

Jean Carlos Rodrigues
(Organizador)

ENGENHARIA DE MATERIAIS E MEIO AMBIENTE:

reciclagem, sustentabilidade,
novos processos e desafios

Vol. 5




AYA EDITORA
2024

Jean Carlos Rodrigues
(Organizador)

**Engenharia de materiais e
meio ambiente reciclagem,
sustentabilidade, novos
processos e desafios**

Vol. 5

Ponta Grossa
2024

Direção Editorial

Prof.º Dr. Adriano Mesquita Soares

Organizador

Prof.º Me. Jean Carlos Rodrigues

Capa

AYA Editora©

Revisão

Os Autores

Executiva de Negócios

Ana Lucia Ribeiro Soares

Produção Editorial

AYA Editora©

Imagens de Capa

br.freepik.com

Área do Conhecimento

Engenharia

Conselho Editorial

Prof.º Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva

Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí

Prof.º Dr. Aknaton Toczec Souza

Centro Universitário Santa Amélia

Prof.ª Dr.ª Andréa Haddad Barbosa

Universidade Estadual de Londrina

Prof.ª Dr.ª Andreia Antunes da Luz

Faculdade Sagrada Família

Prof.º Dr. Argemiro Midonês Bastos

Instituto Federal do Amapá

Prof.º Dr. Carlos López Noriega

Universidade São Judas Tadeu e Lab. Biomecatrônica - Poli - USP

Prof.º Dr. Clécio Danilo Dias da Silva

Centro Universitário FACEX

Prof.ª Dr.ª Daiane Maria de Genaro Chirolí

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Danyelle Andrade Mota

Universidade Federal de Sergipe

Prof.ª Dr.ª Déborah Aparecida Souza dos Reis

Universidade do Estado de Minas Gerais

Prof.ª Ma. Denise Pereira

Faculdade Sudoeste – FASU

Prof.ª Dr.ª Eliana Leal Ferreira Hellvig

Universidade Federal do Paraná

Prof.º Dr. Emerson Monteiro dos Santos

Universidade Federal do Amapá

Prof.º Dr. Fabio José Antonio da Silva

Universidade Estadual de Londrina

Prof.º Dr. Gilberto Zammar

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Helenadja Santos Mota

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, IF Baiano - Campus Valença

Prof.ª Dr.ª Heloísa Thaís Rodrigues de Souza

Universidade Federal de Sergipe

Prof.ª Dr.ª Ingridi Vargas Bortolaso

Universidade de Santa Cruz do Sul

Prof.ª Ma. Jaqueline Fonseca Rodrigues

Faculdade Sagrada Família

Prof.ª Dr.ª Jéssyka Maria Nunes Galvão

Faculdade Santa Helena

Prof.º Dr. João Luiz Kovaleski

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.º Dr. João Paulo Roberti Junior

Universidade Federal de Roraima

Prof.º Me. Jorge Soistak

Faculdade Sagrada Família

Prof.º Dr. José Enildo Elias Bezerra

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Ubajara

Prof.ª Dr.ª Karen Fernanda Bortoloti

Universidade Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Leozenir Mendes Betim

Faculdade Sagrada Família e Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais

Prof.ª Ma. Lucimara Glap

Faculdade Santana

Prof.º Dr. Luiz Flávio Arreguy Maia-Filho

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof.º Me. Luiz Henrique Domingues

Universidade Norte do Paraná

Prof.º Dr. Milson dos Santos Barbosa

Instituto de Tecnologia e Pesquisa, ITP

Prof.º Dr. Myller Augusto Santos Gomes

Universidade Estadual do Centro-Oeste

Prof.ª Dr.ª Pauline Balabuch

Faculdade Sagrada Família

Prof.º Dr. Pedro Fauth Manhães Miranda

Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof.º Dr. Rafael da Silva Fernandes

Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Parauapebas

Prof.ª Dr.ª Regina Negri Pagani

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.º Dr. Ricardo dos Santos Pereira

Instituto Federal do Acre

Prof.ª Dr.ª Rosângela de França Bail

Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais

Prof.º Dr. Rudy de Barros Ahrens

Faculdade Sagrada Família

Prof.º Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares

Universidade Federal do Piauí

**Prof.ª Dr.ª Silvia Aparecida Medeiros
Rodrigues**

Faculdade Sagrada Família

Prof.ª Dr.ª Silvia Gaia

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**Prof.ª Dr.ª Sueli de Fátima de Oliveira
Miranda Santos**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Thaisa Rodrigues

Instituto Federal de Santa Catarina

© 2024 - **AYA Editora** - O conteúdo deste Livro foi enviado pelos autores para publicação de acesso aberto, sob os termos e condições da Licença de Atribuição *Creative Commons* 4.0 Internacional (**CC BY 4.0**). Este livro, incluindo todas as ilustrações, informações e opiniões nele contidas, é resultado da criação intelectual exclusiva dos autores. Os autores detêm total responsabilidade pelo conteúdo apresentado, o qual reflete única e inteiramente a sua perspectiva e interpretação pessoal. É importante salientar que o conteúdo deste livro não representa, necessariamente, a visão ou opinião da editora. A função da editora foi estritamente técnica, limitando-se ao serviço de diagramação e registro da obra, sem qualquer influência sobre o conteúdo apresentado ou opiniões expressas. Portanto, quaisquer questionamentos, interpretações ou inferências decorrentes do conteúdo deste livro, devem ser direcionados exclusivamente aos autores.

E576 Engenharia de materiais e meio ambiente reciclagem, sustentabilidade, novos processos e desafios [recurso eletrônico]. / Jean Carlos Rodrigues (organizador). -- Ponta Grossa: Aya, 2023. 53 p.

v.5

Inclui biografia

Inclui índice

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN: 978-65-5379-521-1

DOI: 10.47573/aya.5379.2.319

1. Engenharia – Estudo e ensino. 2. Baterias elétricas. 3. Resíduos radioativos - Eliminação - Aspectos ambientais. 4. Desenvolvimento sustentável. 5. Materiais - Inovações tecnológicas. I. Rodrigues, Jean Carlos. II. Título

CDD: 620.11

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Bruna Cristina Bonini - CRB 9/1347

International Scientific Journals Publicações de Periódicos e Editora LTDA

AYA Editora©

CNPJ: 36.140.631/0001-53

Fone: +55 42 3086-3131

WhatsApp: +55 42 99906-0630

E-mail: contato@ayaeditora.com.br

Site: <https://ayaeditora.com.br>

Endereço: Rua João Rabello Coutinho, 557

Ponta Grossa - Paraná - Brasil

84.071-150

SUMÁRIO

Apresentação..... 8

01

Adsorção de contaminantes emergentes por hidrocarvões ativados..... 9

Ederaldo Luiz Beline
Débora Federici dos Santos
João Vitor Salvadego Manzotti
Murilo Pereira Moises
Maria Angélica Simões Dornellas de Barros
DOI: 10.47573/aya.5379.2.319.1

02

Adsorção de paracetamol pelo carvão de tingui ativado e compósito de carvão de tingui ativado 20

Débora Federici dos Santos
Wardleison Martins Moreira
Danielly Cruz Campos Martins
Bruno Bertolo Caetano
Ederaldo Luiz Beline
Indianara Conceição Ostroski
Maria Angélica Simões Dornellas de Barros
DOI: 10.47573/aya.5379.2.319.2

03

Biopolímeros derivados do *Tall Oil*: sustentabilidade e versatilidade na indústria de materiais 32

Kelly Bossardi Dias
Ricardo Marques Barreiros
DOI: 10.47573/aya.5379.2.319.3

04

Baterias e sua usabilidade: conservação de uma alternativa sustentável para o futuro 39

Cristian Gabriel Chaves de Moraes
Matheus Ribeiro Ramos
Michael Wallace Cunha Sanches Porto
Paulo Orestes Formigoni

DOI: 10.47573/aya.5379.2.319.4

Organizador 48

Índice Remissivo 49

Apresentação

Este livro, **“Engenharia de Materiais e Meio Ambiente: reciclagem, sustentabilidade, novos processos e desafios – Volume 5”**, reúne estudos que exploram soluções sustentáveis na engenharia de materiais. Os capítulos abordam temas como a adsorção de contaminantes, biopolímeros sustentáveis e o uso de baterias, destacando a importância da sustentabilidade.

O primeiro capítulo investiga a remoção de contaminantes emergentes usando hidrocarvões ativados, mostrando como materiais porosos podem purificar a água. O segundo capítulo continua essa linha de pesquisa, focando na adsorção de paracetamol com carvão de tingui ativado, demonstrando a eficácia desses materiais na descontaminação de resíduos farmacêuticos.

O terceiro capítulo apresenta os biopolímeros derivados do Tall Oil, subproduto da indústria de papel e celulose, evidenciando sua sustentabilidade e versatilidade na criação de materiais inovadores. Esses biopolímeros mostram como resíduos industriais podem ser transformados em produtos de valor, promovendo a economia circular.

O quarto capítulo examina as baterias como uma alternativa sustentável para o futuro. Aborda tanto os aspectos técnicos quanto a importância dessas fontes de energia na transição para uma economia de baixo carbono.

Este volume oferece uma visão abrangente dos avanços e desafios na engenharia de materiais sustentáveis. Cada capítulo contribui para um melhor entendimento das possibilidades de reciclagem e inovação, sempre com foco na sustentabilidade.

Convidamos o leitor a explorar estas pesquisas, reconhecendo a importância da pesquisa interdisciplinar para um futuro mais sustentável e inovador.

Boa leitura!

Adsorção de contaminantes emergentes por hidrocarvões ativados

Ederaldo Luiz Beline

Doutorando em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá - UEM, Maringá, Paraná

Débora Federici dos Santos

Doutoranda em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá - UEM, Maringá, Paraná. Bolsista CAPES

João Vitor Salvadego Manzotti

Acadêmico de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá - UEM, Maringá, Paraná. Bolsista PIBIC/CNPq

Murilo Pereira Moises

Co-orientador, doutor, Departamento de Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR/COLIQ, Apucarana, Paraná

Maria Angélica Simões Dornellas de Barros

Orientadora, doutora, Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá - UEM, Maringá, Paraná

RESUMO

Inúmeros contaminantes emergentes estão sendo detectados em corpos d'água superficiais, destacando-se os fármacos, que, devido à baixa biodegradabilidade, alta persistência e fácil bioacumulação, tornam a sua remoção uma tarefa complexa. Dentre as muitas técnicas avançadas e consolidadas a adsorção é considerada uma das melhores alternativas para remoção de poluentes orgânicos, por seu custo/benefício. Nas duas últimas décadas, as pesquisas têm sido direcionadas na busca de novos materiais adsorventes que sejam seletivos, de baixo custo e de alta disponibilidade. Nesse aspecto, o objetivo desse trabalho foi sintetizar dois novos materiais adsorventes a partir de resíduos de MDF, água e glicerol por meio da carbonização por rotas hidrotérmica e solvotérmica, e avaliar comparativamente a eficiência desses materiais na adsorção de diferentes contaminantes emergentes. Com esse estudo foi possível concluir que a massa e o tempo de processo para otimização da síntese do hidrocarvão foi de 4,5g e 24 horas e para a síntese do solvocarvão foi de 4,5g e 30 horas, respectivamente. Os carvões ativados obtidos mostraram-se promissores na adsorção de cafeína, cloroquina e paracetamol.

Palavras-chave: fármacos; hidrocarbonização; solvocarbonização.

INTRODUÇÃO

Preocupação com os efeitos nocivos causados pelo gerenciamento ineficaz dos contaminantes emergentes, tem recebido atenção de



pesquisadores em todo o mundo (Lima *et al.*, 2017). Dentre os inúmeros contaminantes emergentes detectados em águas superficiais, se destacam os produtos farmacêuticos. Considerados extremamente tóxicos, tornaram-se uma grande preocupação, pois muitos de seus princípios ativos, mesmo em baixas concentrações, são persistentes no ambiente, possuem baixa degradabilidade e são de fácil bioacumulação (Porter *et al.*, 2018, Ahmed; Hameed, 2018).

Dentre as muitas técnicas avançadas e consolidadas a adsorção é considerada uma das melhores alternativas para remoção de poluentes orgânicos, pela sua versatilidade, simplicidade e confiabilidade, sendo um processo prático e de baixo custo (Calisto *et al.*, 2019). Pela sua eficiência na remoção de diferentes contaminantes, tem sido foco de atenção entre as comunidades científica e industrial (Gomes; Azaruja; Mourão, 2016). Além disso, a técnica permite que uma grande quantidade de materiais seja utilizada como precursora de adsorventes. Nas duas primeiras décadas do século XXI há inúmeros resultados reportados sobre novos materiais adsorventes que sejam seletivos, de baixo custo de aquisição e ainda, que possuam uma elevada eficiência e disponibilidade (Valério Filho *et al.*, 2022).

A obtenção de novos materiais pode ser feita por diversos métodos. Entretanto, a maneira mais comum de carbonizar biomassa é por pirólise (Correa *et al.*, 2017). Porém, a pirólise é realizada em altas temperaturas de reação que afetam o consumo de energia e rendimento, e conseqüentemente, os custos de produção (Thines *et al.*, 2017). Neste contexto, a carbonização hidrotérmica tem se destacado como um processo promissor na produção de carvões eco amigáveis, apresentando muitas vantagens sobre outros processos mais consolidados.

A carbonização hidrotérmica, ou hidrocarbonização, é um processo termoquímico e exotérmico de conversão da matéria orgânica na faixa de temperatura de 180–260 °C em que a biomassa é submersa em água e aquecida em um sistema confinado sob pressão autógena (2–6 MPa) por tempos de processo ideal variando de 0,5 a 72 h (Gao *et al.*, 2013, Mannarino *et al.*, 2022). Semelhantemente, a carbonização solvotérmica, ou solvocarbonização, é caracterizada pelo sistema líquido composto por solventes ao invés da água. O processo solvotérmico apresenta algumas vantagens dentre elas, maior ponto de ebulição destes solventes em comparação com a água, o que permite o aumento da temperatura do processo sem que haja aumento significativo da pressão, tornando o processo mais seguro (Lee; Park, 2021). Os processos de carbonização hidrotérmica e solvotérmica são comumente empregados como uma primeira etapa de carbonização para transformar a biomassa lignocelulósica em um material rico em carbono, com uma superfície funcional, além de elevar a quantidade de oxigênio em carboidratos (White *et al.*, 2014).

Em princípio, qualquer tipo de biomassa pode ser carbonizada (Funke; Ziegler, 2010), fato que amplia a aplicabilidade dos processos hidrotérmico e solvotérmico. Além disso, para o processo solvotérmico, qualquer solvente pode ser utilizado, aumentando consideravelmente as possibilidades de investigação. Assim sendo, a escolha do solvente e do material precursor contribuem diretamente para a qualidade e a eficiência do hidrocarvão obtido. Dentre as inúmeras possibilidades, glicerol e MDF são ambos aplicáveis e atrativos para o processo uma vez que são, respectivamente, subproduto da fabricação de propileno e da transesterificação de ésteres, e resíduo da indústria moveleira (Arruda *et al.*, 2007;

Zazycki *et al.*, 2020). Tais fatos contribuem para um processo eco amigável agregando valor ao produto gerado, ou seja, o adsorvente a ser usado num posterior tratamento de águas contaminadas.

Geralmente o hidrocarvão não tem as características necessárias à adsorção, pois tem uma baixa área específica (Nizamuddin *et al.*, 2017; Sevilla; Fuertes, 2009; Titirici *et al.*, 2007) e a quantidade de grupos funcionais também são pequenas (Liang; Zeng; Qi, 2010). Assim, o hidrocarvão deve passar por um tratamento para modificar sua superfície, mais conhecido como ativação (Nizamuddin *et al.*, 2017).

Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi determinar as condições otimizadas da síntese dos carvões hidrotérmico e solvotérmico oriundo de resíduos de MDF e água ou glicerol por meio de um planejamento fatorial 3^2 e ainda, avaliar comparativamente as eficiências desses materiais na remoção de contaminantes emergentes como cafeína, cloroquina e paracetamol por meio de testes de adsorção de varreduras.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

O MDF utilizado para os experimentos foi o resíduo resultante da serragem de painéis para a fabricação de móveis e foi utilizado como coletado, sem qualquer tratamento prévio. Através de análise elementar, constatou-se um teor de carbono de 46,19% para o resíduo nas condições iniciais. O MDF foi fornecido por uma empresa do polo moveleiro de Arapongas, Paraná. O Glicerol, utilizado no processo solvotérmico, e o Hidróxido de Potássio utilizado na ativação dos carvões foram adquiridos de Dinâmica Química Contemporânea Ltda.

Metodologia

Síntese dos Carvões Hidrotérmico e Solvotérmico

Para o processo hidrotérmico, resíduo de MDF e água foram adicionados em um recipiente de teflon de forma que o volume total preenchesse 60% do volume do recipiente. O mesmo procedimento foi adotado para o processo solvotérmico, substituindo a água por glicerol. Dentre os vários parâmetros dos processos, foram avaliados a razão biomassa/líquido (massa/volume) de MDF e água para o processo hidrotérmico ou glicerol para o processo solvotérmico (1:10; 1:20; 1:30) e, o tempo de processo (12, 24, 36 h). Em seguida o recipiente de teflon foi introduzido em uma autoclave e aquecido em uma estufa com circulação de ar forçada a 200 °C a uma taxa de aquecimento de 10 °C/min. Após os carbonização, o material foi lavado com água destilada, filtrado e seco em estufa a 105 °C por 24 h. O rendimento em massa e o teor de carbono (%) foram avaliados de forma a determinar uma condição ótima de conversão dos resíduos em material adsorvente. Assim, para avaliar a influência dos tais parâmetros na síntese dos carvões, utilizou-se um planejamento fatorial 3^2 utilizando o modelo de $2^{**}(K-p)$ standard designs (Box, Hunter, & Hunter).

Ativação dos Carvões Hidrotérmico e Solvotérmico

Os carvões obtidos por meio da carbonização hidrotérmica e solvotérmica foram ativados com hidróxido de potássio (KOH). Inicialmente 120g de KOH foram dissolvidos em 200 mL de água destilada e posteriormente foi adicionado 30g de carvão hidrotérmico ou solvotérmico, mantendo uma relação mássica de 1:4 (carvão: KOH). Essa mistura foi agitada por 3h a 210 °C a fim de reduzir seu volume até a formação de uma pasta que, em seguida, foi seca em uma estufa a 105 °C por 24 h. Na sequência, a mistura seca foi introduzida em um reator tubular sob fluxo de nitrogênio (150 mL.min⁻¹) a 900 °C por 1 h. O produto sólido resultante foi lavado abundantemente com água destilada, filtrado e seco em uma estufa a 105 °C.

Seletividade dos Carvões Ativados na Adsorção de Contaminantes Emergentes

A capacidade de adsorção dos carvões hidrotérmico e solvotérmico ativados foram avaliadas para os contaminantes emergentes dentre eles, cafeína, cloroquina e paracetamol, de forma a avaliar a seletividade do processo de adsorção. De forma sucinta, os ensaios de adsorção foram realizados em batelada, em triplicata, a partir de 50 mL da solução sintética do contaminante em estudo e 20 mg de carvão ativado. Os experimentos foram realizados em um banho orbital, a 25 °C, 120 rpm e concentração inicial de 100 mg L⁻¹. Após 24 horas, as amostras foram filtradas. O clarificado bem como as soluções iniciais tiveram suas concentrações obtidas por espectrofotometria de UV/Vis. As capacidades de adsorção foram calculadas de acordo com a Equação 1:

$$q = \frac{(C_0 - C_f)V}{m} \quad (1)$$

Em que, q (mg g⁻¹) é a capacidade de adsorção, C₀ e C_f (mg L⁻¹) são a concentração inicial e final da solução em estudo, respectivamente, V (L) é o volume da solução e m (g) é a massa de adsorvente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Influência dos parâmetros de carbonização hidrotérmica e solvotérmica nas variáveis respostas

Na Tabela 1 é apresentado os resultados obtidos para as condições experimentais realizadas em relação ao rendimento e ao teor de carbono. A partir dos dados apresentados é possível observar que, para o processo solvotérmico, houve uma diminuição do teor de rendimento e de carbono com o decréscimo da razão de massa de MDF por volume de glicerol para as três condições de tempo avaliadas. À medida que a hidrocarbonização prossegue, compostos de hidrogênio e oxigênio são liberados, enquanto a fase sólida se torna mais rica em carbono (Fagani *et al.*, 2019).

Tabela 1 - Resultados de rendimento e teor de carbono em relação as condições experimentais.

Relação Biomassa/Líquido	Massa MDF(g)	Volume (mL)	Tempo (h)	Processo Hidrotérmico	Processo solvotérmico		
				Rendimento (%)	Carbono (%)	Rendimento (%)	Carbono (%)
1:30	1,50	45	12	56,69	56,96	60,43	48,66
	1,50	45	24	54,04	59,65	61,68	48,67
	1,50	45	36	47,21	60,14	63,23	48,73
1:20	2,25	45	12	60,12	56,39	72,58	48,39
	2,25	45	24	55,65	59,07	74,60	48,83
	2,25	45	36	49,62	61,15	66,52	48,83
1:10	4,50	45	12	59,42	57,98	75,73	49,23
	4,50	45	24	54,16	60,80	78,42	49,05
	4,50	45	36	48,46	63,97	78,01	49,16

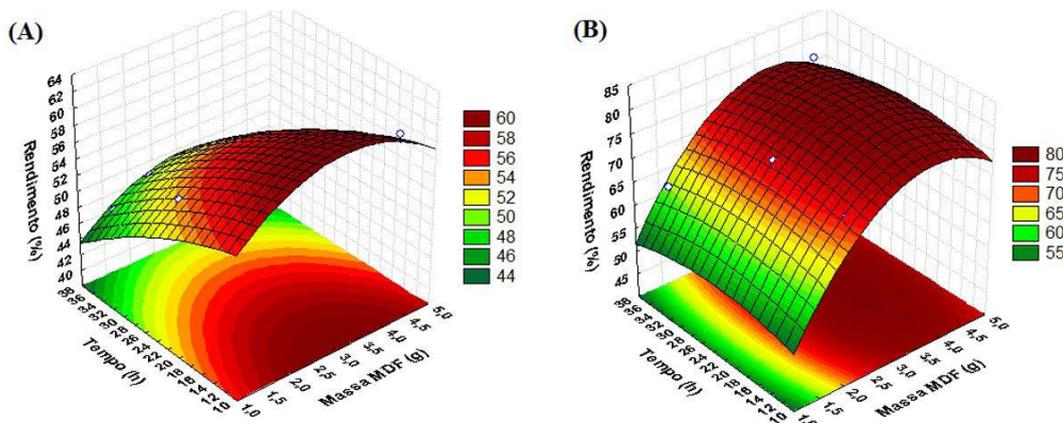
Fonte: Dados da pesquisa

No processo hidrotérmico, foi possível observar que a quantidade de carbono aumentou significativamente para todas as amostras, demonstrando que o carbono foi fixado no sólido, aumentando sua concentração neste. Outro fato importante a ser destacado, é que o percentual de carbono nas amostras de mesmo tempo de processo foi semelhante, indicando que a relação biomassa/líquido tem pouca influência na fixação do carbono. Além disso, é possível verificar uma variação positiva na quantidade de carbono em relação direta com o tempo de processo (Mannarino *et al.*, 2022).

Comparando os dados da Tabela 1 para os dois processos, observa-se maior rendimento para o processo solvotérmico. No entanto, a fixação de carbono foi significativamente maior no processo hidrotérmico.

A superfície ajustada ao modelo para a variável rendimento está apresentada na Figura 1.

Figura 1 - Superfície ajustada para a variável Rendimento (%) em relação ao carvão produzido pela carbonização hidrotérmica (A) e pela carbonização solvotérmica (B).



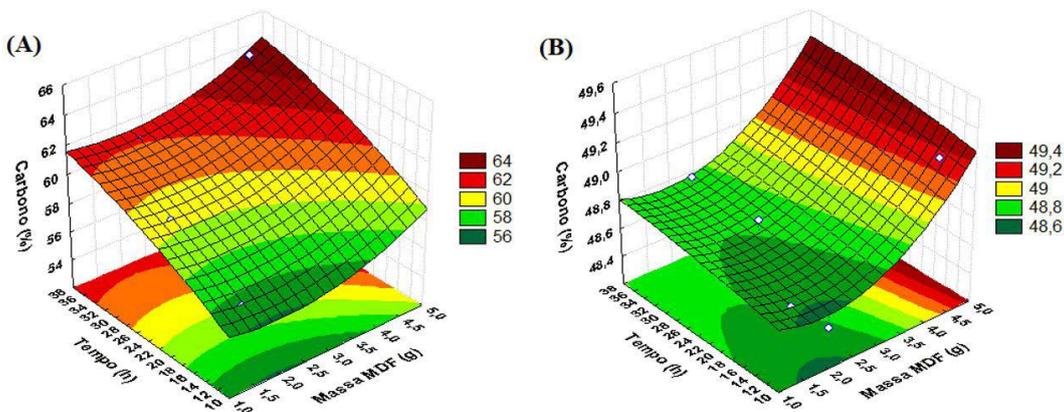
Fonte: Dados da pesquisa

A partir da análise da superfície de resposta da Figura 1(A) foi possível observar que tempos de processo menores correspondem a rendimentos maiores, e conseqüentemente, conforme a temperatura aumenta o rendimento diminui. Os dados coletados e assim

analisados estão de acordo com os dados previamente já reportados na literatura para biomassas parecidas com a utilizada neste trabalho (Sharma; Panigrahi; Dubey, 2021). É possível observar também que a relação biomassa/líquido exerce pouca influência no processo hidrotérmico. Por outro lado, ao analisar a superfície de resposta da Figura 1(B), observa-se que o rendimento foi maior para maiores massas de MDF, ao passo em que, o tempo pouco influenciou no rendimento do processo.

Na Figura 2 é apresentada a superfície ajustada para a variável teor de carbono. A partir da análise do gráfico apresentado na Figura 2 (A), correspondente ao processo hidrotérmico, foi possível concluir que o teor de carbono foi maior para maiores tempos de processo. Em contrapartida, para o processo solvotérmico, a análise da Figura 2 (B) demonstra que melhores teores de carbono estão relacionados com menores massas de MDF com ligeira influência para tempos de processos maiores.

Figura 2 - Superfície ajustada para a variável Carbono (%) em relação ao carvão produzido pela carbonização hidrotérmica (A) e pela carbonização solvotérmica (B).



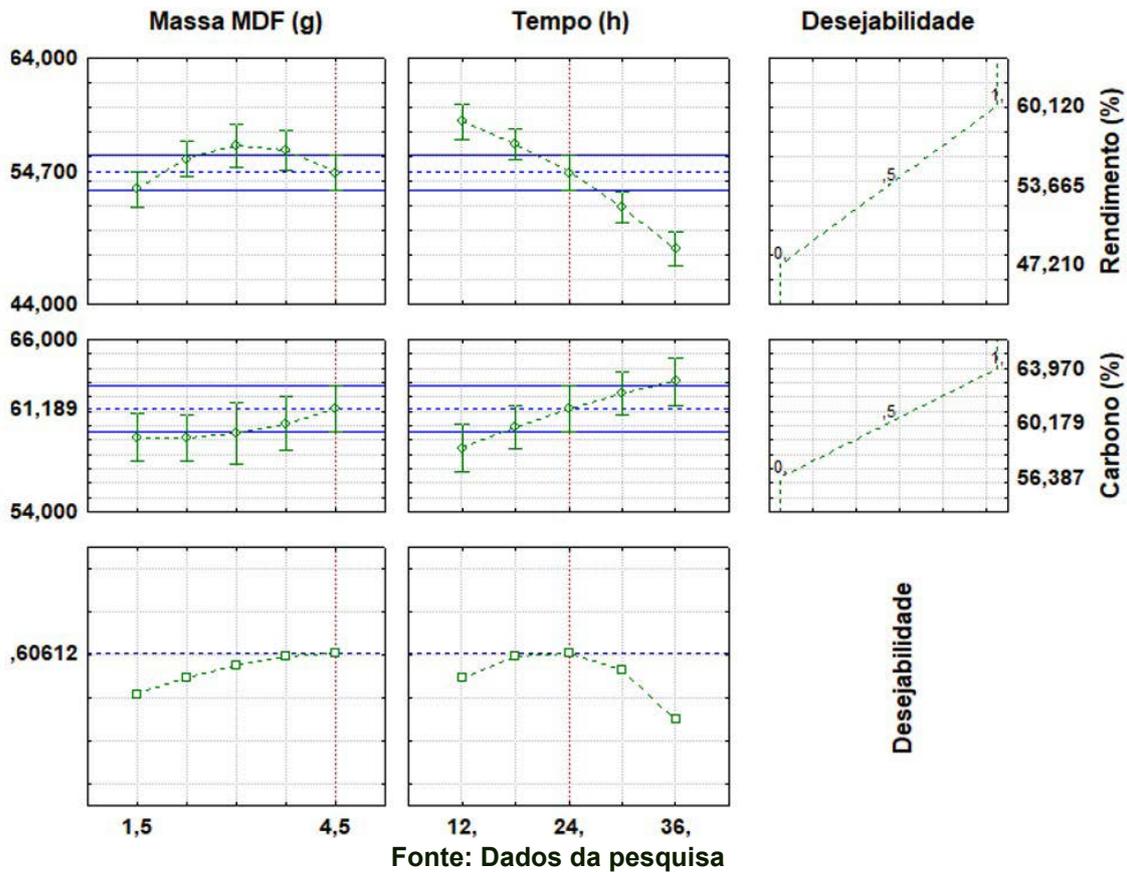
Fonte: Dados da pesquisa

Estudos dos perfis para valores preditos e desejabilidade

Através da projeção realizada pelo *software Statistic* é possível prever os valores adequados de massa de MDF e de tempo para se obter os maiores rendimento e teor de carbono, buscando atingir melhores condições experimentais.

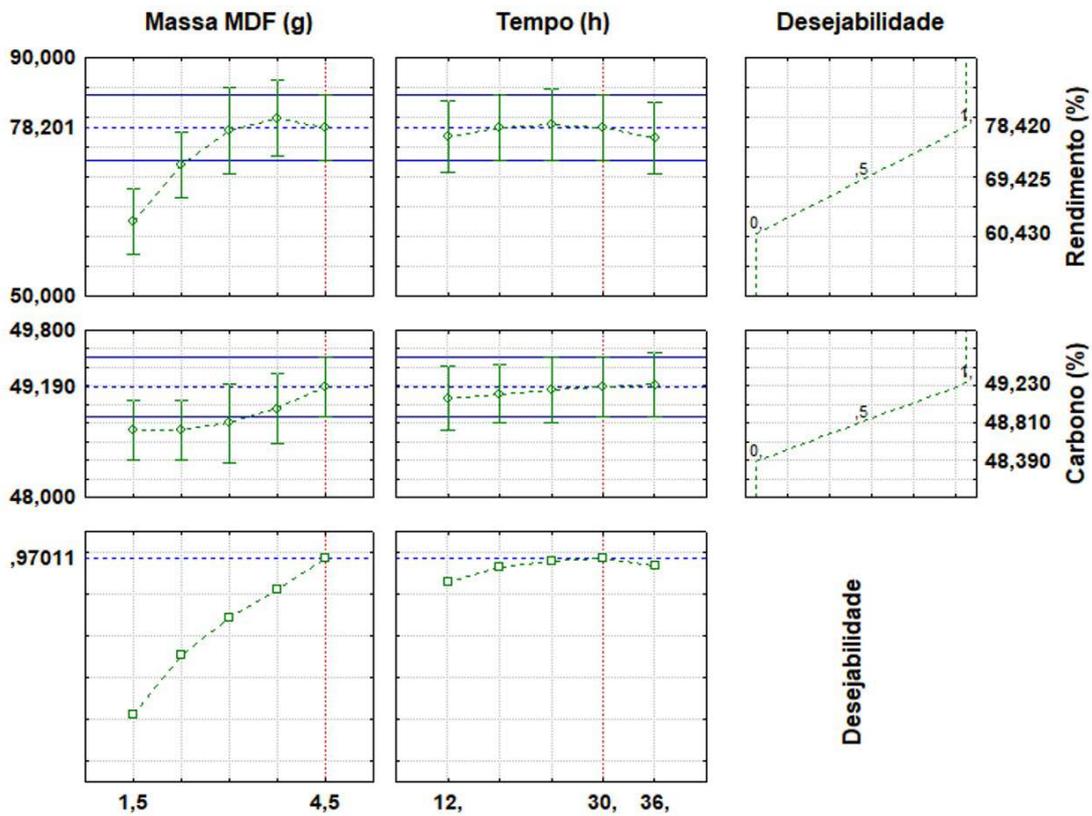
Na figura 3 é apresentado os perfis para valores preditos e desejabilidade em relação ao rendimento (%) e teor de carbono (%) para o processo hidrotérmico. A partir da análise dos gráficos é possível constatar que a faixa de massa de MDF e tempo de processo otimizados para os experimentos de carbonização foram 4,5 g e 24 horas, respectivamente.

Figura 3 - Perfis para valores previstos e desejabilidade para as variáveis relação biomassa/água e tempo de processo, respectivamente, para o carvão sintetizado pela carbonização hidrotérmica.



Na figura 4 é apresentado os perfis para valores preditos e desejabilidade em relação ao rendimento (%) e teor de carbono (%) para o processo solvotérmico. A partir da análise dos gráficos é possível constatar que a faixa de massa de MDF e tempo de processo otimizados para os experimentos de carbonização solvotérmica foram 4,5 g e 30 horas, respectivamente.

Figura 4 - Perfis para valores previstos e desejabilidade para as variáveis relação biomassa/glicerol e tempo de processo, respectivamente, para o carvão sintetizado pela carbonização solvotérmica.

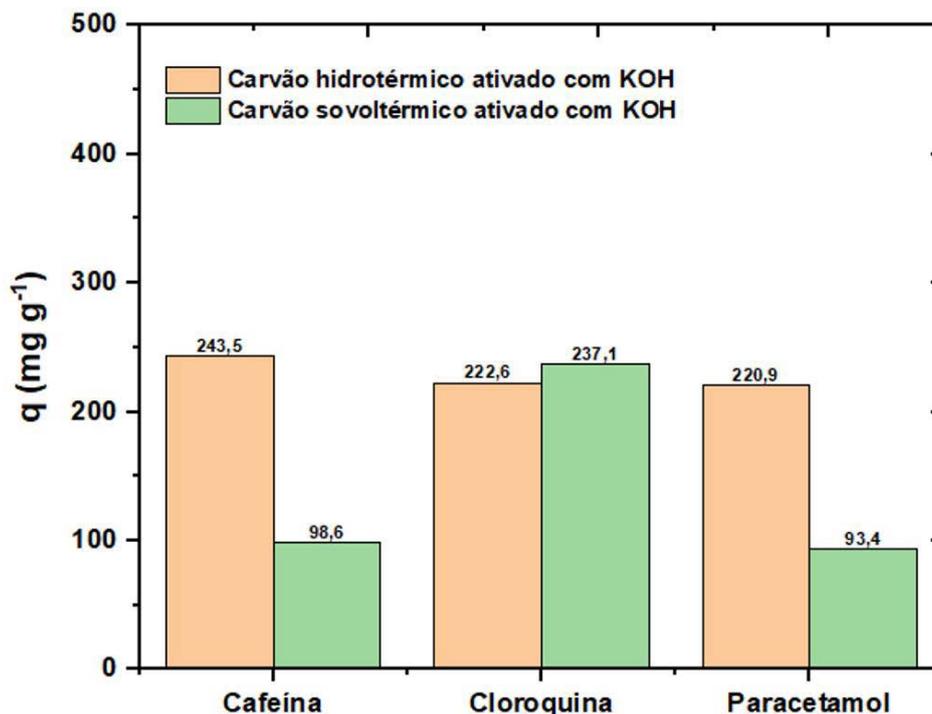


Fonte: Dados da pesquisa

Ensaio de adsorção com os carvões ativados

Após a realização dos testes de adsorção, calculou-se a capacidade de adsorção do carvão hidrotérmico, obtido a partir das condições ideais com a massa de 4,5 g de MDF e tempo de processo de 24 horas, e do carvão solvotérmico obtido com a massa de 4,5 g de MDF e carbonizado por 30 h, usando-se a Equação 1, para cada um dos contaminantes emergentes. Os resultados obtidos estão representados no gráfico 1. Ao analisar os gráficos é possível observar que ambos os carvões ativados de MDF demonstraram ser bons adsorventes para os fármacos utilizados. Destaca-se que o carvão hidrotérmico ativado adsorveu bem todos os contaminantes emergentes, principalmente o paracetamol e cafeína. Da mesma forma, o carvão solvotérmico se destacou na adsorção da Cloroquina. Uma possível explicação para tal fenômeno é o fato que, apesar dos carvões serem sintetizados por processos semelhantes, a interação da biomassa com o líquido durante o processo térmico, gera carvões com propriedades e características superficiais diferentes, consequentemente, as moléculas dos contaminantes testados interagem de forma diferente com a superfície porosa dos carvões, com eficiências diferentes para cada contaminante.

Gráfico 1 - Capacidade adsortiva do carvão sintetizado por rota hidrotérmica e solvotérmica na remoção de cafeína, cloroquina e paracetamol em solução aquosa (100 mg L^{-1}).



Fonte: Dados da pesquisa

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho avaliou a síntese e a capacidade de adsorção dos carvões ativados produzidos por rota hidrotérmica, a partir de resíduos de MDF e água, e por rota solvotérmica a partir de resíduos de MDF e glicerol. Constatou-se que, apesar de semelhantes, os processos hidrotérmico e solvotérmico requerem parâmetros hidrotérmicos diferentes, resultando em carvões com características distintas. Além disso, os carvões ativados obtidos mostraram-se promissores na adsorção de contaminantes emergentes como cafeína, cloroquina e paracetamol. No que segue, ensaios de caracterizações superficiais dos carvões ajudariam a explicar a maior ou menor eficiência na remoção dos contaminantes emergentes.

REFERÊNCIAS

- AHMED, M. J.; HAMEED, B. H. **Removal of emerging pharmaceutical contaminants by adsorption in a fixed-bed column: A review.** *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 149, p. 257–266, 1 mar. 2018.
- ARRUDA, Priscila Vaz de; RODRIGUES, R. C. L. B.; FELIPE, MG de A. **Glicerol: um subproduto com grande capacidade industrial e metabólica.** *Revista Analytica*, v. 26, p. 56-62, 2007.
- CALISTO, J. S. *et al.* **Adsorption kinetic and thermodynamic studies of the 2, 4 – dichlorophenoxyacetate (2,4-D) by the [Co–Al–Cl] layered double hydroxide.** *Heliyon*, v. 5, n. 12, p. e02553, dez. 2019.

- CORREA, C. R. *et al.* **Influence of the carbonization process on activated carbon properties from lignin and lignin-rich biomasses.** ACS Sustainable Chemistry and Engineering, v. 5, n. 9, p. 8222–8233, 5 set. 2017.
- FAGNANI, H. M. C. *et al.* **CO₂ adsorption in hydrochar produced from waste biomass.** SN Applied Sciences, v. 1, n. 9, 1 set. 2019.
- FUNKE, Axel; ZIEGLER, Felix. **Hydrothermal carbonization of biomass: A summary and discussion of chemical mechanisms for process engineering.** Biofuels Bioproducts & Biorefining, v. 4, p. 160–177, 2010.
- GAO, Y. *et al.* **Effect of residence time on chemical and structural properties of hydrochar obtained by hydrothermal carbonization of water hyacinth.** Energy, v. 58, p. 376–383, 1 set. 2013.
- GOMES, J. A. F. L.; AZARUJA, B. A.; MOURÃO, P. A. M. **From MDF and PB wastes to adsorbents for the removal of pollutants.** Applied Surface Science, v. 380, p. 119–126, 1 set. 2016.
- LEE, J.; PARK, K. Y. **Conversion of heavy metal-containing biowaste from phytoremediation site to value-added solid fuel through hydrothermal carbonization.** Environmental Pollution, v. 269, p. 116127, 2021.
- LIANG, X.; ZENG, M.; QI, C. **One-step synthesis of carbon functionalized with sulfonic acid groups using hydrothermal carbonization.** Carbon, v. 48, n. 6, p. 1844–1848, maio 2010.
- LIMA, D. R. S. *et al.* **Fármacos e desreguladores endócrinos em águas brasileiras: ocorrência e técnica de remoção.** Eng Sanit Ambient, v. 22, n. 6, p. 1043–1054, 2017.
- MANNARINO, G. *et al.* **Improved energy recovery from food waste through hydrothermal carbonization and anaerobic digestion.** Waste Management, v. 142, p. 9–18, 1 abr. 2022.
- NIZAMUDDIN, S. *et al.* **An overview of effect of process parameters on hydrothermal carbonization of biomass.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 73, p. 1289–1299, 2017.
- PORTER, S. N. *et al.* **Accumulation of organochlorine pesticides in reef organisms from marginal coral reefs in South Africa and links with coastal groundwater.** Marine Pollution Bulletin, v. 137, p. 295–305, 1 dez. 2018.
- SEVILLA, M.; FUERTES, A. B. **The production of carbon materials by hydrothermal carbonization of cellulose.** Carbon, v. 47, n. 9, p. 2281–2289, ago. 2009.
- SHARMA, H. B.; PANIGRAHI, S.; DUBEY, B. K. **Food waste hydrothermal carbonization: study on the effects of reaction severities, pelletization and framework development using approaches of the circular economy.** Bioresource 129 Technology, v. 333, 1 ago. 2021.
- VALÉRIO FILHO, Alaor *et al.* **Perspectives of the reuse of agricultural wastes from the Rio Grande do Sul, Brazil, as new adsorbent materials.** In: Biomass-Derived Materials for Environmental Applications. Elsevier, 2022. p. 243-266.

THINES, K. R. *et al.* Synthesis of magnetic biochar from agricultural waste biomass to enhancing route for waste water and polymer application: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 67, p. 257–276, 1 jan. 2017.

TITIRICI, M. M. *et al.* **A direct synthesis of mesoporous carbons with bicontinuous pore morphology from crude plant material by hydrothermal carbonization.** *Chemistry of Materials*, v. 19, n. 17, p. 4205–4212, 21 ago. 2007.

WHITE, R. J. *et al.* **Always look on the “light” side of life: sustainable carbon aerogels.** *ChemSusChem*, v. 7, n. 3, p. 670–689, mar. 2014.

ZAZYCKI, M. A. *et al.* **Conversion of MDF wastes into a char with remarkable potential to remove food red 17 dye from aqueous effluents.** *Chemosphere*, v. 250, 1 jul. 2020.

Adsorção de paracetamol pelo carvão de tingui ativado e compósito de carvão de tingui ativado

Débora Federici dos Santos

Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 87020- 900, Paraná, Brasil

Wardleison Martins Moreira

Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 87020- 900, Paraná, Brasil

Danielly Cruz Campos Martins

Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 87020- 900, Paraná, Brasil

Bruno Bertolo Caetano

Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 87020- 900, Paraná, Brasil

Ederaldo Luiz Beline

Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 87020- 900, Paraná, Brasil

Indianara Conceição Ostroski

Instituto de Química, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 74690-900, Goiás, Brasil

Maria Angélica Simões Dornellas de Barros

Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 87020- 900, Paraná, Brasil

RESUMO

Inúmeros contaminantes emergentes estão sendo detectados em corpos d'água superficiais, destacando-se os fármacos, que, devido à baixa biodegradabilidade, alta persistência e fácil bioacumulação, tornam a sua remoção uma tarefa complexa. Dentre as muitas técnicas avançadas e consolidadas a adsorção é considerada uma das melhores alternativas para remoção de poluentes orgânicos, por seu custo-benefício. Nas duas últimas décadas, as pesquisas têm sido direcionadas na busca de novos materiais adsorventes que sejam seletivos, de baixo custo e de alta disponibilidade. Nesse aspecto, o objetivo desse trabalho foi avaliar a capacidade de adsorção do paracetamol por carvão ativado de tingui (CTA) e por compósito obtido pela fixação do carvão ativado de tingui em suporte polimérico (CCTA). Ensaio em batelada mostraram que capacidade máxima de adsorção pelo CTA e CCTA foi de 102,65 e 39,04 mg g⁻¹, respectivamente. O modelo teórico que melhor representa o processo é o modelo de Sips. Os ensaios cinéticos mostram adsorção em múltiplas camadas com tempo máximo de equilíbrio de 1200 min.

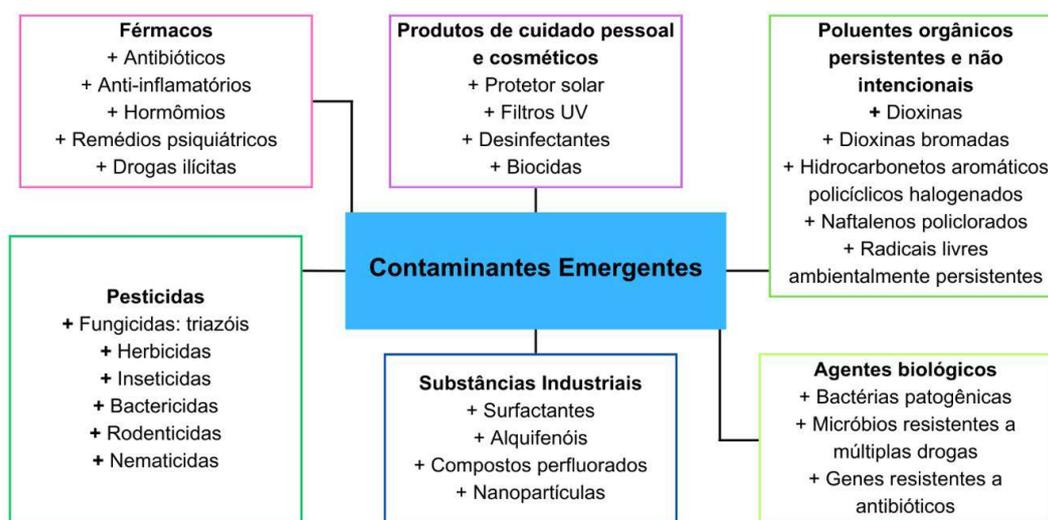
Palavra-chave: fármacos; alginato de cálcio; suporte polimérico; ativação com CO₂.



INTRODUÇÃO

Os contaminantes emergentes (CEs) podem ser definidos como substâncias químicas sintéticas ou naturais ou ainda, qualquer microrganismo que não são comumente monitorados no meio ambiente e que podem causar efeitos prejudiciais ao ecossistema (Kumar *et al.*, 2022). Os CEs podem ser classificados em três diferentes grupos. O primeiro grupo se refere aos contaminantes que são realmente novos, ou seja, novos compostos ou moléculas que não eram anteriormente conhecidas ou que apareceram a pouco tempo na comunidade científica. O segundo grupo é referente aos contaminantes que já existiam, mas que seus impactos prejudiciais não eram sabidos ou totalmente entendidos. Por último, o grupo dos contaminantes velhos, que trazem problemas contemporâneos a partir da descoberta de novas informações (Sauvé; Desrosiers, 2014). Atualmente, essa nova classe de contaminantes consistem em drogas farmacêuticas, produtos de higiene pessoal, pesticidas, microplásticos, nanomateriais, entre outros (Khan *et al.*, 2023). Na Figura 1 é mostrado uma lista destes compostos e sua respectiva classificação. Assim, com o crescimento do conhecimento sobre CEs várias pesquisas estão sendo direcionadas a este assunto (Branco *et al.*, 2021).

Figura 1 - Contaminantes emergentes.



Fonte: Adaptado de Morin-Crini *et al.* 2022.

Entre as categorias citadas, destacam-se os fármacos analgésicos e anti-inflamatórios (FAAIs). Dentro de sua classificação, essas substâncias são as mais consumidos no mundo inteiro (Aydin *et al.*, 2019). Depois de seu uso, os FAAIs são excretados do corpo humano pela urina ou fezes e podem chegar até as estações de tratamento de água e esgoto na forma inicial ou na forma de metabólitos. Como estes compostos não são retirados totalmente pelos sistemas de tratamento convencionais, eles muitas vezes são despejados no meio ambiente em conjunto com o esgoto (Aydin *et al.*, 2023).

Dentre eles, o paracetamol (N-(4-hidroxifenil)acetamida) é uma substância amplamente utilizada, com ações analgésicas e antipiréticas. Como característica, o paracetamol apresenta alta estabilidade, solubilidade e hidrofobicidade, sendo possível assim permanecer em águas superficiais, águas residuais e na água potável (Spaltro *et al.*, 2021). Foram encontradas diferentes concentrações de paracetamol em corpos hídricos

de países como Índia, Portugal e México, com respectivas concentrações de 147,7 µg/L, 683 ng/L e 2.330 - 14.900 ng/L (Khan *et al.*, 2023). Assim, por serem países de continentes diferentes, pode-se alegar que o acetaminofeno está presente ao redor do globo.

O paracetamol se tornou um CE pois, apesar das concentrações encontradas nos corpos hídricos serem menores que aquelas reportadas para usos terapêuticos, sua baixa biodegradabilidade e longo tempo de exposição em sistemas aquáticos podem causar efeitos negativos nos organismos. Além disso, sua degradação pode produzir compostos altamente tóxicos e carcinogênicos, como o 4-aminofenol, causando efeitos mutagênicos em células humanas e até mesmo clivagem de DNA (Spessato *et al.*, 2019).

Atualmente, existem diversas formas de tratamento para os CEs, dentre elas: degradação aeróbia, coagulação - floculação, eletrólise, ozonização, processo foto-Fenton e filtração com nanomembranas. Porém, em geral, esses tratamentos não são suficientes para a remoção desses contaminantes, e muitos deles persistem sem qualquer alteração após a técnica (Spaltro *et al.*, 2021).

Neste cenário, se destaca o processo de adsorção. A adsorção é uma técnica que se baseia na retenção dos poluentes, chamados adsorvatos, na superfície sólida de materiais porosos, conhecidos como adsorventes (Amador *et al.*, 2022). A adsorção é caracterizada como uma técnica simples, fácil, econômica e que pode melhorar de forma significativa o tratamento de águas residuárias. Ainda como vantagem, os adsorventes podem ser obtidos de matérias-primas de baixo custo, como resíduos agropecuários por exemplo, para formação dos carvões ativados (CAs) (Ferreira *et al.*, 2023)

Os CAs têm sido estudados de forma ampla para o tratamento de água visando a remoção de CEs (Fuentes *et al.*, 2020). Eles são carbonáceos sólidos e porosos sintetizados a partir da carbonização em atmosfera inerte e ativação em altas temperaturas (~800°C). Os CAs são os materiais mais comuns dentre os adsorventes feitos de carbono devido a sua elevada porosidade e área superficial, características químicas, alta resistência mecânica, fácil regeneração e dimensões de poros adequadas (Tetteh; Antonia; Tetteh, 2024).

Apesar de sua alta capacidade de adsorção, o uso de CA apresenta alguns problemas, como seus altos custos de produção e a dificuldade de separação do material sólido na etapa de pós-tratamento. Na adsorção em leito fixo, o CA apresenta baixa resistência mecânica e, devido ao empacotamento, o impedimento estérico aumenta juntamente com o aumento da saturação. Assim, os CAs de baixa granulometria podem ser encapsulados dentro de um suporte polimérico, melhorando sua durabilidade, resistência mecânica e propriedades hidráulicas, além de facilitar a separação da fase sólida da fase líquida (de Araújo *et al.*, 2022).

Dentre os suportes poliméricos, o alginato pode ser um recurso interessante. Este composto apresenta qualidades como não-toxicidade, biocompatibilidade, biodegradabilidade, hidrofiliabilidade e capacidade de realizar ligações. Além disso, ele é utilizado em formas modificadas – por copolimerização ou entrecruzamento, formando esferas de hidrogel – para aumentar estabilidade mecânica, durabilidade e funcionalidade superficial (Othman *et al.*, 2020). Com isso, a utilização de carvões ativados em conjunto com o alginato é uma técnica promissora para fazer adsorventes mais estáveis, ambientalmente

corretos e para permitir separação e regeneração mais fáceis para aplicação em purificação de águas (Jacob *et al.*, 2022).

Uma matéria-prima que pode ser utilizada para síntese de CA é o Tingui (*Magonia pubescens*), uma espécie da flora brasileira que varia entre arbustiva e arbórea. Sua casca pode chegar a 10 mm de espessura e é lisa até rugosa, apresentando coloração acinzentada. Ela está presente em 11 estados brasileiros, principalmente no cerrado mato-grossense. Sua produção é geralmente utilizada para carvão siderúrgico e lenha, devido ao seu alto teor de carbono fixo e poder calorífico (Carvalho, 2010a). As cascas desta espécie são formadas de polissacarídeos capazes de absorver grandes quantidades de água para promover sua germinação em épocas de seca (Carvalho, 2010b).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade de adsorção do carvão de Tingui ativado e do compósito de carvão de Tingui ativado em remover paracetamol por meio dos dados experimentais obtidos nos ensaios de cinética e de equilíbrio de adsorção.

METODOLOGIA

Adsorventes

Carvão de Tingui ativado (CTA)

Os frutos de *Magonia pubescens* (Tingui) foram coletados em uma área de cerrado no Brasil. Após a colheita, os frutos foram abertos e as sementes foram removidas. As cascas foram então lavadas com água e secas à temperatura ambiente. Em seguida, 75 g de cascas de Tingui foram pirolisadas em um forno tubular (Sanchis, 2335) a 550 °C por 120 min, usando uma taxa de aquecimento de 10 °C min⁻¹ e um fluxo de nitrogênio de 150 mL min⁻¹. O material obtido após a pirólise foi denominado carvão de Tingui (CT). O CT foi então ativado com dióxido de carbono (CO₂) em um reator de aço inoxidável acoplado a um forno tubular a 850 °C por 120 min, sob uma taxa de aquecimento de 10 °C min⁻¹, e fluxo controlado de CO₂ a 150 mL min⁻¹. O material obtido após a ativação foi denominado carvão de Tingui ativado com dióxido de carbono (CTA).

Compósito de carvão de Tingui ativado (CCTA)

As esferas compostas foram preparadas pelo método de gelificação por gotejamento iônico. Em um béquer, foram adicionados 50 mL de solução de alginato de sódio (95%) e 2,5 g de CTA (5%) e a mistura foi homogeneizada. A solução de alginato de sódio com o CTA foi extrudida utilizando uma seringa com o auxílio de uma bomba peristáltica, a uma altura de 20 cm, em uma solução de cloreto de cálcio a 2%. As esferas compósitas ficaram em contato com a solução de cloreto de cálcio por 24 hr sob agitação para gelificação completa. Posteriormente, as esferas foram filtradas e lavadas várias vezes com água destilada para remover o excesso da solução de cálcio. As esferas foram secas a 50 °C por 24 h. As esferas obtidas foram denominadas de compósito de carvão de Tingui ativado com dióxido de carbono (CCTA).

Caracterização dos adsorventes

A microscopia eletrônica de varrimento (MEV) foi realizada num FEI QUANTA 250, com um ponto de 3,0 e 25 kV. As amostras foram previamente secas a 105 °C, colocadas sobre uma fita de carbono em suporte metálico, e cobertas com uma camada fina de ouro, para se tornar condutora e melhorar a resolução da imagem.

Os dados de FTIR foram registados num Vertex 70v, Bruker, em modo de transmitância, na gama de infravermelhos de 400-4000 cm⁻¹. Antes da análise, as amostras foram secas a 303 K e peletizadas com KBr numa proporção de 1:100 (w/w).

Adsorvato

O acetaminofeno (pureza 99%, Merck, Sigma-Aldrich) foi quantificado por espectrofotometria UV-VIS (Hach DR 5000) a um comprimento de onda de 243 nm.

Cinética e isoterma de adsorção

Todos os ensaios de adsorção foram realizados em sistema batelada sob agitação de 150 rpm e temperatura de 25 °C num agitador orbital.

Os ensaios de cinética de adsorção foram realizados adicionando 50 mL de solução de paracetamol (100 mg L⁻¹) em 20 mg de adsorvente (CTA ou CCTA), variando o tempo de contato entre o adsorvato e o adsorvente ao longo de 2680 min. A capacidade de adsorção do CTA e do CCTA em um determinado tempo t foi determinada pela Equação 1.

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t)V}{m} \quad (1)$$

Em que, q_t (mg g⁻¹) é a quantidade adsorvida na fase sólida no tempo t ; C_0 e C_t (mg L⁻¹) são a concentração inicial de adsorvato e a concentração de adsorvato no tempo t , respectivamente; V (L) é o volume da solução; m (g) é a massa do material adsorvente.

A isoterma de adsorção foi realizada adicionando 50 mL de solução de paracetamol com concentração inicial variando de 50 a 1000 mg L⁻¹, em 20 mg de adsorvente (CTA ou CCTA), com o tempo de equilíbrio obtido nos testes cinéticos. A capacidade de adsorção do CTA e do CCTA no equilíbrio foi determinada utilizando a Equação 2. Os dados experimentais obtidos foram ajustados aos modelos teóricos de Langmuir (Equação 3), Freundlich (Equação 4) e Sips (Equação 5).

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (2)$$

$$q_e = \frac{q_{\max} K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (3)$$

$$q_e = K_F C_e^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

$$q_e = \frac{q_{\max} K_S (C_e^{1/n^*})}{1 + K_S (C_e^{1/n^*})} \quad (5)$$

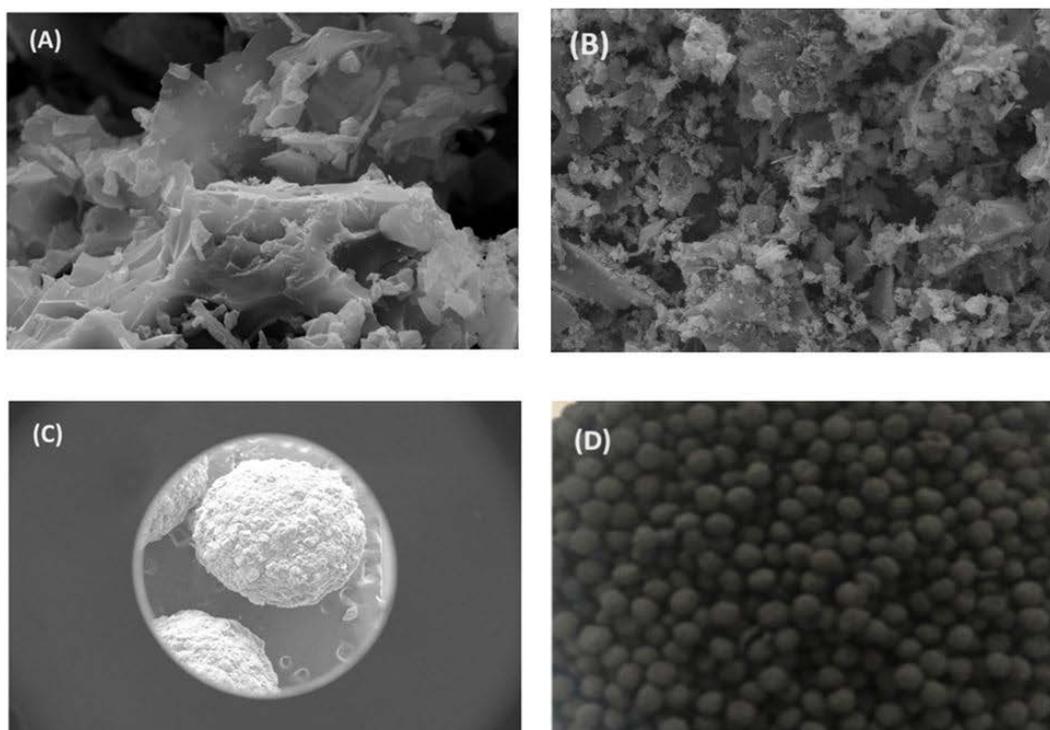
Em que q_e (mg g^{-1}) é a quantidade de adsorvato adsorvido no equilíbrio; C_o e C_e (mg L^{-1}) são a concentração inicial de adsorvato e a concentração de adsorvato no equilíbrio, respectivamente; V (L) é o volume da solução; m (g) é a massa do material adsorvente; q_{max} (mg g^{-1}) é a quantidade máxima de adsorvato adsorvido pelo adsorvente; K_L (L mg^{-1}) é a constante de interação Langmuir adsorvato/adsorvente; $K_F((\text{mg g}^{-1})/(\text{L mg}^{-1})^{1/n})$ é a constante de capacidade de adsorção de Freundlich; $1/n$ é um parâmetro empírico relacionado com a intensidade de adsorção ou com a heterogeneidade da superfície; K_s é a constante da isotérmica de Sips; $1/n^*$ representa um parâmetro empírico que indica a heterogeneidade do sistema.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caracterizações

As imagens de MEV da casca de Tingui, do CTA e do CCTA são apresentadas na Figura 1. Por meio da análise da morfologia foi possível observar que a casca do Tingui (Figura 1. A) apresentou um aspecto fibroso e ausência de poros aparentes. No CTA (Figura 1. B) foi observado o surgimento de uma estrutura porosa aparente mais definida e uniforme devido ao processo de pirólise e ativação sofrida pela biomassa (dos Santos, 2023). E, no CCTA (Figura 1. C e D) foi notado que as esferas compostas não apresentaram nenhuma porosidade aparente, porém resultou em uma melhoria nas propriedades mecânicas do material adsorvente. Além disso, pode-se observar que os grânulos do CCTA não perderam as características porosas encontradas no CTA, característica muito importante para aplicação em processos de adsorção (de Araújo *et al.*, 2022).

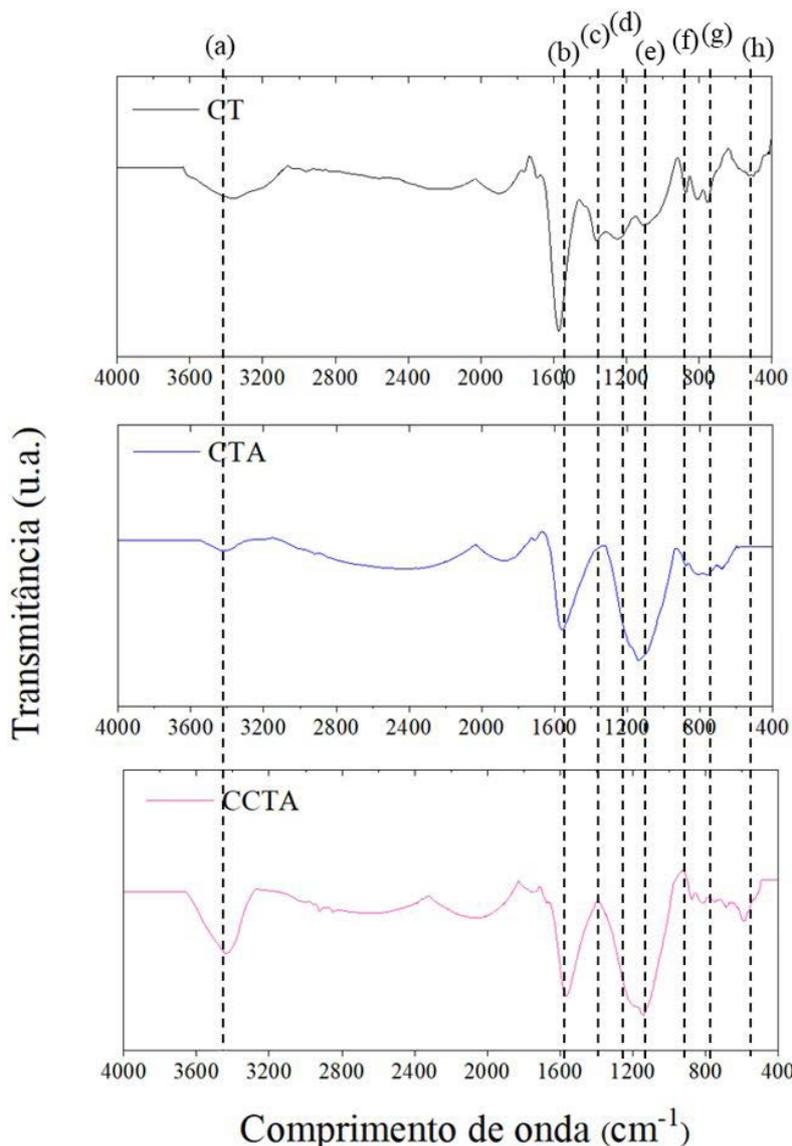
Figura 2 - Imagens da microscopia eletrônica de varredura (MEV) do CT (A), CTA (B), CCTA (C).



Fonte: fotografia do CCTA (D).

Os espectros de FTIR foram determinados para identificar os grupos funcionais presentes na superfície do CT, do CTA e do CCTA. A banda presente nos materiais em 3400 cm^{-1} (a) é atribuída ao grupo -OH com ligação do H-intermolecular (Yanan *et al.*, 2023). A banda em 1580 cm^{-1} (b) se refere ao estiramento C=O dos grupos carboxílicos como aldeídos e cetonas (Neto *et al.*, 2023). A banda em 1210 cm^{-1} (d) corresponde ao grupo C-O encontrado na lignina enquanto a banda em 1100 cm^{-1} (e), corresponde as vibrações de alongamento como CN ou CO (Bouzidi *et al.*, 2023).

Figura 3 - Espectro de FTIR do CT, CTA e CCTA.



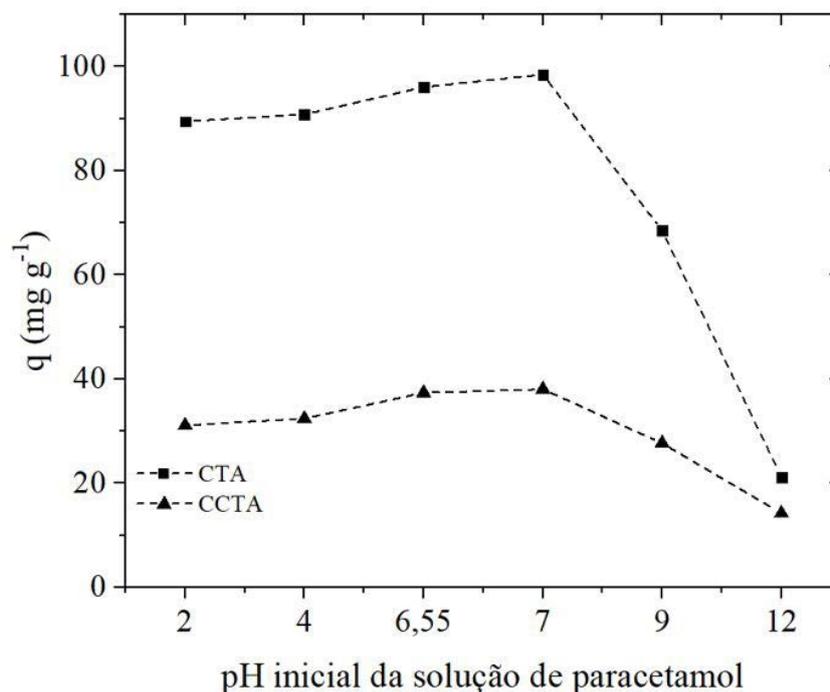
Fonte: adaptado pelo autor

Teste de adsorção modificando o pH da solução de paracetamol

O pH da solução é um dos parâmetros operacionais mais críticos que abrange o processo de adsorção, especialmente em termos de capacidade de adsorção, uma vez que o pH da solução não é meramente capaz de influenciar as cargas elétricas superficiais do adsorvente, mas pode causar ionização das moléculas de adsorbato (Spessato *et al.*, 2019). Na Figura 4 é mostrado o efeito do pH (2 a 12) na adsorção de paracetamol na superfície do CTA e do CCTA em condições de equilíbrio, bem como a distribuição das

espécies de paracetamol em função do pH inicial.

Figura 4 - Teste de adsorção modificando o pH da solução de paracetamol (100 mgL^{-1}).



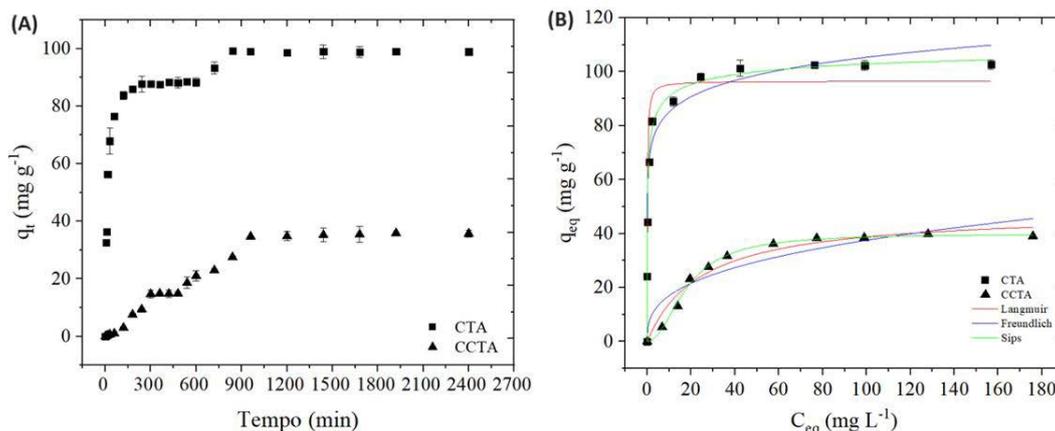
Fonte: adaptado pelo autor

Em relação aos dados experimentais mostrados na figura 4, percebe-se que houve um aumento gradativo na remoção tanto do paracetamol ao variar o pH inicial das soluções dos compostos de 2 para 7 e um declínio de 7 para 12. A maior capacidade de adsorção tanto do CTA quanto do CCTA ocorreu em pH 7 e o menor em pH 12. Além disso, foram realizados testes de adsorção sem modificar o pH inicial da solução de paracetamol (pH = 6,55) Ambos os adsorventes, apresentaram remoções semelhantes para pH 7, e a capacidade de adsorção pelo CTA e CCTA foi de $96,07$ e $37,37 \text{ mg g}^{-1}$, respectivamente. Portanto, os ensaios de adsorção foram realizados no pH natural da solução de adsorventes.

Cinética e isoterma de adsorção

Os dados experimentais de cinética de adsorção de paracetamol pelo CTA e CCTA são apresentados na Figura 5 (A). De acordo com a Figura 5 (A), foi possível observar que, inicialmente, nos primeiros 300 minutos, o paracetamol criou uma cobertura de monocamada na superfície tanto do CTA quanto do CCTA até que todos os sítios disponíveis fossem saturados. Com o passar do tempo, após os 900 min, pode-se observar um ponto de inflexão na cinética mostrando um comportamento do tipo S, este aumento na adsorção de paracetamol indica que o mecanismo muda para uma etapa de adsorção multicamada. Desta forma, o tempo de equilíbrio da monocamada foi de 300 min enquanto na multicamada foi de 1200 min para ambos os materiais.

Figura 5 - Dados de cinética de adsorção de paracetamol pelo CTA e CCTA (A).



Fonte: dados de isoterma de adsorção de paracetamol pelo CTA e CCTA (B).

As isothermas de adsorção para a remoção de paracetamol em soluções aquosas pelo CTA e CCTA com os respectivos ajustes teóricos, estão representadas na Figura 5 (B). De acordo com a Figura 5 (B) é possível observar que a máxima capacidade de adsorção de paracetamol pelo CTA e CCTA foi de 102,65 e 39,04 mg g⁻¹, respectivamente.

Os dados experimentais de equilíbrio de adsorção obtidos utilizando a solução de paracetamol foram ajustados aos modelos teóricos de Langmuir, Freundlich e Sips, e os parâmetros obtidos são apresentados na Tabela 1. Analisando os parâmetros apresentados na Tabela 1, o modelo de Sips foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais tanto do CTA quanto do CCTA. A isoterma de Sips é uma combinação das isothermas de Langmuir e Freundlich, que representam sistemas para os quais uma molécula adsorvida pode ocupar mais de um sítio de adsorção (Parus *et al.*, 2020).

Tabela 1 - Parâmetros de isoterma de adsorção do CCA.

Modelo	Parâmetros	Paracetamol	
		CTA	CCTA
Langmuir	q_{max} (mg g ⁻¹)	96,48	48,22
	k_L (L mg ⁻¹)	7,35	1,53
	R^2	0,913	0,966
Freundlich	k_F (mg g ⁻¹)/(L mg ⁻¹) ^{1/n}	68,73	7,71
	n	10,79	2,91
	R^2	0,934	0,878
Sips	q_{max} (mg g ⁻¹)	113,65	39,94
	K_S (L mg ⁻¹)	3,92	0,0594
	n	2,65	0,497
	R_2	0,952	0,996

Fonte: adaptado pelo autor

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na presente pesquisa foi avaliada a capacidade de adsorção do paracetamol por carvão ativado sintetizado a partir das cascas frutos de *Magonia pubescens*, conhecida por Tingui (CTA) e pelo compósito resultante da fixação do CAT em suporte polimérico (CCTA).

A cinética e a isoterma de adsorção foram obtidas por ensaios em batelada, seguindo as mesmas condições operacionais para ambos os materiais. Foi possível observar que a capacidade máxima de adsorção de paracetamol pelo CTA e CCTA foi de 102,65 e 39,04 mg g⁻¹, respectivamente, para uma solução inicial de 100 mg L⁻¹. Além disso, observou-se que a adsorção é maior com o pH da solução inicial próximo de 7. O modelo teórico que melhor caracteriza o processo é o modelo de Sips.

Quanto à cinética de adsorção, constatou-se que a mesma ocorre em múltiplas camadas, com o equilíbrio da primeira camada ocorrendo entre 300min e 900min e a segunda camada entre 900min e 1200min. Apesar da capacidade de adsorção relativamente menor do CCTA, pode-se concluir que a fixação do CTA em alginato de cálcio é promissora. No entanto, ensaios em leito fixo serão necessários para comprovar sua efetividade.

REFERÊNCIAS

- AMADOR, I. C. B. *et al.* **Application of Approximate Bayesian Computational technique to characterize the breakthrough of paracetamol adsorption in fixed bed column.** International Communications in Heat and Mass Transfer, v. 132, 1 mar. 2022.
- AYDIN, S. AYDIN, M.E., ULVI, A. **Monitoring the release of anti-inflammatory and analgesic pharmaceuticals in the receiving environment.** Environmental Science and Pollution Research, v. 26, n. 36, p. 36887-36902, dez. 2019.
- AYDIN, S. *et al.* **Effective removal of selected pharmaceuticals from sewerage treatment plant effluent using natural clay (Na-montmorillonite).** Applied Water Science, v. 13, n. 6, 1 jun. 2023.
- BOUZIDI, M. *et al.* **A comprehensive study on paracetamol and ibuprofen adsorption onto biomass-derived activated carbon through experimental and theoretical assessments.** Journal of Molecular Liquids, v. 376, p. 121457, 2023.
- BURSZTYN FUENTES, A. L. *et al.* **Paracetamol removal by Kon-Tiki kiln-derived biochar and activated carbons.** Industrial Crops and Products, v. 155, 1 nov. 2020.
- CARVALHO, H. W. P. *et al.* **Removal of metal ions from aqueous solution by chelating polymeric hydrogel.** Environmental Chemistry Letters, v. 8, n. 4, p. 343–348, dez. 2010a.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, v. 4, p. 527-534, 2010b.
- ARAÚJO, Thiago Peixoto de *et al.* **Acetaminophen removal by calcium alginate/activated hydrochar composite beads: Batch and fixed-bed studies.** International Journal of Biological Macromolecules, v. 203, p. 553-562, 2022.
- dos SANTOS, D. F. *et al.* **Novel activated carbon from Magonia pubescens bark: characterization and evaluation of adsorption efficiency.** Environmental Technology, p. 1-20, 2023.
- FERREIRA, R. C. *et al.* **Removal of Paracetamol and Cu²⁺ from Water by Using Porous Carbons Derived from Agrowastes.** Processes, v. 11, n. 7, 1 jul. 2023.

- JACOB, M. M. *et al.* **Adsorptive decontamination of organophosphate pesticide chlorpyrifos from aqueous systems using bagasse-derived biochar alginate beads: Thermodynamic, equilibrium, and kinetic studies.** *Chemical Engineering Research and Design*, v. 186, p. 241–251, 1 out. 2022.
- KHAN, N. A. *et al.* **A state-of-art-review on emerging contaminants: Environmental chemistry, health effect, and modern treatment methods.** *Chemosphere*, v. 344, 1 dez. 2023.
- KUMAR, R. *et al.* **A review on emerging water contaminants and the application of sustainable removal technologies.** *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, v. 6, 1 dez. 2022.
- LLADÓ, Jordi *et al.* **Role of activated carbon properties in atrazine and paracetamol adsorption equilibrium and kinetics.** *Process Safety and Environmental Protection*, v. 95, p. 51-59, 2015.
- MORIN-CRINI, N. *et al.* **Worldwide cases of water pollution by emerging contaminants: a review Worldwide cases of water pollution by emerging contaminants: a review Worldwide cases of water pollution by emerging contaminants: a review.** *Environmental Chemistry Letters*, 2022.
- NETO, A. L. S. *et al.* **Application of a biochar produced from malt bagasse as a residue of brewery industry in fixed-bed column adsorption of paracetamol.** *Chemical Engineering Research and Design*, v. 194, p. 779-786, 2023.
- OHADÉ LOPES BRANCO, F. *et al.* **Contaminantes Emergentes nas Bacias Hidrográficas Brasileiras e seus potenciais efeitos a espécies ameaçadas de extinção.** *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, n. 9, p. 140–174, 2021.
- OTHMAN, I. *et al.* **Adsorptive Removal of Methylene Blue from Water Using High-Performance Alginate-Based Beads.** *Water, Air, and Soil Pollution*, v. 231, n. 8, 1 ago. 2020.
- PARUS, A., GAJ, M., KARBOWSKA, B., & ZEMBRZUSKA, J. **Investigation of acetaminophen adsorption with a biosorbent as a purification method of aqueous solution.** *Chemistry and Ecology*, 36(7), 705-725, 2020.
- SPALTRO, A. *et al.* **Removal of paracetamol from aqueous solution by activated carbon and silica.** *Experimental and computational study. Journal of Contaminant Hydrology*, v. 236, 1 jan. 2021.
- SPESSATO, L. *et al.* **KOH-super activated carbon from biomass waste: Insights into the paracetamol adsorption mechanism and thermal regeneration cycles.** *Journal of Hazardous Materials*, v. 371, p. 499–505, 5 jun. 2019.
- SPESSATO, Lucas *et al.* **KOH-super activated carbon from biomass waste: Insights into the paracetamol adsorption mechanism and thermal regeneration cycles.** *Journal of hazardous materials*, v. 371, p. 499-505, 2019.
- TETTEH, I. K.; ISSAHAKU, I.; TETTEH, A. Y. **Recent advances in synthesis, characterization, and environmental applications of activated carbons and other carbon derivatives.** *Carbon Trends*. Elsevier Ltd, 1 mar. 2024.

ULLAH, N. *et al.* **Preparation and dye adsorption properties of activated carbon/clay/sodium alginate composite hydrogel membranes.** RSC Advances, v. 14, n. 1, p. 211–221, 2 jan. 2024.

YANAN, C. *et al.* **Adsorption of paracetamol and ketoprofenon activated charcoal prepared from the residue of the fruit of Butiacapitate:** Experiments and theoretical interpretations. Chemical Engineering Journal, v. 454, p. 139943, 2023.

Biopolímeros derivados do *Tall Oil*: sustentabilidade e versatilidade na indústria de materiais

Kelly Bossardi Dias
Ricardo Marques Barreiros

RESUMO

Em busca de alternativas sustentáveis na indústria de materiais tem impulsionado o desenvolvimento de biopolímeros, materiais de origem biológica que oferecem uma alternativa renovável e ambientalmente amigável aos polímeros tradicionais derivados de fontes não renováveis. O *tall oil*, subproduto da indústria de papel e celulose, surge como uma matéria-prima versátil para a produção de biopolímeros, apresentando características únicas e vantagens em relação aos polímeros convencionais. Estudos demonstram que os biopolímeros derivados do *Tall Oil* possuem propriedades mecânicas e térmicas específicas para diversas aplicações, desde embalagens sustentáveis até a medicina regenerativa. Além disso, sua biodegradabilidade e biocompatibilidade tornam-se ideais para uma variedade de setores industriais, contribuindo para a redução do impacto ambiental e a valorização de resíduos.

Palavras-chave: biopolímeros; *tall oil*; sustentabilidade

INTRODUÇÃO

A busca por alternativas sustentáveis na indústria de materiais tem impulsionado o desenvolvimento de biopolímeros, materiais de origem biológica que oferecem uma alternativa renovável e ambientalmente amigável aos polímeros tradicionais derivados de fontes não renováveis, como o petróleo. Nesse contexto, o aproveitamento dos subprodutos industriais, como o *tall oil*, emerge como uma estratégia promissora para a produção de biopolímeros, contribuindo para a redução do impacto ambiental e a valorização de resíduos.

Em geral os biopolímeros derivados do *tall oil* apresentam uma série de vantagens em relação aos polímeros convencionais. Em primeiro lugar, são renováveis, pois o *tall oil* é uma fonte sustentável derivada da indústria de papel e celulose, que já é amplamente estabelecida. Além disso, esses biopolímeros têm propriedades interessantes, como



biodegradabilidade e biocompatibilidade, tornando-os adequados para uma variedade de aplicações em diversos setores.

DESENVOLVIMENTO

O *Tall Oil Crude* (CTO), *Tall Oil* ou *Talol* ou óleo de resina é a denominação genérica dos produtos derivados do licor residual, malcheiroso, gomoso e negro. É encontrado e extraído do licor residual do cozimento Kraft, conhecido como “licor negro” (Vähöja *et al.*, 2005). É encontrado e extraído do licor residual do processo de cozimento Kraft de produção de papel e celulose, conhecido como “licor negro” e considerado um dos óleos naturais, de fonte renovável, mais baratos do mercado mundial, pois é um produto gerado industrialmente, não dependendo de intempéries climáticas e do solo, mas sim da produção de celulose e papel kraft (Hyvönen *et al.*, 2006).

O *Tall Oil* é produzido a partir de extrativos de ácidos graxos e resínicos, que são frações não voláteis. É normalmente recuperado do ciclo de recuperação do processo de polpação Kraft para beneficiar o processo de polpação. A presença de sabão de *tall oil* no licor negro aumenta a incrustação nos evaporadores do processo Kraft e diminui a transferência de calor nos evaporadores e a produção geral de celulose. Estudos também mostraram que a presença de sabão de *tall oil* no licor negro, particularmente a porção de ácido resínico, aumenta a toxicidade do efluente da fábrica. Além disso, a queima de sabão de óleo de resina na caldeira de recuperação do processo Kraft aumenta as emissões de enxofre, diminui a eficiência da caldeira e a taxa de incrustação da caldeira, além de causar problemas de controle. A carga de recaustificação no ciclo de recuperação Kraft também aumenta na presença de sabão de *tall oil*, o que reduz ainda mais a eficiência do processo Kraft (Aro e Fatehi, 2017).

Estudos revelam uma sinergia entre a obtenção de biopolímeros e preservativos para madeira que tem permitido não apenas a proteção contra a degradação causada por fungos, mas também a melhoria das propriedades mecânicas e estéticas do material. Um exemplo notável é a utilização do poliuretano-acrilato (PUA) sintetizado a partir do *tall oil* polimerizado *in situ* com di-hidroxi organo-montmorilonita (OMMT). Essa combinação tem mostrado resultados promissores, não apenas na preservação da madeira, mas também na sua restauração e proteção a longo prazo. O uso de OMMT permite a incorporação de características desejáveis ao polímero, aumentando sua eficácia como preservativo e reforçando suas propriedades mecânicas (Bansal *et al.*, 2024).

E ainda, biopolímero a partir do *tall oil* possui características únicas, como boa resistência mecânica, durabilidade e biodegradabilidade, tornando-o uma opção viável para uma variedade de aplicações na construção civil. Um dos usos mais interessantes desse biopolímero é como isolante em construções em madeira. A madeira é um material de construção renovável e de baixo impacto ambiental, mas sua eficiência energética pode ser comprometida se não for adequadamente isolada. Aqui é onde o biopolímero derivado do *tall oil* entra em cena, oferecendo uma solução *eco-friendly* para melhorar o desempenho térmico das estruturas em madeira. Estudos mostram que este biopolímero pode ser processado em uma variedade de formas, desde espumas até painéis rígidos,

com propriedades isolantes que rivalizam com os materiais sintéticos convencionais. Além disso, sua capacidade de adaptação às exigências estruturais e sua resistência à umidade o tornam ideal para aplicações em ambientes construtivos (Hosseini, *et al.*, 2016; Gonçalves *et al.*, 2019).

Carafa *et al.* (2023) verificaram a incorporação ou a misturados de materiais de biomassa lignocelulósica com polímeros como poliésteres, poliamidas, policarbonatos e poliuretanos, com aplicações em embalagens de alimentos, hidrogéis, eletrônicos flexíveis e impressão 3D e constataram que celulose, hemicelulose e lignina, que juntas constituem a lignocelulose, são escolhas adequadas para a criação de materiais de base biológica.

Portanto, o *tall oil*, um subproduto da indústria de celulose e papel, é uma fonte rica em ácidos graxos e resinas que podem ser utilizados na produção de biopolímeros. Estudos têm demonstrado que o *tall oil* pode ser polimerizado para formar polímeros biodegradáveis com propriedades mecânicas e térmicas adequadas para diversas aplicações. Além disso, o uso do *tall oil* como matéria-prima para biopolímeros contribui para a redução da dependência de fontes não renováveis e para a mitigação dos impactos ambientais associados à produção de polímeros sintéticos (Pomilovskis *et al.*, 2022).

O *tall oil* é uma fonte rica em ácidos graxos e resinas. Essa composição química torna o *tall oil* uma matéria-prima versátil para a produção de biopolímeros, como os poliuretanos e os poliésteres. Modificações químicas simples dos componentes principais do CTO, TOFA (ácidos graxos) e TOR (ácidos resínicos), podem ser usadas na produção de polímero. Além de sua aplicação direta na produção de biopolímeros, o *tall oil* pode ser utilizado como agente plastificante em diferentes polímeros, conferindo flexibilidade e resistência a esses materiais (Oinonen *et al.*, 2013).

Na indústria de poliuretano, a sustentabilidade emergiu como uma grande preocupação. Convencionalmente, os poliuretanos são produzidos a partir de dois componentes – A (poliol) e B (isocianato) – derivados de produtos petroquímicos. É dada especial atenção à síntese de polióis a partir de ácidos graxos biológicos, diglicerídeos e triglicerídeos. Esses biopolióis são adequados para a produção de poliuretanos como um método para tornar os poliuretanos mais sustentáveis. No entanto, o uso de isocianatos ainda permanece problemático, pois os isocianatos são considerados substâncias tóxicas em relação ao meio ambiente (Pomilovskis *et al.*, 2022). Então estudos mais aprofundados são necessários para obter poliuretanos sustentáveis e biodegradáveis e um dos extensos tópicos de pesquisa é o desenvolvimento de materiais de poliuretanos não isocianatos (NIPUs) como alternativa aos poliuretanos (Charar *et al.*, 2012).

Alguns autores objetivaram seus estudos em obter espuma de poliuretano a partir da mistura de óleos vegetais com resíduos industriais, ambos de segunda geração. Mostraram a possibilidade da utilização de *tall oil* com óleo de mamona (Gurgel *et al.*, 2021) e com óleo de colza (URAM *et al.*, 2021), e totalmente isentos de petróleo para produção de espuma de poliuretano e obtiveram resultados promissores.

Estudos mostraram que a fração TOR é uma boa alternativa na síntese ou modificação de materiais poliméricos, pois é considerado uma matéria-prima barata, potencialmente biodegradável, não tóxica e tem propriedades únicas que faltam à maioria

das outras biomassas naturais. Eles são uma classe de biomassa rica em hidrocarbonetos e podem conferir hidrofobicidade a qualquer polímero ligado. São compostos pela estrutura de hidrofenantreno e contêm dois centros quimicamente reativos na molécula – as ligações duplas carbono-carbono e o grupo carboxila. O volumoso grupo hidrofenantreno presente pode alterar significativamente as propriedades térmicas dos polímeros. E têm a propriedade de absorver luz UV na região de 200–400 nm. Portanto, é amplamente utilizado para melhorar as propriedades de absorção de luz UV dos polímeros (Zhang *et al.*, 2018 e Sawpan, 2018).

Conforme Vevere *et al.* (2020) os ácidos graxos do *tall oil* podem ser usados como o principal componente na produção de poliuretano. Vários métodos têm sido usados para sintetizar polióis. Os ácidos graxos do *tall oil* podem atingir mais de 25% em espumas de poliuretano prontas. Além disso, outra aplicação importante para ácidos graxos de *tall oil* é a produção de resinas alquídicas, onde eles são usados como fonte de extensores de cadeia. A adição de ácidos graxos de *tall oil* pode melhorar as propriedades mecânicas e térmicas de resinas alquídicas e também de poliuretanos. Já, os ácidos resínicos, presente no *tall oil*, têm sido utilizados principalmente como aditivos em materiais poliméricos. Os ácidos resínicos podem ser usados para melhorar as propriedades de biopolímeros como amido, celulose e caprolactonas, bem como resinas epóxi e borracha de silicone. A biocompatibilidade e as propriedades antimicrobianas são as propriedades mais importantes dos ácidos resínicos. Infelizmente, grandes quantidades de ácidos resínicos podem levar a um produto final mais quebradiço e menos flexível.

A lignina é um biopolímero complexo obtido e pode ser obtido a partir do *tall oil*, através do fracionamento e da purificação e é considerada uma alternativa sustentável aos polímeros sintéticos e à base de petróleo. No *tall oil* tem uma grande fração da lignina extraída da madeira durante o processo de polpação e esta lignina pode ser fracionada do *tall oil* e purificado para aplicações com maior valor agregado. E uma destas aplicações é produção e/ou incorporação de biopolímeros (Pomilovskis *et al.*, 2022).

Chahar *et al.* (2012) sintetizaram várias amostras de poliuretano a partir da lignina residual do licor negro. Os poliuretanos sintetizados apresentaram resultados promissoras nas diferentes propriedades analisadas como resistência ao cisalhamento, adesão e estabilidade térmica. Seguindo a mesma linha, Idvre *et al.* (2016) estudaram a síntese de novos polióis feitos de *tall oil* (TO) e poli (tereftalato de etileno) (PET) com diferentes relações molares TO/PET. As espumas rígidas de poliuretano baseadas nestes polióis sintetizados foram obtidos e caracterizados para avaliar a adequação dos polióis para o desenvolvimento de materiais leves com propriedades isolantes. Os resultados indicaram que certos polióis TO/PET podem ser usados com sucesso para preparação de espumas rígidas de poliuretano.

Pomilovskis *et al.* (2022) obtiveram os materiais poliméricos com sucesso a partir dos acetoacetatos de *Tall Oil* sintetizados e verificaram que os polímeros sintetizados a partir da lignina do *tall oil* têm qualidades comparáveis aos poliuretanos e são obtidos sem as desvantagens que acompanham as extrações de poliuretano, como o uso de isocianatos perigosos ou reações sob condições adversas no caso de poliuretanos não isocianatos. Os diversos estudos constataram que as formulações poliméricas desenvolvidas podem

ser adequadas para espumas poliméricas de dois componentes, revestimentos, resinas e matrizes compostas.

Uddin *et al.* (2019), relataram que das aplicações mais promissoras desses biopolímeros está no campo da embalagem sustentável. Com a crescente preocupação ambiental e a pressão por redução do uso de plásticos derivados de petróleo, os biopolímeros derivados do *tall oil* surgem como uma solução viável e eco consciente. Esses materiais podem ser utilizados na fabricação de embalagens para alimentos, cosméticos e produtos farmacêuticos, oferecendo não apenas a funcionalidade necessária, mas também a vantagem ambiental de serem facilmente degradáveis.

Além disso, os biopolímeros derivados do *tall oil* têm potencial para aplicações em áreas como a medicina e a engenharia de tecidos. Sua biocompatibilidade os torna adequados para uso em dispositivos médicos, implantes e até mesmo na fabricação de *scaffolds* para regeneração de tecidos. Com o desenvolvimento contínuo de técnicas de processamento e formulação, esses biopolímeros podem se tornar materiais essenciais em avanços futuros na medicina regenerativa e na bioengenharia. Outra área de aplicação interessante é a indústria de cosméticos e produtos de higiene pessoal. Os biopolímeros derivados do *tall oil* podem ser utilizados na formulação de produtos como cremes, loções e géis, oferecendo uma alternativa sustentável aos ingredientes convencionais derivados de petróleo. Sua biodegradabilidade e baixa toxicidade tornam esses biopolímeros especialmente atraentes para consumidores conscientes e empresas comprometidas com a sustentabilidade (Shettigar e Ho, 2020). Além disso, as espumas rígidas de PUR à base de óleo alto podem funcionar efetivamente como isolamento criogênico para a indústria aeroespacial (Uram *et al.*, 2021).

E ainda estudos desenvolvendo produtos para mistura asfáltica e na composição de tintas são áreas promissoras do uso de biopolímeros a partir do *tall oil*. O betume desempenha um papel crucial nas misturas asfálticas para construção de estradas, porém, enfrenta desafios como deformação permanente e fadiga, afetando a segurança rodoviária. Uma solução promissora envolve a utilização de modificadores de ligantes asfálticos, incluindo materiais biopoliméricos. Nesse contexto, o *tall oil*, um biopolímero não derivado de petróleo, se destaca como uma opção viável. A revisão abrange diversos aspectos dos biopolímeros, incluindo sua interação com o betume, produção de betumes e misturas modificadas, propriedades reológicas e físico-mecânicas, bem como a avaliação de sua sustentabilidade econômica e ambiental. A incorporação de biopolímeros como borracha natural e óleo natural nas misturas asfálticas apresentou melhorias notáveis no desempenho, incluindo aumento da resistência à fadiga e à fissuração térmica. Além disso, o asfalto modificado com biopolímeros tem o potencial de reduzir despesas anuais de manutenção e promover a construção de estradas sustentáveis (Luo *et al.*, 2024). Para avançar nesse campo, as pesquisas futuras devem focar na utilização de biopolímeros mais avançados e em mecanismos inovadores de otimização, voltando a misturar misturas asfálticas econômicas e ecologicamente corretas, sem comprometer seu desempenho. Outro estudo avaliou a utilização de resinas naturais modificadas como ligantes na produção de tintas termoplásticas para marcação rodoviária. O uso da resina de *tall oil* se destacou, proporcionando resultados superiores na produção dessas tintas, representando um avanço importante na produção sustentável de tintas termoplásticas para marcação

rodoviária (Yilmaz *et al.*, 2024).

O *tall oil*, como matéria-prima para a produção de biopolímeros, representa não apenas uma solução promissora para reduzir o impacto ambiental da indústria de materiais, mas também uma oportunidade para valorizar subprodutos industriais. Os inovadores esses biopolímeros, obtidos do *tall oil*, abrem caminho para uma ampla gama de aplicações em diversos setores, desde a construção civil até a medicina. Sua biodegradabilidade, biocompatibilidade e propriedades físico-mecânicas exigem os materiais ideais para aplicações que desbloqueiam sustentabilidade e desempenho. Os estudos destacam não apenas os benefícios técnicos desses biopolímeros, como também as previsões econômicas e ambientais de sua produção. A pesquisa contínua e o desenvolvimento de novas tecnologias são essenciais para explorar todo o potencial desses materiais e avanços avançados em direção a uma economia mais verde e sustentável

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os biopolímeros derivados do *Tall Oil* representam uma solução promissora para reduzir o impacto ambiental da indústria de materiais, ao mesmo tempo que oferecem oportunidades para valorizar subprodutos industriais. Com propriedades que vão desde a resistência mecânica até a biodegradabilidade, esses materiais têm aplicações potenciais em uma ampla gama de setores, impulsionando avanços em direção a uma economia mais verde e sustentável. O desenvolvimento contínuo de tecnologias e a pesquisa aprofundada são essenciais para explorar todo o potencial desses biopolímeros e alcançar uma maior integração na indústria global.

REFERÊNCIAS

ARO, T., FATEHI, P. **Tall oil production from black liquor: Challenges and opportunities.** *Separation and Purification Technology*, v. 175, p. 469-480, 2017.

BANSAL, R.; BARSHILIA, H. C.; PANDEY, K. K. Nanotechnology in wood science: Innovations and applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 262, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.130025>

CARAFÁ, R. N.; FOUCHER, D. A.; SACRIPANTE, G. G. Biobased polymers from lignocellulosic sources. **Green Chemistry Letters and Review**. v. 16, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17518253.2022.2153087>. Acesso em: 24 fev. 2024.

CHAHAR, S.; DASTIDAR, M. G.; CHOUDHARS, V.; SHARMA, D. K. Synthesis and characterisation of polyurethanes derived from waste black liquor lignina. **J. Adhesion Sci. Technol**, v. 18, n. 2, pp. 169 – 179, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1163/156856104772759386>. Acesso em 20 jan. 2024.

GONÇALVES, B., *et al.* Development of Sustainable Thermal Insulators from Biopolymers of Forest Origin. **Journal of Green Building Materials**, v. 6, n. 1, p. 32-45, 2019.

GURGEL, D.; BRESOLIN, D.; SAYER, C.; CARDOZO FILHO, L.; HERMES DE ARAÚJO, P. H. Espumas flexíveis de poliuretano produzidas a partir de resíduos industriais e óleo de mamona. **Ind Crops Prod**, v. 164, 2021.

- HOSSEINI, S. E.; WAHID, M. A.; GAN, S. Valorization of tall oil for sustainable renewable energy and materials. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 66, p. 555-570, 2016.
- HYVÖNEN, A.; PILTONEN, P.; NIINIMÄKI, J. Tall oil/water – emulsions as water repellents for scots pine sapwood. **Holz als Roh-und Werkstoff**, n. 64, p. 68-73, 2006.
- LUO, X., MUTTAGIN, F., ZHANG, Y. Investigating non-petroleum-based biodegradable polymers as eco-friendly and sustainable materials in asphalt modification: A review on
- OINONEN, P.; MIKKONEN, K. S.; TENKANEN, M.; BUCHERT, J.; LAINE, J. Effect of hot-water extractable fractions of tall oil and pectin containing model systems on mechanical and barrier properties of paper coatings. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 127, n. 2, p. 1042-1048, 2013.
- POMILOVSKIS, R.; MIERINA, I.; FRIDRIHSONE, A.; KIRPLUKS, M. Bio-Based Polymer Developments from Tall Oil Fatty Acids by Exploiting Michael Addition. **Polymers**, v.14, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/polym14194068>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- SHETTIGAR, N.; HO, S. L. Lignin-Based Materials for Biomedical Applications. **In: Handbook of Composites from Renewable Materials**, p. 391-414. Wiley, 2020.
- SAWPAN, M.A. Polyurethanes from vegetable oils and applications: A review. **J. Polym. Res.** v. 25, n. 184, 2018.
- VÄHÄOJA, P.; PILTONEN, P.; HYVÖNEN, A. NIINIMÄKI; JALONEN, J.; KUOKKANEN, T. Biodegradability studies of certain wood preservatives in groundwater as determined by the respirometric bod oxitop method. **Water, Air and Soil Pollution**, n. 165, p. 313-324, 2005.
- VEVERE, L.; FRIDRIHSONE, A.; KIRPLUKS, M.; CABULIS, U. A Review of Wood Biomass-Based Fatty Acids and Rosin Acids Use in Polymeric Materials. **Polymer**, v. 12, 2020.
- ZHANG, C.; WANG, H.; ZHOU, Q. Preparation and characterization of microcapsules based self-healing coatings containing epoxy ester as healing agent. **Prog. Org. Coat.** v. 125, p. 403–410, 2018.
- UDDIN, K. M. M.; KABIR, M. M.; KHAN, R. A.; ISLAM, M. S. Utilization of Tall Oil Fatty Acid for Synthesis of Biodegradable Polymer. **Polymer-Plastics Technology and Materials**, v. 58, n. 9, p. 974-982, 2019.
- URAM, K.; PROCIAK, A.; POMILOVCKS, R.; CABULIS, U. KIRPLUKS, M. Natural oil-based rigid polyurethane foam thermal insulation applicable at cryogenic temperatures. **Polymers**, v. 13, 2021.
- YILMAZ, B., DENIZ, I., FAZLI, H., BERKIRCAN, O., PRANOVICH, A. KARAOGUL, E. Sustainable Thermoplastic Road Marking Paint Production from Natural Modified Rosins. **BioResources**, v. 19, n. 2, 2024.

Baterias e sua usabilidade: conservação de uma alternativa sustentável para o futuro

Batteries and their usability: conservation of a sustainable alternative for the future

Cristian Gabriel Chaves de Moraes
Matheus Ribeiro Ramos
Michael Wallace Cunha Sanches Porto
Paulo Orestes Formigoni

Professor Dr. orientador

RESUMO

Nosso contexto social vigente fora moldado através da evolução tecnológica de diversas áreas, sendo a eletricidade um dos maiores precursores para tal desenvolvimento. No entanto, este avanço trouxe malefícios para o nosso planeta, pois cerca de 86% das emissões de dióxido de carbono (CO₂) no mundo provêm da queima de combustíveis fósseis para a produção de energia e materiais. Essas emissões são resultado do uso de carvão, petróleo e gás natural. Esses combustíveis liberam CO₂ na atmosfera, contribuindo para o aquecimento global e as mudanças climáticas. Em 2019, o dado mais recente, o mundo emitiu 36,4 bilhões de toneladas desse gás (Global Carbon Project). Para amenizarmos tais situações, a adoção de energias renováveis como a fotovoltaica e eólica tiveram um crescimento exponencial nas últimas décadas. A expansão da Energia Solar em 2023 entre janeiro e agosto de 2023, a capacidade instalada da matriz elétrica brasileira aumentou em 7 Gigawatts (GW), deste total, 6,2 GW provêm de fontes solar e eólica, este ano registrou o maior aumento na geração solar e o segundo maior incremento na energia eólica na série histórica. As fontes renováveis agora compreendem 83,79% de toda a matriz elétrica do Brasil, tornando-o uma referência internacional em energia limpa. Estados como a Califórnia adotaram baterias que desempenham um papel fundamental na rede elétrica, substituindo parcialmente os combustíveis fósseis a noite. Entre às 19h e 22h do dia 30 de abril de 2024 por exemplo, as baterias forneceram mais de um quinto da eletricidade da Califórnia e, por alguns minutos, produziram 7.046 megawatts (MW) de eletricidade, o equivalente à produção de sete grandes reatores nucleares. Em resumo, a maioria das baterias de rede usa tecnologia de íons de lítio, semelhante às baterias de smartphones ou carros elétricos. Como o setor de veículos elétricos se expandiu na última década, os cus-



tos das baterias caíram 80% tornando-as competitivas para o armazenamento de energia em larga escala. Os subsídios federais também estimularam o crescimento (John Phipps, diretor executivo de operações de rede da California Independent System Operator). O artigo abordará efetividade, vida útil, corrosão e condicionamento relacionado a baterias estacionárias.

Palavras-chave: eletricidade; energia; bateria.

ABSTRACT

Our current social context has been shaped through the technological evolution of various fields, with electricity being one of the major precursors to such development. However, this advancement has brought harms to our planet, as about 86% of carbon dioxide (CO₂) emissions in the world come from the burning of fossil fuels for energy and material production. These emissions result from the use of coal, oil, and natural gas. These fuels release CO₂ into the atmosphere, contributing to global warming and climate change. In 2019, the most recent data available, the world emitted 36.4 billion tons of this gas (Global Carbon Project). To mitigate such situations, the adoption of renewable energies such as solar and wind has seen exponential growth in recent decades. The expansion of Solar Energy in 2023 saw an increase in the installed capacity of the Brazilian electricity matrix by 7 gigawatts (GW) between January and August. Of this total, 6.2 GW come from solar and wind sources. This year recorded the highest increase in solar generation and the second-largest increase in wind energy in the historical series. Renewable sources now comprise 83.79% of Brazil's entire electricity matrix, making it an international reference in clean energy. States like California have adopted batteries that play a crucial role in electrical grid, partially replacing fossil fuels at night. Between 7 pm and 10 pm on April 30 for example, the batteries provided more than a fifth of California's electricity and, for a few minutes, produced 7,046 megawatts (MW) of electricity, equivalent to the output of seven large nuclear reactors. In summary, most grid batteries use lithium-ion technology, similar to smartphone or electric car batteries. As the electric vehicle sector has expanded in the last decade, battery costs have dropped by 80%, making them competitive for large-scale energy storage. Federal subsidies have also stimulated growth (John Phipps, executive director of network operations at the California Independent System Operator). The article will address effectiveness, lifespan, corrosion, conditioning, disposal, and financial return related to battery banks.

Keywords: eletricity; energy; battery.

INTRODUÇÃO

A energia solar é gerada através da radiação emitida pelo Sol que é fundamental para sustentar toda forma de vida na Terra. No núcleo solar, ocorre o processo de fusão nuclear, onde átomos de hidrogênio se combinam para formar átomos de hélio. Essa reação libera uma quantidade colossal de energia, resultando no Sol sendo essencialmente um gigantesco reator de fusão (Greenpro, 2004).

Um sistema fotovoltaico é uma tecnologia que transforma a energia da luz solar

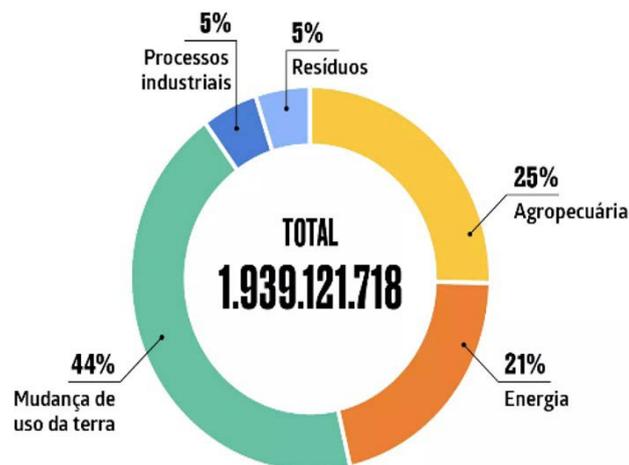
em eletricidade de corrente contínua, fazendo uso de semicondutores. Ao absorver a luz solar através de duas camadas de material semicondutor, os elétrons no material são estimulados a se mover, gerando assim, eletricidade. Esse tipo de sistema é comumente empregado em residências, estabelecimentos comerciais e indústrias como uma fonte de geração de eletricidade, contribuindo para a redução das despesas com energia elétrica (Villalva e Gazoli, 2012).

Todavia, pode ocorrer perda da vida útil da bateria no caso de má instalação e condicionamento das baterias. Os processos de corrosão e suas formas de prevenção ou proteção são cruciais para reduzir os custos e garantir a durabilidade e sustentabilidade de tecnologias e processos. Globalmente, os custos associados à corrosão ultrapassam os 3% do Produto Interno Bruto, conforme evidenciado por diversos estudos. Na indústria energética, assim como em qualquer outra, esse fenômeno é de extrema importância, especialmente nas energias renováveis onde estão sendo aplicadas tecnologias mais recentes, algumas ainda em fase inicial de implementação. Tanto nas tecnologias de conversão de energia, como solar (fotovoltaica e solar térmica) e eólica, quanto nas tecnologias de armazenamento (hidrogênio, baterias, entre outras), é fundamental avaliar com precisão e monitorar o comportamento dos materiais, selecionar os mais adequados e adotar medidas de proteção necessárias. Isso pode ajudar a evitar ou minimizar os custos decorrentes da degradação dos materiais e da falha de componentes e instalações.

Figura 1

EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO BRASIL EM 2018

(TCO₂E GWP)



Fonte: sistema de emissões de gases de efeito estufa do observatório do clima/Revista Galileu

REFERENCIAL TEÓRICO

Conservação de baterias

As falhas mais frequentes encontradas em projetos de sistemas fotovoltaicos, compiladas a partir de informações obtidas de diversas fontes, incluindo USAID (2013),

GSES (2016), Brooks e Dunlop (2016) e Vanbuggenhout *et al.* (2012).

Diversos fatores podem afetar a durabilidade de um banco de baterias fotovoltaicas: O uso excessivo, com frequente carga e descarga, pode desgastá-las mais rapidamente; Descarregá-las completamente com frequência também pode prejudicá-las; Temperaturas extremas, tanto altas quanto baixas, podem ter um impacto negativo no desempenho delas; Uma carga inadequada, seja excessiva ou insuficiente, pode deteriorá-las ao longo do tempo; A falta de manutenção regular, incluindo limpeza e substituição de componentes desgastados, também pode reduzir a sua vida útil; Componentes de baixa qualidade ou incompatíveis podem causar problemas operacionais, juntamente com ambientes corrosivos; Um sistema fotovoltaico mal projetado pode levar a problemas que prejudicam as baterias ao longo do tempo.

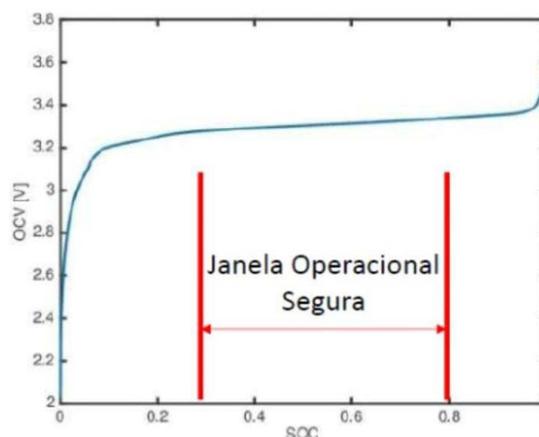
Manutenção em bancos de baterias

De acordo com Oliveira (2019), manutenção refere-se à realização de diversas atividades com o propósito de preservar ou recuperar um item, garantindo que este esteja em condições adequadas para desempenhar sua função necessária. Isso implica que múltiplas pessoas colaboram no processo de manutenção de equipamentos, visando garantir seu funcionamento ideal e prevenir falhas ou mau funcionamento.

A manutenção de bancos de baterias é essencial para garantir seu funcionamento eficiente e prolongar sua vida útil. Isso envolve uma série de práticas, incluindo monitoramento regular do estado de carga, temperatura e tensão das baterias, além de inspeções para garantir a limpeza dos terminais e a ausência de corrosão. É importante também verificar periodicamente o nível de água em baterias inundadas e realizar equalizações para garantir a carga uniforme das células. Testes de capacidade são realizados para avaliar a saúde das baterias, e qualquer bateria defeituosa deve ser substituída imediatamente. Manter registros detalhados de todas as atividades de manutenção é essencial para rastrear o desempenho ao longo do tempo. Essas práticas garantem que os bancos de baterias fotovoltaicas operem de forma confiável e eficiente, maximizando seu potencial de armazenamento de energia.

Para as baterias de íons de lítio com ânodo de grafite, a faixa operacional segura para o SOC será entre 30% e 80%, conforme ilustrado na Figura. Isso significa que, para tais baterias, a capacidade útil ficará limitada a cerca de 50% de sua capacidade total. Seguindo a convenção para uma faixa operacional segura, considera-se que 30% indicam bateria vazia e 80% indicam bateria cheia.

Figura 2



Fonte: Vicente, A. 2019.

Degradação

A sulfatação é um fenômeno que ocorre em baterias que ficam descarregadas por períodos prolongados ou são recarregadas de forma inadequada, resultando na perda irreversível de material ativo devido à recristalização dos cristais de PbSO_4 formados durante a descarga. Esses cristais se convertem em cristais maiores, que são difíceis de reverter durante a recarga subsequente. Isso leva ao aumento da resistência interna da bateria, maior geração de calor e redução de sua capacidade.

Degradação das placas

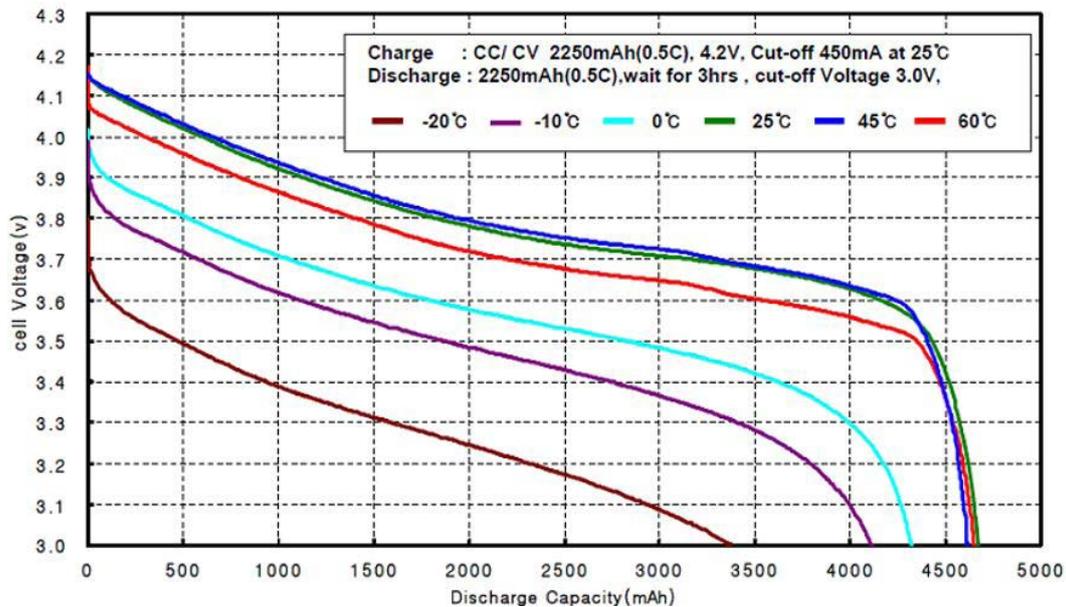
A repetição dos ciclos de carga e descarga causa uma expansão e contração contínuas dos materiais formados nas placas positivas, devido à conversão de PbO_2 (Dióxido de chumbo) em PbSO_4 (Sulfato de Chumbo) e vice-versa. Isso resulta em uma série de tensões mecânicas que reduzem a adesão do material ativo à grade e podem levar ao seu desprendimento. Esse efeito é mais pronunciado em profundidades de descarga diárias maiores e intensidades de corrente mais altas. Além disso, a corrosão estrutural da grade positiva também pode provocar o desprendimento do material, mas está associada a sobrecargas excessivas e aumento de temperatura.

O material que se acumula no fundo da bateria aumenta o risco de curtos-circuitos entre as placas. O tipo de placas e a liga da grade podem ter um impacto significativo nesses mecanismos. Ligas de PbSb (Antimoniato de chumbo) tendem a promover a aderência do material ativo e aumentar a resistência à ciclagem, porém podem aumentar a gaseificação e a perda de água, o que fortalece a corrosão. Por outro lado, ligas de PbCa (Chumbo Cálcio) resultam em efeitos opostos, reduzindo a perda de água, mas não resistindo a ciclos profundos e repetidos, sendo mais sensíveis à corrosão em condições de baixa carga.

Temperatura

A capacidade das baterias diminui conforme a temperatura diminui, já que a resistividade do eletrólito aumenta consideravelmente, reduzindo a velocidade dos processos de difusão iônica. Uma solução adotada para sistemas instalados em regiões com baixas temperaturas é utilizar ácido mais concentrado nas baterias. Por outro lado, a operação em altas temperaturas pode causar danos irreversíveis à bateria devido à corrosão. A temperatura de operação pode intensificar os processos de envelhecimento da bateria, sendo necessário protegê-la das condições ambientais, armazenando-a adequadamente para garantir seu funcionamento.

Figura 3



Fonte: curvas de descarga de baterias de lítio ferro fosfato em condições ideais – KUANTICA HYBRID SOLAR TECHNOLOGIES

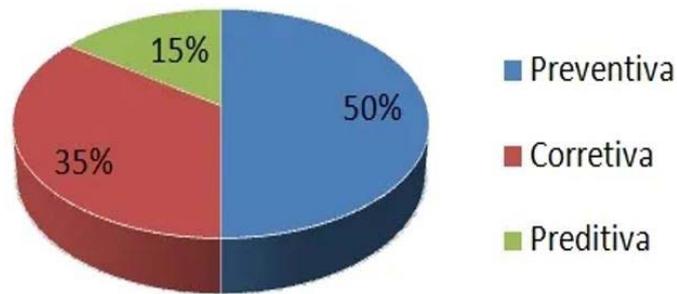
Manutenção preditiva

O monitoramento em bancos de baterias é feito utilizando uma variedade de métodos e dispositivos especializados. Cada célula ou módulo da bateria é equipado com dispositivos de medição de tensão e corrente, permitindo que os operadores acompanhem o estado operacional de cada componente durante o carregamento e descarregamento. Além disso, sistemas de gerenciamento de bateria (BMS) são implementados para coletar dados de tensão, corrente e temperatura das células e realizar funções como balanceamento de carga e proteção contra sobrecarga e descarga excessiva.

Sensores de temperatura são instalados para monitorar e controlar a temperatura das células durante a operação, garantindo que elas não superaqueçam, o que pode ser prejudicial para o desempenho e a vida útil das baterias. Além disso, a medição regular da resistência interna das células é realizada para identificar possíveis problemas antes que causem falhas no banco de baterias como um todo.

Muitos bancos de baterias também são equipados com sistemas de monitoramento remoto, permitindo que os operadores acessem e analisem dados em tempo real de qualquer localização. Isso é especialmente útil para bancos de baterias instalados em locais remotos ou de difícil acesso. Em resumo, o monitoramento em bancos de baterias é essencial para garantir um desempenho confiável e prolongar a vida útil das baterias, permitindo que os operadores tomem medidas proativas para evitar falhas e maximizar a eficiência do sistema de armazenamento de energia.

Figura 4
Distribuição dos Serviços da Manutenção



Fonte: Gestãoindustrial.com

Como determinar a bateria ideal

A confiabilidade de um sistema de energia solar não se resume apenas à variação da radiação solar, mas também à possível falha de seus componentes. Para entender e otimizar o comportamento desse sistema e a relação entre seus componentes, é crucial realizar simulações. Essas simulações ajudam a identificar situações que podem levar a falhas no sistema, incluindo o envelhecimento precoce da bateria.

Esses modelos são combinados em algoritmos computacionais que descrevem como os componentes interagem durante a operação do sistema, resultando em pontos de operação que determinam a corrente fornecida pelo gerador em cada momento e o balanço energético ao longo do tempo. No caso das baterias, é importante analisar como o dimensionamento para diferentes capacidades do acumulador e do gerador, juntamente com a especificação do sistema de controle, influenciam nos mecanismos de envelhecimento e no perfil de consumo diário (Moura e Copetti, 1995).

Apenas utilizar o fluxo de energia através da bateria para prever a evolução de seu estado de carga durante a simulação não é suficiente. Alguns modelos recentes baseiam-se em aspectos físico-químicos e experimentos controlados, como Gu *et al.* (1997).

Os resultados desses estudos mostram como a especificação do regulador, em conjunto com o dimensionamento, impacta na eficiência de armazenamento e na vida útil das baterias. Além disso, foram desenvolvidos modelos de custos do sistema, relacionando o tamanho do gerador e do acumulador com as operações de manutenção e trocas da bateria ao longo de sua vida útil, considerando os aspectos de degradação da mesma (Chenlo e Copetti, 1994).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

É evidente que a confiabilidade e a sustentabilidade dos projetos são grandemente comprometidas quando ocorrem falhas no sistema, sendo a bateria uma das principais responsáveis por isso. Portanto, investir mais no estudo desse componente, compreendendo seus diferentes tipos e funcionamentos e analisando seu comportamento por meio de

simulações para dimensioná-lo de forma adequada é indispensável.

Muitas vezes, a opção é pela tecnologia mais barata sem considerar sua compatibilidade com o sistema, o que resulta em um custo anual muito mais elevado. Muito pode ser melhorado ao investir neste componente, bem como nos controladores de carga e na implementação de estratégias de controle adequadas. A instalação e um sistema fotovoltaico é visado pelo retorno financeiro a longo prazo, entretanto, o preço médio de um banco de baterias pode variar entre R\$4.000,00 a R\$60.000,00, sendo de enorme relevância a escolha consciente do banco de baterias pois o descarte desenfreado das mesmas possui um impacto significativo ao ambiente com a contaminação do solo, água e ar, colaborando negativamente para a degradação do meio ambiente.

Figura 5

Parâmetros	Tecnologia		
	Lítio	Chumbo	Baterias de fluxo
Tempo de descarga	Até 4 horas	Flexível, pode ser otimizado para até 20 horas	4-10 horas
Vida útil em ciclos	2.000-8.000	200-800	10.000-15.000
Densidade energética	Alta	Baixa	Média
Toxicidade	Média	Elevada	Depende dos componentes: pode chegar a muito elevada
Segurança	Baixa-média	Média	Não inflamável, mais sujeita a vazamentos

Fonte:Greener (2001)

REFERÊNCIAS

Copetti, J.B., Chenlo, F., Lorenzo, E., **Role of battery model in PV simulation and sizing programmes**. 1994.

Moura, J.F.C. e Copetti, J.B., **Caracterização de baterias automotivas para uso solar fotovoltaico**, XIII. 1995.

T.C. Diamantino, R. Gonçalves, S. Páscoa, I.N. Alves, M.J. Carvalho, **Accelerated aging tests to selective solar absorber coatings for low temperature applications**, Sol. Energy Mater. Sol. Cells 232 (2021) 111320,

Autoconsumo Industrial, smart grid con energías renovables. (kuantica-hst.com)

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2014.

TELES, Jhonata. **Gestão de parada de Manutenção**. 1º edição. Brasília: Engeteles,2017.

TIMOTHEO, G. **Apostila manutenção industrial**. Juiz de fora, 2014.

BRADA, M. **O que são as baterias de nióbio?** Canal Solar, 2022. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/o-que-sao-as-baterias-de-niobio/>>. Acesso em: 12 mai. 2024.

Valente, L.C.G. *et al.*, 1994, **PV rural electrification pilot project in the Northeast of Brazil**. 12th European Photovoltaic Solar Energy Conference, p. 2008-2011

L. Maria, R. Oliveira, G. H. F. Floriano. **Análise da viabilidade técnica e econômica das baterias Lítio-Ar.** Santa Rita do Sapucaí, MG: Inatel, 2013

BASTOS, Renan Fernandes. **Sistema de gerenciamento para carga e descarga de baterias (chumbo-ácido) e para busca do ponto de potência máxima gerada em painéis fotovoltaicos usados em sistemas de geração distribuída**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

2BAGOTSKY, Vladimir S.; SKUDIN, Alexander M.; VOLFKOVIC, Yuriy M. Geração **Distribuída**. **Dissertação** (Dissertação de Mestrado) — Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil, 2013.

Electrochemical Power Sources: Batteries, Fuel Cells and Supercapacitors. New Jersey: Wiley, 2015.

SHAFIEI, N. **Burst mode elimination in high-power LLC resonant battery charger for electric vehicles**. IEEE Trans. on Power Electronics, v. 31, p. 15, 2016.

COTERELL, Martin; THOMAS, Griff. **Guide to the Installation of Photovoltaic Systems**. Microgeneration Certification Scheme – MCS. Electrical Contractor's Association - ECA. London-UK. 2012, 124p.

GREENPRO. **Energia Fotovoltaica** - Manual sobre Tecnologias, projecto e instalação. Programa ALTENER. União Europeia. 2004, 368p.

GSES – **Global Sustainable Energy Solutions India**. Installation, Operation & Maintenance of Solar PV Microgrid Systems – Handbook for Trainers. First Edition. ISBN: 978-81-931645-2-5. 2016, 165p.

AGRADECIMENTOS

Cristian Gabriel Chaves de Moraes

Agradeço a primeiramente a Deus pela oportunidade e capacidade de evoluir academicamente por intermédio da instituição Fatec Perfeito Hirant Sanazar e a minha família, especialmente minha mãe Carla e a minha noiva Andressa pelo apoio incondicional e nesta jornada.

Matheus Ramos Ribeiro

Agradecer a Deus e a minha família, em especial meu filho que nascerá e a todos que me ajudaram nessa jornada de evolução.

Michael Wallace Cunha Sanches Porto

Agradeço a Deus e a minha família e a minha esposa Thais Porto pelo suporte e apoio nessa etapa acadêmica da minha vida.

Organizador

Jean Carlos Rodrigues

Engenheiro Industrial Mecânico pelo CEFET-MG, Físico licenciado pela UFMG, Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela UFMG e Doutorando em Engenharia Mecânica pela PUC. Além de especialista em metodologias ativas e tecnologias educacionais. Possui 14 anos de experiência na área educacional atuando como professor e coordenador no ensino superior.

Índice Remissivo

A

ácidos graxos 33, 34, 35
adsorção 9, 10, 11, 12, 16, 17
adsorvatos 22
adsorventes 9, 10, 16, 20, 22, 24, 27
alginato de cálcio 20, 29
alternativas sustentáveis 32
aplicações 32, 33, 34, 35, 36, 37
armazenamento de energia 39, 42, 44

B

bancos de baterias 42, 44
bateria 40, 41, 42, 43, 44, 45
baterias fotovoltaicas 41, 42
biocompatibilidade 22, 32, 33, 35, 36, 37
biodegradabilidade 9, 20, 22
biomassa 10, 11, 13, 14, 15, 16
biopolímeros 32, 33, 34, 35, 36, 37

C

capacidade de adsorção 12, 16, 17, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29
carbonização 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 22
carvão hidrotérmico 12, 16
carvões ativados 9, 16, 17, 22
composição química 34
composto 10, 22
contaminantes emergentes 9, 10, 11, 12, 16, 17
conversão de energia 41

D

desenvolvimento 32, 34, 35, 36, 37, 39

E

eletricidade 39, 40, 41

energia 10, 39, 40, 41, 42, 44, 45
energias renováveis 39, 41
estratégia 32
evolução tecnológica 39

F

fármacos 9, 16
fonte renovável 33
fonte sustentável 32

G

gerenciamento ineficaz 9

H

hidrocarbonização 9, 10, 12
hidrocarvão 9, 10, 11

I

impacto ambiental 32, 33, 37
indústria 10, 32, 34, 36, 37

M

manutenção 36, 42, 45, 46
materiais 9, 10, 11, 20, 22, 26, 27, 29, 32, 34, 35, 36, 37
materiais adsorventes 9, 10
matéria orgânica 10
matéria-prima 23, 32, 34, 37
monitoramento 42, 44

P

polímeros 32, 34, 35
polióis 34, 35
poluentes orgânicos 9, 10
preocupação ambiental 36
processo 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16
produção 10, 22, 23, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39
propriedades 16, 22, 25, 32, 33, 34, 35, 36, 37

S

síntese 9, 11, 17, 23, 34, 35
sistema 5, 10, 24, 25, 40, 41, 42, 44, 45, 46
solução 12, 17, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 33, 36, 37, 43
solvente 10
solvocarbonização 9, 10
suporte polimérico 20, 22, 28
sustentabilidade 32, 34, 36, 37

T

tall oil 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38
técnicas de processamento 36
tecnologia 39, 40, 46




AYA EDITORA
2024

