, devido aos ângulos existentes para que a velocidade transite de forma eficiente. A pá é formada por estruturas aerodinâmicas denominadas aerofólios, como mostrado na Figura 1, e suas dimensões são determinadas para a conversão eficiente da energia cinética do ar, como exposto na Figura 2.

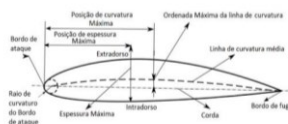


Figura 1. Componentes do aerofólio[3].

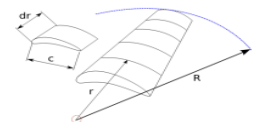


Figura 2. Seccionamento da pá [4].

Essa classe de problemas é denominada na literatura de escoamento externo, que são escoamentos sobre corpos imersos em um fluido sem fronteiras, ou seja, o fluido contorna o objeto [3]. A estrutura da pá está sujeita a forças externas, sustentação e arrasto. As pás são fabricadas com perfis que possuem uma corda variável ao longo do seu comprimento e com variações angulares devido à alteração nos triângulos de velocidade, adequando as características do aerofólio, para que a eficiência seja suficiente. Nas pás de aerogeradores, as características do escoamento como descolamento da camada limite, transição laminar turbulenta e recirculações são fontes de ruído.

Empregou-se a simulação computacional com o software Ansys Fluent para estudar a ocorrência desses ruídos. Para tanto, criou-se a geometria virtual tridimensional do perfil estudado. No estudo foi utilizado o perfil Althaus AH 93-W-300, assimétrico, com a corda igual a 300mm e espessura relativa de aproximadamente 30%.

A criação da geometria teve início com a obtenção dos pontos do perfil em coordenadas cartesianas, através do Airfoil Coordinates Database. Os pontos foram importados para o software Ansys SpaceClaim [5] em um arquivo .txt, o que possibilitou posteriormente a criação das curvas que formam o perfil aerodinâmico.



Figura 3. Vista do perfil aerodinâmico e do domínio fluido.

Criada a geometria, a etapa seguinte é a discretização do modelo e geração de malha. Nas áreas mais próximas ao contorno do aerofólio a malha foi refinada, de modo que fosse possível tratar os fenômenos da camada limite.

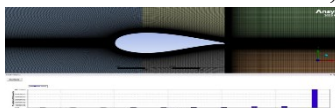


Figura 4. Vista do perfil com a malha gerada.



Figura 5. Vista do refinamento adotado.

Após a discretização, foram consideradas as condições de contorno e definições no software, como: velocidade média equivalente a 8,5 m/s; ausência de transferência de calor; processo em regime transiente; emprego do modelo de turbulência Transition k-kl- $\omega$  e modelo acústico Broadband Noise Sources; e o fluido empregado foi o ar atmosférico, com massa específica  $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$  e viscosidade dinâmica  $\eta = 1,7894 \times 10^{-5} \text{ kg/(m.s)}$ .

Considerando que para o estudo é possível modificar o ângulo de ataque para definir variações no processo sem alterar a geometria, foram determinados os ângulos 0° (a), 1° (b), 3° (c), e 5° (d), conforme Tabela 1.

Ângulo	Velocidade (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)
0°	8,5	8,5000	0,0000
1°	8,5	8,4987	0,1483
3°	8,5	8,4884	0,4449
5°	8,5	8,4677	0,7408

Tabela 1. Ângulos e seus respectivos componentes de velocidade.

Para iniciar a simulação, configurou-se o software para realizar no máximo 10 iterações por passo de tempo, com convergência satisfatória para obtenção de resíduos na ordem de  $10^{-6}$ .

### Resultados e Discussão

Na Figura 6 são mostrados os resultados em contornos para os gradientes de pressão estática em volta do aerofólio, considerando cada um dos quatro ângulos de ataque analisados. Na Figura 7 percebe-se que, quanto maior o ângulo de ataque, maior a variação de pressão entre o intradorso e extradorso, havendo aumento do nível de potência sonora gerado pela pressão estática ao redor do perfil.

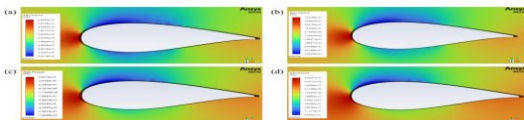


Figura 6. Gradientes de pressão estática para ângulos de ataque.

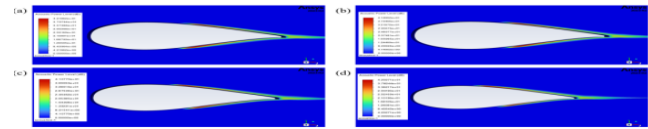


Figura 7. Contornos do nível de potência sonora no perfil com ângulo de ataque.

Os pontos onde há maiores variações de pressão possuem recirculação do ar e deslocamento da camada limite, o que gera ruídos nessas regiões, como pode ser observado na Figura 8. A relação de pressão estática e nível de potência sonora com o comprimento do aerofólio pode ser vista na Figura 9.

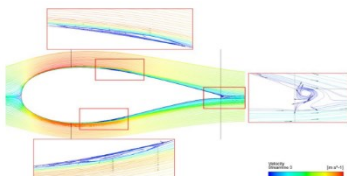


Figura 8. Zonas de recirculação ao redor do perfil com 0°.

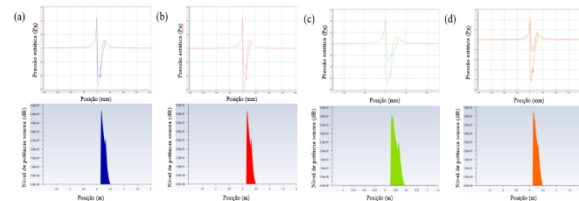


Figura 9. Relação entre picos de pressão e níveis de potência sonora.

Na Tabela 2 são mostrados os resultados para cada ângulo de ataque considerado, considerando pressões estáticas, níveis de potência sonora, velocidades máximas de escoamento e coeficientes de arrasto e sustentação.

Ângulo de ataque	Pressão estática mínima (Pa)	Pressão estática máxima (Pa)	Nível de potência sonora mínimo (dB)	Nível de potência sonora máximo (dB)	Coefficiente de sustentação máximo	Coefficiente de arrasto máximo	Velocidade máxima do escoamento (m/s)
0°	-54,4138	44,2826	0	42,1982	0,18580800	0,016971473	12,61
1°	-59,5294	44,2763	0	41,4962	0,25528967	0,013409090	12,92
3°	-70,8495	44,2714	0	41,0770	0,38953744	0,000497042	13,60
5°	-83,9561	44,2297	0	42,0271	0,52043385	-0,020159545	14,34

Tabela 2. Resultados para cada ângulo de ataque.

### Conclusão

A partir dos resultados obtidos nota-se que os gradientes de pressão estática e a formação de zonas de recirculação estão diretamente ligados à geração de ruído aerodinâmico, variando conforme o ângulo de ataque do aerofólio. Esse estudo preliminar possibilita compreender as áreas com maiores indícios de ruído, permitindo assim que sejam realizadas outras análises complementares, como a possibilidade de modificar a geometria com adição de serrilhamento para diminuir a intensidade e a potência sonora.

### Referências Bibliográficas

- [1] IEA 2023 [Brazil - Countries & Regions - IEA](#)
- [2] IAZZETTA, Fernando. Intensidade sonora. 2007.
- [3] FOX, R.W. Introdução à mecânica dos fluidos. 8ed. LTC. 2010.
- [4] SOUZA, S. I. S. Disciplina de energia eólica (aula 1 a 6). UFRN. Natal/RN. 2023.
- [5] ANSYS Inc., 2013. "ANSYS Fluent UDF Manual". Canonsburg, U.S.A
- [6] FILHO, J.A. Matriz energética Brasileira: da crise à grande esperança. 2003.

## ***Implementação da comunicação bidirecional para a aplicação do conceito de gêmeo digital na indústria do petróleo***

***Jállyson L. de Q. Araújo\*; Adilson J. de Oliveira***  
***Laboratório de Manufatura - Departamento de Engenharia Mecânica***  
***\*jallyson.queiroz@gmail.com***

### **Introdução**

Com o aumento da capacidade de processamento na cadeia de produção de petróleo e gás, ter profissionais com conhecimento de automação dos processos industriais baseados nas tecnologias emergentes para estimar os resultados dos complexos processos envolvidos é fundamental. Um exemplo de uma das tecnologias emergentes que é baseada em simulações e desenvolvidas com os dados reais oriundos de transdutores instalados nos equipamentos físicos do processo, é o Gêmeo Digital (GD). Apesar de não haver na literatura uma única definição a respeito do conceito de GD, essa tecnologia pode ser caracterizada como uma representação virtual de um sistema físico no qual há uma comunicação bidirecional em tempo real entre os ambientes físico e virtual. Estudos asseguraram que o conceito de GD é extremamente dependente do contexto no qual ele está implementado [1]. Os autores concluíram que a transferência de informações em tempo real sustentado por uma conexão bidirecional é primordial para que o GD represente de forma verídica a sua contraparte física. Portanto, o aspecto mais relevante dessa tecnologia é a comunicação bidirecional em tempo real entre os ambientes físico e virtual. O uso dos transdutores e da tecnologia da informação, permitem que simulações com base em dados reais sejam executadas em um ambiente virtual de forma prever resultados de um processo no ambiente físico. Além disso, ações no ambiente físico também podem ser efetuadas, em tempo real, tendo como base os comandos definidos no ambiente virtual. Rolle, Martucci e Godoy (2020) propuseram a implementação de uma arquitetura para Gêmeo Digital desenvolvido para a Indústria 4.0. Os autores utilizaram o Protocolo de Datagrama de Usuário (UDP) como sendo o padrão de comunicação para de execução da transferência de dados e afirmaram que os dados são enviados a cada 50 ms. Kaarlela *et al.* (2022) propuseram a implementação de uma plataforma de teleoperação robótica baseada em GD. Na execução da teleoperação os autores utilizaram o projeto de comunicação em tempo real na web (WebRTC), que é tecnologia de código aberto e utiliza o UDP como fonte para a transferência de dados de vídeo em tempo real. Os autores ainda afirmaram que essa ferramenta demanda menos que 200 ms para enviar um pacote dados de um ambiente ao outro. Desse modo, o objetivo geral deste estudo foi implementar a comunicação bidirecional em tempo real entre os sistemas físico e virtual utilizando o UDP para aplicar o conceito de GD na Indústria do Petróleo e Gás Natural.

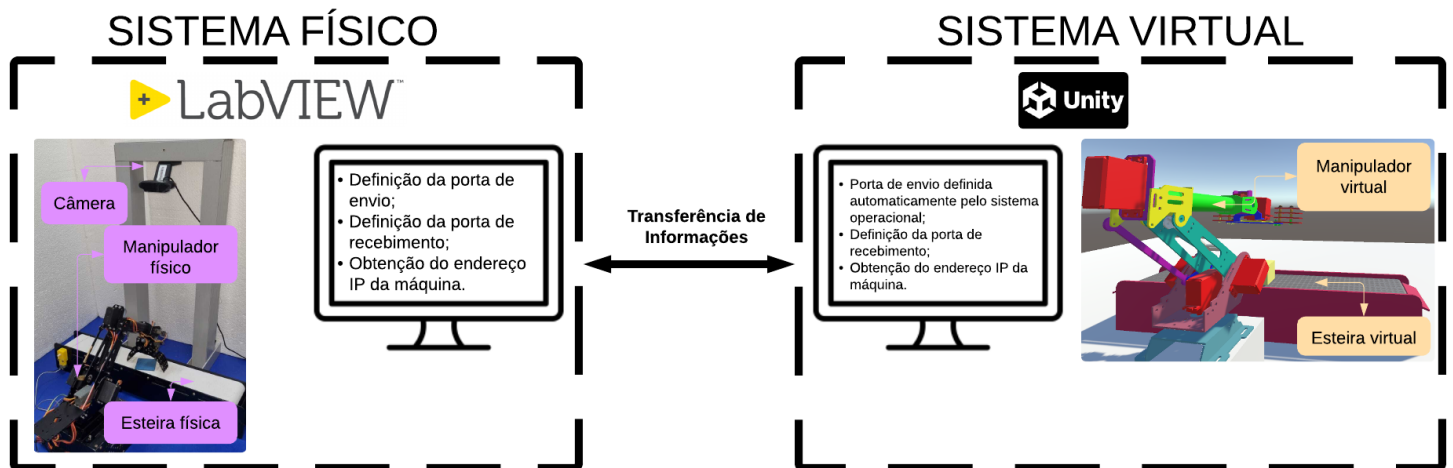
### **Metodologia**

Na implementação da comunicação bidirecional em tempo real entre os ambientes virtual e físico, com informações oriundas de um Sistema Flexível de Manufatura (FMS) composto por um manipulador robótico de 6 graus de liberdade, da marca Doit, e por uma esteira de 1 grau de liberdade instrumentados com transdutores de modo a promover o suporte de movimentação de objetos, uma comunicação bidirecional foi desenvolvida aplicando o protocolo UDP, o qual também utilizado por Rolle, Martucci e Godoy (2020), por meio da rede LAN e pelo Protocolo de Internet (IP) versão 4 (IPv4). Dessa maneira, para implementar a comunicação bidirecional em tempo real, foi necessário definir a porta da máquina local na qual as informações devem ser enviadas, também foi necessário definir a porta que as informações serão recebidas e, além disso, foi necessário inserir nos algoritmos o IP da máquina de destino das informações. Essas definições foram efetuadas de modo que a comunicação bidirecional entre os sistemas físico e virtual fosse executada em sua plenitude.

## Resultados e Discussão

Na execução da comunicação entre os ambientes virtual e físico, o protocolo de comunicação UDP suportado pela rede LAN e pelo protocolo IPv4 foi implementado. A Figura 1 ilustra a estrutura implementada para concretizar a comunicação do sistema virtual para o sistema físico e do sistema físico para o sistema virtual.

Figura 1. Estrutura da comunicação bidirecional em tempo real para a transferência de dados entre os sistemas físico e virtual.



Fonte. Autores.

A Figura 1 apresenta a estrutura da comunicação bidirecional implementada. No envio dos dados do sistema físico para o sistema virtual, foi definido no sistema físico a porta 61556 para o envio dos dados. Além disso, no sistema virtual a porta 61557 foi definida como a que recebe os dados enviados e o IPv4 da máquina que enviou os dados foi inserido. Um processo similar foi implementado no envio dos dados do sistema virtual para o sistema físico. Para esse caso, foi definido no sistema real a porta 61558 para o recebimento dos dados. O IPv4 da máquina que enviou os dados também foi inserido. No entanto, não foi necessário definir no sistema virtual a porta de envio de dados. Isso ocorreu devido ao sistema operacional usado na máquina especificar automaticamente a porta que os dados foram enviados. Com o intuito de validar a comunicação bidirecional em tempo real, testes foram realizados e um tempo médio de 1 ms foi obtido para o envio dos dados, de tamanho 36 bytes, independentemente se os dados partem do sistema físico ou sistema virtual.

## Conclusões

Uma comunicação bidirecional foi implementada utilizando o protocolo de comunicação UDP suportado pela rede de comunicação LAN e pelo protocolo de internet IPv4. Essa comunicação demandou em média 1 ms para transferir os dados que possuem um tamanho de 36 bytes.

## Referências Bibliográficas

- [1] ROLLE, R.; MARTUCCI, V.; GODOY, E. Architecture for Digital Twin implementation focusing on Industry 4.0. *Ieee Latin America Transactions*, Sorocaba, v. 18, n. 05, p. 889-898, maio 2020. *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*. <http://dx.doi.org/10.1109/tla.2020.9082917>.
- [2] KAARLELA, T. *et al.* Common Educational Teleoperation Platform for Robotics Utilizing Digital Twins. *Machines*, v. 10, n. 7, p. 577, 18 jul. 2022.
- [3] SU, S. *et al.* "Characterisation and evaluation of identity for digital twins for the manufacturing domain". *Journal of Manufacturing Systems*, v. 71, p. 224-237, 1 dez. 2023.

## *Estudo dos esforços estáticos na estrutura de um veículo leve híbrido (vlh) com o auxílio do método dos elementos finitos*

*Janderson G. da Silva\**; *Judson C. da Silva*; *Anderson C. A. de Melo*  
*Laboratório de Manufatura, Departamento de Engenharia Mecânica*  
*\*jandersonguedes12@outlook.com*

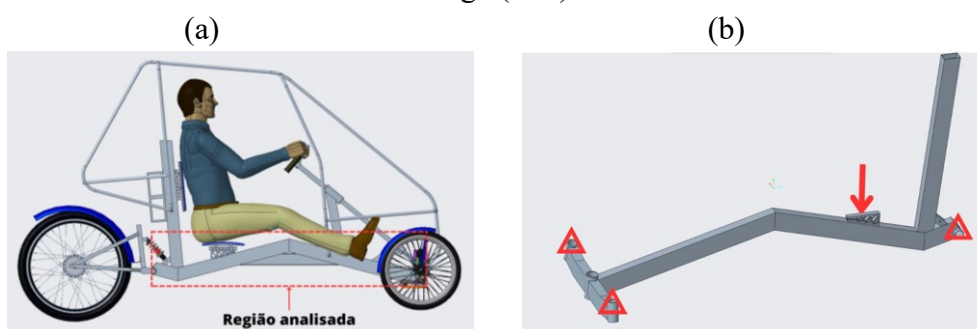
### **Introdução**

Veículos para micromobilidade (*e-bikes*, patinetes elétricos, *e-scooters*, entre outros) representam um meio de transporte urbano rápido, limpo e sustentável, que pode ajudar na redução do congestionamento nas médias e grandes cidades. A implementação de serviços e veículos de micromobilidade se apresenta como uma alternativa sustentável e inovadora [1] que vem ganhando cada vez mais adeptos e fazendo com que políticas públicas sobre o tema sejam cada vez mais discutidas e implementadas. Na Espanha, por exemplo, Planos de Mobilidade Urbana Sustentável (PMUS) com foco na redução do congestionamento do trânsito e da poluição urbana, foram implementados em 2011, o que promoveu uma verdadeira mudança de hábito da população, que passou a usar alternativas mais sustentáveis com maior frequência [2]. Veículos alternativos leves e de emissão zero têm sido vistos cada vez mais nas cidades. Bicicletas, patinetes elétricos e *e-bike cars*, como o Veemo (<https://veemo.ca/>), Pedilio (<https://www.pedilio.de/>) e ELF (<https://organictransit.com/>), vêm ganhando cada vez mais espaço nas ruas. No que se refere ao projeto da estrutura desses veículos, uma ferramenta muito usada para a análise dos esforços estáticos é o Método dos Elementos Finitos (MEF), que informa a distribuição das tensões em pontos críticos da estrutura, permitindo o seu dimensionamento. Nesse contexto, este trabalho teve como principal objetivo apresentar a análise pelo MEF dos esforços estáticos no chassi de um VLH que vem sendo projetado e construído no Laboratório de Manufatura da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

### **Metodologia**

Para realizar a análise estática do chassi do veículo (figura 1a), primeiramente foi necessária a criação dos modelos geométricos das peças, bem como a junção de todas elas em um único conjunto. Para isso, foi utilizado o *software* Creo Parametric 8.0.4.0. Após feita a modelagem, as peças foram exportadas para o *software* Ansys Mechanical 8.0.0 considerando as seguintes condições de contorno: liga de alumínio ABNT 6061-T6 para o material do chassi, com limite de escoamento de 280 MPa; pontos de restrição de movimento na traseira e dianteira do veículo (triângulos na figura 1b); e carregamento de 2 kN concentrado no assento do condutor (seta na figura 1b). Além disso, os elementos considerados na geração da malha para análise pelo MEF foram predominantemente hexaédricos; entretanto, em algumas regiões de união dos tubos, foram usados elementos tetraédricos, sendo o tamanho máximo dos elementos de 2,5 mm.

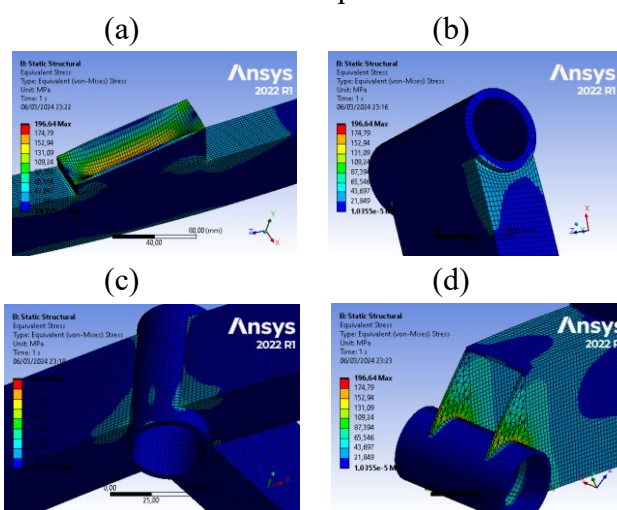
Figura 1. (a) Indicação de região analisada; (b) indicação das restrições de movimento (triângulos) e aplicação da carga (seta).



## Resultados e Discussão

A análise pelo MEF resultou numa tensão máxima de von Mises de 196,64 MPa, que é inferior ao limite de escoamento do alumínio ABNT 6061-T6. Notou-se ainda, que os maiores esforços no chassi se concentraram no assento do condutor, onde a carga foi aplicada (figura 2a); nas junções dos tubos de acoplamento das suspensões dianteiras com os braços do chassi (figura 2b); na junção da caixa de direção com os braços do chassi e o central do chassi (figura 2c); e na junção do tubo de conexão do quadro traseiro com o central do chassi (figura 2d).

Figura 2. Regiões de concentração de tensão. (a) Assento do condutor; (b) Junção do tubo de acoplamento de uma das suspensões dianteiras com os braços do chassi; (c) Junção da caixa de direção com os braços do chassi e o central do chassi; (d) Junção do tubo de conexão do quadro traseiro com o central do chassi.



## Conclusões

Com o resultado alcançado na simulação, baseado no critério de falha de von Mises, pode-se concluir que a estrutura do chassi central do VLH não falhará com cargas estáticas para o carregamento empregado.

## Referências Bibliográficas

- [1] Milovanović, B.; Trpković, A; Jevremović, S; Živanović, P; Bajčetić, S; Nađ, A; Challenges of the Integration of Micromobility Vehicles into Modern Traffic and Transportation Systems. 35, 871-885, 2023. <https://doi.org/10.7307/ptt.v35i6.400>.
- [2] Mozos-Blanco, M.Á; Pozo-Menéndez, Elisa; Arce-Ruiz, Rosa and Baucells-Aletà, Neus, 2018. The way to sustainable mobility. A comparative analysis of sustainable mobility plans in Spain. Madrid. Transport Policy. 72, 45-54, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.07.001>.
- [3] BRASIL, 2007. Conselho Nacional de Trânsito. Resolução nº 236, de 11 de maio de 2007. Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, v. IV. Disponível em: [https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/arquivos-senatran/docs/copy\\_of\\_\\_04\\_\\_MBST\\_Vol\\_IV\\_\\_Sinalizacao\\_Horizontal.pdf](https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/arquivos-senatran/docs/copy_of__04__MBST_Vol_IV__Sinalizacao_Horizontal.pdf).



## *Avanços no desenvolvimento de um sistema eletrônico para a medição da energia consumida na esclerometria pendular de passe único*

*Nataly da S. Batista\*; Anderson C. A. de Melo*  
*Laboratório de Manufatura, Departamento de Engenharia Mecânica*  
*\*natallybatista5@gmail.com*

### **Introdução**

A esclerometria pendular de passe único é uma técnica de grande utilidade em estudos de tribologia. Nela, faz-se uso de um penetrador, comumente empregado em testes de dureza, para riscar - uma única vez - a amostra de um determinado material enquanto ele se encontra fixado numa mesa porta-amostra localizada no ponto mais baixo do percurso descrito pelo penetrador (riscador) que está fixado na extremidade de um pêndulo [1]. Em sua grande maioria, os equipamentos que aplicam a técnica, denominados esclerômetros de passe único, fornecem resultados rápidos e diretos da energia consumida no riscamento por meio de um mostrador e ponteiro mecânicos. Uma outra possibilidade seria a construção de um sistema eletrônico para medir a energia de riscamento, como o proposto neste trabalho. Assim, o presente texto tem como objetivo apresentar os avanços ocorridos no desenvolvimento de um sistema eletrônico para a medição da energia consumida num esclerômetro pendular de passe único que está sendo construído no Laboratório de Manufatura da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

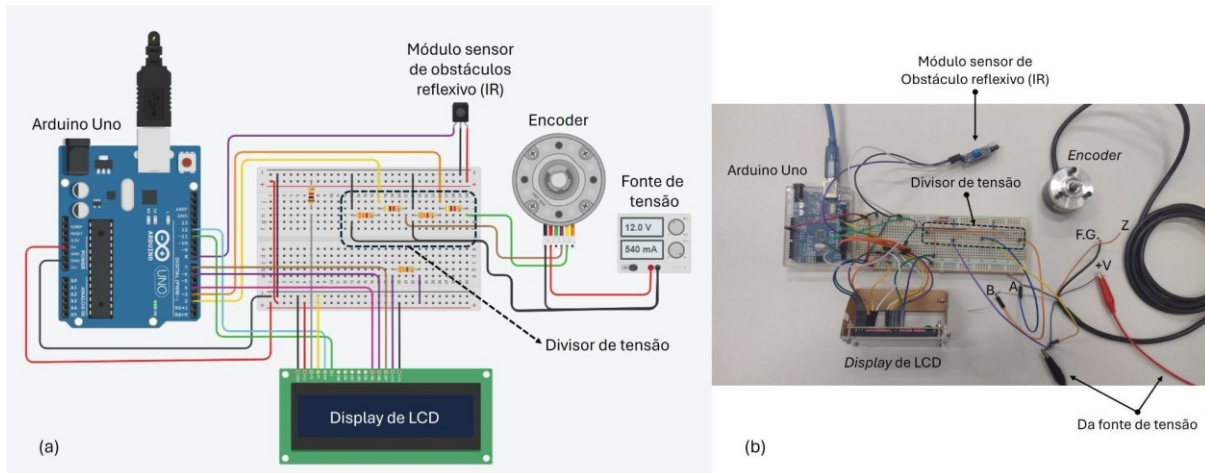
### **Metodologia**

O desenvolvimento deste projeto foi dividido nas seguintes etapas para garantir uma abordagem sistemática e eficaz: Etapa I - Análise física do sistema mecânico para conversão do sinal digital do *encoder* em energia; Etapa II - Estudo do princípio de funcionamento do *encoder*; Etapa III - Desenvolvimento do sistema eletrônico baseado na plataforma Arduino; Etapa IV - Calibração do sistema de medição da energia de riscamento; Etapa V - Pré-testes de riscamento; Etapa VI - Ajustes e testes em amostras diversas. As Etapas I e II já foram concluídas e estão detalhadas em [2]. Neste texto, será apresentada a Etapa III - Desenvolvimento do sistema eletrônico baseado na plataforma Arduino. Assim, foi elaborado um código no ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) do Arduino para a leitura, tratamento, registro e indicação dos sinais. O circuito foi montado para converter o sinal elétrico gerado pelo *encoder* rotativo em um valor representativo da energia consumida no processo de riscamento da amostra, exibindo este valor no display de LCD.

### **Resultados e Discussão**

Para o desenvolvimento do circuito (Fig. 1), foi empregado um módulo sensor de obstáculos reflexivo infravermelho, equipado com um CI comparador LM393. O objetivo era detectar o momento em que o braço do pêndulo do esclerômetro atingia a posição vertical completa, permitindo a distinção entre os ângulos antes e após o riscamento. Adicionalmente, foi necessário integrar os sinais dos terminais A e B do *encoder* (12 V). Para isso, um circuito com dois divisores de tensão foi montado, com o propósito de reduzir os sinais para aproximadamente 5 V, que é o valor máximo suportado pelas portas de entrada do Arduino Uno.

Figura 1. (a) Protótipo do circuito feito com o auxílio do aplicativo Tinkercad®; (b) Circuito montado com o auxílio de uma protoboard.



O código desenvolvido no IDE do Arduino foi implementado para a leitura dos sinais gerados pelo *encoder* e pelo sensor reflexivo, ambos conectados ao Arduino Uno. Nesse caso, os terminais A e B (do *encoder*) são usados para realizar a contagem dos pulsos e determinar o sentido de rotação do eixo do *encoder*. O sensor reflexivo, conectado aos pinos 5V e GND do Arduino, é empregado para identificar o momento em que o pêndulo do esclerômetro passa pela posição vertical durante o riscamento da amostra. No início do código, são definidos os pinos do Arduino aos quais os fios provenientes dos terminais A e B do *encoder* (pinos digitais 2 e 3) e do sensor reflexivo (pino digital 8) são conectados. Além disso, uma variável chamada *counter* foi definida para armazenar a contagem de pulsos do *encoder* usando os valores das variáveis “*encoderPinA*”, “*encoderPinB*” e “*encoderPinLast*”, que correspondem, respectivamente, aos sinais dos terminais A, B e ao estado anterior do pino do *encoder* (previamente definido). Sempre que ocorre uma mudança de estado nos pinos A e B, o código emite uma interrupção para o pino A do *encoder*, invocando a função “*ai0*”. Esta função é responsável por atualizar a contagem de pulsos com base nas mudanças dos canais A e B do *encoder*, determinando a direção da rotação. O *loop* principal do código realiza a leitura dos pulsos do *encoder* e mapeia a contagem para um intervalo de 0 a 360°. Quando o sensor é ativado, o programa calcula o valor da energia consumida (variável “*EC*”) e o exibe no display de LCD. O código também zera o valor do ângulo do pêndulo quando o sensor está inativo.

## Conclusões

Com base nos progressos realizados até o momento, que incluem desde a análise física do sistema mecânico até a elaboração do código de programação, conseguiu-se desenvolver uma ferramenta eficaz para quantificar a energia consumida nos testes de riscamento que serão realizados com o esclerômetro em desenvolvimento. A etapa seguinte será a montagem do *encoder* no eixo pendular do esclerômetro e do restante do sistema eletrônico (devidamente montado em uma PCB) no corpo deste para a realização de testes no próprio equipamento. Está-se aguardando a finalização dos componentes mecânicos do esclerômetro para a realização desta etapa do projeto, consolidando assim sua aplicação prática e sua contribuição para o avanço da pesquisa em tribologia e materiais.

## Referências Bibliográficas

- [1] FRANCO, S. D. Contribuição ao Estudo do Desgaste Abrasivo de Materiais Polifásicos. 1989. 115 p. (Dissertação de mestrado) Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil, 1989.
- [2] BATISTA, N. S.; MELO, A. C. A. Desenvolvimento de um sistema digital para a medição da energia específica de riscamento em um esclerômetro pendular de passe único. *In: xxviii workshop do PRH-ANP 44.1*, 2 p., 2023, Natal.

**Resumos** [...]. Rio Grande do Norte: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2023.

**Um sistema de visão computacional baseado em redes neurais convolucionais artificiais para o reconhecimento de objetos em um protótipo de um sistema flexível de manufatura**

**Rafael S. N. Freire\***; **Jefferson I. D. Silva**; **Adilson J. de Oliveira**  
**Laboratório de Manufatura – Departamento de Engenharia Mecânica (UFRN)**  
**\* rafael.serafim.706@ufrn.edu.br**

**Introdução**

A Inteligência Artificial (IA) possibilita a inovação em métodos produtivos ao permitir que tarefas que requeriam intervenção humana pudessem ser realizadas por máquinas. A IA possui diversos campos de atuação, como a Visão Computacional (VC) que é utilizada em processos que precisam de acompanhamento visual autônomo. A VC tem sido amplamente utilizada devido às suas diversas aplicabilidades, sendo uma delas, o reconhecimento de objetos [1]. A partir de imagens obtidas por câmeras é possível que, mediante um algoritmo de processamento de imagens, as informações físicas permitam uma tomada de decisão, permitindo a automatização de processos produtivos e reduzindo incertezas de decisão. Extrair essas informações de imagens demanda de um método de busca baseado em algoritmos inteligentes. Neste sentido, a literatura sugere essa função às Redes Neurais Convolucionais Artificiais (CNN), as quais são arquiteturas de processamento de imagem que possuem diversas camadas de filtros multidimensionais, que passam por um processo de convolução a partir da imagem de entrada, gerando um conjunto de dados esperado [4].

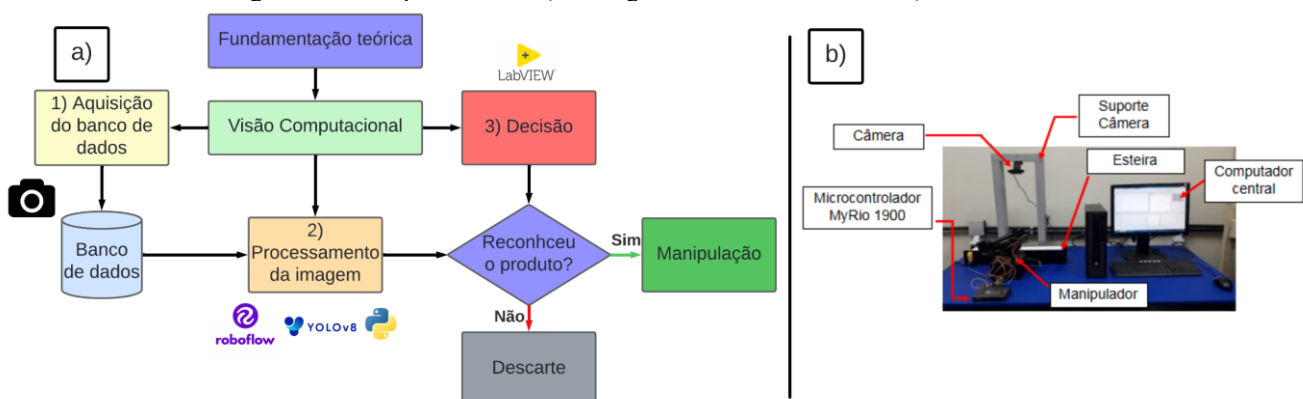
As CNN's possuem uma ampla área de aplicações, desde diagnósticos baseados em imagens médicas ou sistemas de classificação de resíduos sólidos [2]. Nesse contexto, a indústria de petróleo e gás pode explorar as diversas aplicabilidades das CNN's, como na classificação de substâncias por cor e/ou densidade e a detecção de falhas mecânicas. Um exemplo da aplicação de CNN na industria do petróleo e gás é o método proposto por Li *et al.* (2022) para detecção de vazamentos em oleodutos.

O conceito de CNN pode ser aplicado nos Sistemas de Manufatura Flexíveis (FMS), que são um conjunto de máquinas-ferramenta gerenciadas por comandos numéricos, as quais são interligadas por sistemas de transporte e manipulação de produtos. Esse sistema é capaz de atingir taxas de produção elevadas e personalizadas ao misturar processos produtivos com tecnologia da informação [7]. Portanto, o atual estudo tem como objetivo integrar uma CNN a um protótipo de FMS, existente no Laboratório de Manufatura da UFRN, para o reconhecimento de objetos (produtos) a serem processados, atendendo os seguintes requisitos a) reconhecer o objeto em tempo real; b) inicialmente, o reconhecimento precisa ter uma exatidão de 90%.

**Metodologia**

O FMS está disponível no Laboratório de Manufatura (LABMAN - UFRN), objetiva-se que o protótipo seja capaz de reconhecer e manipular produtos. A Figura 1 mostra o protótipo de FMS empregado no atual estudo.

Figura 1. Protótipo do FMS. a) Fluxograma do sistema de VC. b) Sistema físico.



Conforme a Figura 1, baseado na fundamentação teórica, o atual estudo está dividido em: a) formação de um banco de dados, que precisa conter imagens dos objetos sob diversas condições (posição e variação da luz no ambiente); b) um processamento de imagem, que deve realizar a rotulação e separação do banco de dados, com o suporte da plataforma Roboflow; c) a YOLOv8 foi escolhida como arquitetura para treinar o modelo, utilizando do banco de imagens que contém elementos de máquinas (porcas, arruelas e parafusos) e enviar as informações extraídas para o algoritmo central, feito no software LabVIEW 2017, tomar as decisões.

## Resultados e Discussão

Os resultados obtidos no treinamento do modelo pela arquitetura YOLOv8 indicam uma Precisão de 89,7%, uma evocação (taxa de casos verdadeiros positivo corretamente identificados) de 93,5% e uma velocidade de processamento mínima de 25 fps (quadros por segundo). Outro dado importante é a velocidade da esteira, que é de 314 mm/s. Com base nos dados do treinamento e a velocidade da esteira, é possível notar que o modelo está muito próximo de 90% de precisão e o tempo que ele leva para reconhecer uma imagem é de 40 ms, logo, o modelo está adequado pois atende aos requisitos descritos na Metodologia. Além disso, as limitações dos objetos de análise e instrumentação indicam que o modelo pode ser melhorado.

## Conclusões

Portanto, conclui-se que, a CNN aplicada permitiu o reconhecimento dos objetos descritos com uma taxa de sucesso de 89,7% em uma primeira rodada de testes. Será possível melhorar sua precisão ao realizar uma investigação sobre a robustez do modelo. Além disso, o conceito aplicado no atual estudo será extrapolado para tarefas visuais autônomas para a indústria do petróleo e gás.

## Referências Bibliográficas

- [1] ALSAKKA, F. et al. Computer vision applications in offsite construction. *Automation in construction*, v. 154, n. 104980, p. 104980, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104980>
- [2] FAN, M. et al. A lightweight multiscale convolutional neural network for garbage sorting. *Systems and Soft Computing*, v. 5, n. 200059, p. 200059, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.sasc.2023.200059>
- [3] LI, Q. A novel oil pipeline leakage detection method based on the sparrow search algorithm and CNN. *Measurement*, v. 204, n. 112122, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.112122>.
- [4] KHAN, S. et al. *A Guide to Convolutional Neural Networks for Computer Vision*. Cham: Springer International Publishing, 2022.
- [5] Roboflow, 2024. “Everything you need to build and deploy computer vision models”. 12 Abr. 2024
- [6] Ultralytics, 2024. “Ultralytics yolov8 documentos”. 12 Abr. 2024 <<https://docs.ultralytics.com/pt/>>.
- [7] WECKENBORG, C. et al. Flexibility in manufacturing system design: A review of recent approaches from Operations Research. *European Journal of Operational Research*, in press, 2023.

## Adsorção de Fenol em Água por Argilas Organofílicas

Matheus H. P. Souza\*; Rayanne M. A. Viegas; Osvaldo Chivone-Filho

Núcleo de Ensino e Pesquisa em Petróleo e Gás – Departamento de Engenharia Química (UFRN)

\*matheushenrps@gmail.com

### Introdução

Desde a exploração de petróleo e gás, até o setor petroquímico, é comum a geração de resíduos contendo uma ampla gama de contaminantes, dada as diferentes classes de compostos orgânicos e inorgânicos existentes [1]. O aumento das atividades humanas, sobretudo neste contexto, associado à liberação inadequada dos poluentes, tem sido um fator preponderante na contaminação de corpos d'água, podendo ocorrer em diferentes mananciais. Como contaminantes do petróleo solúveis em água, é possível citar como exemplo os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), os fenóis, os ácidos naftênicos, e o grupo benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno (BTEX). Esses componentes, quando em concentrações aquosas acima do que é considerado seguro, oferecem grande risco à natureza e à saúde humana, por apresentar propriedades tóxicas, carcinogênicas e mutagênicas. Além dos impactos adversos causados, esses poluentes são extremamente persistentes e recalcitrantes [2-5], devido à alta estabilidade química de suas estruturas. Assim, são de difícil remoção por métodos convencionais de tratamento de água, fazendo necessária a utilização de meios alternativos de remediação, como é o caso da adsorção, via barreiras reativas permeáveis (BRPs). A instalação de BRPs constitui uma das possíveis técnicas de tratamento *in-situ* de águas subterrâneas contaminadas, em que essas barreiras atuam interceptando as plumas de contaminação em lençóis freáticos. Portanto, a remediação é feita de tal forma que o material implementado na barreira retém os poluentes da água. Diversos estudos apontam a alta eficiência de BRPs para a remoção de uma vasta variedade de contaminantes, além de se destacarem pelo baixo custo de manutenção e longa vida útil [6]. Em relação aos adsorventes para aplicação nas barreiras, carvão ativado, biochar, zeólitas e argilas organofílicas constituem os materiais mais comumente utilizados. Destaca-se que este último grupo, as organoargilas, tem como principal vantagem de uso o seu baixo custo de obtenção [7], tendo como matéria-prima principal a argila bentonítica, de alta disponibilidade em diferentes solos. Um exemplo comercial deste tipo de adsorvente é a *Spectrogel® tipo-C*, em que pesquisas realizadas demonstram o seu potencial adsorptivo em soluções aquosas de contaminantes como fármacos e hidrocarbonetos do petróleo [8-9]. Dessa forma, o seguinte trabalho tem como objetivo a avaliação do uso desse adsorvente comercial, além de uma segunda argila organofílica sintetizada em laboratório, denominada BCN<sub>1</sub>HDTMA<sub>100</sub>, propondo a remoção do fenol (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH) em meio aquoso.

### Metodologia

Para a realização deste estudo, foi estabelecido etapas que envolveram, sobretudo: **i)** revisão bibliográfica do tema, via plataformas como *ScienceDirect* e *SCOPUS*; **ii)** preparo de materiais e reagentes, bem como a organização da bancada experimental; **iii)** construção da curva de calibração do fenol para espectrofotometria em UV-Vis (método de análise utilizado para medida de concentrações de amostras); **iv)** realização de ensaios de adsorção em batelada para as argilas e tratamento dos dados.

### Resultados e Discussão

Inicialmente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica para levantamento da relevância do tema, bem como soluções aquosas de contaminantes utilizadas para ensaios de adsorção por argilas organofílicas, especialmente com a *Spectrogel® tipo-C*. Assim, foi definido o fenol como primeiro contaminante modelo para os testes preliminares de adsorção em batelada e para a construção da curva de calibração para a espectrofotometria em UV-Vis (Figura 1). Primeiramente, o experimento de adsorção foi realizado utilizando 50 mg da argila bentonita natural, em que se

verificou que esta não foi capaz de remover quantidade alguma de fenol da solução. Subsequentemente, o experimento foi refeito utilizando 50 mg da argila BCN<sub>1</sub>HDTMA<sub>100</sub>, especialmente modificada pela organofilização da bentonita natural, que resultou em uma capacidade de adsorção de fenol de  $7,04 \pm 0,19$  mg/g, e percentual de remoção de  $18,5 \pm 0,5\%$ . Realizando os testes com a *Spectrogel*<sup>®</sup> tipo-C, variando apenas a massa de adsorvente utilizada (50, 100 e 150 mg), obteve-se como resultado uma capacidade de adsorção máxima de  $8,32 \pm 0,02$  mg/g, quando utilizando 50 mg do adsorvente, equivalente a um percentual de remoção de  $21,2 \pm 0,1\%$ . Tais resultados para as duas argilas estão dispostos nas Tabelas 1 e 2.

Figura 1. Ensaio preliminar de adsorção em batelada (fenol e *Spectrogel*<sup>®</sup> tipo-C), e curva de calibração do fenol (UV-Vis)

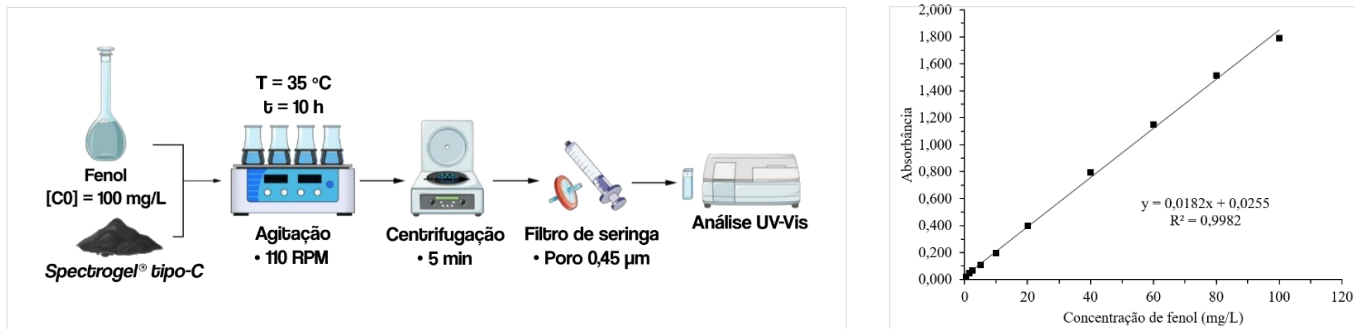


Tabela 1. Sistema fenol-BCN<sub>1</sub>HDTMA<sub>100</sub>

BCN <sub>1</sub> HDTMA <sub>100</sub> (50 mg)	
q (mg/g)	$7,04 \pm 0,19$
remoção(%)	$18,5 \pm 0,5$

Tabela 2. Sistema fenol-BCN<sub>1</sub>HDTMA<sub>100</sub>

	Massa de Spectrogel <sup>®</sup> tipo-C		
	50 mg	100 mg	150 mg
q (mg/g)	$8,32 \pm 0,02$	$7,22 \pm 0,09$	5,82
remoção(%)	$21,2 \pm 0,1$	$37,4 \pm 0,5$	46,0

## Referências Bibliográficas

- [1] OSSANI, Innocent Chukwunonso et al. *Environmental Technology & Innovation*, [S.L.], v. 17, p. 100526, fev. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eti.2019.100526>.
- [2] PATEL, Avani Bharatkumar et al. *Frontiers In Microbiology*, [S.L.], v. 11, p. 1-23, 5 nov. 2020. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2020.562813>.
- [3] DUAN, Weiyan et al. *Ecotoxicology And Environmental Safety*, [S.L.], v. 157, p. 441-456, ago. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.03.089>
- [4] COSTA, Sabryna I.G. et al. *Process Safety And Environmental Protection*, [S.L.], v. 174, p. 608-626, jun. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2023.04.032>.
- [5] YU, Bian et al. *Chemical Engineering Journal*, [S.L.], v. 435, p. 134825, 1 maio 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2022.134825>.
- [6] THAKUR, Alok Kumar et al. *Environmental Technology & Innovation*, [S.L.], v. 19, p. 100917, ago. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eti.2020.100917>.
- [7] FERNANDES, Elaine Ferreira dos Santos et al. *Research, Society And Development*, [S.L.], v. 12, n. 2, p. 1-16, 21 jan. 2023. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v12i2.39917>.
- [8] LIMA, Leticia F et al. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, [S.L.], v. 56, n. 21, p. 6326-6336, 17 maio 2017. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acs.iecr.7b00173>.
- [9] FARIAS, M.B. de et al. *Powder Technology*, [S.L.], v. 395, p. 695-707, jan. 2022. Elsevier BV.

## *Aplicação do Pó de Areia Argilosa como Catalisador do Processo Foto-Fenton Visando Tratamento de Água Produzida Contaminada com Fenol*

*Letícia P. Araújo\*; Joyce A. B. Souza; Osvaldo Chiavone-Filho*

*Laboratório de Fotoquímica e Equilíbrio de Fases (FOTEQ), Departamento de Engenharia Química (UFRN)*

*\*leticia.pontes.018@ufrn.edu.br*

### **Introdução**

A água residual gerada nos processos desenvolvidos pela indústria de petróleo, denominada de água produzida (AP), é uma mistura complexa de vários componentes orgânicos e inorgânicos que, quando descartada indevidamente, pode gerar graves danos ao meio ambiente e à saúde humana [1]. O fenol apresenta-se como um poluente orgânico muito encontrado na AP, apresenta propriedades tóxicas, que podem acarretar problemas à saúde humana e ao meio ambiente, além de ser bioacumulante e recalcitrante [2]. Para o tratamento de águas contaminadas com contaminantes orgânicos vêm sendo amplamente utilizados os Processos Oxidativos Avançados (POAs). O foto-Fenton é um tipo de POA que faz uso, em meio ácido, do peróxido de hidrogênio, íons de ferro e luz, para a geração de radicais que realizam a degradação dos contaminantes, mineralizando-os [3]. Os íons ferrosos podem vir de diferentes fontes alternativas e, por apresentarem teor de ferro em sua composição, as areias argilosas podem ser utilizadas como catalisador para o processo foto-Fenton na degradação de fenol [4]. Assim, o objetivo deste trabalho é o tratamento de água contaminada com fenol por meio do processo foto-Fenton, utilizando como fonte de ferro pó feito de areias argilosas oriundas da praia de Ponta Negra - RN.

### **Metodologia**

As amostras de areia foram fragmentadas com um martelo e maceradas com almofariz com pistilo. Por fim, as amostras passaram por uma peneira de 150 mesh (0,106 mm). O pó de areia argilosa obtido foi analisado por espectrofotometria de Fluorescência de Raios-X (FRX), modelo EDX-720 (Shimadzu). Os experimentos consistiram em tratar uma solução de 30 mg/L sob pH 3,0, variando a quantidade de amostra (2,0 a 3,0 g/L) e a quantidade de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (6 a 10 mM). Foram feitos ensaios controle apenas com o pó e outro apenas com o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, as condições experimentais estão descritas na Tabela 1. O sistema consistiu em um reator de 250 mL acoplado a um banho termostático que manteve o sistema a uma temperatura constante de 20 °C, sendo o aparato experimental submetido à exposição de luz através de uma lâmpada de vapor metálico (Ourolux, 150 W) e sob agitação mecânica. O tempo reacional foi de 120 minutos. As amostras foram filtradas por filtro seringa PTFE (0,45µm) e encaminhadas para leitura em espectrofotômetro de varredura UV-VIS (modelo UV-5100, Metash).

Tabela 1. Condições experimentais.

	1	2	3	4
<b>Falésia (g/L)</b>	2,0	3,0	2,0	2,5
<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	6,0	6,0	10,0	8,0

### **Resultados e Discussão**

Na Tabela 2, está descrita composição química do pó elaborado foi obtido por análise de FRX, ele possui 47,21% de óxido de ferro (III), seguido por 27,08% de óxido de alumínio e 24,19% de dióxido de silício. A quantidade de óxido de ferro presente na amostra é um indicativo positivo para utilização deste material como fonte de ferro na reação de foto-Fenton, como mostra a literatura [5].

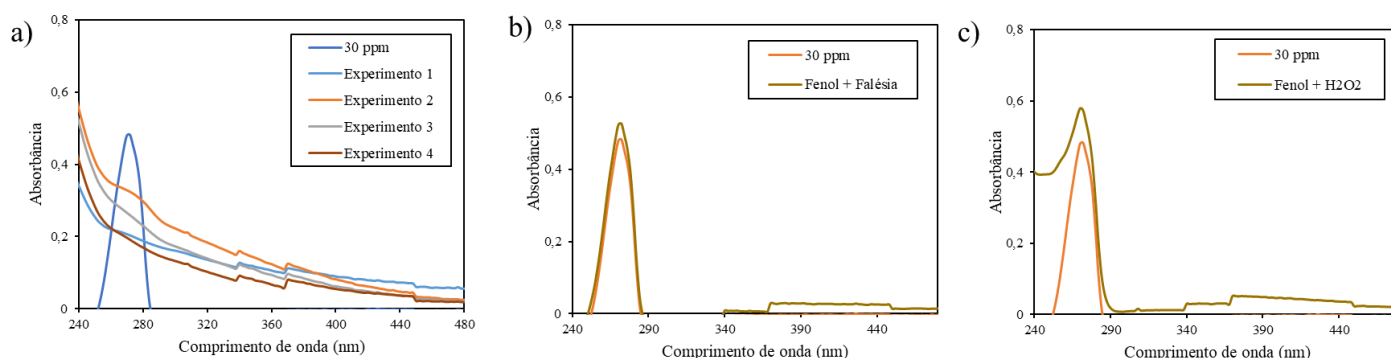
Tabela 2. Composição química do pó de falésia através de FRX.

	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Outros
<b>Composição (%)</b>	47,21	27,08	24,19	1,52

Os espectros de absorção obtidos a partir dos experimentos realizados encontram-se na Figura 1a, e nas Figuras 1b e 1c. Este trabalho foi apresentado no XXIX Workshop do PRH44.1 em Petróleo, Gás e Energias Renováveis

1c estão expostos os espectros obtidos para os ensaios de controle para fenol com apenas o pó e fenol com peróxido de hidrogênio, respectivamente. Na Figura 1a, encontram-se os espectros de absorção da solução inicial e dos pontos experimentais realizados, é possível observar que a solução inicial com 30 ppm de fenol possui a banda de absorbância característica da substância, no comprimento de onda na faixa de 270 nm [6]. As demais curvas, provenientes dos experimentos, apresentam um comportamento distinto e, a partir de uma análise qualitativa, se pode inferir que houve a degradação do fenol e a possível formação de intermediários, evidenciada pelo alargamento da banda de absorbância, similarmente ao constatado em pesquisas anteriores [7].

Figura 1. Espectros de absorção obtidos com o espectrofotômetro UV-VIS para a) ensaios de degradação; b) ensaio controle fenol e falésias; c) ensaio controle fenol e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.



Nas Figuras 1b e 1c podem ser observados os espectros de absorção pertencentes aos ensaios controle realizados. Para estes testes, foram avaliadas as influências individuais do pó da falésia e do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> na degradação do fenol. Pelo fato de o pico de absorção correspondente do fenol não ter se modificado e permanecido na mesma faixa de comprimento de onda (270 nm), apontando que nestes ensaios não houve a degradação do fenol, nem a formação de intermediários, reafirmando que o sistema estudado (UV/Fe<sup>2+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) foi eficiente para degradação do fenol.

## Conclusões

De acordo com os resultados obtidos nos experimentos, a banda de absorção característica do fenol (270 nm) não foi observada, sugerindo que a metodologia aplicada foi eficiente para degradação do contaminante. Portanto, o pó das falésias possui bom desempenho quando utilizado como catalisador na reação de foto-Fenton para degradação de fenol. Com isso, se sugere que maiores estudos poderão ser feitos, variando as condições e buscando otimizar os resultados obtidos. Além disso, recomenda-se a utilização de metodologias que sejam capazes de inferir uma análise quantitativa da reação.

## Referências Bibliográficas

- [1] Kadri, M.S.; Nayana, K.; Firhi, R.F. et al. Greening the oil industry: Microalgae biorefinery for sustainable oil-produced water treatment and resource recovery. *Journal of Water Process Engineering*, 60, 2024.
- [2] Aziz, K.H.H.; Mustafa, F.S.; Omer, K.M.; Shafiq, I. Recent advances in water falling film reactor designs for the removal of organic pollutants by advanced oxidation processes: a review. *Water Resources And Industry*, 30, 2023.
- [3] Kaviani, N.; Asadollahfardi, G.; Hasanbeigi, A. et al. Degradation of phenol in wastewater through an integrated dielectric barrier discharge and Fenton/photo-Fenton process. *Ecotoxicology And Environmental Safety*, 271, 2024.
- [4] Morais, A. D.; Santos Jr., O.F.; Neto, O. F. Propriedades Geotécnicas de sedimentos da formação de barreiras nas falésias de Barra de Tabatinga litoral oriental do Rio Grande Do Norte/Brasil. *Holos*, 7, 2020.
- [5] Drumm, F.C., Grassi, P., Sulkovski, A.A. et al. Applicability of Coal Bottom Ash from Thermoelectric Power Plant as an Alternative Heterogeneous Catalyst in Photo-Fenton Reaction. *Water Air Soil Pollut*, 230, 2019.
- [6] Rubab, R.; Khan, A.M. Influence of pH on spectroscopic and interfacial features of phenol in aqueous cetrimonium bromide solutions of different concentrations. *Journal of Molecular Liquids*, 401, 2024.
- [7] Tambini, P.C. Estudo da degradação de fenol e seus intermediários pelo processo UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.



## Artificial Neural Network Modeling for Predicting CO<sub>2</sub> Solubility in MEA Aqueous Solutions

Antônio M. L. Bezerra\*; Carlos E. de A. Padilha; Domingos F. de S. Souza

LEAFT/DEQ

\*antonio.bezerra.118@ufrn.edu.br

### Introduction

Given the increasing global average temperature attributed primarily to human influences and the reliance on fossil fuel energy supply, studying and implementing measures to counter carbon emissions becomes crucial. According to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), the oil and gas sector stands out as one of the largest CO<sub>2</sub> emitters in the global industry during the oil and natural gas extraction process. Considering the growing need for decarbonization, the oil and gas industry requires effective techniques to meet decarbonization goals and achieve the coveted carbon neutrality. Post-combustion technology is the most widely adopted and beneficial compared to others. Absorption is the most used technology for CO<sub>2</sub> removal from gas streams. In industrial plants, alkanolamine solutions are used as CO<sub>2</sub> absorbents. The CO<sub>2</sub> equilibrium solubility stands as a crucial parameter for assessing the efficacy of absorption solvents in CO<sub>2</sub> capture processes. Levenberg-Marquardt (LM-ANN) algorithm for regression was introduced to forecast the CO<sub>2</sub> solubility.

### Methodology

To construct models utilizing the ANN methodologies capable of predicting the CO<sub>2</sub> solubility in MEA aqueous solutions (mole CO<sub>2</sub>/mole amine), we employ a compiled database from the literature. As defined by Eq. 1, the independent parameters influencing the CO<sub>2</sub> loading capacity of amine solutions ( $\alpha$ ) are the partial pressure of CO<sub>2</sub> (P<sub>CO<sub>2</sub></sub>), concentration of amine solution (C<sub>amine</sub>), and temperature (T).

$$\alpha = f(P_{CO_2}, C_{amine}, T) \quad \text{Eq. 1}$$

In this study, experimental data on the equilibrium absorption of carbon dioxide in aqueous MEA solutions were collected from works published in the literature, as shown in Table 1.

**Table 1.** Ranges from the collected database for the CO<sub>2</sub> solubility in MEA aqueous solution.

T (K)	P <sub>CO<sub>2</sub></sub> (kPa)	C <sub>amine</sub> (mol/L)	$\alpha$ (mol CO <sub>2</sub> /mol amine)	NDP	Refs.
313,15	13,1–2189,1	0,1836 – 0,279	0,562–1068	11	[1]
298,15–373,15	10–10000	5	0,289–851	14	[2]
313,15–373,15	8,22–1184	5	0,306–0,646	41	[3]
298,15–373,15	8,22–10000	0,1836 – 5	0,289–1068	66	Total

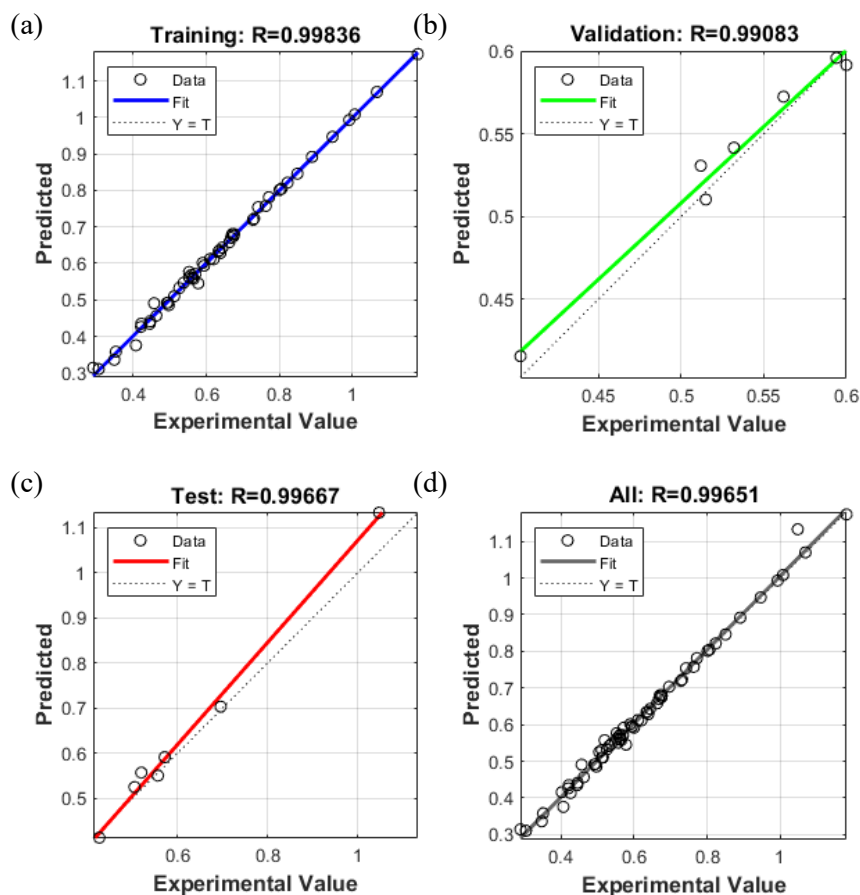
### Results and Discussion

The statistics obtained for the presented LM-ANN model for MEA solutions are provided in Table 2, respectively.

**Table 2.** Overall performance of the developed model for MEA systems.

Model	Stage	Sample	Parameter	Value
LM-ANN	Training	52	MSE	1,216e-4
			R <sup>2</sup>	0,9984
	Validation	7	MSE	1,160e-4
			R <sup>2</sup>	0,9908
	Testing	7	MSE	1,405e-3
			R <sup>2</sup>	0,9966

**Figure 1.** Cross plot of the presented ANN model outputs vs. corresponding experimental values of CO<sub>2</sub> solubility (a) Plot for training, (b) Plot for validation, (c) Plot for test, (d) Plot for all results.



## Conclusions

In this work, we compiled experimental data from published sources regarding the CO<sub>2</sub> solubility in amine solutions, spanning diverse concentrations of amines, temperatures, and partial pressures of CO<sub>2</sub>. The predicted results of LM-ANN model were in good agreement with the experimental data over a wide range of amine concentrations, temperatures, and equilibrium CO<sub>2</sub> partial pressures.

## References

- [1] Jung-Yeon Park et al: Solubility of carbon dioxide in aqueous solutions of 2-amino-2-ethyl-1, 3-propanediol. Fluid phase equilibria, v. 202, n. 2, p. 359-366, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0378-3812\(02\)00142-5](https://doi.org/10.1016/S0378-3812(02)00142-5)
- [2] J. I. Lee, F. D. Otto e A. E. Mather: Equilibrium between carbon dioxide and aqueous monoethanolamine solutions. Journal of Applied Chemistry and Biotechnology, v. 26, n. 1, p. 541-549, 1976. <https://doi.org/10.1002/jctb.5020260177>
- [3] K. P. Shen e M. H. Li: Solubility of carbon dioxide in aqueous mixtures of monoethanolamine with methyldiethanolamine. Journal of Chemical and Engineering Data, v. 37, n. 1, p. 96-100, 1992. <https://doi.org/10.1021/jc00005a025>

## *Determinação da Porosidade de Espuma de Poliuretano Pós-Consumo Alterada por Adição de Óxido de Zinco para Sorção de Óleos Derramados em Alto Mar*

*Isadora C.B. do Nascimento\*; Keslei R. Rocha; Osvaldo Chiavone-Filho; Humberto N. M. Oliveira*

*Laboratório de Tecnologia Supercrítica e Biodiesel*

*\*isadoracrisbnascimento@gmail.com*

### **Introdução**

Com o intuito de conter os impactos provocados por derramamentos de óleo em alto mar, é necessário implementar medidas eficazes que evitem sua propagação decorrente da agitação marítima e facilitem sua recuperação [1]. Nesse contexto, têm-se investigado medidas alternativas com o propósito de desenvolver novos métodos de remoção de óleo derramado. Entre essas alternativas, destacam-se as espumas de poliuretano, as quais, embora apresentem significativa porosidade, são pouco seletivas, podendo absorver grandes volumes de água e óleo. Em situações de derramamento em alto mar, o adsorvente empregado deve maximizar a remoção de óleo e minimizar a de água. Dado que a espuma de poliuretano possui afinidade por ambas as polaridades, é necessário realizar uma modificação química apropriada em sua superfície para aumentar sua seletividade, permitindo que absorva mais óleo do que água.

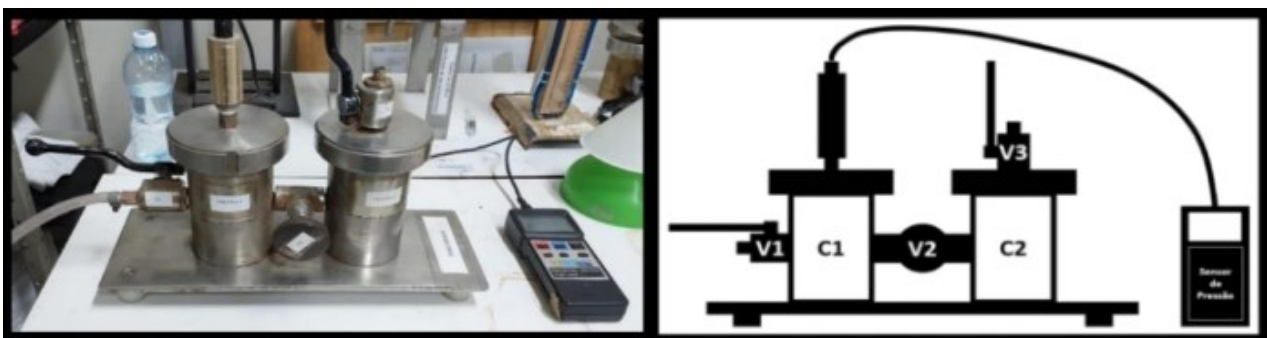
As modificações realizadas nessas espumas forneceram resultados significativos [2,3], evidenciando a relevância da sorção por meio de espumas de poliuretano pós-consumo com modificações superficiais como uma medida alternativa ou até mesmo a principal técnica de recuperação de óleo.

Neste estudo, procurou-se avaliar a porosidade das espumas antes e após sua modificação, por meio de testes de porosidade utilizando um porosímetro de ar-comprimado, Figura 1, com o objetivo de investigar se ocorreriam alterações significativas em sua porosidade.

### **Metodologia**

A princípio foi feita a calibração do equipamento através de dados de pressão em função das variações de volumes dos testemunhos metálicos colocados na célula, possibilitando obtenção de uma curva de calibração a ser usada na determinação da porosidade das espumas. Espuma de poliuretano pós-consumo de densidade  $23 \text{ kg.m}^{-3}$ , obtida a partir de descarte irregular, foi cortada em formato cilíndrico, com um diâmetro de 54,14 mm e altura de 127,59 mm (volume da célula) e lavada com álcool 70%, foram usadas como testemunho. Um colchão novo, com as mesmas características, foi adquirido e o mesmo procedimento de corte foi utilizado, obtendo um testemunho de mesmo volume que o da espuma PC/SA. Depois da lavagem as espumas secaram por 24h. Em seguida os testes foram feitos em triplicata, utilizando um porosímetro que opera a uma pressão de 3 bar, com controle de vazão de ar nas células através do uso de válvulas.

**Figura 1.** Porosímetro de ar-comprimado para teste de porosidade das espumas sem alteração e com alteração.



As amostras de espumas sem alteração (novas e a pós-consumo) após serem colocadas na célula do porosímetro, Figura 1, o sistema foi submetido a pressão. Posteriormente, com resultados obtidos pelas diferenças de pressão obtida para cada testemunho, foram determinadas as porosidades das espumas.

## Resultados e Discussão

Para a determinação do volume de vazios dos testemunhos das espumas, colocadas no cilindro do porosímetro, foi necessário o uso da pressão final do sistema. A partir da curva de calibração do sistema, o volume de vazios das espumas foi determinado a partir das pressões registradas. Como a espuma ocupou todo o volume da célula, o volume determinado foi considerado como volume de vazios, já que não houve espaço entre a célula e a espuma. Os resultados de vazios obtidos estão na Tabela 1.

**Tabela 1.** Resultados de volumes de vazios pelo modelo para as espumas pós-consumo e novas sem alterações

Espumas PC/SA			Espumas N/SA		
Cel 1- P(bar)	Cél 2 -P(bar)	V vzp PC (mm <sup>2</sup> )	Cel 1- P(bar)	Cél 2 - P(bar)	V vzp PC (mm <sup>2</sup> )
2,075	1,020	1287594,314	1,780	0,880	2205408,273
2,015	0,990	1347012,020	1,735	0,850	2285622,176
1,950	0,960	1410143,333	1,690	0,830	2342319,554

Os testes foram feitos em triplicata e usou-se a média dos volumes dos vazios, pelo volume das espumas nova (N) e pós-comercializada (PC) sem alterações. Sendo a porosidade da espuma a razão entre o volume de poros e o volume do testemunho, os resultados obtidos estão na Tabela 2.

**Tabela 2.** Resultados de porosidade das espumas sem alteração novas e pós-consumo.

$\epsilon$ PC/SA	$\epsilon$ N/SA
4,592483	7,758712

## Conclusões

Os resultados indicaram que o teste de porosidade para as espumas PC/SA e N/SA, utilizando o porosímetro gasoso, não foram satisfatórios, uma vez que as porosidades das espumas foram muito baixas, em comparação com resultados apresentados na literatura [3]. Nesse contexto, torna-se pertinente aplicar a técnica conforme apresentada na literatura [2], o que demonstra que a técnica aplicada ao porosímetro, Figura 1, é mais adequada para estruturas porosas mais sólidas.

## Referências Bibliográficas

- [1] AN, W., ZHANG, Q., ZHAO, J., QU, L., LIU, S. YANG, M., XU, J. Mechanism Investigation on a Novel Oil Recovery Skimmer Coupling Free Surface Vortex and Cyclone Separation. ACS Omega, v. 6, n. 31, p. 20483-20491, 2021.
- [2] WU, Fan; PICKETT, Kylene; PANCHAL, Abhishek; LIU, Mingxian; LVOV, Yuri. Superhydrophobic Polyurethane Foam Coated with Polysiloxane-Modified Clay Nanotubes for Efficient and Recyclable Oil Absorption. ACS Applied Materials & Interfaces, vol. 11, no 28, p. 25445–25456, 17 jul. 2019. <https://doi.org/10.1021/acsami.9b08023>
- [3] K. R. da Rocha. Modificações em espumas de poliuretano pós-comercializadas para sorção de óleos derramados em água do mar. UFRN/CT/NUPEG, 2024, p 1-156f.

## *Potencial da Microalga na Produção de Biocombustíveis: Revisão Bibliográfica*

*Maria A. C. de Oliveira\*; Francisca I. A. Franco; Joemil O. D. Junior; Karine F. S. Oliveira; Renata M. Braga*  
*Laboratório de Tecnologia Ambiental (LABTAM), Departamento de Engenharia Química.*

*\*mariaantoniao@ymail.com*

### **Introdução**

Diversas fontes de energia sustentável são desenvolvidas e aprimoradas atualmente, porém, o uso de combustíveis fósseis continua sendo o principal meio para geração de energia, o que gera preocupação pois desde sua extração até sua utilização é repleto de impactos ambientais que afetam fauna, flora e clima, sendo muitos deles irreversíveis. Frente a necessidade de um combustível líquido que se adeque as estruturas já existentes surgem os biocombustíveis [1].

Os biocombustíveis são divididos em três gerações: os de primeira geração utilizam fontes alimentícias como matéria prima, os de segunda geração fazem o uso de materiais lignocelulósicos e os de terceira geração são advindos de microrganismos. Dentre os microrganismos que podem ser utilizados, as microalgas apresentam características favoráveis ao processo de obtenção de biocombustíveis [2].

As microalgas se sobressaem como uma excelente fonte para a fabricação de biocombustíveis de terceira geração, devido à sua abundância de lipídios, maior resistência a ambientes adversos e habilidade de biorremediação, assim é possível cultivá-las em resíduos de empresas, o que possibilita o tratamento do efluente descartado enquanto se produz biocombustível, diminuindo despesas além de auxiliar na absorção de CO<sub>2</sub>. Algumas espécies de microalgas chegam a produzir 150 vezes a mais de óleo por hectare do que a soja, que é o material mais utilizado na produção de biodiesel de primeira geração [3].

O conteúdo lipídico das microalgas varia de acordo com sua espécie, sendo as mais estudadas a *Chlorella Vulgaris*, por apresentar eficiente crescimento em águas residuais e possuir um alto teor de lipídeos. Na literatura, as espécies *Cosmarium*, *Nannochloropsis* e *Coelastrum*, são as que menos possuem estudos na área de produção de biocombustíveis [4].

Ademais, o fator que possui maior influência no teor de lipídeos é o método de cultivo, ele pode variar sendo em sistema aberto ou fechado. O cultivo aberto é realizado em lagoas, utilizando de luz solar e tem como maior desvantagem a baixa produtividade e maior dificuldade de controlar seus parâmetros como pH, temperatura e teor de CO<sub>2</sub>. O cultivo fechado é realizado em tanques fotobiorreatores de ambiente controlado, utilizando principalmente CO<sub>2</sub>, componentes inorgânicos e orgânicos em seu cultivo, podendo produzir até três vezes mais que cultivo em sistema aberto [5].

A pirólise, um processo de conversão termoquímica que envolve a queima na ausência de oxigênio, tem surgido como uma alternativa para transformar microalgas em biocombustíveis. Este método oferece várias vantagens, como exigir pouca área, possuir uma instalação fácil e ser altamente versátil em sua operação. Durante a pirólise, são produzidos três produtos principais: biocarvão, gases não condensáveis que podem ser usados para gerar hidrogênio verde e o bio-óleo que contém um alto poder calorífico. A pirólise rápida é frequentemente utilizada para maximizar a produção de bio-óleo, empregando altas temperaturas por curtos períodos para favorecer a formação de gases condensáveis, os quais são então resfriados para formar o bio-óleo.

O trabalho em desenvolvimento tem como objetivo avaliar o potencial da microalga para produção de biocombustível por meio da pirólise convencional e catalítica, realizando ensaios experimentais com a biomassa in natura e pós extração de óleo.

### **Metodologia**

O trabalho terá início com a revisão bibliográfica para aprofundamento no assunto e melhor compreensão do processo, que se estenderá durante todo o desenvolvimento do projeto. Em seguida será feita a seleção da microalga com as melhores características, partindo assim para as atividades laboratoriais onde a caracterização da mesma será realizada por meio das análises: teor de sólidos totais, teor de cinzas, composição química das cinzas, teor de lipídeos, teor de carboidratos, teor de proteínas, poder calorífico e análise termogravimétrica.

Então, será feita a extração do óleo da microalga e caracterizá-lo por meios das análises de poder calorífico, TGA e densidade por picnometria. O resíduo da extração do óleo também passará por etapas de caracterização por meio do teor de umidade, teor de cinzas, teor de voláteis, carbono fixo, análise da composição química das cinzas e TGA.

O óleo e o resíduo de extração serão submetidos ao processo de pirólise flash convencional, variando as condições operacionais (como a temperatura) afim de se determinar as melhores condições para se obter a melhor composição de gases condensáveis em seu produto. Em seguida, após determinado os melhores parâmetros, será realizada a pirólise catalítica variando as condições de temperatura e quantidade de catalisador. Os dados serão tratados e discutidos com base na literatura.

## Conclusões

Ao completar a metodologia, espera-se avaliar a capacidade da microalga e seus derivados para a produção de biocombustíveis determinando se é uma alternativa de qualidade ou não. O presente trabalho tem como finalidade uma alternativa sustentável e de baixo custo, contribuindo para o meio ambiente e economia, diminuindo a dependência do mercado acerca de combustíveis fósseis.

## Referências Bibliográficas

- [1] FRANCO, André Luiz Custódio *et al.* Biodiesel de microalgas: avanços e desafios. **Química Nova**, [S.L.], v. 36, n. 3, p. 437-448, 2013. FapUNIFESP (SciELO).
- [2] MORAES, G. S. C. et al. Produção de biodiesel a partir das microalgas: revisão. *International Journal of Scientific Management and Tourism*, v. 9, n. 3, p. 1672–1689, 4 jul. 2023.
- [3] SATYANARAYANA, K. G.; MARIANO, A. B.; VARGAS, J. V. C. A review on microalgae, a versatile source for sustainable energy and materials. *International Journal of Energy Research*, v. 35, n. 4, p. 291-311, 2011.
- [4] REBELO, R. P. T. M. Produção de biodiesel a partir de microalgas. Revisão bibliográfica e contribuição para a sua produção em Portugal. Disponível em: <http://run.unl.pt/handle/10362/12478>, 2014.
- [5] TAN, J. S. et al. A review on microalgae cultivation and harvesting, and their biomass extraction processing using ionic liquids. *Bioengineered*, v. 11, n. 1, p. 116-129, jan. 2020.
- [6] FAROOQ, A, et al. Enhanced mono-aromatics production by the CH<sub>4</sub>-assisted pyrolysis of microalgae using Zn-based HZSM-5 catalysts. *Chemosphere*, 351, 2024.
- [7] DELMIRO, T. M. et al. Renewable aromatic hydrocarbons from flash catalytic pyrolysis of *Monoraphidium* sp. lipid extract. *Biorsource Technology Reports*, v. 15, p. 100799-100799, 1 set.2021.

## *Densidade de Misturas Aquosas contendo Eletrólitos Fortes: Aplicação de Machine Learning e Comparação com Modelos da Literatura*

*João Lucas H. Detogni; Mateus F. Monteiro; Osvaldo Chiavone-Filho*  
*Laboratório e Departamento*  
*\*lucasdetogni@gmail.com*

### **Introdução**

Misturas aquosas contendo eletrólitos estão presentes em diversos processos e podem ser agentes indesejáveis em efluentes industriais, por exemplo na recuperação de Monoetileno Glicol. Essas soluções alteram o comportamento volumétrico dos escoamentos e possuem agentes que causam incrustações e corrosões de equipamentos. Devido a isso, determinar as propriedades físico-químicas dessas misturas como densidade, viscosidade, e outras em amplas faixas de temperatura, composição (da diluição infinita até a saturação) e para diversos eletrólitos é necessário para otimizar os processos contendo íons.

Existem diversas estratégias para o desenvolvimento de modelos. Comumente, parâmetros empíricos são ajustados utilizando dados experimentais para obter uma equação aplicável em condições ainda não catalogadas na literatura. Laliberté-Cooper [1] (LC) associaram a densidade de misturas aquosas binárias contendo eletrólitos com a temperatura da solução e o volume aparente dos íons por meio de uma função de parâmetros ajustáveis e obtiveram boa performance em prever a propriedade estudada. Todavia, a técnica citada pode apresentar problemas devido a escassez de dados experimentais em condições não usuais e a quantidade de parâmetros ajustáveis que aumentam a complexidade do problema.

*Machine Learning* (ML) é um ramo da modelagem capaz de criar algoritmos computacionais que aprendem com dados. Essa técnica pode ser superior a anteriormente citada pois a performance dos algoritmos em estimar o resultado em situações não comuns é mais robusta e a complexidade de uso do modelo é menor. A técnica de *Gradient-Boosting* (Gboost) treina um conjunto de  $N$  Árvores de decisões onde cada modelo tem o objetivo de estimar os desvios produzidos pelo agente anterior. O resultado é um conjunto de algoritmos que se corrigem reduzindo o desvio médio global. O objetivo deste trabalho será verificar a capacidade preditiva de um modelo da classe Gboost em relação à equação de LC [1] e o simulador industrial OLI Studio para calcular a densidade de misturas aquosas binárias contendo eletrólitos utilizando como referência uma base de dados experimentais coletada da literatura.

### **Metodologia**

O modelo de Gboost foi construído utilizando uma base de dados experimentais coletada da literatura contendo 21613 pontos de densidade para 71 espécies de eletrólitos fortes distintos. O Gboost calcula a densidade da mistura,  $\rho$ , utilizando a temperatura do sistema,  $T$ , a raiz quadrada do potencial iônico,  $I$ , as massas moleculares,  $M$ , e as quantidades estequiométricas,  $n$ , dos íons que compõem o eletrólito.

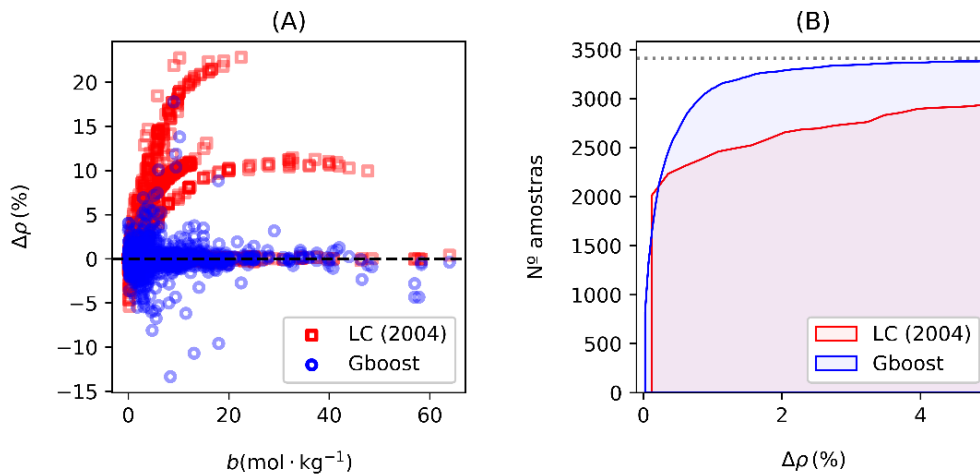
Para o estudo comparativo a equação de Laliberté-Cooper [1] e o software OLI Studio foram utilizados. Primeiramente, a base de dados foi filtrada para incluir apenas os sais estudado pela referência, totalizando 3413 pontos para comparação. Em seguida, ambos os modelos estimaram o conjunto de dados e os desvios relativos foram calculados, o estudo comparativo foi realizado por análise gráfica. A análise foi realizada de forma análoga para o software OLI Studio utilizando 9833 dados experimentais.

### **Resultados e Discussão**

A Figura 1 apresenta os resultados da comparação entre o modelo de Gboost e a função de LC [1] em estimar os dados experimentais. No gráfico A, é possível perceber que o modelo de ML obteve desvios concentrados em uma faixa de até 5 % em módulo, diferentemente da equação de referência que obteve desvios superiores a 20 %. O gráfico B mostra

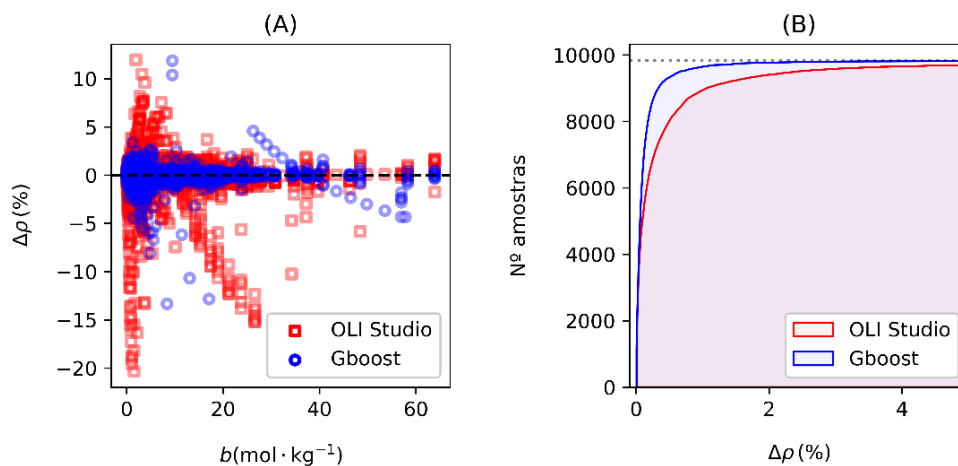
os desvios relativos absolutos acumulados (DRAA) para ambos os modelos. É possível perceber que praticamente todas as estimativas do Gboost obtiveram desvio inferior a 3 % ao passo que a equação de comparação continua a acumulá-los até 23 %. Portanto, a curva de DRAA do modelo Gboost convergiu para a quantidade de pontos experimentais (linha tracejada) mais rapidamente que a curva da função de LC [1], reforçando sua maior exatidão.

**Figura 1:** Resultado comparativo entre o modelo de Gboost e a equação de Laliberté-Cooper (LC) [1].



A Figura 2 apresenta o estudo análogo utilizando o software OLI Studio. O Gboost manteve-se com desvios relativos absolutos concentrados em uma faixa de até 2 % e o software obteve mais pontos com desvios superiores, conforme observado no gráfico A. O gráfico B evidenciou que a precisão dos cálculos do Gboost em relação ao OLI foi superior, com a curva de DRAA do modelo convergindo mais rapidamente.

**Figura 2:** Resultado comparativo entre o modelo de Gboost e o software OLI Studio.



## Conclusões

O estudo comparativo entre um modelo do tipo Gboost, a equação de LC [1] e o software OLI Studio. Foi possível observar que o modelo Gboost obteve performance superior em relação aos modelos estudados, sendo mais preciso. Além disso, os desvios relativos do Gboost se concentram em uma faixa de até 5 % em módulo.

## Referências bibliográficas

[1] Laliberté, M., & Cooper, W. E. (2004). Model for calculating the density of aqueous electrolyte solutions. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 49(5), 1141-1151. DOI: 10.1021/jc0498659



## Carbonatação mineral do CO<sub>2</sub>

*Gabriel de Oliveira Lima Almeida; Fedra A. de S. V. M. Ferreira; O. Chiavone Filho*  
*Laboratório de Fotoquímica e Equilíbrio de fases – Departamento de engenharia química*

*\*e-mail para contato autor: gabriel.almeida.700@ufrn.br*

### Introdução

A emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é uma questão crucial no cenário global devido ao seu papel significativo nas mudanças climáticas e no aquecimento global. Portanto, o estudo da captura e armazenamento de CO<sub>2</sub> é de extrema importância para mitigar suas emissões na atmosfera. Técnicas como injeção em reservatórios de petróleo, uso de aminas e soluções salinas estão sendo estudadas para reduzir essas emissões. Uma alternativa é a técnica de mineralização, destacada por [1], que envolve a injeção de CO<sub>2</sub> em soluções de CaO e MgO para formar carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) e carbonato de magnésio (MgCO<sub>3</sub>), produtos termodinamicamente estáveis [2].

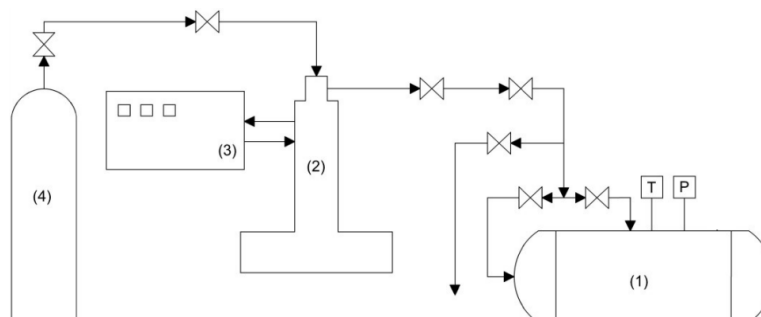
Devido ao aumento da temperatura e pressão com a profundidade, o CO<sub>2</sub> é injetado em estado supercrítico e para garantir esta condição, é necessário que o reservatório tenha uma profundidade mínima de 800 metros [3].

Portanto, a adoção de processos para a captura, armazenamento e utilização do dióxido de carbono (CCUS) desempenha um papel crucial na redução das emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera, contribuindo significativamente para o avanço do desenvolvimento sustentável do nosso planeta, atualmente afetado pelo aumento global da temperatura. Dessa forma, é importante o estudo da eficiência de captura de CO<sub>2</sub> pelas soluções salinas a diferentes condições operacionais.

### Metodologia

Para adquirir os dados sobre a quantidade de CO<sub>2</sub> capturada assim como a eficiência de captura, serão conduzidos ensaios preliminares no aparato experimental da célula de equilíbrio PVT (Pressão-Volume-Temperatura), conforme representado em seu esquema na Figura 1. Inicialmente, será preparada uma solução salina contendo óxido de cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO) com uma concentração pré-definida. Essa solução será então introduzida na célula, seguida pela definição da temperatura e pressão de operação do sistema.

Figura 1- Esquema do aparato experimental : (1) célula de equilíbrio PVT; (2) bomba seringa; (3) banho termostático e (4) cilindro de CO<sub>2</sub>. Fonte: Autoria própria (2024)



O sal será disperso na célula PVT por meio de uma agitação a 400 rpm seguindo a metodologia [4]. Validaremos o sistema usando etanol com pureza de 99% e CO<sub>2</sub> para determinar o ponto de bolha para 5 condições de pressão e temperatura, em seguida iremos comparar esses resultados com os obtidos pelo simulador “Specs” para esse mesmo sistema.

## Resultados e Discussão

O aparato experimental, composto pela célula PVT, bomba seringa, banho termostático e cilindro de CO<sub>2</sub>, foi montado e testado completamente (Figura 2). Durante o teste de validação, foi alcançado o ponto de bolha experimental de 5610 kPa e 301,25 °C. Em comparação, o ponto de bolha simulado para essa mesma temperatura foi de 5428,65 kPa, apresentando um erro de 3,34%.

Figura 2 - Aparato experimental da célula PVT. Fonte: Autoria própria (2024)



Além disso, a metodologia experimental foi estabelecida para a análise da eficiência de captura de CO<sub>2</sub>, incluindo a definição dos sistemas: CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + CaO; CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + MgO; e CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + CaO + MgO.

## Conclusões

A busca por maneiras de capturar e armazenar CO<sub>2</sub> é vital para enfrentar as mudanças climáticas e o aquecimento global. As técnicas em estudo, como a mineralização e a injeção em reservatórios, ressaltam a necessidade de infraestruturas seguras para esse processo. Sendo assim, serão realizados ensaios experimentais que evidenciem o comportamento da carbonatação mineral do CO<sub>2</sub>, utilizando diferentes temperaturas, pressão e composições de MgO e CaO.

## Referências Bibliográficas

- [1] Orita, Gustavo Kenji Lacerda et al. captura e armazenamento de co2: uma revisão das tecnologias existentes, carbonatação in situ de basaltos e avaliação do potencial da formação serra geral como reservatório de co2. Geosciences= Geociências, v. 41, n. 3, p. 779-795, 2022
- [2] L. Kainiemi, S. Eloneva, A. Toikka, J. Levänen, M. Järvinen, Opportunities and obstacles for CO<sub>2</sub> mineralization: CO<sub>2</sub> mineralization specific frames in the interviews of Finnish carbon capture and storage (CCS) experts, J. Clean. Prod. 94 (2015) 352–358, <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2015.02.016>. Applications of fly ash for CO<sub>2</sub> capture, utilization, and storage. Journal of Environmental Science, 10(3), 123-135, maio de 2023.
- [3] Dindi Abdallah et al. Applications of fly ash for CO<sub>2</sub> capture, utilization, and storage. Journal of CO<sub>2</sub> Utilization, 2019. <https://doi-org.ez18.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.jcou.2018.11.011>
- [4] Montes, G et al. Calcite precipitation from CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-Ca(OH)<sub>2</sub> slurry under high pressure of CO<sub>2</sub>. Journal of Crystal Growth, 2007. <https://doi-org.ez18.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.jcrysgro.2007.08.005>

## Análise do processo de mineralização de CO<sub>2</sub> em carbonatos: solubilidade do CaCO<sub>3</sub>

Éntony David Dantas\*; Fedra A. de S. V. M. Ferreira; Domingos F. de S. Souza, Osvaldo Chiavone-Filho;  
Laboratório de Fotoquímica e Equilíbrio de fases, Departamento de Engenharia Química  
\*entonydd@gmail.com

### Introdução

As emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) contribuem para o aquecimento global, causando aumento nas temperaturas médias, eventos climáticos extremos e mudanças nos padrões de precipitação [1]. Para mitigar as alterações climáticas, é essencial a redução das emissões. Portanto, o Acordo de Paris, estabelecido em 2015, visa limitar o aumento da temperatura média global a menos de 2 °C acima dos níveis pré-industriais [2]. Nos últimos anos, tem havido um aumento significativo nas pesquisas relacionadas à tecnologia de captura, utilização e armazenamento de carbono (CCUS) [3]. Dentre as várias tecnologias, a mineralização do CO<sub>2</sub> em carbonatos é um processo natural e também uma abordagem promissora para captura e armazenamento de carbono (CCS) [4]. Esse método envolve a reação do CO<sub>2</sub> com minerais ricos em metais alcalinos ou alcalino-terrosos, resultando na formação de carbonatos estáveis, como o carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>). Entretanto, esse processo nos poços leva tempos geológicos para ocorrer necessitando de um alto custo de avaliação na pós-injeção devido a reações adversas que podem comprometer a integridade do poço [2].

O comportamento desse sistema varia de acordo com os parâmetros operacionais como: temperatura, pressão, pH e composição. Uma variável preliminar que indica o ponto de início da precipitação é o parâmetro de solubilidade, pois, uma vez sabendo a solubilidade do sistema bem como a sua composição é possível estimar a quantidade de precipitado formado para se ter uma ordem de grandeza antes de realizar os experimentos. Portanto o objetivo deste trabalho foi descrever o comportamento da solubilidade de CaCO<sub>3</sub> medidos como função de parâmetros operacionais para avaliação do processo de mineralização do CO<sub>2</sub>.

### Metodologia

Para determinar a solubilidade do CaCO<sub>3</sub> em diferentes condições foi utilizado um aparato experimental como mostrado na figura 1. Ele consiste em duas células de vidro enjaquetadas (~50 mL cada uma) acopladas a um banho termostático para o controle de temperatura; um sistema de pressurização/despressurização, para o controle da pressão; e agitadores magnéticos para garantir a homogeneidade do sistema.

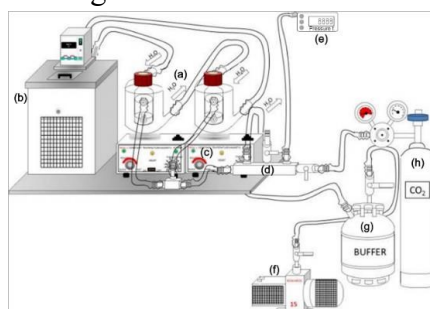


Figura 1. Esquema do aparato experimental de solubilidade: (a) células de vidro enjaquetadas; (b) banho termostático; (c) agitadores magnéticos; (d) sistema de válvulas (*manifold*); (e) transdutor de pressão; (f) bomba de vácuo; (g) *buffer*; (h) cilindro de CO<sub>2</sub>.

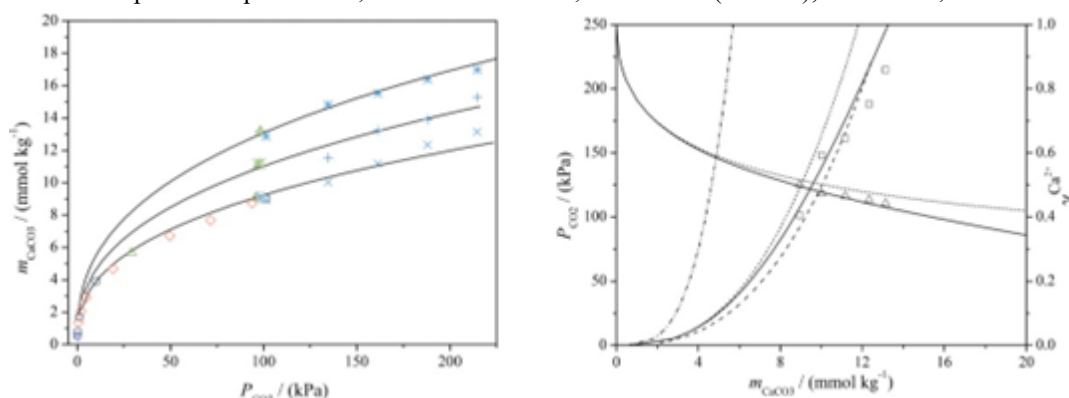
Em cada célula foi adicionado a mistura de interesse com o CaCO<sub>3</sub>(s) em excesso. Os ensaios foram realizados a temperatura e pressão de CO<sub>2</sub> constantes pré-definidas. Inicialmente, o sistema opera a uma temperatura inferior para garantir a solubilização do CaCO<sub>3</sub> por um tempo de 30 minutos, tendo em vista que a solubilidade desse sal aumenta com a diminuição da temperatura. A mistura fica sob agitação durante duas horas, e após esse período o sistema fica em repouso por mais duas horas, a fim de se atingir o equilíbrio. Após o final desse processo, foram coletadas as amostras de ambas as células, diluído em HNO<sub>3</sub> para evitar a precipitação do sal, e realizado a análise no espectrômetro de absorção atômica VARIAN. Os dois valores gerados foram comparados quanto a reprodutibilidade e, em caso de

divergência, feito a repetição do experimento. Para o tratamento estatístico foi realizado o cálculo da média e avaliado o desvio dos dados.

## Resultados e Discussão

Os ensaios experimentais de solubilidade de carbonato de cálcio em água na presença de CO<sub>2</sub> foram realizados em cinco isobáricas (101,32, 134,66, 161,32, 187,98 e 214,65 kPa), nas temperaturas (278,15 K, 288,15 K, 298,15 K). A figura 2(a) apresenta os dados observados neste trabalho em conjunto com os valores da literatura e do simulador OLI, enquanto a figura 2(b) mostra o comportamento das não idealidades do sistema e a aplicação de modelos de coeficiente de atividade.

Figura 2. (a) Dados de solubilidade do CaCO<sub>3</sub> como função da pressão parcial de CO<sub>2</sub>. — OLI, (▲278,15 K, ✕288,15 K, △298,15K) Plummer e Busenberg (1982), (◇298,15K Nakayama (1968), (○298,15K Frear e Jhonston (1929), (▽298,15K Sass *et al.* (1983), (☆298,15K Coto *et al.* (2012), (✱278,15K, +288,15K, ✕298,15K) Este trabalho. (b) Comportamento das não idealidades à 298,15 K, (□ Este trabalho, △ Coeficiente de atividade pseudo-experimental, - - - - Modelo Ideal, - - - - - Pitzer (Millero), — OLI, - - - - Pitzer (Este trabalho).



Os dados experimentais de solubilidade obtidos apresentaram concordância com a literatura como mostrado na figura 2(a). Uma equação de solubilidade (equação 1) foi proposta baseado na metodologia [5] e considerando as variáveis operacionais como dados de entrada (T, P<sub>CO<sub>2</sub></sub> e pH), onde as constantes  $K_1$ ,  $K_2$  e  $K_H$  são funções da temperatura determinadas [6].

$$Ksp = \frac{[Ca^{2+}] \cdot \gamma_{Ca^{2+}} \cdot P_{CO_2} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_H}{10^{-2pH}} \quad (1)$$

Os dados foram também avaliados a partir do software OLI onde apresentaram um desvio médio de 4,67%. O modelo de Pitzer parametrizado [7] também foi aplicado para a correção das não-idealidades do sistema e apresentou um desvio médio de 10,31%, mostrando a necessidade de re-parametrização desse modelo. Com a adição dos dados deste trabalho os parâmetros de Pitzer obtidos ( $B_1^0 = 0,6598$ ;  $B_1^1 = 0,8677$ ;  $C_1 = -31,3126$ ) apresentaram o menor desvio médio de 4,46%.

## Conclusões

Os dados obtidos neste trabalho mostraram boa concordância com a literatura e complementaram uma faixa ainda não reportada. Com o estudo da solubilidade do CaCO<sub>3</sub> em sistemas aquosos na presença de CO<sub>2</sub> foi possível chegar a um equacionamento da solubilidade ideal, bem como avaliar os efeitos do coeficiente de atividade médio iônico para esse sistema. Dessa forma, esses resultados podem ser aplicados para avaliar o comportamento do sistema e estimar a quantidade de mineralização de CO<sub>2</sub> a uma dada condição.

## Referências Bibliográficas

- [1] J.S. Davoodi, M. Al-Shargabi, D. A. Wood, V. S. Rukavishnikov, and K. M. Minaev, "Review of technological progress in carbon dioxide capture, storage, and utilization," *Gas Science and Engineering*, vol. 117. Elsevier B.V., Sep. 01, 2023. doi: 10.1016/j.jgsce.2023.205070.
- [2] N. Thonemann, L. Zacharopoulos, F. Fromme, and J. Nühlen, "Environmental impacts of carbon capture and utilization by mineral carbonation: A systematic literature review and meta life cycle assessment," *Journal of Cleaner Production*, vol. 332. Elsevier Ltd, Jan. 15, 2022. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.130067.
- [3] M. Yusuf and H. Ibrahim, "A comprehensive review on recent trends in carbon capture, utilization, and storage techniques," *J Env Chem Eng*, vol. 11, no. 6. Elsevier Ltd, Dec. 01, 2023.
- [4] M. Addassi, H. Hoteit, and E. H. Oelkers, "The impact of secondary silicate mineral precipitation kinetics on CO<sub>2</sub> mineral storage," *Int J Greenhouse Gas Control*, vol. 131, Jan. 2024.
- [5] E. Sass and F. J. Millero, "Dependence of the values of calcite and aragonite thermodynamic solubility products on ionic models," *Am. J. Sci.*, pp. 218–229, 1983.
- [6] L. N. Plummer and E. Busenberg, "The Solubilities of calcite, aragonite and vaterite in CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O solutions between 0 and 90°C, and an evaluation of the aqueous model for the system CaCO<sub>3</sub>-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O," *Geochim Cosmochim Acta*, vol. 46, no. 2, pp. 1011–1040, 1982.
- [7] F. J. Millero and D. R. Schreiber, "Use of the ion pairing model to estimate activity coefficients of the ionic components of natural waters," *Am J Sci*, vol. 282, pp. 1508–1540, 1982.

## Influência de promotores na formação de cristais de carbonatos: uma análise revisional

Arthur V. V. Bezerra\*; Osvaldo Chivone Filho; Domingos F. S. Souza.

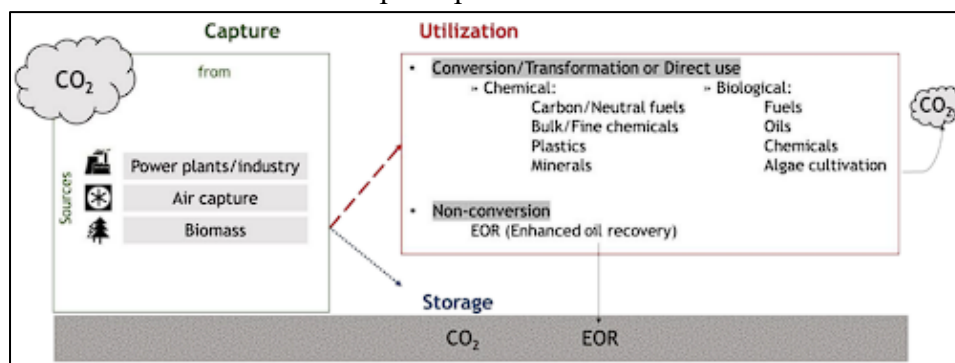
Laboratório de Energias Alternativas e Fenômenos de Transporte e Departamento de Engenharia Química

\*arthurvincius\_cds@hotmail.com

### Introdução

Nas últimas décadas a preocupação com o excesso de emissão de gases poluentes é crescente em todo o mundo. Dentre estes gases, o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) destaca-se, principalmente, por seus efeitos danosos ao meio ambiente, quando emitido em excesso [1]. Como forma de diminuir a emissão de  $\text{CO}_2$  e cumprir as metas de emissões a médio e longo prazo, uma linha essencial de pesquisa em direção a um futuro energético sustentável são os materiais e processos para captura e armazenamento do dióxido de carbono. A denominada CCS ou CCUS - *Carbon Capture (Utilization) and Storage* – corresponde ao conjunto de estratégias empregadas na captura, armazenamento e/ou utilização de carbono para combater as emissões de  $\text{CO}_2$ , utilizando-se de diferentes tecnologias para tais funções (Figura 1) [2].

Figura 1. Análise do ciclo de vida do  $\text{CO}_2$ , em termos da captura e armazenamento, e captura e utilização, a partir das principais fontes.



Fonte: Regufe *et al.* (2021).

A captura e armazenamento de carbono consiste na separação e concentração do  $\text{CO}_2$  proveniente de usinas de geração de energia ou de processos industriais (a captura geralmente é realizada no ponto de emissão) sua pressurização e transporte, via navio ou dutoviário, para locais específicos onde deverá ser armazenado permanentemente no subsolo, em formações geológicas como, reservatórios de petróleo ou gás esgotados ou aquíferos salinos profundos. Nestes tipos de processos, as tecnologias de captura do dióxido de carbono podem ser classificadas em três grupos: sistemas de pré-combustão, sistemas de pós-combustão e processos de oxi-combustão [1-2]. A absorção, adsorção, uso de membranas e sistemas com microalgas são alguns dos métodos utilizados nestes processos de captura. Outra estratégia usada na captura do dióxido de carbono é chamada DAC - *Direct Air Capture* – a qual extrai  $\text{CO}_2$  diretamente do ar ambiente e gera um fluxo enriquecido deste gás para armazenamento ou utilização. O processo DAC é comumente dividido em três classes diferentes, referente à abordagem para separar o  $\text{CO}_2$  do ar, podendo ser químico, criogênico e de membranas [2].

Quanto às aplicações do dióxido de carbono, uma vez capturado, este pode ser utilizado para geração de combustíveis renováveis, fertilizantes e bebidas gaseificadas. Neste cenário, a carbonatação mineral destaca-se na geração de sais de carbonatos metálicos estáveis, como carbonatos de cálcio e magnésio, a partir da de  $\text{CO}_2$ . Este processo consiste na reação de fixação do  $\text{CO}_2$ , capturado de uma fonte emissora, em compostos metálicos de cálcio (Ca), magnésio (Mg) ou ferro (Fe) provenientes de fontes minerais, para formar carbonatos insolúveis, podendo ser realizada diretamente (por tratamento dos minerais secos ou em pasta com dióxido de carbono) ou indiretamente (por conversão dos minerais em óxidos ou hidróxidos metálicos seguido de carbonatação). Uma variedade de fontes pode ser usada para carbonatos

metálicos, como minerais naturais contendo óxidos ou silicatos de cálcio ou magnésio.

Neste contexto, para estudo da cinética de formação desses sais de carbonatos, é importante estudar a cristalização, a partir dos quais é possível observar e analisar as etapas do processo cristalização que culminam na criação dos cristais. Dentre as várias configurações destes cristalizadores, os dispositivos microfluídicos oferecem vantagens à cristalizadores de grande volume, por proporcionar estudos em pequena escala (< 1mL) necessitando de pequeno volume, oferecem alto rendimento de análise, controle preciso dos parâmetros do processo e reação, maior precisão para detectar a nucleação de cristais [3]. Sendo assim, neste trabalho proposto, será feito um estudo sobre a cinética de cristalização de carbonatos utilizado microssistema e promotor.

### Metodologia

Foram utilizadas as seguintes bases de dados para realização do trabalho: Science direct, Google Acadêmico e Periódicos Capes. Uma faixa entre 2021-2024 para busca de artigos e foram usadas as seguintes palavras-chaves: mineralização, microssistemas, captura de CO<sub>2</sub>.

### Resultados e Discussão

Foram encontrados 3 artigos referentes ao uso de promotores na formação de cristais de carbonatos. Em Madhav *et al.*[4], verificou-se que a combinação de trietanolamina e hidróxido de amônio como promotores de absorção resulta em 53,2% de conversão de Ca<sup>2+</sup> em partículas estáveis de CaCO<sub>3</sub> dentro de 5 minutos após o borbulhamento de CO<sub>2</sub>. Os promotores de absorção não conseguiram regular a forma da partícula; entretanto, com concentrações crescentes, partículas menores se aglomeraram para formar partículas romboédricas maiores. Celso *et al.*[5], no estudo da cristalização do carbonato de cálcio com diferentes concentrações de leucina, observou-se que esta atua como promotora da cristalização do carbonato, potencializando esse comportamento ao aumentar sua concentração. Imagens obtidas indicam que a estrutura cristalina é uma mistura entre calcita e vaterita: nascem inicialmente como cristais amorfos de carbonato de cálcio, sob o efeito da leucina, mudam seu hábito para cristais de vaterita, sem se transformarem completamente na forma mais estável de calcita. Czaplicka *et al.*[6], comparou o efeito de parâmetros selecionados do processo, vazão de gás, concentração do promotor de absorção de CO<sub>2</sub> e seu pKa, na precipitação de CaCO<sub>3</sub> pelo método gás-líquido utilizando um modelo de líquido pós-destilação do processo Solvay. Os promotores de absorção utilizados foram amônia, trietanolamina e trietilamina. O tipo de promotor de absorção foi o parâmetro mais significativo no tempo de reação, na composição polimórfica do CaCO<sub>3</sub>, no tamanho das partículas e na sua área superficial específica. Todas as amostras de CaCO<sub>3</sub> precipitadas eram uma mistura altamente aglomerada de vaterita e calcita. Sendo assim, com base nos resultados dos trabalhos encontrados, verificou-se o efeito de promotores na absorção, na conversão de íons de cálcio em partículas estáveis de CaCO<sub>3</sub>, a influência na morfologia dos cristais e sua concentração. Por fim, estes resultados servem de base para o entendimento do uso de promotores na formação de cristais de carbonato, o qual irá compor a fundamentação deste trabalho.

### Referências Bibliográficas

- [1] CAS: A division of the American Chemical Society. Exploring research trends in carbon dioxide sequestration 2022
- [2] Regufe, M.J. *et al.* Current Developments of Carbon Capture Storage and/or Utilization—Looking for Net-Zero Emissions Defined in the Paris Agreement. *Energies* 2021, 14, 2406. <https://doi.org/10.3390/en14092406>
- [3] Chauhan, R., *et al.* Emerging microfluidic platforms for crystallization process development. *Chemical Engineering Research and Design* 2023, 197, 908-930. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2023.08.021>
- [4] Madhav, D.; Buffel, B.; Desplentere, F.; Moldenaers, P.; Vandeginste, V. Bio-inspired mineralization of CO<sub>2</sub> into CaCO<sub>3</sub>: Single-step carbon capture and utilization with controlled crystallization. 2023.
- [5] Celso, G; *et al.* Investigating the Effect of Leucine on Calcium Carbonate Nucleation Mechanisms in the View of a Circular Economy. *Sustainable Chemistry & Engineering* 2023 11 (32), 12027-12035. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.3c02309>
- [6] Czaplicka, N; *et al.* Influence of selected CO<sub>2</sub> absorption promoters on the characteristics of calcium carbonate particles produced by carbonation of the post-distillation liquid from the Solvay process. *Powder Technology*, 2021, 0032-5910, Vol. 391, 432-441. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.06.042>

## *Processos na indústria de petróleo*

*Eng. Herbert Senzano Lopes\**

*3R Petroleum*

*\*herbert.senzano@3rpetroleum.com.br*

A Estação de Tratamento de Óleo (ETO) é uma etapa crucial na indústria petrolífera, responsável por processar o petróleo bruto extraído do subsolo. Na ETO, o petróleo bruto passa por uma série de processos para separar os componentes indesejados, como água e impurezas, do óleo desejado. Este processo inclui etapas como a decantação, onde a água é removida, e a destilação, que separa o petróleo em frações com diferentes pontos de ebulição.

O Refino é uma fase subsequente na cadeia de produção de petróleo e gás, onde as frações obtidas na ETO são processadas para produzir uma ampla variedade de produtos refinados, como gasolina, diesel, querosene e óleo lubrificante. Durante o processo de refino, as frações são submetidas a tratamentos térmicos e químicos para alterar sua composição e propriedades, visando atender às especificações de qualidade e demanda de mercado.

As Unidades de Processamento de Gás Natural (UPGN) desempenham um papel crucial na purificação e tratamento do gás natural extraído. O gás natural, frequentemente contaminado com impurezas como dióxido de carbono e sulfeto de hidrogênio, passa por uma série de processos nas UPGN para remover essas impurezas e produzir gás natural limpo e seguro para uso em diversas aplicações, incluindo geração de energia, aquecimento e indústria.

Em resumo, a ETO, o refino e as UPGN são elementos essenciais na cadeia de produção de petróleo e gás, garantindo que o petróleo bruto e o gás natural extraídos sejam processados e refinados em produtos finais seguros, de alta qualidade e adequados para uso em diversos setores industriais e comerciais.

---

*Recrutamento de Estagiário e Trainee*

*Dra. Denise Gurgel*  
*3R Petroleum*

Nesta oportunidade serão ministrados os procedimentos de admissão na 3R Petroleum com a ajuda da profissional de RHs. Espaço para perguntas e comentários serão prioritários assim como a interação indústria-academia.