

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

HENRIQUE SANTANA DE OLIVEIRA

**REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE A APLICAÇÃO DA ADSORÇÃO E CATÁLISE
EM ENGENHARIA QUÍMICA**

FRANCISCO BELTRÃO

2025

HENRIQUE SANTANA DE OLIVEIRA

**REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE A APLICAÇÃO DA ADSORÇÃO E CATÁLISE
EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**A SYSTEMATIC REVIEW ON THE APPLICATION OF ADSORPTION AND
CATALYSIS IN CHEMICAL ENGINEERING.**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Thalita Grando Rauen

Coorientador: Vilmar Steffen

FRANCISCO BELTRÃO

2025



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

HENRIQUE SANTANA DE OLIVEIRA

**REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE A APLICAÇÃO DA ADSORÇÃO E CATÁLISE
EM ENGENHARIA QUÍMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Química, da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 05 de Dezembro de 2025

Thalita Grando Rauen
Doutora em Físico-Química
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Vilmar Steffen
Doutor em Engenharia Química
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Suzan Roberta Tombini Venturella
Mestre em Engenharia Ambiental
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

FRANCISCO BELTRÃO

2025

Dedico este trabalho à minha família, amigos e
professores.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de iniciar esta sessão agradecendo primeiramente a Deus, que me proporcionou a oportunidade de estar aqui fazendo meu trabalho.

Agradeço aos meus orientadores Prof. Dr. Vilmar Steffen e a Prof^ª. Dr. Thalita Grandó Rauen que me acolheram nessa etapa da minha formação compartilhando seus conhecimentos e me educando com a paciência necessária para atingir os objetivos.

Aos meus pais Silvanil e Aurita e meus irmãos Lucas e Ricardo que me apoiaram moralmente com palavras de apoio em momentos difíceis, financeiramente e espiritualmente para nunca perder a fé em Deus e em mim.

A minha namorada Larissa pelos momentos vividos juntos nessa jornada até aqui.

Aos meus professores durante todo o curso que ajudaram a moldar o profissional que sou hoje.

Quero agradecer também a mim que batalhei e enfrentei todas as dificuldades impostas e venci.

Enfim, a todos os que de alguma forma contribuíram para a realização desta etapa.

RESUMO

A partir da grande revolução industrial muitos problemas foram resolvidos, porém outros como a poluição cresceram de maneira proporcional e com isso a demanda de tecnologias eficientes e sustentáveis para diminuir os impactos ambientais se mostra necessária. Este trabalho se justifica com a finalidade de identificar na literatura como a aplicação de tratamento de poluentes orgânicos e inorgânicos presentes na água, ar e efluentes industriais pode ser melhor. Este estudo visa identificar tendências, lacunas e oportunidades de pesquisa, com foco nos materiais de adsorventes e catalisadores associados aos modelos de isotermas como solução para a problemática. Por meio da revisão bibliográfica a metodologia aplicada baseou-se no método NIRP (Índice Normalizado para Classificação de Artigos, do inglês *Normalized Index for Ranking Papers*), que é composto por etapas estruturadas que envolveram a definição de palavras-chave, seleção das bases de dados, filtragem por critérios de idioma, acesso, tipo de documento e período, o que se traduziu na criação de um portfólio final de 166 artigos analisados bibliométrica e sistematicamente. Os resultados mostraram aumento recente do interesse acadêmico pelo tema e ampla participação de diferentes países, com destaque para avanços em materiais porosos, semicondutores modificados, compósitos híbridos e sistemas sustentáveis derivados de resíduos industriais ou biomassa com foco em Green Science. A análise sistemática mostrou que a maioria das aplicações foi em degradação ambiental, seguido por síntese de produtos químicos, processos de oxidação e redução e isomerização. De maneira geral, se observou que a combinação de adsorção e catálise gera efeitos sinérgicos, além de promover rotas mais limpas e seletivas em sínteses químicas. Conclui-se que, embora haja avanços significativos, a necessidade de materiais de baixo custo, rotas de síntese sustentáveis e estudos que integrem desempenho laboratorial a cenários reais e com matrizes complexas são ainda uma demanda. Por fim o método de revisão aplicado se mostrou uma ferramenta eficiente para organizar e comparar criticamente a produção científica, gerando pontos de interesse para melhorias futuras no que diz respeito a pesquisa em tecnologias ambientais e processos catalíticos.

Palavras-chave: Degradação Ambiental; Isotermas; Revisão Sistemática.

ABSTRACT

Since the great industrial revolution, many problems have been solved, but others, such as pollution, have grown proportionally, making the demand for efficient and sustainable technologies to reduce environmental impacts necessary. This work is justified by the purpose of identifying in the literature how the application of treatment for organic and inorganic pollutants present in water, air, and industrial effluents can be improved. This study aims to identify trends, gaps, and research opportunities, focusing on adsorbent and catalyst materials associated with isotherm models as a solution to the problem. Through a literature review, the methodology applied was based on the NIRP (Normalized Index for Ranking Papers) method, which consists of structured steps involving the definition of keywords, selection of databases, filtering by language, access, document type, and period criteria, resulting in the creation of a final portfolio of 166 articles analyzed bibliometrically and systematically. The results showed a recent increase in academic interest in the topic and broad participation from different countries, highlighting advances in porous materials, modified semiconductors, hybrid composites, and sustainable systems derived from industrial waste or biomass with a focus on Green Science. The systematic analysis showed that most applications were in environmental degradation, followed by chemical synthesis, oxidation and reduction processes, and isomerization. In general, it was observed that the combination of adsorption and catalysis generates synergistic effects, in addition to promoting cleaner and more selective routes in chemical syntheses. It is concluded that, although there are significant advances, the need for low-cost materials, sustainable synthesis routes, and studies that integrate laboratory performance with real-world scenarios and complex matrices is still a demand. Finally, the applied review method proved to be an efficient tool for organizing and critically comparing scientific production, generating points of interest for future improvements regarding research in environmental technologies and catalytic processes.

Keywords: Environmental Degradation; Isotherms; Systematic Review.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - FTIR de quitosana	18
Figura 2 - Micrografias das amostras de Al ₂ O ₃ com as diferentes adições de PE	19
Figura 3 - COF.....	22
Figura 4 - Fluxograma do passo a passo do método NIRP	29
Figura 5 - Número de artigos por ano	36
Figura 6 - Número de artigos x números de autores por artigo.....	37
Figura 7 - Número médio de autores por artigos por ano	37
Figura 8 - Número de artigos por periódicos.....	38
Figura 9 - Número de citações x periódicos	38
Figura 10 - Número médio de citações x periódicos.....	39
Figura 11 - Número de artigos por país.....	40
Figura 12 - Número de citações por país	40
Figura 13 - Número médio de citações por país.....	41
Figura 14 - Palavras-chave	42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo geral.....	13
2.2 Objetivos específicos.....	13
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
3.1 Caracterização dos adsorventes.....	15
3.1.1 Área superficial.....	15
3.1.2 Sítios Ativos.....	16
3.1.3 Poros	16
3.1.4 Afinidade e seletividade.....	17
3.1.5 Estabilidade	18
3.1.6 Morfologia.....	18
3.2 Isotermas.....	19
3.3 Fontes de adsorventes e aplicações na engenharia química.....	20
3.4 Catálise, tipos e aplicações na engenharia química	22
3.4.1 Catálise Homogênea	23
3.4.2 Catálise Heterogênea	24
3.4.3 Catálise Enzimática	24
3.4.4 Fotocatálise	25
3.4.5 Eletrocatalise	25
3.4.6 Catálise por transferência de fase	26
3.5 Cienciometria.....	26
4 METODOLOGIA	32
4.1 Método NIRP	32
4.2 Uso de inteligência artificial	33
4.3 Portfólio.....	34
5 RESULTADOS.....	35
5.1 Análise Bibliométrica	35
5.2 Análise sistemática	42
5.2.1 Degradação Ambiental.....	42
5.2.2 Síntese de Produtos Químicos	45
5.2.3 Oxidação e Redução	47
5.2.4 Isomerização	50

6 CONCLUSÃO	51
REFERÊNCIAS	53
ANEXO A - Objetivos e resultados dos artigos do portfólio.....	75
ANEXO B - Portifólio	103

1 INTRODUÇÃO

Após anos de desenvolvimento industrial com inúmeras revoluções, muitos dos problemas antigos como transporte, alimentação e poder de processamento computacional, vão se tornando questões do passado. Em outras palavras uma pessoa comum nos dias de hoje tem acesso rápido a produtos vindos de lugares distantes. Como afirma Harari (2015), o acesso à energia barata durante a Revolução Industrial possibilitou a construção de ferrovias e navios a vapor, o que permitiu o transporte mais rápido de tropas e mercadorias. Já a revolução agrícola por sua vez proporcionou a produção de alimentos em larga escala superando e muito a disponibilidade que existia na época dos caçadores-coletores. Com o poder computacional atual avançando grandes feitos ainda podem ser alcançados para o bem do ser humano com custos relativamente baixos.

Entretanto, apesar das melhorias, outros problemas surgem. Como ressaltado por Harari (2015, p. 95): “A Revolução Agrícola aumentou a soma total de comida à disposição da humanidade, mas a abundância de comida não se traduziu em uma dieta melhor ou em mais lazer.” Além disso, a poluição causada pelas indústrias atinge níveis cada vez mais altos, colocando em risco tanto a vida quanto a qualidade de vida humana.

Com o aumento da industrialização, grandes quantidades de resíduos sólidos, líquidos e gasosos são liberados diariamente no meio ambiente. Esses poluentes incluem, mas não se limitam a metais pesados, compostos tóxicos, partículas em suspensão e gases como dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x) e dióxido de carbono (CO_2), que contribuem diretamente para o aquecimento global, a chuva ácida e problemas respiratórios nas populações urbanas (Organização Mundial da Saúde, 2018). A introdução contínua de poluentes como efluentes industriais em rios e lençóis freáticos compromete o abastecimento de água potável além de alterar ecossistemas inteiros. Assim, o ar poluído nas grandes cidades tem sido associado ao aumento de doenças cardiovasculares e pulmonares ainda segundo Manahan (2011) favorece processos de bioacumulação e biomagnificação, elevando os riscos ao longo da cadeia alimentar. .

Outro agravante é que, em muitos países, a fiscalização ambiental é falha, insuficiente ou inexistente o que permite que empresas operem sem o controle

necessário sobre a emissão de poluentes. Isso contribui para a piora dos impactos ambientais e sociais da industrialização (Blackman; Li; Liu, 2018).

Para combater esses problemas, diversas tecnologias e estratégias foram desenvolvidas. Um exemplo é a técnica da adsorção, que consiste na fixação de poluentes na superfície de um material adsorvente, graças as forças moleculares sejam elas por interações físicas (forças de Van der Waals) ou químicas (ligações mais fortes, como covalentes). Essa técnica é amplamente utilizada no tratamento de águas contaminadas e no controle da qualidade do ar, devido à sua eficiência, baixo custo e aplicação em diferentes contextos. A eficiência da adsorção depende fortemente do tipo de material utilizado, sendo o carvão ativado e as argilas modificadas exemplos de adsorventes estudados e aplicados (Khan *et al.*, 2023).

Além da adsorção, outra linha de atuação importante para mitigar a poluição é a catálise. Catalisadores são substâncias capazes de acelerar reações químicas sem serem consumidas no processo, permitindo a transformação de poluentes em compostos menos tóxicos ou inofensivos. Essa abordagem é empregada em diferentes áreas, como no tratamento de gases de veículos por meio dos catalisadores automotivos, que convertem monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (NO_x) em gases menos nocivos, ou ainda em processos industriais que buscam minimizar subprodutos indesejados (Qian *et al.*, 2025).

Ao relacionar esses dois processos da adsorção e da catálise a atuação complementar se torna muito eficiente. Essa atuação conjunta abre caminho para o desenvolvimento de sistemas capazes não apenas de remover, mas também de eliminar de maneira mais definitiva contaminantes presentes no ar e na água.

Com a crescente demanda por tecnologias sustentáveis e eficientes para o controle da poluição ambiental, muito ainda precisa ser desenvolvido para que os processos de adsorção sejam otimizados. A busca por novos materiais, mais baratos, abundantes e de alto desempenho continua sendo um desafio. Apesar da grande quantidade de estudos existentes, muitos deles apresentam direcionamentos diversos, técnicas diferentes e resultados que dificultam as comparações diretas.

Nesse contexto, será apresentada uma revisão sistemática da literatura baseada no método NIRP (Índice Normalizado para Classificação de Artigos, do inglês *Normalized Index for Ranking Papers*) proposta por Steffen *et al.* (2024) e aplicada ao estudo de artigos sobre catálise e adsorção com ajuste de dados em isotermas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Realizar uma revisão sistemática da literatura científica sobre os processos de adsorção e catálise utilizando o método NIRP, com foco nos materiais utilizados, nas aplicações industriais e nos modelos de isotermas empregadas, a fim de identificar tendências, lacunas e oportunidades de pesquisa.

2.2 Objetivos específicos

- Delimitar os parâmetros iniciais e selecionar os artigos que serão revistos pelo método NIRP a fim de formar um portfólio.
- Mapear as principais tendências e avanços recentes nos estudos sobre adsorção e catálise, destacando aplicações inovadoras e materiais emergentes.
- Sistematizar as lacunas de conhecimento na literatura científica atual, identificando aplicações ainda não exploradas ou insuficientemente estudadas e propor direcionamentos futuros para pesquisa.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Nascimento *et al.* (2020), a adsorção consiste em um processo de transferência de massa no qual certas substâncias presentes em fases líquidas ou gasosas são retidas na superfície de um sólido por meio de interações físicas ou químicas. Esse sólido, devido às suas características estruturais e químicas, apresenta capacidade seletiva de capturar e acumular poluentes, atuando assim como meio de purificação. O material sólido que faz essa captura é denominado adsorvente, enquanto a espécie que se fixa em sua superfície recebe o nome de adsorvato. Em sistemas ambientais e industriais, esse mecanismo se destaca por ser eficiente, de baixo custo operacional e aplicabilidade em diferentes escalas, tornando-se uma das tecnologias mais empregadas como fez Rashed (2013) ao remover contaminantes orgânicos e inorgânicos de águas residuais.

Ao falar de adsorção é importante citar que existem basicamente dois tipos principais, a fisiossorção e a quimiossorção que são distinguidas a partir do tipo de forças envolvidas na reação. A adsorção física é definida por forças de Van Der Waals, que para esse contexto é relativamente fraca e reversível com um calor de entalpia abaixo de $40 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$. Estudos termodinâmicos feitos com adsorventes de baixo custo mostraram valores de entalpia nessa faixa (Ebisike *et al.*, 2023). Essa variação energética geralmente é insuficiente para romper ligações químicas, razão pela qual a molécula adsorvida fisicamente conserva sua identidade química, ainda que possa ser levemente deformada pela influência da superfície como afirma Atkins e de Paula (2017). A adsorção química, por sua vez, ocorre com forças mais intensas em comparação a fisiossorção, pois ocorrem ligações químicas resultantes de interações entre átomos com a troca ou compartilhamento de elétrons. A entalpia desse processo é mais elevada sendo representada com valores acima de $50 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ podendo atuar dentro da faixa de ordem de 80 a $200 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ dependendo do sistema estudado (Atkins; de Paula, 2019).

Para compreender o desempenho dos materiais utilizados como adsorventes, é necessário aplicar uma série de teste voltados para a caracterização físico-química e estrutural. Assim, com os dados obtidos é possível otimizar a interação do adsorvente com os contaminantes

3.1 Caracterização dos adsorventes

A caracterização de materiais adsorventes é uma etapa fundamental para compreender seu desempenho e potencial de aplicação. Entre os principais parâmetros investigados destacam-se a área superficial específica, a presença e a distribuição de sítios ativos, o diâmetro médio e a distribuição de poros, além da seletividade do material para diferentes moléculas. Ensaio como a termogravimetria (TGA) e a calorimetria diferencial de varredura (DSC), permitem avaliar a estabilidade térmica do adsorvente, enquanto testes em diferentes faixas de pH e solventes possibilitam verificar sua resistência química em meios ácidos, básicos ou orgânicos. Por fim, análises de morfologia e textura fornecem informações importantes sobre a estrutura superficial, que exerce influência direta na capacidade de adsorção.

3.1.1 Área superficial

A determinação da área superficial é necessária para comparar diferentes materiais e tem grande influência na adsorção por se tratar de um fenômeno que ocorre na superfície do material. Por definição é toda a extensão de área que está disponível para a adsorção como na Equação (1) a seguir:

$$ASS = \frac{V_m NA \sigma}{m} \quad (1)$$

na qual ASS é a área superficial específica em $m^2 g^{-1}$, V_m é o volume da monocamada (obtido pela equação BET (Brunauer-Emmett-Teller)), NA é o número de Avogadro, σ é a área ocupada por uma molécula adsorvida e m é a massa da amostra. A fim de determinar o V_m é utilizado o método BET aplicado por (Shimizu; Matubayasi, 2022). Sua equação na forma linear se apresenta como na Equação (2).

$$\frac{1}{V \left(\frac{P_0}{P} - 1 \right)} = \frac{C - 1}{V_m C} \frac{P}{P_0} + \frac{1}{V_m C} \quad (2)$$

Na qual V representa o volume de gás adsorvido geralmente medido em condições padrão de temperatura e pressão. P é a pressão de equilíbrio do gás durante a adsorção, P_0 enquanto é a pressão de saturação do gás adsorvato, V_m corresponde ao volume de gás necessário para formar uma monocamada sobre a

superfície do material, e C é uma constante relacionada à energia de adsorção das moléculas na monocamada em comparação com as camadas sucessivas.

3.1.2 Sítios Ativos

Outra definição importante para os adsorventes são os sítios ativos: regiões específicas da superfície capazes de fazer a interação com o adsorvato. A adsorção química é o mecanismo que mais depende desta caracterização pois tende a ocorrer principalmente nesses sítios ativos onde há condições favoráveis de ligação química (Nascimento *et al.*, 2020). Essa caracterização busca entender não somente o local de ocorrência, mas também a natureza química refletida nos grupos funcionais ali presentes.

3.1.3 Poros

O diâmetro médio de poros e a distribuição de tamanho de poros são parâmetros fundamentais porque determinam a acessibilidade do adsorvato nos sítios ativos. Então, mesmo um material com grande área superficial pode sofrer com uma baixa capacidade de adsorção se os poros forem inadequados ao tipo de molécula que se deseja remover.

A distribuição dos poros vem para garantir que toda a massa do adsorvente seja realmente utilizada. Assim, para caracterizar os poros se utiliza da porosimetria por intrusão de mercúrio e adsorção/dessorção de nitrogênio que informam se o material possui mais micro poros, que aumentam a área superficial, ou mais mesos e macro poros, que facilitam a difusão de moléculas maiores. A intrusão de mercúrio para a medição da distribuição de tamanho dos poros é considerada um método tradicional onde é feita a injeção do mercúrio e a partir disso é correlacionado a pressão e o volume que é produz no material de interesse, assim o diâmetro dos poros é determinado (Campos *et al.*, 2017).

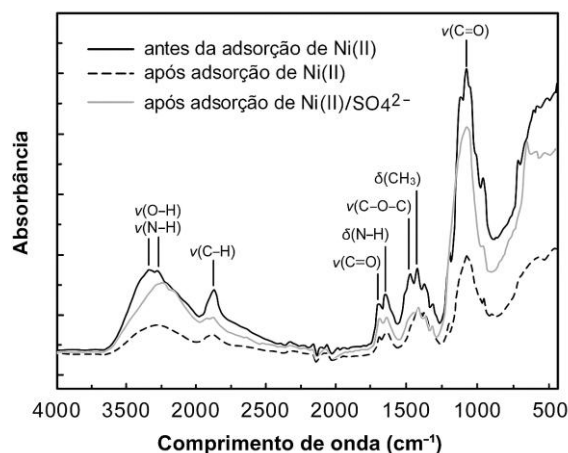
3.1.4 Afinidade e seletividade

Afinidade ou seletividade do adsorvente por determinadas moléculas é outro aspecto importante, pois determina quais espécies químicas serão preferencialmente removidas em sistemas contendo mais de um contaminante. Dependendo da compatibilidade química entre grupos funcionais, adsorvato e adsorvente vão se ligar com maior ou menor eficácia. Para descrever como ocorrem essas interações Atkins e de Paula (2014) destacam a eficácia como sendo uma função de forças intermoleculares específicas, como interações eletrostáticas, pontes de hidrogênio, forças de van der Waals e interações hidrofóbicas.

Para determinar esta propriedade, testes competitivos em soluções multicomponentes podem ser utilizados, em que se observa a preferência do adsorvente por um composto específico em detrimento de outros. Nesse contexto Wang *et al.*, (2024) mostrou que a adsorção seletiva de biomoléculas em superfícies argilosas é governada pela combinação de atração eletrostática e pontes de hidrogênio mediadas por água estabelecendo uma hierarquia de adsorção bem definida.

Os grupos funcionais presentes no adsorvente, como hidroxilas, carboxilas ou aminas, associados a afinidade e seletividade, definem as interações possíveis com as moléculas adsorvidas. Técnicas como FTIR e XPS são amplamente utilizadas na identificação desses grupos afim de entender os mecanismos de adsorção em nível molecular. Um exemplo da utilização do método FTIR resultou no que vai ser apresentado a seguir na Figura 1 por Nicomel *et al.* (2021).

Figura 1 - FTIR de quitosana



Fonte: Adaptado de (Nicomel *et al.*, 2021)

Onde são apresentados os grupos funcionais do adsorvente estudado em questão.

3.1.5 Estabilidade

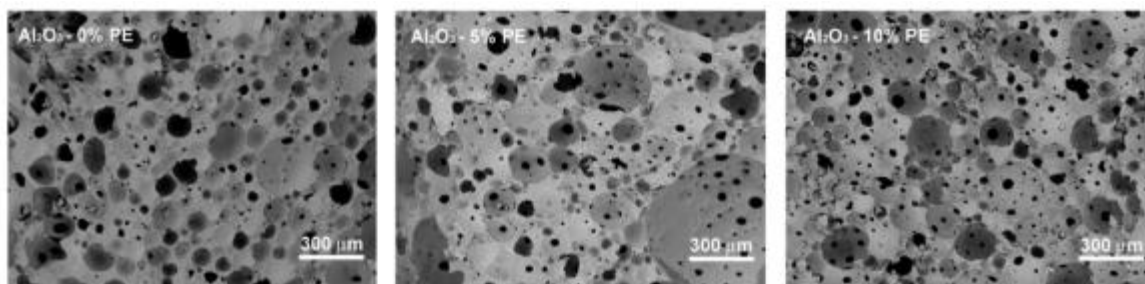
Além disso, a estabilidade térmica e química do material é essencial para garantir sua durabilidade em condições reais de uso. Análises termogravimétricas (TGA) e calorimetria diferencial de varredura (DSC) avaliam a resistência do material a altas temperaturas, enquanto testes em diferentes pH e solventes verificam sua degradação química em meios ácidos, básicos ou orgânicos. Pires (2024) exemplifica a caracterização do material por meio de testes de termogravimetria-calorimetria diferencial de varredura (TG DSC), altamente informativo por estudar os efeitos no material da perda ou ganho de calor .

3.1.6 Morfologia

Por fim, a morfologia e a textura do adsorvente, analisadas por microscopia eletrônica fornece informações sobre homogeneidade, porosidade e estrutura cristalina do material. Essa caracterização torna-se um parâmetro essencial para o desenvolvimento de materiais com alta eficiência em processos de purificação como a captura de poluentes industrial, por exemplo. A micrografia dos poros e suas conexões é uma das metodologias aplicada para essa caracterização morfológica. Na

Figura 2 são ilustradas as micrografias obtidas das superfícies fraturadas de amostras de Al_2O_3 contendo diferentes proporções de esferas de polietileno (0%, 5% e 10%). Observam-se poros com formato esférico, variações de diâmetro e um alto nível de interconectividade (Campos *et al.*, 2017).

Figura 2 - Micrografias das amostras de Al_2O_3 com as diferentes adições de PE



Fonte: Campos *et al.*, (2017)

3.2 Isotermas

A capacidade de adsorção, frequentemente expressa em mg g^{-1} , é determinada experimentalmente e os dados obtidos são utilizados para estimar os parâmetros das isotermas de adsorção por meio de ajustes às equações, como por exemplo Langmuir e Freundlich, que descrevem a interação entre o adsorvente e o poluente. Muitas equações de isotermas foram propostas buscando esclarecer e determinar essa relação focando no ajuste dos dados obtidos experimentalmente, cada uma partindo de pressupostos bem definidos e de dois ou mais parâmetros (Nascimento *et al.*, 2020).

Os modelos de Langmuir e Freundlich possibilitam analisar se a adsorção ocorre em monocamada ou multicamadas. Na adsorção em monocamada, as moléculas do adsorvato cobrem a superfície do adsorvente formando uma única camada e, assim, não há espaço para novas moléculas serem adsorvidas. A equação que descreve este processo é a isoterma de Langmuir apresentada na Equação (3):

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

na qual C_e é a concentração do adsorvato no equilíbrio na fase fluida em mg L^{-1} , q_e a concentração do adsorvato no equilíbrio na fase sólida em mg g^{-1} , q_{max} é a capacidade máxima de adsorção e K_L a constante de Langmuir que está relacionada à afinidade do adsorvente pelo adsorvato.

Na adsorção em multicamada, após a formação da primeira camada, novas moléculas do adsorvato continuam a adsorver. Isso ocorre porque as interações entre as moléculas do adsorvato são significativas, e o modelo que descreve este comportamento é o de Freundlich apresentado na Equação 4:

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

na qual C_e é a Concentração do adsorvato no equilíbrio mg L^{-1} , K_f é a constante de Freundlich que indica a capacidade de adsorção e $1/n$ é o expoente que descreve a intensidade da adsorção e a heterogeneidade da superfície. Seguindo a interpretação clássica quando n se aproxima de 1 o sistema tende a ser quase linear, sugerindo uma superfície mais homogênea. Por outro lado, valores de n menores que 1 indicam adsorção desfavorável e baixa afinidade entre adsorvente e adsorvato. Finalmente, quando n é maior que 1, a adsorção é considerada favorável, indicando maior heterogeneidade dos sítios de adsorção e ao aumento da intensidade da adsorção é proporcional ao valor de n , comportamento coerente com a descrição de superfície não uniformes apresentada pela literatura clássica de físico-química (Atkins; de Paula, 2019)..

3.3 Fontes de adsorventes e aplicações na engenharia química

Ao falar sobre fontes de adsorventes deve-se incluir resíduos industriais e diferentes formas de resíduos sólidos resultantes das variações regionais como a prática da agricultura, refino de petróleo e produção industrial em metrópoles. Por exemplo, Venkatraman e Priya (2022) mostram em seu estudo o uso de folhas de tabaco revestidas com óxidos de ferro em uma coluna de leito fixo contínuo para adsorver metais pesados de águas residuais industriais. Em outro estudo, um subproduto derivado da casca de toranja foi utilizado por Zhang *et al.* (2020) para desenvolver um hidrogel que auxilia na sorção de íons metálicos.

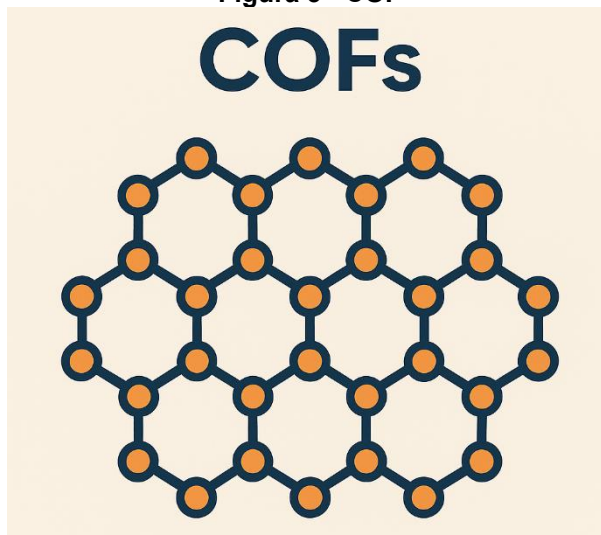
No ambiente industrial, a transformação de resíduos em subprodutos com valor agregado é frequente e segue crescendo. O engenheiro químico Ralph Yang, pesquisador e professor da Universidade de Michigan, desenvolveu ao longo dos anos materiais avançados como zeólitas, carbonos ativados e COF (frameworks orgânicos covalentes, do inglês Covalent Organic Frameworks) usados na purificação e separação de gases poluentes. Ao desenvolver esses adsorventes avançados, um dos resultados foi a diminuição mais efetiva da chuva ácida, principalmente por meio da dessulfurização profunda de combustíveis para transporte além da remoção de compostos de enxofre das emissões industriais (University of Michigan, 2025).

As zeólitas são materiais com estrutura microporosa bem definida, caracterizados por terem elevada área superficial, capacidade de troca iônica e estabilidade térmica e química, o que as tornam materiais úteis em processos de adsorção e catálise. Devido à presença de canais e cavidades de dimensões moleculares uniformes, as zeólitas apresentam seletividade por tamanho e forma, permitindo a remoção preferencial de íons metálicos, compostos orgânicos e gases em diferentes aplicações ambientais e industriais. Nos últimos anos diversos estudos têm destacado sua aplicação no tratamento de águas e efluentes, especialmente na remoção de íons amônio, metais pesados, fármacos e compostos orgânicos emergentes, bem como no controle de emissões gasosas e na catálise ambiental. Além disso, modificações estruturais e funcionais, como troca iônica, impregnação metálica e formação de zeólitas hierárquicas, têm ampliado significativamente sua eficiência e campo de aplicação, consolidando esses materiais como alternativas promissoras e sustentáveis para tecnologias ambientais e industriais modernas (LI *et al.*, 2019).

O estudo de Rauen *et al.* (2021) demonstra que óxidos de ferro recuperados da drenagem ácida de minas podem ser utilizados como matéria-prima para a produção de nanogoetita e nanohematita. Estes materiais podem ser utilizados como alternativa para obtenção de adsorventes advindos de resíduos industriais. Esses materiais apresentam características físico-químicas que garantem a sua aplicação em processos de adsorção e catálise, além de possibilitarem uma destinação correta para resíduos potencialmente poluentes. Assim, o reaproveitamento de rejeitos industriais como fonte de adsorventes representa não apenas uma solução técnica viável, mas também uma estratégia sustentável para o tratamento de efluentes líquidos.

Outro tema importante ao citar o uso de adsorventes é a sua aplicação na limpeza do ar utilizando COFs que são estruturas rígidas e cristalinas que se ligam ao dióxido de carbono no ar e fazem sua remoção. A Figura 3 a seguir apresenta a estrutura básica de um COF

Figura 3 - COF



Fonte: Autoria própria (2024)

Os COFs são mantidos juntos por ligações covalentes fortes, predominantemente entre átomos de carbono-carbono e carbono-nitrogênio, que conferem elevada estabilidade estrutural no contexto da química de materiais. Essas ligações covalentes direcionais são responsáveis pela formação de redes cristalinas altamente ordenadas e porosas, característica fundamental dos covalent organic frameworks (Diercks ; Yaghi, 2017).

O COF-999, desenvolvido na Universidade da Califórnia, é um produto eficiente em captura direta de CO_2 atrelado à um processo de regeneração de baixo consumo energético. Os COFs desenvolvidos possuem uma estrutura forte o suficiente para suportar contaminantes que em comparação degradariam outros adsorventes (University of California Berkeley, 2024).

3.4 Catálise, tipos e aplicações na engenharia química

Ao estudar química, é evidente que muitas reações deveriam ocorrer de forma extremamente lenta em condições naturais. No entanto, esse comportamento não é observado na prática, o que levou ao desenvolvimento do conceito de catálise. A catálise pode ser definida como o fenômeno no qual a velocidade de uma reação química é aumentada pela presença de uma substância denominada catalisador, a qual participa do mecanismo reacional sem ser consumida ao final do processo. O catalisador atua fornecendo um caminho reacional alternativo de menor energia de ativação, tornando a reação mais rápida (Atkins; de Paula, 2019).

A catálise é um mecanismo central para a química moderna, pois a maioria dos processos industriais, biológicos e ambientais depende de reações catalíticas para ocorrer. Assim a catalise é caracterizada de acordo com parâmetros como a natureza do catalisador, o estado físico em que a reação ocorre e os mecanismos da reação. A seguir serão descritas algumas das formas de catálise nas subseções seguintes.

3.4.1 Catálise Homogênea

A catálise homogênea parte de uma configuração em que o catalisador e os reagentes se encontram no mesmo estado físico, geralmente na fase líquida, o que favorece o contato molecular eficiente e o controle do mecanismo reacional. Em razão dessas características, a catálise homogênea é amplamente utilizada em reações orgânicas, especialmente em processos que demandam alta seletividade e condições reacionais brandas (Atkins; de Paula, 2019).

O processo de catálise homogênea se inicia com a ativação do catalisador por tratamento térmico e adição junto aos reagentes. Após a ativação, o catalisador atua facilitando a quebra das ligações do tipo H-H e a adição dos novos componentes.

3.4.2 Catálise Heterogênea

A catálise heterogênea, por sua vez, é amplamente utilizada industrialmente e em controles ambientais. O processo envolve reações que ocorrem nos sítios ativos da interface entre diferentes fases, sendo o catalisador geralmente um sólido que promove reações de reagentes em fase gasosa ou líquida (Atkins; De Paula, 2019, p. 918).

Na indústria, há vários exemplos de aplicação desta catálise, como conversores catalíticos em automóveis que transformam gases, como CO e CO₂, em gases menos poluentes por meio de platina ou paládio como catalisadores. As vantagens desse tipo de catálise se apresentam na fácil separação do produto final, além de possibilitar a reutilização do catalisador seguidas vezes. Entretanto, o entupimento dos sítios ativos, a desativação por envenenamento do catalisador e a limitação da sua área superficial são alguns dos problemas que irão aparecer ao utilizar essa técnica.

3.4.3 Catálise Enzimática

A catálise enzimática ocorre por meio de proteínas que atuam como enzimas em meios biológicos, sendo responsáveis por acelerar reações químicas específicas sem serem consumidas ao longo do processo. O mecanismo envolve a formação de um complexo enzima–substrato, no qual o substrato se liga ao sítio ativo da enzima, permitindo que a reação ocorra de forma mais eficiente. Ao final do processo catalítico, o produto é liberado e a enzima é regenerada, permanecendo disponível para novos ciclos catalíticos. Esse tipo de catálise apresenta elevada seletividade, atribuída principalmente à geometria e às interações químicas do sítio ativo, frequentemente descritas pelo modelo clássico de chave-fechadura (Nelson; Cox, 2017; Atkins; De Paula, 2019).

Em estudo publicado por Nelson *et al.* (2022), os autores afirmam que as enzimas são catalisadores biológicos altamente eficientes e seletivos, pois as enzimas possuem o poder de aumentar a velocidade das reações de forma mais eficiente que catalisadores sintéticos ou inorgânicos, por exemplo, reduzindo as barreiras de ativação de forma a não afetar o equilíbrio das reações.

3.4.4 Fotocatálise

Este processo utiliza a luz solar, ou outra forma de radiação UV, em materiais semicondutores que terão o papel de acelerar a reação. Após a ativação do meio reacional por radiação UV, semicondutores, como o dióxido de titânio (TiO_2), geram espécies reativas que degradam poluentes orgânicos e essa tecnologia é otimizada por modificações para operar sob luz visível, expandindo seu uso ambiental e industrial (Pelaez *et al.*, 2012).

Tintas fotocatalíticas contendo dióxido de titânio (TiO_2) têm sido estudadas como alternativa sustentável para a degradação de poluentes atmosféricos. Quando expostas à radiação solar, essas tintas reagem de forma que degradam compostos orgânicos voláteis e outros poluentes. O processo se baseia na geração de espécies reativas de oxigênio, como radicais hidroxila, que atuam sobre os contaminantes adsorvidos na superfície. Essas tintas, aplicadas em fachadas e pavimentos urbanos, também apresentam propriedades autolimpantes e desinfetantes, sendo que sua eficiência pode ser aumentada com o uso de materiais inovadores como têxteis luminosos impregnados com TiO_2 , os quais demonstraram alta eficiência na remoção de aldeídos em sistemas contínuos sob irradiação UV (Abdelkader *et al.*, 2025).

3.4.5 Eletrocatalise

A eletrocatalise ocorre em reações eletroquímicas que envolvem a transferência de elétrons, e consiste na aceleração de reações eletroquímicas por meio de materiais catalíticos presentes nos eletrodos. Esses catalisadores reduzem a energia de ativação necessária para que as reações de oxidação e redução ocorram com mais eficiência, pois o catalisador favorece a transferência de elétrons entre o eletrodo e o reagente.

As aplicações da eletrocatalise englobam desde células a combustível, eletrodos de baterias, produção de H_2 por eletrólise da água a tratamento de efluentes por meio da oxidação eletroquímica. A grande vantagem desse método catalítico vem da alta eficiência energética e controle preciso da reação por meio diferença de potencial e da corrente, porém o alto custo dos materiais catalíticos e a durabilidade limitada em condições operacionais mais severas são pontos que desafiam a sua

aplicação. Apesar disso, a eletrocatalise é essencial para a operação eficiente de dispositivos eletroquímicos modernos, permitindo a conversão direta de energia química em elétrica, e vice-versa ao acelerar reações redox nas superfícies dos eletrodos (Gasteiger *et al.*, 2005).

3.4.6 Catálise por transferência de fase

A catálise por transferência de fase é uma técnica empregada para favorecer reações químicas entre reagentes que se encontram em fases distintas e que, em condições normais, não reagiriam de maneira eficiente sem a mediação de um catalisador. Nesse tipo de sistema, o catalisador atua promovendo o contato efetivo entre espécies iônicas ou polares e reagentes orgânicos apolares (Makosza, 2017).

Esse tipo de catálise apresenta diversas vantagens, como aumento da seletividade, maior rapidez das reações, possibilidade de operar em condições mais brandas e significativa redução no uso de solventes tóxicos, o que resulta em menor geração de resíduos. No entanto, também possui limitações, incluindo a formação de emulsões de difícil separação, possíveis perdas de catalisador e a persistência ambiental de determinados agentes de transferência de fase, especialmente sais de amônio quaternário pouco biodegradáveis (Anastas; Warner, 2018).

A catálise por transferência de fase é utilizada em síntese orgânica, na produção de fármacos, pesticidas e polímeros, sendo também altamente valorizada em estratégias de química verde. Sua eficiência depende fundamentalmente da capacidade do catalisador de mediar a transferência de reagentes polares para a fase orgânica, viabilizando sua reação com substratos apolares e contribuindo para processos mais sustentáveis e economicamente viáveis (Anastas; Warner, 2018).

3.5 Cienciometria

Nos últimos anos, houve aumento no número de pesquisas científicas e, com isso, se tornou necessário o desenvolvimento de metodologias para determinar qualitativamente e quantitativamente a sua produção.

A cienciometria é definida como a análise quantitativa da atividade científica, envolvendo a mensuração de publicações, citações e redes de colaboração,

permitindo a compreensão da dinâmica da produção e circulação do conhecimento científico (Mingers; Leydesdorff, 2015). Entre os principais objetivos da cienciometria está a avaliação do impacto de publicações e é especialmente útil para identificar lacunas na literatura, compreender a evolução de determinado campo do conhecimento e fundamentar decisões em políticas científicas e acadêmicas.

Os métodos cienciométricos incluem nas suas metodologias a análise bibliométrica que envolve a contagem de publicações e citações e o uso de índices como o fator de impacto, a análise de ocorrência de palavras que detecta temas e tópicos emergentes com base em palavras-chave e resumos, e a análise de cocitação que identifica relações entre obras citadas em comum. A revisão tradicional por exemplo caracteriza-se por abordagem descritiva, sem protocolos sistemáticos definidos para busca e seleção de fontes, sendo comum em estudos teóricos e de atualização conceitual (Cavalcante; Oliveira, 2020).

A revisão integrativa, que se apoia na inclusão de estudos com diferentes metodologias, qualitativas e quantitativas, é útil para construir teorias e identificar lacunas no conhecimento (Dal *et al.*, 2008).

A revisão de escopo é um tipo de revisão da literatura estruturada em cinco etapas principais, que envolvem a identificação da questão de pesquisa, a delimitação do tema, a busca e seleção dos estudos relevantes, a extração dos dados e, por fim, a síntese e apresentação dos resultados. Esse tipo de revisão tem como objetivo mapear os principais conceitos, evidências e características de uma determinada área do conhecimento, sem a necessidade de uma avaliação crítica aprofundada dos estudos incluídos. Dessa forma, a revisão de escopo é especialmente indicada quando o campo de estudo é amplo, heterogêneo ou ainda pouco explorado, permitindo identificar lacunas de pesquisa e orientar investigações futuras (Peters *et al.*, 2020).

O ProKnow-C (Processo de Desenvolvimento do Conhecimento Construtivista) foi desenvolvido como um processo estruturado para seleção e análise de portfólios bibliográficos, combinando abordagens multicritério e gestão do conhecimento para mapear o estado da arte de um tema de pesquisa. Esse método é amplamente aplicado em áreas como gestão, administração e engenharia. Sua aplicação permite uma análise estruturada e cienciométrica da produção científica sobre determinado tema (Vilela, 2012).

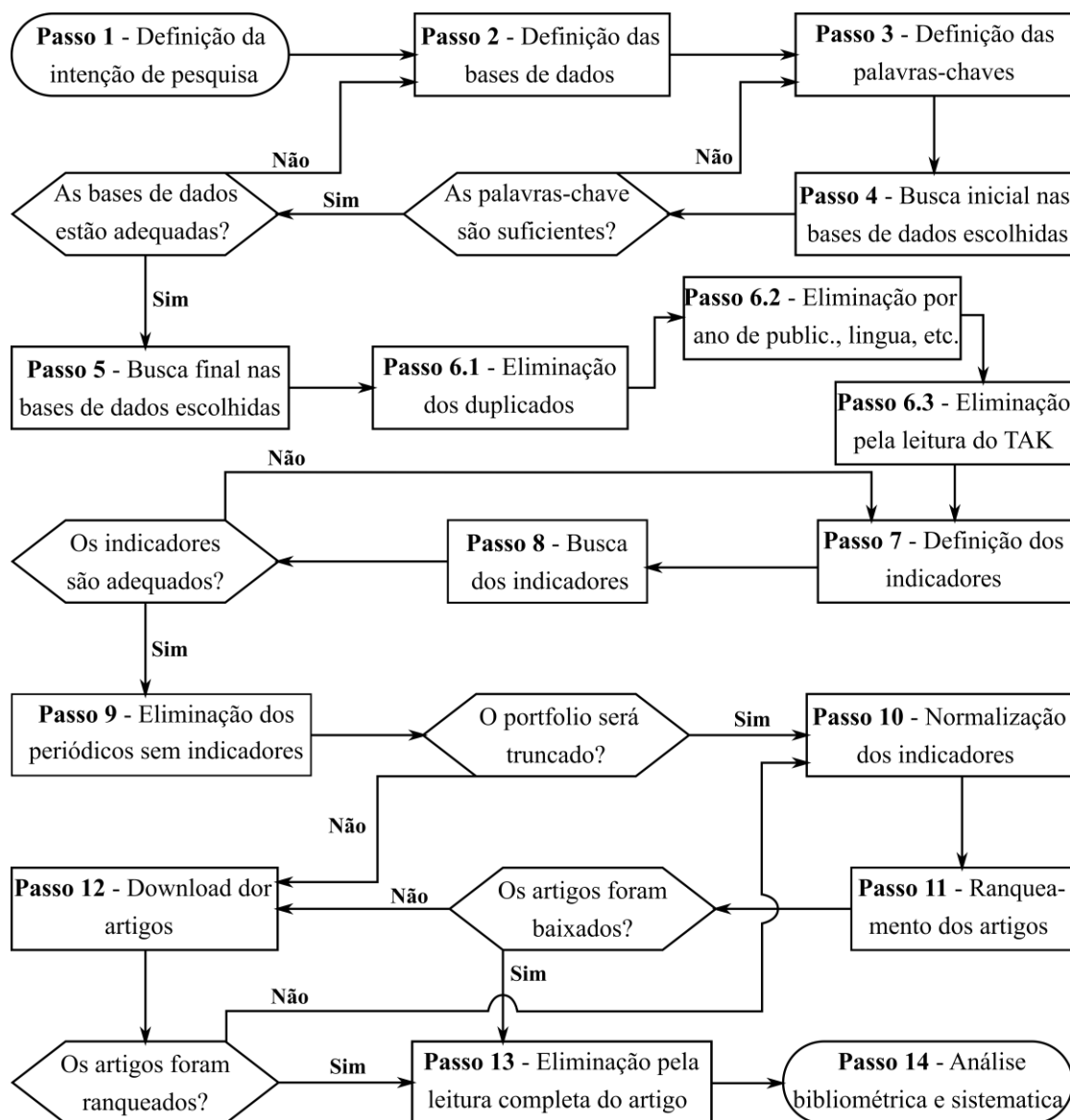
Outro método reconhecido é o PRISMA (do inglês, *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), atualizado por (Page *et al.*, 2021), utilizado nas áreas da saúde e ciências biomédicas. O PRISMA oferece um checklist com 27 itens e um fluxograma para documentar de forma clara as etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos, promovendo maior confiabilidade nas revisões sistemáticas.

O SALSA (Pesquisa, Avaliação, Síntese, Análise), é um método relevante proposto por Grant e Booth (2009) que estrutura as etapas de busca, avaliação, síntese e análise de forma flexível, sendo indicado para revisões qualitativas ou integrativas. É amplamente utilizado para campos emergentes ou com pouca literatura consolidada.

A metodologia do NIRP (Índice Normalizado para Classificação de Artigos em Revisões Sistemáticas de Literatura), desenvolvida em 2024 por (Steffen *et al.*, 2024) junto a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, é um método que se baseia em um processo de 14 etapas que, ao final o portfólio tem seus artigos listados em ordem de importância sendo o critério de ordenação um índice obtido utilizando indicadores advindos do Centro de Estudos de Ciência e Tecnologia (CWTS), *Scopus*, *Web of Science*, e outras bases de artigos científicos.

Os 14 passos servem como guia ao selecionar os artigos, conforme descrito a seguir na Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma do passo a passo do método NIRP



Fonte: Autoria própria (2025)

O passo 10 do fluxograma é a etapa de normalização dos indicadores que serão utilizados para a classificação dos periódicos, com isso todos os critérios terão abrangência de 0 a 1.

$$Indicador_i^{norm} = \frac{Indicador_i - Indicador_{min}}{Indicador_{max} - Indicador_{min}}, \text{ para benefício} \quad (5)$$

$$Indicador_i^{norm} = \frac{Indicador_{max} - Indicador_i}{Indicador_{max} - Indicador_{min}}, \text{ para penalização} \quad (6)$$

A Equação (5) é utilizada para normalizar indicadores em que valores maiores correspondem a maior qualidade do periódico, enquanto a Equação (6) deve ser aplicada para indicadores nos quais valores maiores representam menor qualidade do periódico. Na qual e e s são, respectivamente, os valores mínimo e máximo de um indicador obtido pelos periódicos no portfólio final, e e_i é o indicador normalizado.

No passo 11 é feita a classificação dos artigos, para isso, uma soma ponderada dos indicadores do periódico mais um valor aproximado da média de citações por ano do artigo. Essas duas partes do índice são penalizadas pela fração de autocitação do periódico no qual o artigo foi publicado conforme a Equação (7), pois quanto maior esse valor, maior a chance de o artigo ser citado simplesmente por ser do mesmo periódico.

$$AI_i = \left[\alpha \sum_{k=1}^n \omega_k JC_k^{norm} + \beta AC_i^{norm} \right] (\gamma + JS_j^{norm}) \quad (7)$$

Na qual JC_k^{norm} é o valor normalizado de um indicador bibliométrico do periódico tal como SNIP, fator de impacto (JIF), CiteScore, etc., n é o número total de indicadores bibliométricos escolhidos pelo autor, JS_j^{norm} é o valor normalizado do indicador de auto citação, AC_i^{norm} é o valor normalizado da média de citações do artigo por ano, ω_k é o peso que o autor vai dar para cada indicador bibliométrico escolhido e ao final a soma dos valores é igual a 1, α , β e γ são parâmetros positivos escolhidos pelo pesquisador normalmente iguais a 1.

Os termos normalizados são calculados da seguinte forma:

$$AC_i = \frac{AC_i}{1 + AA_i} \quad (8)$$

$$AC_i^{norm} = \frac{AC_i - AC_{min}}{AC_{max} - AC_{min}} \quad (9)$$

$$JC_k^{norm} = \frac{JC_k - JC_{kmin}}{JC_{kmax} - JC_{kmin}} \quad (10)$$

$$JS_j^{norm} = \frac{JS_{max} - JS_j}{JS_{max} - JS_{min}} \quad (11)$$

Na qual AC_i é a média aproximada de citações por ano do artigo i , AC_i é o número total de citações do artigo i , AA_i é a diferença entre o ano em que a revisão está sendo feita e o ano em que o artigo i foi publicado, JC_k é o indicador de Citação de Jornal do periódico j e JS_j é número absoluto de %selfcit do mesmo periódico j .

4 METODOLOGIA

4.1 Método NIRP

Ao aplicar o método NIRP foram definidos os seguintes parâmetros a seguir.

No passo 1 foi feita a escolha de revisar o tema de catálise com o uso de isotermas para descrever o comportamento dos adsorventes em trabalhos práticos.

No passo 2 ficou definido o uso das bases de dados *Scopus*, *Science Direct* e *Web of Science* por considerar que são as que melhor abrangem o tema para o curso de engenharia química.

O passo 3 após a realização de testes nas bases de dados, e em conversas entre os autores, definiram-se as palavras-chave “Isotherms AND Adsorption AND Catalysis” com os resultados partindo da pesquisa feita em maio de 2025.

O passo 4 e 5 foram destinados para a experimentação e busca utilizando as palavras-chave nas bases de dados. Após, foi encontrado o total de 7.689 artigos nas três bases escolhidas para análise.

Após comprovada a eficácia da escolha das bases de dados, o passo 6 prosseguiu com a filtragem dos artigos inicialmente selecionados.

A escolha por artigos em inglês dá-se por se tratar do idioma mundialmente utilizado no meio científico. Por sua vez a escolha de atuar apenas com artigos se trata de uma limitação a fim de não incluir no portfólio: revisões bibliográficas, trabalhos em congressos, capítulos de livro, livros etc. Optou-se pela utilização do acesso aberto pela facilidade de acesso a todos os artigos do portfólio ao público. Por fim, a escolha do intervalo de tempo entre 2020 e 2025 para análise dos artigos publicados dá-se para avaliar os temas mais atuais na pesquisa científica.

Após selecionar 647 artigos, foi realizada a leitura dos resumos e remoção das duplicatas, reduzindo o portfólio final a 166 artigos.

No passo 7 e 8 de definição dos indicadores de jornal e obtenção dos valores ficou definido a escolha do Fator de Impacto do Periódico (JIF) fornecido pela *Web of Science*, o Impacto Normalizado por Publicação da Fonte (SNIP) fornecido pela *Scopus* e o Índice de Autocitação do Periódico (%selfcit) fornecido pela CWTS (Centre for Science and Technology Studies).

O passo 9 não foi realizado, pois o portfólio apresentou um número reduzido de artigos sem indicadores. Optou-se, portanto, por mantê-los atribuindo, a esses casos, o pior valor correspondente ao indicador ausente. Essa abordagem evita a exclusão de artigos potencialmente relevantes apenas pela ausência de determinado indicador.

No passo 10, que se trata da normalização dos indicadores, foram utilizadas as Equações (5) e (6).

No passo 11, a equação utilizada para ranquear os artigos foi munida a partir dos resultados obtidos pelas Equações (8), (9), (10) e (11) que fornecerem os valores para a Equação (7). O resultado contendo o ranking de cada artigo será apresentado na tabela B1 do Anexo B.

O passo 12 da análise bibliométrica e análise sistemática parte do portfólio com a totalidade dos artigos selecionados e determinam as principais características do portfólio no que diz respeito as métricas quantitativas e qualitativas.

Para dar sequência ao método foram propostas questões essenciais a serem investigadas e respondidas a fim de nortear os resultados e conclusões. Perguntas

- Quais as principais aplicações dos artigos dentro do portfólio e como influenciam o desempenho dos processos?
- Quais são as principais matérias primas estudadas e quais as inovações mais recentes?
- Há algum campo não explorado nesta área de estudo?

4.2 Uso de inteligência artificial

Durante a etapa de revisão sistêmica deste trabalho, utilizou-se o modelo de linguagem natural ChatGPT (versão 5.1, desenvolvido pela OpenAI) como ferramenta de apoio. A interação com a ferramenta teve como objetivo refinar a clareza do texto e organizar em temas a compilação dos objetivos e resultados dos arquivos resultantes da análise bibliométrica. Ainda, todo o conteúdo gerado foi subsequentemente analisado, criticado e validado pelo autor, que assume total responsabilidade pelo resultado final do trabalho e pela veracidade das informações apresentadas. Pelo número expressivo de artigos do portfólio deu-se preferência para

os artigos citados na seção 5.2 por se tratar dos artigos que melhor representaram o contexto descrito.

4.3 Portfólio

Os artigos do portfólio foram organizados e apresentados com objetivo e resultado no Anexo A, além disso, o Anexo B apresenta os artigos ranqueados segundo a classificação do método NIRP.

5 RESULTADOS

Na Tabela 1 são apresentados os resultados após a aplicação de filtros na etapa de seleção dos artigos na base de dados.

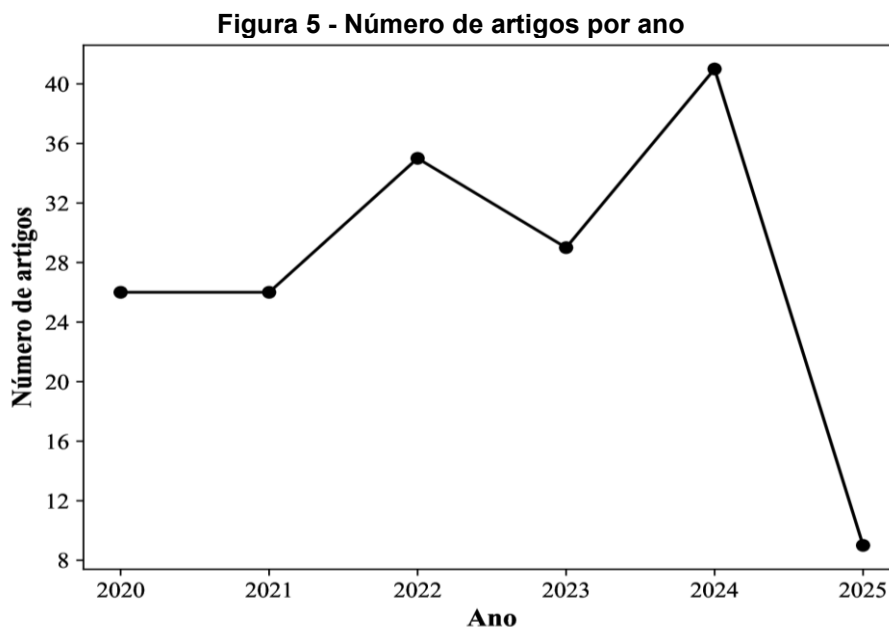
Tabela 1 – Resultado da pesquisa nas bases de dados e processo inicial de filtragem

Etapa	Combinação de palavras-chave	Scopus	Web of Science	Science Direct	Total por combinação
Inicial	<i>Adsorption AND Isotherms AND Catalysis</i>	2669	4535	485	7689
Somente em inglês	<i>Adsorption AND Isotherms AND Catalysis</i>	2595	4462	485	7542
Somente artigos	<i>Adsorption AND Isotherms AND Catalysis</i>	2421	4266	443	7130
Somente acesso aberto	<i>Adsorption AND Isotherms AND Catalysis</i>	345	781	34	1160
Últimos 10 anos	<i>Adsorption AND Isotherms AND Catalysis</i>	284	657	31	972
Últimos 5 anos	<i>Adsorption AND Isotherms AND Catalysis</i>	207	413	27	647

Fonte: Autoria própria (2025)

5.1 Análise Bibliométrica

Na Figura 5 é apresentada a quantidade de artigos produzidos em cada ano para o intervalo de tempo considerado nesta revisão. Ao avaliar o gráfico, nota-se, aumento na publicação de artigos realizada em 2024. Vale destacar que em maio de 2025 o número é menor por se tratar do ano em que esta revisão está sendo feita.



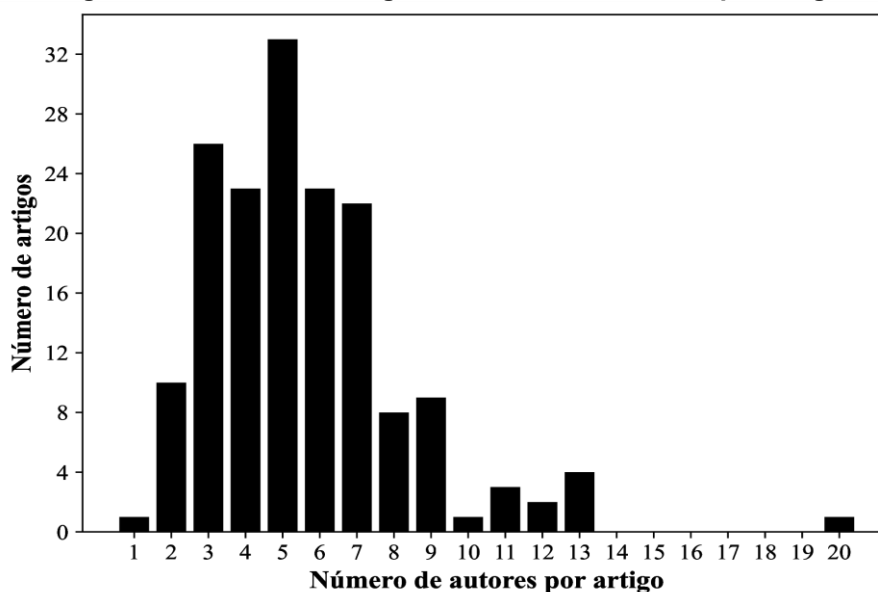
Fonte: Autoria própria (2025)

Na Figura 6, apresenta-se o número de autores por artigo publicado.

A partir da análise do gráfico, nota-se que cinco autores é uma comum para publicação de artigos. Ainda, percebe-se que a maioria dos artigos possuem entre três a sete autores.

Por fim, destaca-se a publicação de um artigo com apenas um pesquisador e um artigo com 20 pesquisadores. De mesma forma, observa-se que poucos artigos possuem mais que 10 autores.

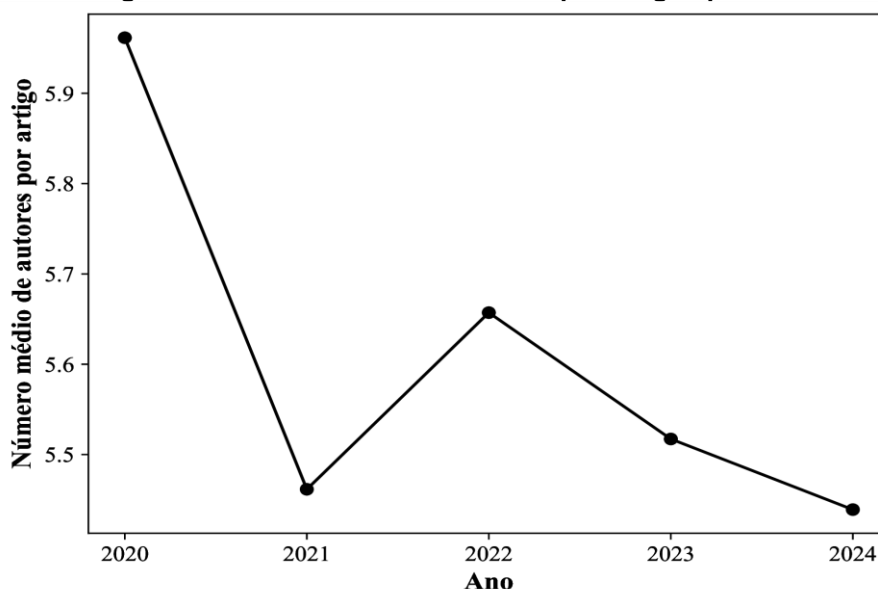
Figura 6 - Número de artigos x números de autores por artigo



Fonte: Autoria própria (2025)

A Figura 7 apresenta uma análise da quantidade de publicações por periódicos e é possível notar que embora o número médio de autores por artigo varie ao longo dos anos, a tendência é de uma leve diminuição na colaboração entre autores durante o período estudado. Esse comportamento pode ser explicado como ajustes nos grupos de trabalho ou até impactos de políticas de publicação.

Figura 7 - Número médio de autores por artigos por ano

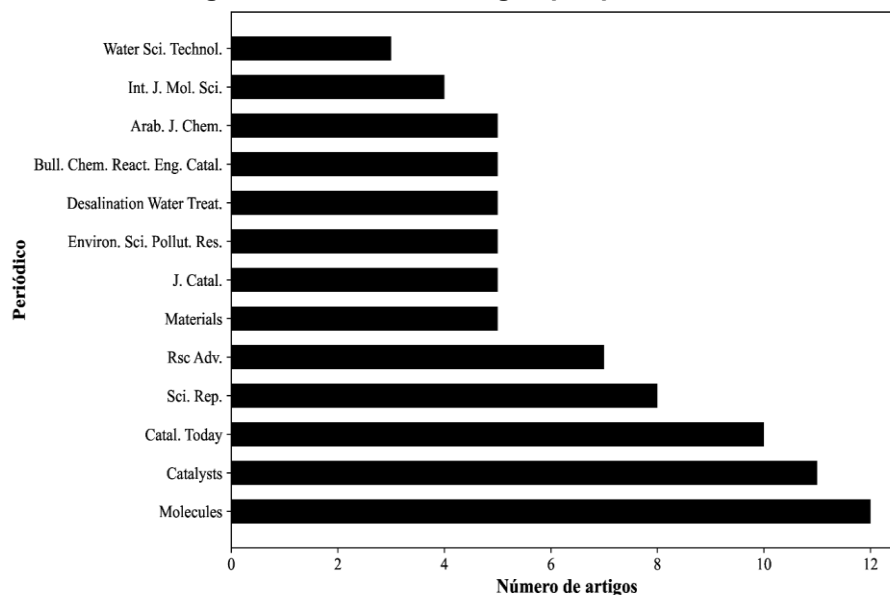


Fonte: Autoria própria (2025)

A Figura 8 apresenta os periódicos com maior número de artigos publicados e mostra que a maior concentração de artigos se encontra em *Molecules* (12), *Catalysts* (11) e *Catalysis Today* (10). Essas revistas se apresentam como os

principais veículos de publicação e, embora exista uma dominância de alguns, a diversidade de canais de publicação revela a multidisciplinaridade do tema. Ao total tem-se 85 revistas diferentes no portfólio final.

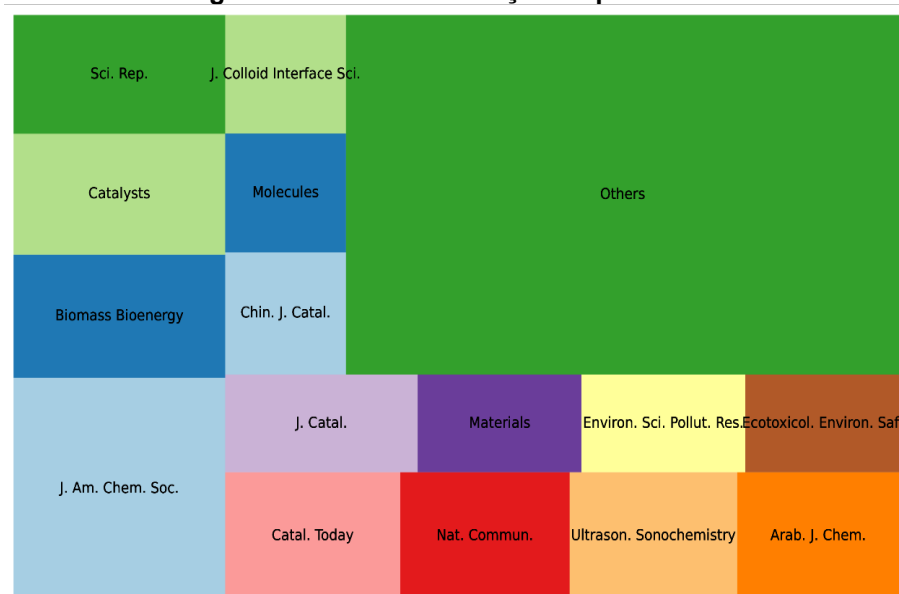
Figura 8 - Número de artigos por periódicos



Fonte: Autoria própria (2025)

Na Figura 9 são apresentados os periódicos com mais citações dando destaque para o periódico *Journal of the American Chemical Society* com um total de 200 citações.

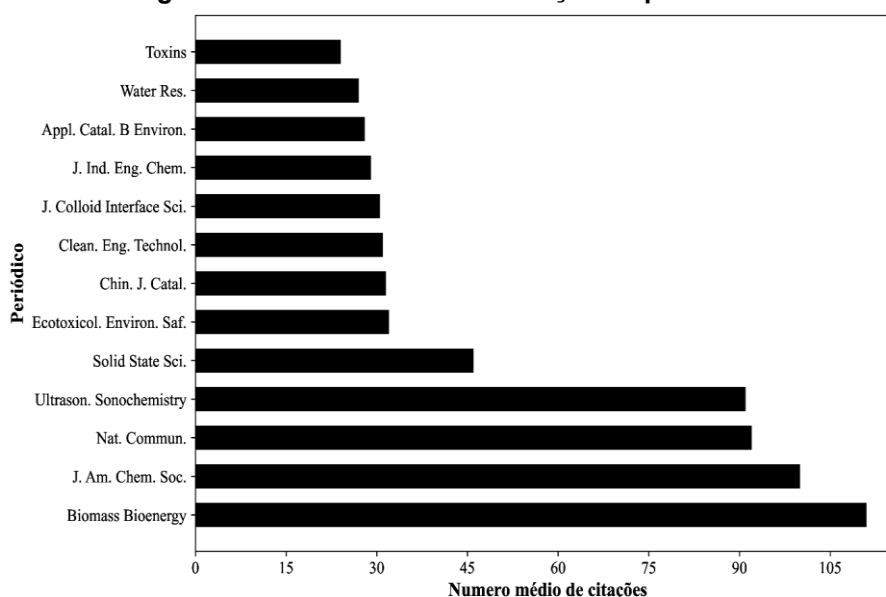
Figura 9 - Número de citações x periódicos



Fonte: Autoria própria (2025)

Já na Figura 10 são apresentados os números médios de citações por periódico dá-se destaque para as revistas *Biomass Bioenergy* em primeiro, *Journal of the American Chemical Society* em segundo e *Nature Communications* em terceiro. Destaca-se ainda que a diferença entre número total reside no impacto agregado de todos os artigos e o número médio de citações a qualidade relativa de cada artigo publicado. Ele destaca que, mesmo com menor número de artigos, algumas revistas alcançam maior repercussão por publicação, refletindo maior seletividade.

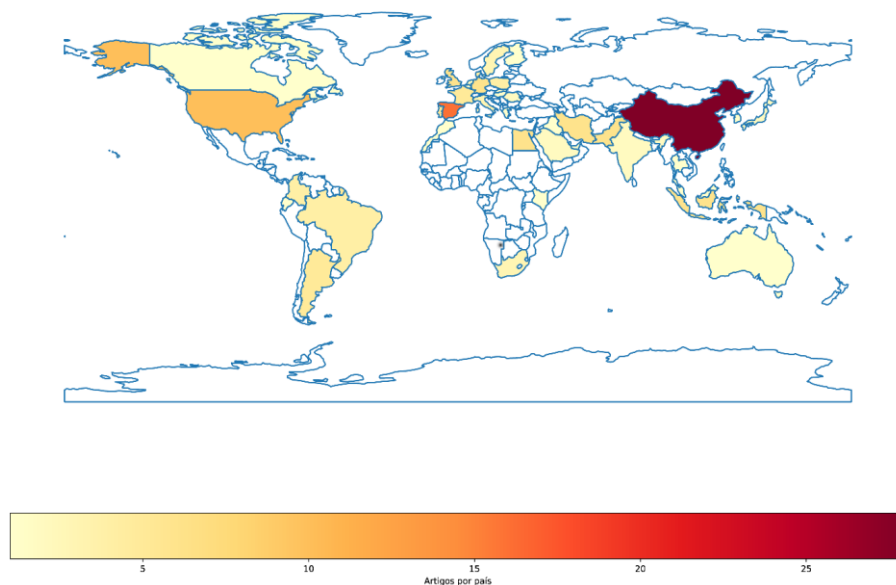
Figura 10 - Número médio de citações x periódicos



Fonte: Autoria própria (2025)

Na Figura 11 é apresentada, por meio de um mapa mundi com intensidade de cor, a quantidade de artigos por país (filiação do primeiro autor) e destaca a China como o principal, com um total de 28 artigos, seguido por Espanha com 16 e Estados Unidos com 10. Destaca-se que os países intermediários apresentaram entre 5 e 6 artigos (3 países com 5 artigos e 6 países com 6 artigos) e por fim os países com menor número de publicação, sendo 4 países com 4 artigos (entre eles o Brasil), 5 países com 3 artigos, 5 países com 2 artigos e 20 países com apenas 1 artigo. No total 46 países contribuíram para o portfólio final.

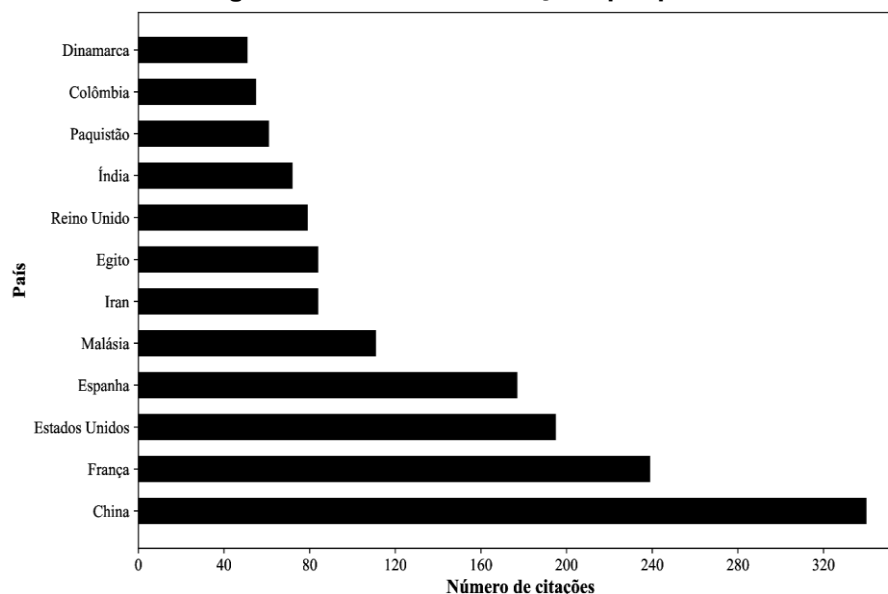
Figura 11 - Número de artigos por país



Fonte: Autoria própria (2025)

O gráfico apresentado na Figura 12 evidencia concentração de citações em alguns países líderes, como a China, França e Estados Unidos – o que mostra o volume de publicações quanto a visibilidade desses trabalhos no cenário internacional. A presença de países emergentes, como Malásia, Irã e Índia mostra que há um crescente movimento de diversificação na produção científica.

Figura 12 - Número de citações por país

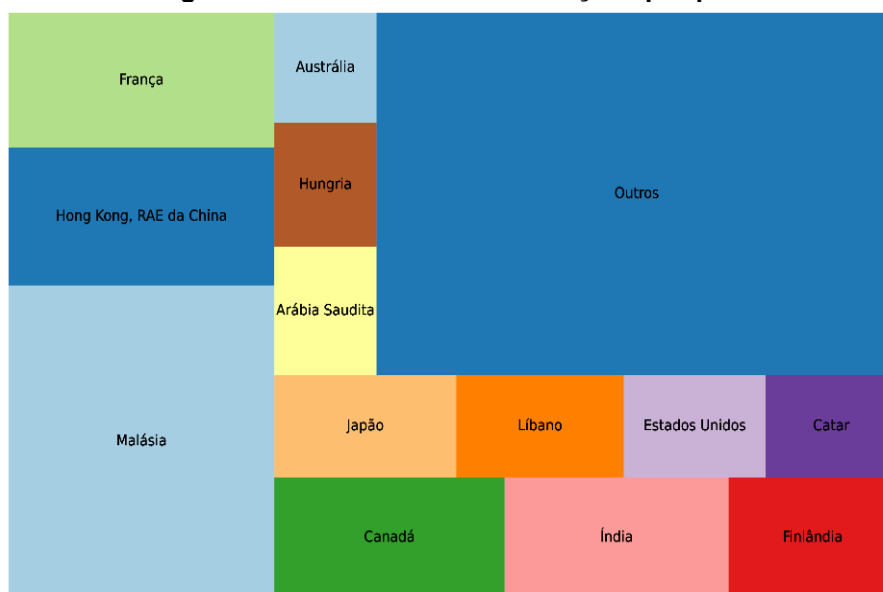


Fonte: Autoria própria (2025)

No gráfico apresentado na Figura 13 é possível notar que apesar de os grandes centros apresentarem um expressivo número de publicação isso não é

traduzido em impacto direto. Ao observar o gráfico, verifica-se que a Malásia, por exemplo, se destaca no número médio de citações superando a marca de 100 artigos, conforme apresentado na Figura 12, apesar de apresentar apenas resultados intermediários no total de citações, o que demonstra um padrão de produção menos volumoso, porém mais influente.

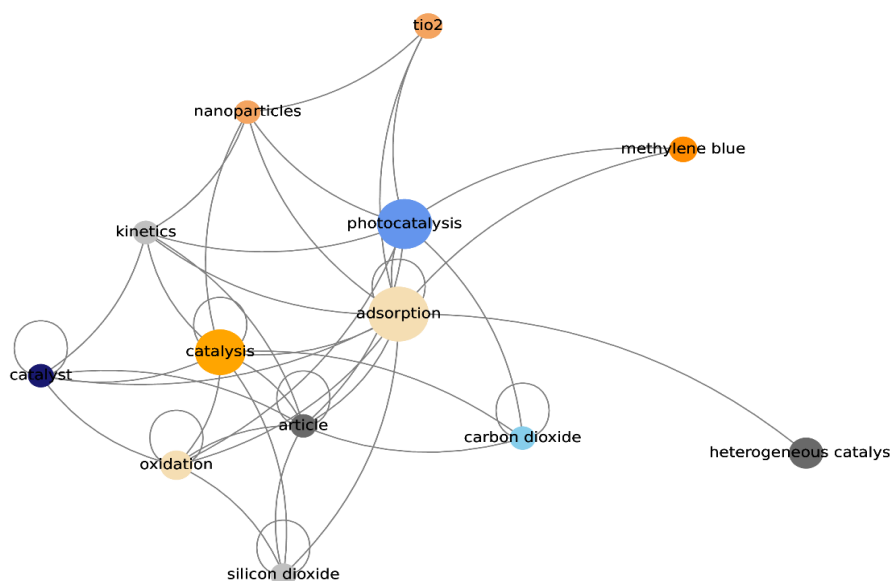
Figura 13 - Número médio de citações por país



Fonte: Autoria própria (2025)

A Figura 14 apresenta o mapa das palavras-chave mais recorrentes nos artigos que compõem o portfólio analisado, evidenciando as conexões entre elas e destacando os termos *Adsorption*, *Photocatalysis* e *Catalysis*. Em conjunto, essas três palavras-chave somam 73 ocorrências ao longo dos 167 artigos, sendo *Adsorption* a mais frequente, com 29 aparições, seguida de *Photocatalysis* (24) e *Catalysis* (20). Ressalta-se, contudo, que embora *Isotherm* tenha sido utilizada como critério de seleção do portfólio, ela não aparece necessariamente registrada como palavra-chave nos artigos. Ainda assim, o conceito está presente em todos os trabalhos analisados, desempenhando papel central no contexto das pesquisas.

Figura 14 - Palavras-chave



Fonte: Autoria própria (2025)

5.2 Análise sistemática

A parte da análise sistemática é dividida em quatro grandes subdivisões sendo degradação ambiental, síntese de produtos químicos, oxidação e redução e isomerização.

5.2.1 Degradação Ambiental

Grande parte dos estudos de degradação ambiental se concentra na remoção de corantes orgânicos por adsorção em sólidos porosos, frequentemente combinada com etapas catalíticas. Materiais como zeólitas modificadas, hidrogéis metálicos, argilas naturais e compósitos à base de óxidos metálicos apresentam capacidades de adsorção elevadas e eficiências de remoção superiores a 90% em condições otimizadas (Russo; Merlo; Jacobo, 2021; Badshah *et al.*, 2024; Hamd *et al.*, 2022; Gharagozlu *et al.*, 2024; Napruszewska *et al.*, 2024). Em geral, a melhoria do desempenho é atribuída ao aumento da área superficial específica, à presença de grupos funcionais superficiais capazes de interagir com os poluentes e à formação de estruturas meso ou macroporosas que facilitam a difusão intrapartícula.

Outro aspecto recorrente é o uso de modelagem cinética e de isotermas de adsorção para descrever o processo. A maioria dos trabalhos indica um bom ajuste ao modelo de pseudo-segunda ordem e à isoterma de Langmuir, sugerindo adsorção monolayer em sítios energeticamente homogêneos (Badshah *et al.*, 2024; Tian *et al.*, 2022; Gul *et al.*, 2022).

Diversos estudos combinam adsorção com fotocatalise heterogênea ou processos *Fenton/Fenton-like*, buscando não apenas remover o poluente da fase aquosa, mas também promover sua degradação e, idealmente, sua mineralização completa (Aman *et al.*, 2022; Armando *et al.*, 2022; Hamieh *et al.*, 2025). Compósitos de TiO₂ ZnO, ferritas, MOFs metálicos e materiais carbonáceos (biochar, carvão ativado, grafeno e seus derivados) são frequentemente empregados como suportes fotocatalíticos, muitas vezes dopados com metais para ampliar a absorção de luz visível e reduzir a recombinação de pares transição ou não elétron–lacuna com o objetivo de aumentar a reatividade entre o adsorvente e o poluente.

De modo geral, os sistemas híbridos mostram sinergia entre adsorção e fotocatalise: a pré-concentração do poluente na superfície do catalisador aumenta a probabilidade de reação com espécies reativas resultando em altas taxas de degradação e remoções superiores a 90% para vários corantes, fármacos e antibióticos (Geng *et al.*, 2021). No entanto, alguns trabalhos apontam que alta capacidade de adsorção nem sempre se traduz em maior degradação, especialmente quando o poluente é fortemente retido em sítios pouco acessíveis às espécies oxidantes, evidenciando a importância de equilibrar propriedades texturais e atividade fotocatalítica (Gul *et al.*, 2022a).

Além dos corantes, há um grupo significativo de estudos voltado aos chamados contaminantes emergentes, como antibióticos, fármacos anti-inflamatórios, pesticidas, cianotoxinas e conservantes (Duong *et al.*, 2022; Gomez-Rodriguez *et al.*, 2023). Em geral, esses compostos apresentam estrutura mais complexa e maior estabilidade química, o que exige o emprego de processos avançados mais agressivos, como foto-Fenton, persulfato ativado, sistemas fotoeletroquímicos e fotocatalise sob luz visível.

Os resultados mostram que, em condições otimizadas, é possível atingir degradações acima de 90% para tetraciclina, sulfadiazina, metronidazol, diclofenaco, lomefloxacina e outros fármacos, com redução significativa de carga orgânica confirmando a diminuição da toxicidade residual após o tratamento (Fdez-Sanroman *et al.*, 2024; Fauziyen; Saputera; Sasongko, 2024). Por outro lado, alguns trabalhos

destacam que a presença de matéria orgânica natural, sais e outros interferentes em efluentes reais pode reduzir de forma importante a eficiência fotocatalítica observada em soluções modelo, indicando a necessidade de etapas de pré-tratamento ou de otimização específica para matrizes reais (Castanheira *et al.*, 2022; Rueda-Márquez *et al.*, 2021).

Embora a maior parte dos estudos esteja centrada em poluentes orgânicos, há também contribuições relevantes para a remoção de metais pesados e outros íons inorgânicos, como Pb(II), Cd(II), Cr(VI), F⁻, NH₃ e íons de cobre (Mandor *et al.*, 2022a).

Os resultados evidenciam capacidades de adsorção elevadas, frequentemente superiores a 100 mg g⁻¹ para alguns íons, e remoções acima de 95% em condições otimizadas (Herath *et al.*, 2022). A reutilização dos adsorventes/catalisadores também é um aspecto importante: vários trabalhos demonstram manutenção da eficiência após múltiplos ciclos de adsorção–dessorção ou adsorção–fotodegradação, o que reforça a viabilidade de aplicação em escala maior (Hadian *et al.*, 2024a).

Além disso o desenvolvimento de materiais sustentáveis é amplamente aplicado seja por rotas de síntese verde ou pelo reaproveitamento de resíduos industriais e agrícolas como precursores de adsorventes e fotocatalisadores (Subagyo *et al.*, 2022a). Exemplos incluem o uso de *red mud*, lodo de esgoto, biomassas residuais, plásticos pós-consumo e diferentes resíduos agrícolas.

De modo geral, esses estudos demonstram que materiais obtidos de resíduos podem apresentar desempenho comparável ou superior a materiais comerciais, tanto em adsorção quanto em fotocatalise, ao mesmo tempo em que agregam valor a subprodutos de baixo custo e reduzem a necessidade de matérias-primas virgens (He *et al.*, 2023a).

Por fim, embora o foco principal da revisão sejam sistemas aquosos, alguns trabalhos abordam a degradação ou remoção de poluentes em fase gasosa, como CO, NO_x, formaldeído, tolueno e CFC-12, bem como agentes nervosos simulados (Suarez-Corredor *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2020).

Além disso, uma parte da literatura dedica-se explicitamente à elucidação dos mecanismos de adsorção e degradação, por meio de modelagem teórica (DFT), análises de vias de degradação e modelos baseados em dados, permitindo descrever a ocupação de diferentes sítios de adsorção e as etapas elementares envolvidas nos processos (Ahmad *et al.*, 2024; Suarez-Corredor *et al.*, 2022). Essas abordagens são

essenciais para projetar materiais mais eficientes e para extrapolar resultados laboratoriais para condições reais de operação.

5.2.2 Síntese de Produtos Químicos

Os artigos analisados apresentam diferentes rotas catalíticas e entre elas está a síntese de combustíveis e intermediários de origem renovável. A produção de lactídeo a partir de ácido láctico aquoso em reator de leito fixo demonstrou seletividade próxima de 99 %, mostrando que o controle da quantidade de água e o uso de catalisadores adequados são fundamentais para o rendimento dos monômeros precursores (Venschott; Hoelderich; Eisenacher, 2023a). Outros estudos tratam da reforma de etanol, glicerol e outros substratos derivados de biomassa para geração de hidrogênio, solketal e intermediários químicos, destacando-se a atuação de óxidos mistos, MOFs e materiais mesoporosos na dispersão das fases ativas e na resistência à desativação por coque (Chirinos *et al.*, 2025; Stawicka; Trejda; Ziolk, 2021). Na produção de diesel verde e gasolina com maior número de octano, catalisadores suportados em SBA-15, ZrO₂ ou ZSM-5 modificadas apresentaram elevadas conversões e seletividades para hidrocarbonetos na faixa de combustíveis, mostrando o potencial dessas rotas catalíticas para valorização de diferentes resíduos industriais e agrícolas (Salim; Saed, 2023; Kamaruzaman; Taufiq-Yap; Derawi, 2020).

Outro conjunto de trabalhos aborda a conversão de CO₂ e pequenas moléculas em produtos de maior valor. Rotas como cicloadição de CO₂ a epóxidos, hidrogenação de CO₂ a metanol e dimetil éter e síntese de carbonatos cíclicos empregam catalisadores à base de MOFs metálicos, sílicas e sistemas bifuncionais adsorvente/catalisador, alcançando elevados rendimentos em condições relativamente brandas (Tapiador *et al.*, 2022; Paulista *et al.*, 2024). Diversos estudos destacam que a etapa de adsorção do CO₂ é determinante na eficiência do processo, sendo influenciada pela área superficial, pH e natureza das espécies metálicas presentes no catalisador (Tiscornia *et al.*, 2022; Paulista *et al.*, 2024).

A produção de compostos finos e heterocíclicos aparece como outro tema relevante. São apresentados catalisadores ácidos heterogêneos como tungstosfosfatos, óxidos de bismuto, hidrotalcitas modificadas, zeólitas funcionalizadas e materiais carbonáceos sulfonados aplicados em reações Aldol, Knoevenagel,

esterificação, acoplamentos e síntese de diferentes heterociclos (Xu *et al.*, 2023; Thampikannu *et al.*, 2024; Abdel-Azim *et al.*, 2021). Os resultados mostram rendimentos geralmente superiores a 90 %, com possibilidade de reutilização dos catalisadores e uso de condições mais sustentáveis, como reações em solventes benignos ou até mesmo sem solvente. A alta atividade é frequentemente relacionada a combinações adequadas de acidez de Brønsted e Lewis, elevada área superficial e mesoporosidade, favorecendo adsorção e difusão.

Os estudos envolvendo biocatalisadores analisam diferentes formas de imobilização de enzimas em suportes porosos. Lipases adsorvidas em sílicas, zeólitas ou matrizes poliméricas mostram desempenho dependente do pH, do suporte e da estratégia de imobilização, com influência direta na capacidade de adsorção enzimática e na eficiência catalítica em reações de esterificação e hidrólise (Pedro *et al.*, 2023; Mao *et al.*, 2022; Azhagapillai *et al.*, 2025). Técnicas como reticulação com quitosana ou uso de nanocompósitos hierárquicos aumentaram a estabilidade e reduziram a perda por dessorção, permitindo múltiplos ciclos de uso (Pedro *et al.*, 2023; Mao *et al.*, 2022; Azhagapillai *et al.*, 2025). A modificação estrutural de enzimas, como no caso da α -amilase psicrofílica, resultou em aumento significativo da atividade sobre substratos sólidos, mostrando a importância da engenharia enzimática e da compreensão da adsorção sobre grânulos (105).

Outro grupo de artigos trata do desenvolvimento de materiais capazes de combinar adsorção e catálise em um único sistema. Hidrogéis responsivos à temperatura, baseados em PNIPAM e modificados com grupos amina, apresentaram alta capacidade de adsorção de íons metálicos, especialmente cobre, além de atividade catalítica ajustável pela temperatura (Ghasemi; Owrang; Javaheri, 2023a). Em escala de processo, sistemas bifuncionais permitiram metanação fototérmica de CO₂, produção de solketal e síntese de DME com integração entre etapas de adsorção e regeneração, proporcionando processos mais eficientes e compactos (Kubovics *et al.*, 2022; Paulista *et al.*, 2024).

A inibição eletrostática causada pela acumulação de produtos carregados na superfície mostrou reduzir a taxa reacional em meios de baixa força iônica, ilustrando o impacto direto da interação adsorvato–superfície na catálise (Lin; Roa; Dzubiella, 2021a). Investigações sobre propriedades fractais, influência do solvente na adsorção de moléculas sonda e estabilidade mecânica de materiais porosos reforçam que textura, rugosidade, distribuição de poros e meio reacional são determinantes para o

desempenho catalítico (Xu *et al.*, 2023 ; Dobrescu *et al.*, 2021). Estudos envolvendo compactação mecânica de MOFs, reaproveitamento de resíduos minerais como suportes catalíticos e avaliação da durabilidade sob condições próximas às industriais aproximam o desenvolvimento de novos materiais das demandas reais de aplicação (Quesada *et al.*, 2022 ; Sales *et al.*, 2025).

5.2.3 Oxidação e Redução

Os estudos voltados para processos eletroquímicos enfatizam a interação entre adsorção, transferência de carga e cinética de reações redox. A investigação da adsorção de hidrogênio em Pt(111) em meio alcalino avaliou diferentes temperaturas para determinar cobertura superficial, resistência de transferência de carga e parâmetros cinéticos, preenchendo uma lacuna experimental existente e contribuindo para a compreensão detalhada da reação de evolução de hidrogênio (Botello; Feliu; Climent, 2020a). Modelagens de adsorção em ligas de alta entropia também demonstram que efeitos de repulsão e variação da cobertura de hidrogênio impactam diretamente a eficiência catalítica, destacando que a composição com vários elementos das ligas pode resultar em comportamentos distintos dos metais puros (Ostergaard; Abild-Pedersen; Rossmeisl, 2024). Outros estudos tratam dos efeitos do meio e da solvatação e mostram que a fase líquida pode alterar substancialmente a energia livre de adsorção, modificando taxas reacionais em várias ordens de magnitude, como demonstrado para a adsorção de fenol em Pt(111) (Zare *et al.*, 2022).

Os artigos relacionados à catálise de oxidação exploram a síntese, modificação e caracterização de catalisadores capazes de promover reações redox seletivas. A preparação de um catalisador de Mo VI imobilizado em SBA-15 com quelante bifuncional derivado de aminoácido apresentou maior atividade e estabilidade para reações de oxidação, demonstrando que a imobilização adequada melhora a acessibilidade aos sítios ativos (Safaei *et al.*, 2024a). Estudos com sulfetos aplicados à hidrodessulfurização identificaram, por espectroscopia IR/CO, quais são os sítios realmente ativos, evidenciando que técnicas espectroscópicas específicas são essenciais para a caracterização funcional de catalisadores (Oliviero *et al.*, 2021a). Trabalhos utilizando MOFs para oxidação seletiva, como a oxidação de benzoinas com H₂O₂, mostraram que o ácido benzóico é o principal produto e que a

adsorção do substrato e a ativação do oxidante são etapas determinantes para o mecanismo reacional (Yurchenko *et al.*, 2023a).

Alguns estudos tratam da combustão catalítica como ferramenta aplicada. Catalisadores $\text{CeO}_2\text{:Mn}_3\text{O}_4$ foram desenvolvidos para detecção sensorial de CH_4 , demonstrando desempenho estável em condições reais de operação, o que reforça a viabilidade de dispositivos que integram catálise e sensores (Simion *et al.*, 2020b). Materiais projetados especificamente para interação morfológica com partículas de fuligem também mostraram desempenho superior na oxidação de material particulado de motores diesel, destacando o papel crítico da geometria porosa na transferência de oxigênio ativo (Sorolla-Rosario *et al.*, 2020a). Trabalhos envolvendo fotocatalise com $\text{Pd/Ga}_2\text{O}_3$ evidenciaram seletividade elevada para etano na conversão de metano na presença de vapor d'água, indicando potencial para rotas alternativas de produção de combustíveis leves (Ishimaru *et al.*, 2021a).

Diversos estudos focam na aplicação de catalisadores em processos de oxidação de CO, redução de compostos tóxicos ou transformação ambientalmente relevante. A oxidação de CO em catalisadores de Pd suportado em sílica mesoporosa apresentou melhoria de desempenho após ciclos de operação, atribuída à reorganização dos poros e ao aumento de sítios ativos associados a vacâncias de oxigênio (Al Soubaihi *et al.*, 2023b). Catalisadores $\text{CuFe}_2\text{O}_4\text{@Ag@ZIF-8}$ preparados sobre nanocristais de celulose exibiram alta atividade redox e boa estabilidade, sugerindo potencial para aplicações ambientais em meio aquoso (Zhang *et al.*, 2020b). Catalisadores Cu–Fe derivados de hidrotalcitas apresentaram forte interação metálica, aumentando a quantidade de oxigênio quimicamente adsorvido e reduzindo a temperatura de ativação em processos de oxidação de VOCs (Zhang *et al.*, 2022a).

As reações de oxidação e redução envolvendo moléculas orgânicas foram amplamente estudadas. A eletrooxidação de glicerol utilizando catalisadores Pt–Sb suportados em carbonos mesoporosos mostrou influência do tipo de suporte e da modificação metálica na atividade e na otimização de parâmetros operacionais (De Andrade *et al.*, 2021a). A redução de 4-nitrofenol com catalisadores CuFe_2O_4 obteve conversões próximas de 100 % em poucos minutos, indicando alta eficiência e rápida transferência de elétrons no processo redutivo (Siri-apai *et al.*, 2025b). Da mesma forma, o uso de catalisadores magnéticos e dopados com nitrogênio para a ORR mostrou melhora significativa da atividade eletroquímica quando o teor de dopantes metálicos e nitrogenados foi elevado (Morais *et al.*, 2024 ;Zhang; Zuo, 2024).

A fotocatalise aparece como tema recorrente entre os trabalhos. Nanofibras mesoporosas de TiO_2 com cristais orientados foram desenvolvidas para melhorar a separação de cargas e aumentar a eficiência da geração de hidrogênio, associando tratamento de água à produção energética (Huang *et al.*, 2020a). Estudos que envolvem a co-imobilização de complexos de Rh e POM em MOFs demonstraram elevada eficiência fotocatalítica para redução de CO_2 , com turnovers de até aproximadamente 175, destacando a importância de sinergias estruturais entre as espécies ativas (Benseghir *et al.*, 2020).

Além dos sensores e da oxidação de VOCs, alguns trabalhos examinaram a combustão catalítica de fuligem, particularmente em estruturas macroporosas de MnMO_x suportadas em sílica. Os catalisadores preparados apresentaram redução significativa na temperatura necessária para início da oxidação, o que é desejável em sistemas automotivos que operam com temperaturas variáveis (Wang *et al.*, 2021a). Estudos com Rh/ZSM-5 mostraram que a presença de SO_2 desativa o catalisador pela formação de espécies de enxofre adsorvidas, mas temperaturas mais elevadas reduzem a cobertura dessas espécies, permitindo alguma recuperação da atividade (Zhang *et al.*, 2020d).

Alguns trabalhos aprofundam aspectos da catálise redox. Estudos de dinâmica de partículas ativas foram utilizados para medir cobertura adsorvato-superfície em tempo real, mostrando boa concordância com modelos computacionais e evidenciando como orientação molecular e solvatação influenciam a adsorção (Greydanus *et al.*, 2022a). A reação de evolução de hidrogênio em ligas e catalisadores metálicos também foi analisada sob a perspectiva da estabilização e repulsão entre intermediários, reforçando a necessidade de considerar não apenas sítios isolados, mas os efeitos cooperativos e acúmulo de intermediários sobre a superfície (Moss *et al.*, 2024; Ostergaard; Abild-Pedersen; Rossmesl, 2024). Trabalhos adicionais discutem como solventes e co-solventes alteram a cobertura e reatividade superficial, como mostrado no estudo sobre transferência catalítica de hidrogênio mediada por formato em presença de álcoois (Baghdady; Medlin; Schwartz, 2025b).

5.2.4 Isomerização

Os estudos sobre isomerização ressaltam a importância da estrutura porosa e da acessibilidade das espécies reacionais aos sítios ativos. A investigação sobre a isomerização esquelética de 1-buteno em ferrierita buscou identificar se a reação ocorre predominantemente nos microporos internos da zeólita ou em regiões externas, relacionando essa localização com o desempenho catalítico. Os resultados indicaram que o controle da acessibilidade dos poros é determinante para a eficiência do processo, uma vez que mudanças estruturais provocadas pelo uso podem alterar significativamente onde a reação ocorre e, conseqüentemente, o rendimento do isômero desejado (Chmielniak *et al.*, 2024). A aplicação de catalisadores mesoporosos em reatores de leito fixo também aparece como estratégia para melhorar seletividade e conversão em reações de isomerização. O catalisador Co/MCM-48 foi preparado e caracterizado quanto à dispersão do metal, estrutura porosa e morfologia, e posteriormente avaliado em reator com membrana catalítica para a isomerização de n-heptano. O catalisador com 3 wt% de Co apresentou desempenho significativo, com conversão de 83% a 400 °C e seletividade aproximada de 65% a 325 °C, evidenciando que ajustes na composição metálica e no tipo de reator influenciam diretamente a obtenção de produtos de maior valor agregado (Ali *et al.*, 2023a).

6 CONCLUSÃO

Ao aplicar o método NIRP a construção do portfólio se mostrou robusta e ajudou a identificar na produção científica recente sobre adsorção, catálise e modelos de isotermas, não apenas as publicações mais relevantes, mas também os avanços do tema ao longo dos últimos cinco anos. A partir da seleção dos critérios para aplicação nas bases de dados e a definição dos parâmetros de busca e normalização dos indicadores bibliométricos foi criada uma hierarquia entre os artigos com maior impacto, garantindo transparência e reprodutibilidade ao processo de revisão.

A análise bibliométrica revelou importantes tendências, dando destaque ao aumento do número de publicações sobre o tema, o domínio de países como China, Espanha e Estados Unidos na produção científica e a forte presença de periódicos especializados, como *Molecules*, *Catalysts* e *Catalysis Today*. Vale destacar que nos grandes centros há um número maior de publicações, entretanto o caso da Malásia mostrou que mesmo um país fora destes centros pode produzir estudos de grande influência com o número médio de citações atingindo a marca das 100 citações.

Na revisão sistemática, foi mapeado quatro grandes eixos temáticos que representam as principais aplicações estudadas no portfólio. Os trabalhos analisados demonstraram avanços significativos na utilização de materiais adsorventes e catalíticos inovadores, incluindo e não se limitando a compostos híbridos, óxidos metálicos modificados, MOFs, hidrogéis funcionais e novos suportes porosos. Observou-se também uma forte tendência ao desenvolvimento de materiais de baixo custo e obtidos a partir de resíduos agrícolas e industriais, o que demonstra que esses subprodutos possibilitam não apenas um melhor uso dos resíduos, mas também garante uma produção mais sustentável para as indústrias.

Ao analisar as lacunas na literatura observou-se a necessidade de mais estudos com efluentes reais e de maior integração entre adsorção e catálise em sistemas multifuncionais. Apesar da evolução do campo, a limitação quanto a extrapolação de resultados do laboratório para condições industriais, além de compreender os efeitos de matrizes mais complexas sobre a eficiência dos processos se torna necessária para a evolução das soluções encontradas.

Com base nesses resultados, este trabalho propõe que o direcionamento futuro para o desenvolvimento do tema deve ser o uso de materiais sustentáveis com propriedades ajustáveis, que sejam capazes de integrar adsorção, catálise e que

tenham regeneração eficiente. Além disso, a ampliação de estudos que utilizam modelagem teórica e ferramentas como inteligência artificial para prever desempenho e otimizar rotas também é um caminho importante a ser trilhado.

Assim, foi possível concluir que a revisão sistemática orientada pelo método NIRP ampliou o entendimento sobre a atual situação dos avanços tecnológicos na adsorção, catálise e isoterma, e também identificou oportunidades de pesquisa que contribuem para a consolidação científica do tema e fornecem material para o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes, sustentáveis e alinhadas aos desafios industriais da atualidade.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-AZIM, Samira *et al.* Visible-Light Responsive Cu-MOF-NH₂ for Highly Efficient Aerobic Photocatalytic Oxidation of Benzyl Alcohol. **KINETICS AND CATALYSIS**, v. 62, n. SUPPL 1, 1, p. S9–S20, dez. 2021a.
- ABDEL-AZIM, Samira *et al.* Visible-Light Responsive Cu-MOF-NH₂ for Highly Efficient Aerobic Photocatalytic Oxidation of Benzyl Alcohol. **KINETICS AND CATALYSIS**, v. 62, n. SUPPL 1, 1, p. S9–S20, dez. 2021b.
- ABDELKADER, Meriem *et al.* Photocatalytic Degradation of Pollutants in Air Streams Using Luminous Textiles Under Ultraviolet Light Illumination: A Pilot-Scale Remediation Study. **Catalysts**, v. 15, n. 3, 2025.
- ACOSTA, Laura *et al.* Nano-intermediate of magnetite nanoparticles supported on activated carbon from spent coffee grounds for treatment of wastewater from oil industry and energy production. **Processes**, v. 9, n. 1, p. 1 – 21, 2021.
- AGUILERA PALACIOS, Edna X. *et al.* A New Series of Tungstophosphoric Acid-Polymeric Matrix Catalysts: Application in the Green Synthesis of 2-Benzazepines and Analogous Rings. **Catalysts**, v. 12, n. 10, 1 out. 2022.
- AHMAD, Madiha *et al.* DFT and comparative adsorption study of NiO, MnO, and Mn₂NiO₄ nanomaterials for the removal of amaranth dye from synthetic water. **RSC ADVANCES**, v. 14, n. 39, p. 28285–28297, set. 2024a.
- AHMAD, Madiha *et al.* DFT and comparative adsorption study of NiO, MnO, and Mn₂NiO₄ nanomaterials for the removal of amaranth dye from synthetic water. **RSC Advances**, v. 14, n. 39, p. 28285–28297, 4 set. 2024b.
- AKBARZADEH, Omid *et al.* Investigation of Synergistic Influence of Ultrasound and Co-Doping to Degrade Toluene from Polluted Air in Construction Sites—An Experimental Approach. **Buildings**, v. 14, n. 9, 1 set. 2024.
- AL SOUBAIHI, Rola Mohammad *et al.* Investigation of palladium catalysts in mesoporous silica support for CO oxidation and CO₂ adsorption. **Heliyon**, v. 9, n. 7, p. e18354, 2023a.
- AL SOUBAIHI, Rola Mohammad *et al.* Investigation of palladium catalysts in mesoporous silica support for CO oxidation and CO₂ adsorption. **HELİYON**, v. 9, n. 7, jul. 2023b.
- ALI, Nisreen S. *et al.* Utilization of Loaded Cobalt onto MCM-48 Mesoporous Catalyst as a Heterogeneous Reaction in a Fixed Bed Membrane Reactor to Produce Isomerization Product from n-Heptane. **CATALYSTS**, v. 13, n. 7, jul. 2023a.
- ALI, Nisreen S. *et al.* Utilization of Loaded Cobalt onto MCM-48 Mesoporous Catalyst as a Heterogeneous Reaction in a Fixed Bed Membrane Reactor to Produce Isomerization Product from n-Heptane. **CATALYSTS**, v. 13, n. 7, jul. 2023b.

ALJADDUA, Huda I.; ALHUMAIMESS, Mosaed S.; HASSAN, Hassan M. A. CaO nanoparticles incorporated metal organic framework (NH₂-MIL-101) for Knoevenagel condensation reaction. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 15, n. 2, 1 fev. 2022.

ALPROL, Ahmed E. *et al.* Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Padina pavonica* extract for efficient photocatalytic removal of methylene blue. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, 1 dez. 2024.

AMAN, Delvin *et al.* Facile synthesis of ZnMoO₄/AlPO₄-5 nanorod composites as visible-light-driven photocatalysts and high-performance energy storage materials. **RSC ADVANCES**, v. 12, n. 12, p. 7120–7132, mar. 2022a.

AMAN, Delvin *et al.* Facile synthesis of ZnMoO₄/AlPO₄-5 nanorod composites as visible-light-driven photocatalysts and high-performance energy storage materials. **RSC Advances**, v. 12, n. 12, p. 7120–7132, 2 mar. 2022b.

ANASTAS, Paul T.; WARNER, John C. **Green chemistry: theory and practice**. Oxford: Oxford University Press, 2018

ARMANDO, Patrick *et al.* Preparation of Fe-Based MOFs Composite as an Adsorptive Photocatalyst with Enhanced Photo-Fenton Degradation under LED Light Irradiation. **Sustainability (Switzerland)**, v. 14, n. 17, 2022a.

ARMANDO, Patrick *et al.* Preparation of Fe-Based MOFs Composite as an Adsorptive Photocatalyst with Enhanced Photo-Fenton Degradation under LED Light Irradiation. **Sustainability (Switzerland)**, v. 14, n. 17, 1 set. 2022b.

ATKINS, Peter; DE PAULA, Julio. **Físico-química**. 10. ed. Porto Alegre: Bookman, 2019.

AZHAGAPILLAI, Prabhu *et al.* Immobilization of soybean peroxidase enzyme on hierarchical zeolite-ordered mesoporous carbon nanocomposite and its activity. **RSC ADVANCES**, v. 15, n. 8, p. 5781–5794, fev. 2025a.

AZHAGAPILLAI, Prabhu *et al.* Immobilization of soybean peroxidase enzyme on hierarchical zeolite-ordered mesoporous carbon nanocomposite and its activity. **RSC Advances**, v. 15, n. 8, p. 5781–5794, 20 fev. 2025b.

BADSHAH, Imran *et al.* Adsorption and catalytic reduction of basic red 1 dye by nickel nanoparticles hydrogel: A study on kinetics, isotherm, and thermodynamics. **Desalination and Water Treatment**, v. 317, 2024a.

BADSHAH, Imran *et al.* Adsorption and catalytic reduction of basic red 1 dye by nickel nanoparticles hydrogel: A study on kinetics, isotherm, and thermodynamics. **Desalination and Water Treatment**, v. 317, 1 jan. 2024b.

BAGHDADY, Ezra A.; MEDLIN, J. Will; SCHWARTZ, Daniel K. Tuning formate surface coverage with cosolvents for liquid-phase catalytic transfer hydrogenation. **Catalysis Science and Technology**, v. 15, n. 11, p. 3354–3362, 24 abr. 2025a.

BAGHDADY, Ezra A.; MEDLIN, J. Will; SCHWARTZ, Daniel K. Tuning formate surface coverage with cosolvents for liquid-phase catalytic transfer hydrogenation. **CATALYSIS SCIENCE & TECHNOLOGY**, v. 15, n. 11, p. 3354–3362, jun. 2025b.

BALLESTEROS PLATA, D. *et al.* On the selective transformation of ethanol over Mg- and/or La-containing mixed oxides catalysts. **Catalysis Today**, v. 429, 1 mar. 2024.

BARQUÍN, Carmen; RIVERO, María J.; ORTIZ, Inmaculada. Shedding light on the performance of magnetically recoverable TiO₂/Fe₃O₄/rGO-5 photocatalyst. Degradation of S-metolachlor as case study. **Chemosphere**, v. 307, 1 nov. 2022.

BARROSO-MARTÍN, Isabel *et al.* Ruthenium incorporation into hydrotalcites-derived mixed oxides for phenol hydrogenation: Role of Mg/Al molar ratio. **Catalysis Today**, v. 423, 1 nov. 2023.

BENAMARA, Majdi *et al.* Enhanced Photocatalytic Removal of Cyanotoxins by Al-Doped ZnO Nanoparticles with Visible-LED Irradiation. **Toxins**, v. 13, n. 1, 1 jan. 2021.

BENSEGHIR, Youven *et al.* Co-immobilization of a Rh Catalyst and a Keggin Polyoxometalate in the UiO-67 Zr-Based Metal–Organic Framework: In Depth Structural Characterization and Photocatalytic Properties for CO₂ Reduction. **Journal of the American Chemical Society**, v. 142, n. 20, p. 9428–9438, 20 maio 2020.

BLACKMAN, Allen; LI, Zhengyan; LIU, Antung A. Efficacy of Command-and-Control and Market-Based Environmental Regulation in Developing Countries. **Annual Review of Resource Economics**, v. 10, n. Volume 10, 2018, p. 381–404, 5 out. 2018.

BOTELLO, Luis E.; FELIU, Juan M.; CLIMENT, Victor. Activation Energy of Hydrogen Adsorption on Pt(111) in Alkaline Media: An Impedance Spectroscopy Study at Variable Temperatures. **ACS APPLIED MATERIALS & INTERFACES**, v. 12, n. 38, p. 42911–42917, set. 2020a.

BOTELLO, Luis E.; FELIU, Juan M.; CLIMENT, Victor. Activation Energy of Hydrogen Adsorption on Pt(111) in Alkaline Media: An Impedance Spectroscopy Study at Variable Temperatures. **ACS Applied Materials and Interfaces**, v. 12, n. 38, p. 42911–42917, 23 set. 2020b.

BOURAIE, Mohamed El; IBRAHIM, Sabah. Differentiation between metronidazole residues disposal by using adsorption and photodegradation processes onto mgo nanoparticles. **International Journal of Nanomedicine**, v. 15, p. 7117–7141, 2020.

CAMPOS, João Vitor *et al.* Análise comparativa entre diferentes ensaios porosimétricos em alumina macroporosa. **Revista Matéria**, n. Suplemento, 2017.

CASTANHEIRA, Bruna *et al.* Functionalized mesoporous silicas SBA-15 for heterogeneous photocatalysis towards CECs removal from secondary urban wastewater. **CHEMOSPHERE**, v. 287, n. 1, jan. 2022a.

CASTANHEIRA, Bruna *et al.* Functionalized mesoporous silicas SBA-15 for heterogeneous photocatalysis towards CECs removal from secondary urban wastewater. **Chemosphere**, v. 287, 1 jan. 2022b.

CAVALCANTE, Lívia Teixeira Canuto; OLIVEIRA, Adélia Augusta Souto de. Métodos de revisão bibliográfica nos estudos científicos. **Psicologia em Revista**, v. 26, n. 1, p. 83–102, 13 abr. 2020.

CHEN, Yuli *et al.* TiO₂-Modified Montmorillonite-Supported Porous Carbon-Immobilized Pd Species Nanocomposite as an Efficient Catalyst for Sonogashira Reactions. **Molecules**, v. 28, n. 5, 1 mar. 2023.

CHINNAPPA, Karthik *et al.* **Green Synthesis of rGO-AgNP Composite Using Curcubita Maxima Extract for Enhanced Photocatalytic Degradation of the Organophosphate Pesticide Chlorpyrifos.** , 28 jan. 2022. Disponível em: <<https://www.researchsquare.com/article/rs-1243946/v1>>

CHIRINOS, Carlos Andres *et al.* Effect of Sm₂O₃ Doping of CeO₂-Supported Ni Catalysts for H₂ Production by Steam Reforming of Ethanol. **CATALYSTS**, v. 15, n. 2, fev. 2025a.

CHIRINOS, Carlos Andrés *et al.* Effect of Sm₂O₃ Doping of CeO₂-Supported Ni Catalysts for H₂ Production by Steam Reforming of Ethanol. **Catalysts**, v. 15, n. 2, 1 fev. 2025b.

CHMIELNIAK, Pawel A. *et al.* Assessment of the Reaction Location of Skeletal 1-Butene Isomerization over Ferrierite. **ACS CATALYSIS**, v. 14, n. 8, p. 6179–6187, abr. 2024.

CHOKAOUYCHAI, Sirikanya; ZHANG, Qi. Understanding phase-transfer catalytic synthesis of fullerenol and its interference from carbon dioxide and ozone. **Research on Chemical Intermediates**, v. 46, n. 12, p. 5391–5415, 1 dez. 2020.

CRAWFORD, James M.; JASINSKI, Jacek B.; CARREON, Moises A. Towards continuous deoxygenation of acetic acid catalyzed by recyclable mono/bi/trimetallic zeolite catalysts. **Journal of Catalysis**, v. 401, p. 137–148, 1 set. 2021.

DAL, Karina *et al.* Revisão integrativa: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem. **Texto & Contexto - Enfermagem**, v. 17, n. 4, p. 758–764, dez. 2008.

DAVID L. NELSON; MICHAEL M. COX;; AARON A. HOSKINS. **Princípios de bioquímica de Lehninger. V.1.** Disponível em: <[https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786558820703/epubcfi/6/32\[%3Bvnd.vst.idref%3Dcap_006.xhtml\]!/4/2/8/11:15\[se%20%2Cpro\]](https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786558820703/epubcfi/6/32[%3Bvnd.vst.idref%3Dcap_006.xhtml]!/4/2/8/11:15[se%20%2Cpro])>. Acesso em: 12 jul. 2025.

DE ANDRADE, Renato N. *et al.* Glycerol electrooxidation catalyzed by Pt-Sb supported in periodic mesoporous carbon CMK-3 and CMK-5. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, v. 896, p. 115158, 1 set. 2021a.

DE ANDRADE, Renato N. *et al.* Glycerol electrooxidation catalyzed by Pt-Sb supported in periodic mesoporous carbon CMK-3 and CMK-5. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, v. 896, 1 set. 2021b.

DO NASCIMENTO, Nilson Machado Pontes *et al.* Synthesis of mesoporous $Zn_{1-x}M_xAl_2O_4$ substituted by Co^{2+} and Ni^{2+} ions and application in the photodegradation of rhodamine B. **Materials**, v. 13, n. 9, 1 maio 2020.

DOAN, Tuan *et al.* Copper-iron bimetal ion-exchanged sapo-34 for NH_3 -scr of NO_x . **Catalysts**, v. 10, n. 3, 1 mar. 2020.

DOBRESCU, Gianina *et al.* Modified Catalysts and Their Fractal Properties. **CATALYSTS**, v. 11, n. 12, dez. 2021a.

DOBRESCU, Gianina *et al.* **Modified catalysts and their fractal properties.** **CatalystsMDPI**, , 1 dez. 2021b.

DUAN, Guangxiang *et al.* Insight into catalytic activation of bisulfite for lomefloxacin degradation by simple composite of calcinated red mud. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 11, p. 29125–29142, 1 mar. 2023.

DUMA, Zama G. *et al.* Thermocatalytic Hydrogenation of CO_2 to Methanol Using Cu-ZnO Bimetallic Catalysts Supported on Metal–Organic Frameworks. **Catalysts**, v. 12, n. 4, 1 abr. 2022.

DUONG, Hoa T. T. *et al.* Photocatalytic Activity of Ti-SBA-15/ C_3N_4 for Degradation of 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid in Water under Visible Light. **Journal of Analytical Methods in Chemistry**, v. 2022, 2022a.

DUONG, Hoa T. T. *et al.* Photocatalytic Activity of Ti-SBA-15/ C_3N_4 for Degradation of 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid in Water under Visible Light. **JOURNAL OF ANALYTICAL METHODS IN CHEMISTRY**, v. 2022, mar. 2022b.

EL-SHAFIE, Ahmed S.; ABOUSEADA, Maha; EL-AZAZY, Marwa. TiO_2 -functionalized biochar from pistachio nutshells: adsorptive removal and photocatalytic decolorization of methyl orange. **Applied Water Science**, v. 13, n. 12, 1 dez. 2023.

FANG, Hongbo *et al.* Electrostatic Assembly of Porphyrin-Functionalized Porous Membrane toward Biomimetic Photocatalytic Degradation Dyes. **ACS Omega**, v. 5, n. 15, p. 8707–8720, 21 abr. 2020.

FAUZIYEN, Sabrina Prima; SAPUTERA, Wibawa Hendra; SASONGKO, Dwiwahju. Tailoring BiOBr Photocatalyst: In-situ Bi Doping for Enhanced Photocatalytic Removal of Sulfamethoxazole (SMX) Antibiotic. **JOURNAL OF ENGINEERING AND TECHNOLOGICAL SCIENCES**, v. 56, n. 2, p. 266–274, 2024a.

FAUZIYEN, Sabrina Prima; SAPUTERA, Wibawa Hendra; SASONGKO, Dwiwahju. Tailoring BiOBr Photocatalyst: In-situ Bi Doping for Enhanced Photocatalytic Removal

of Sulfamethoxazole (SMX) Antibiotic. **Journal of Engineering and Technological Sciences**, v. 56, n. 2, p. 266–274, 3 abr. 2024b.

FDEZ-SANROMAN, Antia *et al.* Optimisation of a photoelectrochemical system for the removal of pharmaceuticals in water using graphitic carbon nitride. **CATALYSIS TODAY**, v. 432, abr. 2024.

FDEZ-SANROMÁN, Antía *et al.* Optimisation of a photoelectrochemical system for the removal of pharmaceuticals in water using graphitic carbon nitride. **Catalysis Today**, v. 432, 15 abr. 2024.

FELSZTYNA, Iván *et al.* Sensing molecular organizational changes through the catalytic activity of acetylcholinesterase from erythrocyte membranes in Langmuir-Blodgett films. **Biochimica et Biophysica Acta - Biomembranes**, v. 1862, n. 5, 1 maio 2020.

FIDA, Muhammad *et al.* Mn²⁺ Doped Cobalt Oxide and Its Composite with Carbon Nanotubes for Adsorption-Assisted Photocatalytic Applications. **Sustainability (Switzerland)**, v. 14, n. 24, 1 dez. 2022.

GALLEGO-VILLADA, Luis A. *et al.* Kinetics for the biodiesel production from lauric acid over Keggin heteropolyacid loaded in silica framework. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 92, p. 109–119, 25 dez. 2020.

GAŠPAROVIČOVÁ, Dana *et al.* Liquid phase oxidation of cyclopentanone over metal-free carbon catalysts. **Chemical Papers**, v. 78, n. 10, p. 5943–5960, 1 jul. 2024.

GASTEIGER, Hubert A. *et al.* Activity benchmarks and requirements for Pt, Pt-alloy, and non-Pt oxygen reduction catalysts for PEMFCs. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 56, n. 1–2, p. 9–35, 10 mar. 2005.

GENG, Nannan *et al.* Insights into the novel application of Fe-MOFs in ultrasound-assisted heterogeneous Fenton system: Efficiency, kinetics and mechanism. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 72, p. 105411, 1 abr. 2021.

GHARAGOZLOU, Mehrnaz *et al.* Bimetal Cu/Ni-BTC@SiO₂ metal-organic framework as high performance photocatalyst for degradation of azo dyes under visible light irradiation. **Environmental Research**, v. 256, p. 119229, 1 set. 2024.

GHASEMI, Soheila; OWRANG, Marzieh; JAVAHERI, Farzad. Kinetic and Equilibrium Function and Switchable Catalytic Activity of Some Thermo-Responsive Hydrogel Metal Absorbents Based on Modified PNIPAM. **Journal of Polymers and the Environment 2023 31:11**, v. 31, n. 11, p. 4972–4989, 3 jun. 2023a.

GHASEMI, Soheila; OWRANG, Marzieh; JAVAHERI, Farzad. Kinetic and Equilibrium Function and Switchable Catalytic Activity of Some Thermo-Responsive Hydrogel Metal Absorbents Based on Modified PNIPAM. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 31, n. 11, p. 4972–4989, 1 nov. 2023b.

GHOBASHY, Mohamed Mohamady; GAYED, H. M. Thermal conversion of irradiated LLDPE waste into sustainable sponge-like compounds: a novel approach for efficient trace-level oil–water removal. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, 1 dez. 2024.

GOBERNA-FERRÓN, Sara *et al.* Influence of silica coatings on magnetite-catalyzed selenium reduction. **Environmental Science and Technology**, v. 55, n. 5, p. 3021–3031, 2 mar. 2021.

GOMEZ-RODRIGUEZ, Pilar *et al.* Photocatalytic degradation of methylisothiazolinone in water by TiO₂ and TiO₂/persulfate systems with simulated solar radiation. **CATALYSIS TODAY**, v. 413, mar. 2023.

GÓMEZ-RODRÍGUEZ, Pilar *et al.* Photocatalytic degradation of methylisothiazolinone in water by TiO₂ and TiO₂/persulfate systems with simulated solar radiation. **Catalysis Today**, v. 413–415, 15 mar. 2023.

GOULD, Nicholas S. *et al.* Understanding solvent effects on adsorption and protonation in porous catalysts. **NATURE COMMUNICATIONS**, v. 11, n. 1, fev. 2020.

GRANT, Maria J.; BOOTH, Andrew. A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. **Health Information & Libraries Journal**, v. 26, n. 2, p. 91–108, 1 jun. 2009.

GREYDANUS, Benjamin *et al.* Probing surface-adsorbate interactions through active particle dynamics. **JOURNAL OF COLLOID AND INTERFACE SCIENCE**, v. 614, p. 425–435, maio 2022a.

GREYDANUS, Benjamin *et al.* Probing surface-adsorbate interactions through active particle dynamics. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 614, p. 425–435, 15 maio 2022b.

GUL, Anadil *et al.* Synthesis of mesoporous TiO₂/BMMs via hydrothermal method and its potential application toward adsorption and photocatalytic degradation of crystal violet from aqueous solution. **ARABIAN JOURNAL OF CHEMISTRY**, v. 15, n. 1, jan. 2022a.

GUL, Anadil *et al.* Synthesis of mesoporous TiO₂/BMMs via hydrothermal method and its potential application toward adsorption and photocatalytic degradation of crystal violet from aqueous solution. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 15, n. 1, 1 jan. 2022b.

GUTIÉRREZ-SÁNCHEZ, Pablo *et al.* Influence of transition metal-based activating agent on the properties and catalytic activity of sewage sludge-derived catalysts. Insights on mechanism, DFT calculation and degradation pathways. **Journal of Molecular Liquids**, v. 381, 1 jul. 2023.

HADIAN, Dadan *et al.* Efficient Removal of Pb(II) Ion using TiO₂/ZnO/SiO₂ Nanocomposite from Aqueous Solutions via Adsorption-Photocatalysis Process; [Penyingkiran Cekap Ion Pb(II) menggunakan Nanokomposit TiO₂/ZnO/SiO₂ daripada Larutan Akua melalui Proses Penjerapan-Fotokatalisis]. **Sains Malaysiana**, v. 53, n. 5, p. 1133 – 1147, 2024a.

HADIAN, Dadan *et al.* Efficient Removal of Pb(II) Ion using TiO₂/ZnO/SiO₂ Nanocomposite from Aqueous Solutions via Adsorption-Photocatalysis Process. **Sains Malaysiana**, v. 53, n. 5, p. 1133–1147, 1 maio 2024b.

HAMD, Ahmed *et al.* Application of Nano Bio-clay Composite in a Scaling-up Study for Wastewater Treatment. **BIOINTERFACE RESEARCH IN APPLIED CHEMISTRY**, v. 12, n. 5, p. 6393–6414, out. 2022a.

HAMD, Ahmed *et al.* Application of nano bio-clay composite in a scaling-up study for wastewater treatment. **Biointerface Research in Applied Chemistry**, v. 12, n. 5, p. 6393–6414, 15 out. 2022b.

HAMIEH, Malak *et al.* Visible Light Photo-Fenton with Hybrid Activated Carbon and Metal Ferrites for Efficient Treatment of Methyl Orange (Azo Dye). **MOLECULES**, v. 30, n. 8, abr. 2025a.

HAMIEH, Malak *et al.* Visible Light Photo-Fenton with Hybrid Activated Carbon and Metal Ferrites for Efficient Treatment of Methyl Orange (Azo Dye). **MOLECULES**, v. 30, n. 8, abr. 2025b.

HARARI, Yuval Noah. **Sapiens: uma breve história da humanidade**. Tradução: Lúcia Brito. 2. ed. São Paulo: L&PM, 2015.

HASTUTI, Lathifah Puji *et al.* Effect of Polymer Concentration on the Photocatalytic Membrane Performance of PAN/TiO₂/CNT Nanofiber for Methylene Blue Removal through Cross-Flow Membrane Reactor. **Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis**, v. 17, n. 2, p. 350–362, 2022.

HE, Tong *et al.* Preparation of hydrochar by one-step hydrothermal carbonization with potassium ferrate-assisted activation for the removal of tetracycline in water. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 98, n. 8, p. 2039–2050, 1 ago. 2023a.

HE, Tong *et al.* Preparation of hydrochar by one-step hydrothermal carbonization with potassium ferrate-assisted activation for the removal of tetracycline in water. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 98, n. 8, p. 2039–2050, 1 ago. 2023b.

HERATH, Amali *et al.* Iron/titanium oxide-biochar (Fe₂TiO₅/BC): A versatile adsorbent/photocatalyst for aqueous Cr(VI), Pb²⁺, F⁻ and methylene blue. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 614, p. 603–616, 15 maio 2022.

HOUSSAINI, Jamal *et al.* Effect of microwave method on jasminaldehyde synthesis using solvent-free over Mg–Al–NO₃ hydrotalcite catalyst. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 16, n. 12, 1 dez. 2023.

HUA, Yongbiao *et al.* Effects of gas phase composition on competitive adsorption properties of formaldehyde on titanium dioxide-supported platinum in single and mixture compositions. **Science of the Total Environment**, v. 892, 20 set. 2023.

HUANG, Guocheng *et al.* Hydrogen producing water treatment through mesoporous TiO₂ nanofibers with oriented nanocrystals. **CHINESE JOURNAL OF CATALYSIS**, v. 41, n. 1, SI, p. 50–61, jan. 2020a.

HUANG, Guocheng *et al.* Hydrogen producing water treatment through mesoporous TiO₂ nanofibers with oriented nanocrystals. **CHINESE JOURNAL OF CATALYSIS**, v. 41, n. 1, SI, p. 50–61, jan. 2020b.

IBRAHIM, Amr A. *et al.* Green construction of eco-friendly phosphotungstic acid Sr-MOF catalysts for crystal violet removal and synthesis of coumarin and xanthene compounds. **RSC Advances**, v. 11, n. 59, p. 37276–37289, 11 nov. 2021.

IBRAHIM, Mishal W. *et al.* Mesoporous aluminosilicate materials supported zinc oxide photocatalytic degradation of pharmaceutical pollutants. **Desalination and Water Treatment**, v. 320, 1 out. 2024.

ISHIMARU, Mizuki *et al.* Methane coupling and hydrogen evolution induced by palladium-loaded gallium oxide photocatalysts in the presence of water vapor. **JOURNAL OF CATALYSIS**, v. 397, p. 192–200, maio 2021a.

ISHIMARU, Mizuki *et al.* Methane coupling and hydrogen evolution induced by palladium-loaded gallium oxide photocatalysts in the presence of water vapor. **Journal of Catalysis**, v. 397, p. 192–200, 1 maio 2021b.

JANG, Seongon *et al.* Zr(OH)₄/GO nanocomposite for the degradation of nerve agent soman (GD) in high-humidity environments. **Materials**, v. 13, n. 13, 2020.

JARAMILLO-FIERRO, Ximena; CUENCA, Guisella. Enhancing Methylene Blue Removal through Adsorption and Photocatalysis—A Study on the GO/ZnTiO₃/TiO₂ Composite. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 25, n. 8, 1 abr. 2024.

JIANG, Xiaoyu; ZHOU, Qin; LIAN, Yongfu. Efficient Photocatalytic Degradation of Tetracycline on the MnFe₂O₄/BGA Composite under Visible Light. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 11, 1 jun. 2023.

JIMÉNEZ, Alejandro *et al.* Mixed-metal-oxide photocatalysts generated by high-temperature calcination of CaAlFe, hydrocalumite-LDHs prepared from an aluminum salt-cake. **Catalysis Today**, v. 423, 1 nov. 2023.

KAMARUZAMAN, Muhammad Fadhli; TAUFIQ-YAP, Yun Hin; DERAWI, Darfizzi. Green diesel production from palm fatty acid distillate over SBA-15-supported nickel, cobalt, and nickel/cobalt catalysts. **Biomass and Bioenergy**, v. 134, 1 mar. 2020.

KHAN, Muhammad Saqib *et al.* Photocatalytic decolorization and biocidal applications of nonmetal doped TiO₂: Isotherm, kinetic modeling and in silico molecular docking studies. **Molecules**, v. 25, n. 19, 1 out. 2020.

KHAN, Muhammad Saqib *et al.* Graphene quantum dot and iron co-doped TiO₂ photocatalysts: Synthesis, performance evaluation and phytotoxicity studies. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 226, 15 dez. 2021.

KHAN, Shahab *et al.* Clay-based materials for enhanced water treatment: adsorption mechanisms, challenges, and future directions. **Journal of Umm Al-Qura University for Applied Sciences** **2023 11:2**, v. 11, n. 2, p. 219–234, 16 out. 2023.

KOJIMA, Kiria *et al.* Characterization of H₄SiW₁₂O₄₀ supported on mesoporous silica (SBA-15), non-structured amorphous silica and γ -alumina. **Journal of Catalysis**, v. 395, p. 387–398, 1 mar. 2021.

KOOLIVAND, Mostafa *et al.* Ni–citric acid coordination polymer as a practical catalyst for multicomponent reactions. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, 1 dez. 2021.

KOPP, Matías *et al.* Synthesis of iron oxide/activated hydrochar composite from residual brewery biomass for remediation of water contaminated with chlorophenol. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, 1 dez. 2025.

KUBOVICS, Márta *et al.* Photocatalytic Hydrogen Production Using Porous 3D Graphene-Based Aerogels Supporting Pt/TiO₂ Nanoparticles. **Gels**, v. 8, n. 11, p. 719, 1 nov. 2022a.

KUBOVICS, Márta *et al.* Photocatalytic Hydrogen Production Using Porous 3D Graphene-Based Aerogels Supporting Pt/TiO₂ Nanoparticles. **Gels**, v. 8, n. 11, 1 nov. 2022b.

KUMAR, Dinesh; PANDEY, Jay; KUMAR, Arinjay. Enhanced photocatalytic removal of Cd(II) from aqueous solution using Bi/S co-doped carbon quantum dots. **Materials Science for Energy Technologies**, v. 7, p. 9–18, 2024.

LATSIOU, Angeliki I. *et al.* Synthesis and Mathematical Modelling of the Preparation Process of Nickel-Alumina Catalysts with Egg-Shell Structures for Syngas Production via Reforming of Clean Model Biogas. **Catalysts**, v. 12, n. 3, 1 mar. 2022.

LI, Pan *et al.* Composition-tunable ZnS_{1-x}Sex nanobelt solid solutions for efficient solar-fuel production. **CHINESE JOURNAL OF CATALYSIS**, v. 41, n. 10, p. 1663–1673, out. 2020a.

LI, Yaping *et al.* Zeolite-based materials for the removal of pollutants from water and wastewater: a review. **Journal of Cleaner Production**, v. 236, p. 117694, 2019.

LI, Yongwei *et al.* Study of Mesoporous Zr-TiO₂ Catalyst with Rich Oxygen Vacancies for N-Methylmorpholine Oxidation to N-Methylmorpholine-N-oxide. **Molecules**, v. 29, n. 16, 1 ago. 2024.

LI, Zhiqian *et al.* Equivalence of difluorodichloromethane (CFC-12) hydrolysis catalyzed by solid acid(base) MoO₃(MgO)/ZrO₂. **RSC Advances**, v. 10, n. 56, p. 33662 – 33674, 2020b.

LI, Zhiqian *et al.* Equivalence of difluorodichloromethane (CFC-12) hydrolysis catalyzed by solid acid(base) MoO₃(MgO)/ZrO₂. **RSC Advances**, v. 10, n. 56, p. 33662–33674, 11 set. 2020c.

LIN, Yi-Chen; ROA, Rafael; DZUBIELLA, Joachim. Electrostatic Reaction Inhibition in Nanoparticle Catalysis. **LANGMUIR**, v. 37, n. 22, p. 6800–6810, jun. 2021a.

LIN, Yi-Chen; ROA, Rafael; DZUBIELLA, Joachim. Electrostatic Reaction Inhibition in Nanoparticle Catalysis. **LANGMUIR**, v. 37, n. 22, p. 6800–6810, jun. 2021b.

LIU, Fanji *et al.* Dispersion and Stabilization of Supported Layered Double Hydroxide-Based Nanocomposites on V-Based Catalysts for Nonoxidative Dehydrogenation of Isobutane to Isobutene. **Catalysts**, v. 12, n. 4, 1 abr. 2022.

LUCHESE, Angélica Maria; MARZORATI, Liliana. Catálise de transferência de fase. **Química Nova**, v. 23, n. 5, p. 641–652, 2000.

MAHMOUDABADI, Zohal Safaei; RASHIDI, Alimorad; MAKLAVANY, Davood Mohammady. Optimizing treatment of alcohol vinasse using a combination of advanced oxidation with porous α -Fe₂O₃ nanoparticles and coagulation-flocculation. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 234, 1 abr. 2022.

MAKOSZA, Mieczysław. Phase-transfer catalysis: a general green methodology in organic synthesis. **Pure and Applied Chemistry**, v. 89, n. 10, p. 1499–1515, 2017.

MANAHAN, Stanley E. **Introdução à química ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

MANDOR, Hagar *et al.* Preparation and characterization of N-doped ZnO and N-doped TiO₂ beads for photocatalytic degradation of phenol and ammonia. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 37, p. 56845 – 56862, 2022a.

MANDOR, Hagar *et al.* Preparation and characterization of N-doped ZnO and N-doped TiO₂ beads for photocatalytic degradation of phenol and ammonia. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 37, p. 56845–56862, 1 ago. 2022b.

MAO, Yuhong *et al.* Characteristics of Crosslinking Polymers Play Major Roles in Improving the Stability and Catalytic Properties of Immobilized Thermomyces lanuginosus Lipase. **International journal of molecular sciences**, v. 23, n. 6, 1 mar. 2022a.

MAO, Yuhong *et al.* Characteristics of Crosslinking Polymers Play Major Roles in Improving the Stability and Catalytic Properties of Immobilized Thermomyces lanuginosus Lipase. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 6, 1 mar. 2022b.

MARTÍN-GÓMEZ, Juan *et al.* Insight into the reaction mechanism of photocatalytic production of solketal. **Catalysis Today**, v. 429, 1 mar. 2024.

MARTINS, Angela *et al.* Hierarchical Zeolites Prepared Using a Surfactant-Mediated Strategy: ZSM-5 vs. Y as Catalysts for Friedel–Crafts Acylation Reaction. **Molecules**, v. 29, n. 2, 1 jan. 2024.

MEDINA, J. C. *et al.* Influence of Pd, Pt and Au nanoparticles in the photocatalytic performance of N-TiO₂ support under visible light. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 382, n. 2282, 23 set. 2024.

MERCADANTE, Alessandro *et al.* Easy functionalization of carbon nano-onions with disulfides and their use as recyclable heterogeneous organocatalysts. **Carbon**, v. 228, 1 set. 2024.

MILITELLO, María Paula *et al.* Towards Photothermal Acid Catalysts Using Eco-Sustainable Sulfonated Carbon Nanoparticles—Part I: Synthesis, Characterization and Catalytic Activity towards Fischer Esterification. **Catalysts**, v. 13, n. 10, 1 out. 2023.

MINGERS, John; LEYDESDORFF, Loet. A review of theory and practice in scientometrics. **European Journal of Operational Research**, v. 246, n. 1, p. 1–19, 1 out. 2015.

MOHASSEL YAZDI, Nazanin; NAIMI-JAMAL, Mohammad Reza. One-pot synthesis of quinazolinone heterocyclic compounds using functionalized SBA-15 with natural material ellagic acid as a novel nanocatalyst. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, 1 dez. 2024.

MORAIS, Rafael G. *et al.* Insights into the Electrocatalytic Activity of Fe,N-Glucose/Carbon Nanotube Hybrids for the Oxygen Reduction Reaction. **C-JOURNAL OF CARBON RESEARCH**, v. 10, n. 2, jun. 2024a.

MORAIS, Rafael G. *et al.* Insights into the Electrocatalytic Activity of Fe,N-Glucose/Carbon Nanotube Hybrids for the Oxygen Reduction Reaction. **C-Journal of Carbon Research**, v. 10, n. 2, 1 jun. 2024b.

MOSQUERA, Carina; VILLA, Aída Luz. Cycloaddition of limonene epoxide and CO₂ over Zn/SBA-15 catalysts for limonene carbonate synthesis. **Journal of CO₂ Utilization**, v. 83, 1 maio 2024.

MOSS, Benjamin *et al.* Cooperative Effects Drive Water Oxidation Catalysis in Cobalt Electrocatalysts through the Destabilization of Intermediates. **Journal of the American Chemical Society**, v. 146, n. 13, p. 8915–8927, 3 abr. 2024.

NAJEM, Melissa *et al.* Palladium/carbon nanofibers by combining atomic layer deposition and electrospinning for organic pollutant degradation. **Materials**, v. 13, n. 8, 1 abr. 2020.

NAPRUSZEWSKA, Bogna D. *et al.* TiO₂ Nanoparticles with Adjustable Phase Composition Prepared by an Inverse Microemulsion Method: Physicochemical

Characterization and Photocatalytic Properties. **Nanomaterials**, v. 14, n. 13, 1 jul. 2024a.

NAPRUSZEWSKA, Bogna D. *et al.* Clay Minerals/TiO₂ Composites-Characterization and Application in Photocatalytic Degradation of Water Pollutants. **MOLECULES**, v. 29, n. 20, out. 2024b.

NAPRUSZEWSKA, Bogna D. *et al.* Clay Minerals/TiO₂ Composites—Characterization and Application in Photocatalytic Degradation of Water Pollutants. **Molecules**, v. 29, n. 20, 1 out. 2024c.

NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do *et al.* **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. 2. ed. Fortaleza: Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará, 2020.

NAZARI, Pegah *et al.* Delafossite-alumina nanocomposite for enhanced catalytic wet peroxide oxidation of anionic pollutants. **Journal of Hazardous Materials**, v. 417, p. 126015, 5 set. 2021.

NELSON, David L.; COX, Michael M. **Lehninger: princípios de bioquímica**. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017

NGUYEN, Thu Huong *et al.* Synthesis of Mesoporous ZnO•SiO₂ Nanocomposite from Rice Husk for Enhanced Degradation of Organic Substances Including Janus Green B under Visible Light. **Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis**, v. 19, n. 3, p. 429–441, 1 out. 2024.

NICOMEL, Nina Ricci *et al.* Selective and enhanced nickel adsorption from sulfate- and calcium-rich solutions using chitosan. **Separation and Purification Technology**, v. 276, p. 119283, 2021.

NIU, Yifei *et al.* Efficient Toluene Decontamination and Resource Utilization through Ni/Al₂O₃ Catalytic Cracking. **Molecules**, v. 29, n. 20, 1 out. 2024.

OANH, Nguyen Thi Kim; HUZZ, Nguyen Vinh; NONG, Linh Xuan. Bismuth Oxychloride as an Efficient Heterogeneous Catalyst for Aldol Condensation Reaction between Aldehydes and Ketones. **BULLETIN OF CHEMICAL REACTION ENGINEERING AND CATALYSIS**, v. 18, n. 2, p. 173–185, jul. 2023.

OLIVIERO, Laetitia *et al.* Catalysis by sulfides: Advanced IR/CO spectroscopy for the identification of the most active sites in hydrodesulfurization reactions. **JOURNAL OF CATALYSIS**, v. 403, p. 87–97, nov. 2021a.

OLIVIERO, Laetitia *et al.* Catalysis by sulfides: Advanced IR/CO spectroscopy for the identification of the most active sites in hydrodesulfurization reactions. **Journal of Catalysis**, v. 403, p. 87–97, 1 nov. 2021b.

OMWOMA LUGASI, Solomon; SARKAR, Tapan. Design and Synthesis of Reusable Nanoparticles for Reversible Chemisorption of Hexavalent Chromium Anions from Aqueous Media and Catalysis. **Journal of Chemistry**, v. 2020, 2020.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Ambient (outdoor) air pollution**. Disponível em: <[https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)>. Acesso em: 6 maio. 2025.

OSTERGAARD, Frederik C.; ABILD-PEDERSEN, Frank; ROSSMEISL, Jan. Coverage, repulsion, and reactivity of hydrogen on High-Entropy alloys. **JOURNAL OF CATALYSIS**, v. 435, p. 115570, jul. 2024.

ØSTERGAARD, Frederik C.; ABILD-PEDERSEN, Frank; ROSSMEISL, Jan. Coverage, repulsion, and reactivity of hydrogen on High-Entropy alloys. **Journal of Catalysis**, v. 435, 1 jul. 2024.

PAGE, Matthew J. *et al.* The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**, v. 372, 29 mar. 2021.

PARVEEN, Kousar *et al.* Photodegradation of Rhodamine B using gallium hybrids as an efficient photocatalyst. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 195, n. 9, 1 set. 2023.

PAULISTA, Larissa O. *et al.* Solar thermo-photocatalytic methanation using a bifunctional RuO₂:TiO₂/ Z13X photocatalyst/adsorbent material for efficient CO₂ capture and conversion. **JOURNAL OF ENVIRONMENTAL CHEMICAL ENGINEERING**, v. 12, n. 3, jun. 2024a.

PAULISTA, Larissa O. *et al.* Solar thermo-photocatalytic methanation using a bifunctional RuO₂:TiO₂/Z13X photocatalyst/adsorbent material for efficient CO₂ capture and conversion. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 12, n. 3, 1 jun. 2024b.

PEDRO, Kelly C. N. R. *et al.* Adsorption of lipases on porous silica-based materials for esterification in a solvent-free system. **3 Biotech** **2023** **13:11**, v. 13, n. 11, p. 380-, 25 out. 2023a.

PEDRO, Kelly C. N. R. *et al.* Adsorption of lipases on porous silica-based materials for esterification in a solvent-free system. **3 Biotech**, v. 13, n. 11, 1 nov. 2023b.

PELAEZ, Miguel *et al.* A review on the visible light active titanium dioxide photocatalysts for environmental applications. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 125, p. 331–349, 21 ago. 2012.

PETE, Kwena Yvonne *et al.* Modeling adsorption and photocatalytic treatment of recalcitrant contaminant on multi-walled carbon/TiO₂ nanocomposite. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 41, p. 94154–94165, 1 set. 2023.

PETERS, Micah D. J. *et al.* Updated methodological guidance for the conduct of scoping reviews. **JBI Evidence Synthesis**, v. 18, n. 10, p. 2119–2126, 2020.

PHAM, Son Tung *et al.* Role of Brønsted and Lewis acidic sites in sulfonated Zr-MCM-41 for the catalytic reaction of cellulose into 5-hydroxymethyl furfural. **Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis**, v. 130, n. 2, p. 825–836, 1 ago. 2020.

PIAO, Mingyue *et al.* Self-regeneration hybrid hydrogel for bisphenol a adsorption in water. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 28, p. 43169–43178, 1 jun. 2022.

PIRES, João. Simultaneous Thermogravimetry–Differential Scanning Calorimetry (TG–DSC) in nanoporous materials: examples of data for zeolites, metal–organic frameworks (MOFs), clay based and mesostructured solids. **Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials**, v. 34, n. 8, p. 3346–3359, 2024.

PRADEEPAN, Kavya; NISHIMURA, Shun. Palladium-loaded lanthanum metal organic framework for vanillin hydrodeoxygenation. **Applied Catalysis A: General**, v. 705, p. 120442, 2025.

QIAN, Minfan *et al.* Progress in catalytic strategies for mitigating NO_x/N₂O emissions: from mechanisms to applications. **Catalysis Science & Technology**, v. 15, n. 7, p. 2061–2103, 31 mar. 2025.

QIN, Xiangdong *et al.* CO Oxidation Catalyzed by Au Dispersed on SBA-15 Modified with TiO₂ Films Grown via Atomic Layer Deposition (ALD). **Catalysts**, v. 13, n. 7, 1 jul. 2023.

QUESADA, Lucia *et al.* Characterization of the Different Oils Obtained through the Catalytic In Situ Pyrolysis of Polyethylene Film from Municipal Solid Waste. **APPLIED SCIENCES-BASEL**, v. 12, n. 8, abr. 2022a.

QUESADA, Lucía *et al.* Characterization of the Different Oils Obtained through the Catalytic In Situ Pyrolysis of Polyethylene Film from Municipal Solid Waste. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 12, n. 8, 1 abr. 2022b.

RAMÍREZ FRANCO, J. H.; CASTAÑEDA CÁRDENAS, S. D.; ZEA RAMÍREZ, H. R. Photocatalytic Degradation of Organic Dyes from Clinical Laboratory Wastewater. **Water (Switzerland)**, v. 15, n. 6, 1 mar. 2023.

RASHED, M. N. Adsorption technique for the removal of organic pollutants from water and wastewater. In: RASHED, M. N. (ed.). *Organic pollutants – monitoring, risk and treatment*. Rijeka: InTechOpen, 2013. p. 167–194. DOI: 10.5772/54048.

RAUEN, Thalita Grando *et al.* Ecotoxicidade de nanocatalisadores de óxidos de ferro, produzidos a partir da drenagem ácida de mina, quando submetidos à ação de ozônio em meio aquoso. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 26, n. 6, p. 1033–1041, 2021.

REHMAN, Nabeel Ur *et al.* Green synthesis of silver nanoparticles using *Lepidium sativum* seed mucilage as a bioreductant/capping agent for efficient antibacterial and photocatalytic activities. **Desalination and Water Treatment**, v. 320, 1 out. 2024.

ROBATJAZI, Zahra S.; NAIMI-JAMAL, M. Reza; TAJBAKHSH, Mahdiah. Synthesis and characterization of highly efficient and recoverable Cu@MCM-41-(2-hydroxy-3-propoxypropyl) metformin mesoporous catalyst and its uses in Ullmann type reactions. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, 1 dez. 2022.

RUEDA-MÁRQUEZ, Juan José *et al.* Post-treatment of real municipal wastewater effluents by means of granular activated carbon (GAC) based catalytic processes: A focus on abatement of pharmaceutically active compounds. **Water Research**, v. 192, p. 116833, 15 mar. 2021.

RUSSO, A. V.; MERLO, B. G.; JACOBO, S. E. Adsorption and catalytic degradation of Tartrazine in aqueous medium by a Fe-modified zeolite. **Cleaner Engineering and Technology**, v. 4, p. 100211, 2021.

SABRE, Ema V. *et al.* **Vanadium-containing modified clays as catalysts for acetaldehyde production by ethanol selective oxidation.** **Catalysis Today** Elsevier B.V., , 1 dez. 2024.

SAFAEI, Elham *et al.* An improved immobilized molybdenum oxidative catalyst bearing an amino acid-derived bifunctional chelator. **JOURNAL OF ORGANOMETALLIC CHEMISTRY**, v. 1010, p. 123099, abr. 2024a.

SAFAEI, Elham *et al.* An improved immobilized molybdenum oxidative catalyst bearing an amino acid-derived bifunctional chelator. **Journal of Organometallic Chemistry**, v. 1010, 15 abr. 2024b.

SAHA, Rajat K. *et al.* Antibacterial and nonlinear dynamical analysis of flower and hexagon-shaped ZnO microstructures. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, 1 dez. 2020.

SALES, H. B. *et al.* Utilization of ornamental rock waste as a catalytic support for α -MoO₃ in biodiesel production. **Scientific Reports 2025 15:1**, v. 15, n. 1, p. 19152-, 31 maio 2025a.

SALES, H. B. *et al.* Utilization of ornamental rock waste as a catalytic support for α -MoO₃ in biodiesel production. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, 1 dez. 2025b.

SALIM, Mohammed Abdul Razzaq; SAED, Usama Akram. Production of High-Octane Number Gasoline from Basra Low Octane-Number Gas Condensate and Ethanol over Modified Zn/ZSM5 Zeolite Catalyst. **Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis**, v. 18, n. 1, p. 59–70, 2023a.

SALIM, Mohammed Abdul-Razzaq; SAED, Usama Akram. Production of High-Octane Number Gasoline from Basra Low Octane-Number Gas Condensate and Ethanol over Modified Zn/ZSM5 Zeolite Catalyst. **BULLETIN OF CHEMICAL REACTION ENGINEERING AND CATALYSIS**, v. 18, n. 1, p. 59–70, abr. 2023b.

SANTIAGO, Rafaelle G. *et al.* Synthesis of MeOH and DME From CO₂ Hydrogenation Over Commercial and Modified Catalysts. **Frontiers in Chemistry**, v. 10, 3 jun. 2022.

SAPUTERA, Wibawa Hendra; YUNIAR, Gita; SASONGKO, Dwiwahju. Light-driven methane conversion: unveiling methanol using a TiO₂/TiOF₂ photocatalyst. **RSC Advances**, v. 14, n. 13, p. 8740–8751, 14 mar. 2024.

SHAHEEN, Rabia; HANIF, Muhammad Asif. High speed removal of toxic acid red dye using photocatalytic-hybrid composite material. **Desalination and Water Treatment**, v. 317, 1 jan. 2024.

SHANDILYA, Pooja *et al.* Synthesis of Eu³⁺-doped ZnO/Bi₂O₃ heterojunction photocatalyst on graphene oxide sheets for visible light-assisted degradation of 2,4-dimethyl phenol and bacteria killing. **Solid State Sciences**, v. 102, 1 abr. 2020.

SHEN, Zhe *et al.* Enhanced Aquathermolysis of Water–Heavy Oil–Ethanol Catalyzed by B@Zn(II)L at Low Temperature. **Molecules**, v. 29, n. 9, 1 maio 2024.

SHIMIZU, Seishi; MATUBAYASI, Nobuyuki. Surface Area Estimation: Replacing the Brunauer–Emmett–Teller Model with the Statistical Thermodynamic Fluctuation Theory. **Langmuir**, v. 38, n. 26, p. 7989–8002, 2022.

SIMION, Cristian E. *et al.* CeO₂:Mn₃O₄ catalytic micro-converters tuned for CH₄ detection based on catalytic combustion under real operating conditions. **Materials**, v. 13, n. 9, 1 maio 2020a.

SIMION, Cristian E. *et al.* CeO₂:Mn₃O₄ Catalytic Micro-Converters Tuned for CH₄ Detection Based on Catalytic Combustion under Real Operating Conditions. **Materials 2020, Vol. 13, Page 2196**, v. 13, n. 9, p. 2196, 11 maio 2020b.

SIRI-APAI, Patompong *et al.* Reduction of 4-Nitrophenol to 4-Aminophenol by Reusable CuFe₅O₈-Based Catalysts Synthesized by Co-Precipitation Method. **Molecules**, v. 30, n. 4, 1 fev. 2025a.

SIRI-APAI, Patompong *et al.* Reduction of 4-Nitrophenol to 4-Aminophenol by Reusable CuFe₅O₈-Based Catalysts Synthesized by Co-Precipitation Method. **Molecules 2025, Vol. 30, Page 777**, v. 30, n. 4, p. 777, 7 fev. 2025b.

SOROLLA-ROSARIO, Debora *et al.* Key-lock Ceria Catalysts for the Control of Diesel Engine Soot Particulate Emissions. **CHEMCATCHEM**, v. 12, n. 6, p. 1772–1781, mar. 2020a.

SOROLLA-ROSARIO, Débora *et al.* Key-lock Ceria Catalysts for the Control of Diesel Engine Soot Particulate Emissions. **ChemCatChem**, v. 12, n. 6, p. 1772–1781, 19 mar. 2020b.

SOWE, Momodou Salieu *et al.* The Production of Green Diesel Rich Pentadecane (C₁₅) from Catalytic Hydrodeoxygenation of Waste Cooking Oil using Ni/Al₂O₃-ZrO₂ and Ni/SiO₂-ZrO₂. **Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis**, v. 17, n. 1, p. 135–145, 2022.

SPRYNSKY, Myroslav *et al.* Diatom Biosilica Doped with Palladium(II) Chloride Nanoparticles as New Efficient Photocatalysts for Methyl Orange Degradation. **International Journal of Molecular Sciences Article**, 2021.

STAWICKA, Katarzyna; TREJDA, Maciej; ZIOLEK, Maria. Insight into Active Centers and Anti-Coke Behavior of Niobium-Containing SBA-15 for Glycerol Dehydration. **CATALYSTS**, v. 11, n. 4, abr. 2021a.

STAWICKA, Katarzyna; TREJDA, Maciej; ZIOLEK, Maria. Insight into active centers and anti-coke behavior of niobium-containing sba-15 for glycerol dehydration. **Catalysts**, v. 11, n. 4, 1 abr. 2021b.

STEFFEN, Vilmar *et al.* A new Normalized Index for Ranking Papers in Systematic Literature Reviews. **Decision Analytics Journal**, v. 10, p. 100439, 1 mar. 2024.

SUAREZ-CORREDOR, Andres F. *et al.* Characterization Method for Gas Flow Reactor Experiments-NH₃ Adsorption on Vanadium-Based SCR Catalysts. **INDUSTRIAL & ENGINEERING CHEMISTRY RESEARCH**, v. 60, n. 30, p. 11399–11411, ago. 2021a.

SUAREZ-CORREDOR, Andres F. *et al.* Characterization Method for Gas Flow Reactor Experiments - NH₃ Adsorption on Vanadium-Based SCR Catalysts. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 60, n. 30, p. 11399–11411, 4 ago. 2021b.

SUAREZ-CORREDOR, Andres F. *et al.* Understanding the NH₃ adsorption mechanism on a vanadium-based SCR catalyst: A data-driven modeling approach. **Chemical Engineering Science**, v. 262, 23 nov. 2022a.

SUAREZ-CORREDOR, Andres F. *et al.* Understanding the NH₃ adsorption mechanism on a vanadium-based SCR catalyst: A data-driven modeling approach. **Chemical Engineering Science**, v. 262, 23 nov. 2022b.

SUBAGYO, Riki *et al.* Converting red mud wastes into mesoporous ZSM-5 decorated with TiO₂ as an eco-friendly and efficient adsorbent-photocatalyst for dyes removal. **ARABIAN JOURNAL OF CHEMISTRY**, v. 15, n. 5, maio 2022a.

SUBAGYO, Riki *et al.* Converting red mud wastes into mesoporous ZSM-5 decorated with TiO₂ as an eco-friendly and efficient adsorbent-photocatalyst for dyes removal. **ARABIAN JOURNAL OF CHEMISTRY**, v. 15, n. 5, maio 2022b.

TAHIR, Hajira *et al.* Enhancement of adsorption and photocatalytic activity of MgO nanoparticles for the treatment of textile dye using ultrasound assisted process by Response Surface Methodology. **Desalination and Water Treatment**, v. 319, 1 jul. 2024.

TAPIADOR, Jesús *et al.* A novel Zn-based-MOF for efficient CO₂ adsorption and conversion under mild conditions. **Catalysis Today**, v. 390–391, p. 230–236, 1 maio 2022a.

TAPIADOR, Jesús *et al.* A novel Zn-based-MOF for efficient CO₂ adsorption and conversion under mild conditions. **Catalysis Today**, v. 390–391, p. 230–236, 1 maio 2022b.

TERRACINA, Angela *et al.* Structure Effects Induced by High Mechanical Compaction of STAM-17-OEt MOF Powders. **European Journal of Inorganic Chemistry**, v. 2021, n. 24, p. 2334–2342, 25 jun. 2021.

THALGASPITIYA, Wimalika R. K. *et al.* Generalized synthesis of high surface area mesoporous metal titanates as efficient heterogeneous catalysts. **Applied Materials Today**, v. 19, 1 jun. 2020.

THAMPIKANNU, Raihamol Erattammottil *et al.* One-pot A₃-coupling solvent-free synthesis of propargylamines by Pd-impregnated Al-based LDHs synthesized from aluminum salt slag. **MOLECULAR CATALYSIS**, v. 569, dez. 2024a.

THAMPIKANNU, Raihamol Erattammottil *et al.* One-pot A₃-coupling solvent-free synthesis of propargylamines by Pd-impregnated Al-based LDHs synthesized from aluminum salt slag. **Molecular Catalysis**, v. 569, 1 dez. 2024b.

TIAN, Baodong *et al.* Phenanthroline-based microporous organic materials for removal of Cu(II) from aqueous solution and reutilization of spent adsorbent as catalysts. **WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY**, v. 86, n. 3, p. 496–510, ago. 2022a.

TIAN, Baodong *et al.* Phenanthroline-based microporous organic materials for removal of Cu(II) from aqueous solution and reutilization of spent adsorbent as catalysts. **Water Science and Technology**, v. 86, n. 3, p. 496–510, 1 ago. 2022b.

TIKHANOVA, S. M. *et al.* Transition metal-based MOFs for Fenton-like photocatalytic degradation of organic pollutants: Performance, stability, and biocompatibility. **Environmental Chemistry and Ecotoxicology**, v. 7, p. 305–318, 1 jan. 2025.

TISCORNIA, Ines S. *et al.* CuO-CeO₂ catalysts based on SBA-15 and SBA-16 for COPrOx. Influence of oxides concentration, incorporation method and support structure. **CATALYSIS TODAY**, v. 394, n. SI, p. 325–335, jul. 2022a.

TISCORNIA, Inés S. *et al.* CuO-CeO₂ catalysts based on SBA-15 and SBA-16 for COPrOx. Influence of oxides concentration, incorporation method and support structure. **Catalysis Today**, v. 394–396, p. 325–335, 1 jul. 2022b.

TOCCO, Davide *et al.* Immobilization of *Aspergillus* sp. laccase on hierarchical silica MFI zeolite with embedded macropores. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 226, 1 jun. 2023.

UNIVERSITY OF CALIFORNIA BERKELEY. **Capturing carbon from the air just got easier.** Berkeley News, , out. 2024. Disponível em: <<https://news.berkeley.edu/2024/10/23/capturing-carbon-from-the-air-just-got-easier/>>

UNIVERSITY OF MICHIGAN. **Pioneering materials for advanced adsorption technology**. Ann Arbor Michigan Engineering News, , maio 2025. Disponível em: <<https://news.engin.umich.edu/2025/05/pioneering-materials-for-advanced-adsorption-technology/>>

VAN KAMPEN, Jasper *et al.* Sorption enhanced dimethyl ether synthesis under industrially relevant conditions: Experimental validation of pressure swing regeneration. **Reaction Chemistry and Engineering**, v. 6, n. 2, p. 244–257, 1 fev. 2021.

VENKATRAMAN, Y.; PRIYA, A. K. Removal of heavy metal ion concentrations from the wastewater using tobacco leaves coated with iron oxide nanoparticles. **INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY**, v. 19, n. 4, p. 2721–2736, abr. 2022.

VENSCHOTT, Moritz; HOELDERICH, Wolfgang F.; EISENACHER, Matthias. 2nd generation PLA; Lactide formation directly from aqueous lactic acid. **CATALYSIS COMMUNICATIONS**, v. 177, abr. 2023a.

VENSCHOTT, Moritz; HOELDERICH, Wolfgang F.; EISENACHER, Matthias. 2nd generation PLA; Lactide formation directly from aqueous lactic acid. **Catalysis Communications**, v. 177, 1 abr. 2023b.

VILELA, Carlos Eduardo Silva. **ProKnow-C: processo construtivista de desenvolvimento do conhecimento aplicado à gestão**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

WANG, Bo *et al.* Photocatalysis coupled with adsorption of AC@Ni_{0.5}Cu_{0.5}Fe₂O₄ in peroxydisulfate assisted system efficiently enhance ciprofloxacin removal. **Water Science and Technology**, v. 86, n. 10, p. 2718–2731, 15 nov. 2022.

WANG, Lanyi *et al.* Preparation, characterization and catalytic performance of ordered macroporous-mesoporous SiO₂-supported MnMO_x catalysts for soot combustion. **CATALYSIS TODAY**, v. 364, n. SI, p. 21–34, mar. 2021a.

WANG, Lanyi *et al.* Preparation, characterization and catalytic performance of ordered macroporous-mesoporous SiO₂-supported MnMO_x catalysts for soot combustion. **Catalysis Today**, v. 364, p. 21–34, 15 mar. 2021b.

WANG, Yu *et al.* Improved Hydrolysis of Granular Starches by a Psychrophilic α -Amylase Starch Binding Domain-Fusion. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 71, n. 23, p. 9040–9050, 14 jun. 2023.

WEI, Yuxue *et al.* Photocatalytic degradation of methylene blue over MIL-100(Fe)/GO composites: a performance and kinetic study. **International Journal of Coal Science and Technology**, v. 11, n. 1, 1 dez. 2024.

WIDEGREN, Jason A.; FINKE, Richard G. A review of the problem of distinguishing true homogeneous catalysis from soluble or other metal-particle heterogeneous

catalysis under reducing conditions. **Journal of Molecular Catalysis A: Chemical**, v. 198, n. 1–2, p. 317–341, 1 maio 2003.

XU, Guangpeng *et al.* Fractal features of pH-sensitive bimodal mesoporous silica-supported bipyridine-proline organocatalysts with core-shell structure and their application in asymmetric aldol reaction. **ARABIAN JOURNAL OF CHEMISTRY**, v. 16, n. 8, ago. 2023a.

XU, Guangpeng *et al.* Fractal features of pH-sensitive bimodal mesoporous silica-supported bipyridine-proline organocatalysts with core-shell structure and their application in asymmetric aldol reaction. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 16, n. 8, 1 ago. 2023b.

YURCHENKO, Darya V *et al.* Catalytic Oxidation of Benzoin by Hydrogen Peroxide on Nanosized HKUST-1: Influence of Substituents on the Reaction Rates and DFT Modeling of the Reaction Path. **MOLECULES**, v. 28, n. 2, jan. 2023a.

YURCHENKO, Darya V. *et al.* Catalytic Oxidation of Benzoin by Hydrogen Peroxide on Nanosized HKUST-1: Influence of Substituents on the Reaction Rates and DFT Modeling of the Reaction Path. **Molecules**, v. 28, n. 2, 1 jan. 2023b.

ZARE, Mehdi *et al.* Liquid-Phase Effects on Adsorption Processes in Heterogeneous Catalysis. **JACS AU**, v. 2, n. 9, p. 2119–2134, set. 2022a.

ZARE, Mehdi *et al.* Liquid-Phase Effects on Adsorption Processes in Heterogeneous Catalysis. **JACS AU**, v. 2, n. 9, p. 2119–2134, set. 2022b.

ZHANG, Hongwei *et al.* Preparation of VOC low-temperature oxidation catalysts with copper and iron binary metal oxides via hydrotalcite-like precursors. **RSC Advances**, v. 12, n. 54, p. 35083–35093, 6 dez. 2022a.

ZHANG, Hongwei *et al.* Preparation of VOC low-temperature oxidation catalysts with copper and iron binary metal oxides via hydrotalcite-like precursors. **RSC Advances**, v. 12, n. 54, p. 35083–35093, 8 dez. 2022b.

ZHANG, Sufeng *et al.* Preparation of magnetic CuFe₂O₄@Ag@ZIF-8 nanocomposites with highly catalytic activity based on cellulose nanocrystals. **Molecules**, v. 25, n. 1, 2020a.

ZHANG, Sufeng *et al.* Preparation of Magnetic CuFe₂O₄@Ag@ZIF-8 Nanocomposites with Highly Catalytic Activity Based on Cellulose Nanocrystals. **MOLECULES**, v. 25, n. 1, jan. 2020b.

ZHANG, Tao; ZUO, Songlin. Stability of Nitrogen-Doped Activated Carbon as an Electrocatalyst for the Oxygen Reduction Reaction in Various Storage Media. **MOLECULES**, v. 29, n. 15, ago. 2024a.

ZHANG, Tao; ZUO, Songlin. Stability of Nitrogen-Doped Activated Carbon as an Electrocatalyst for the Oxygen Reduction Reaction in Various Storage Media. **Molecules**, v. 29, n. 15, 1 ago. 2024b.

ZHANG, Wei *et al.* Novel pectin based composite hydrogel derived from grapefruit peel for enhanced Cu(II) removal. **Journal of Hazardous Materials**, v. 384, p. 121445, 2020c.

ZHANG, Yu *et al.* Sulfur poisoning and regeneration of Rh-ZSM-5 catalysts for total oxidation of methane. **APPLIED CATALYSIS B-ENVIRONMENTAL**, v. 277, nov. 2020d.

ZHAO, Baiwen *et al.* Cerium-Organic Framework UiO-66(Ce) as a Support for Nanoparticulate Gold for Use in Oxidation Catalysis. **Chemistry - An Asian Journal**, v. 19, n. 24, 16 dez. 2024.

ZHAO, Jing *et al.* Coked Ni/Al₂O₃ from the catalytic reforming of volatiles from co-pyrolysis of lignin and polyethylene: preparation, identification and application as a potential adsorbent. **Catalysis Science and Technology**, v. 11, n. 12, p. 4162–4171, 21 jun. 2021.

ZHOU, Lun *et al.* Study on the Pyrolysis and Adsorption Behavior of Activated Carbon Derived from Waste Polyester Textiles with Different Metal Salts. **Materials**, v. 15, n. 20, 1 out. 2022.

ZHU, Qijia *et al.* Performance and Mechanism of Fe₃O₄ Loaded Biochar Activating Persulfate to Degrade Acid Orange 7. **Water (Switzerland)**, v. 15, n. 10, 1 maio 2023.

ZULFIKAR, Mona *et al.* Green synthesis of Fe nanoparticles by using *Mangifera indica* extract and its application in photo-catalytic degradation of dyes. **Water Science and Technology**, v. 83, n. 7, p. 1739–1752, 1 abr. 2021.

ANEXO A - Objetivos e resultados dos artigos do portfólio

Degradação Ambiental.

O trabalho *Adsorption and catalytic degradation of Tartrazine in aqueous medium by a Fe-modified zeolite* avalia uma zeólita natural modificada com ferro como adsorvente e catalisador para a remoção e degradação do corante Tartrazine da água; caracteriza o material, estuda a cinética de adsorção e a eficiência da degradação catalítica bem como a reusabilidade do material. O artigo determinou por meio dos resultados as condições experimentais (pH, dose de catalisador, concentração de peróxido, tempo de reação) que maximizam a remoção.

O artigo *Adsorption and catalytic reduction of basic red 1 dye by nickel nanoparticles hydrogel: A study on kinetics, isotherm, and thermodynamics* por sua vez tem como objetivo a remoção do corante orgânico *Basic Red 1*, usado em indústrias têxteis, que se apresenta diluído em meio aquoso. Assim busca desenvolver e caracterizar um hidrogel com nanopartículas de níquel que funcione como adsorvente e catalisador. O resultado foi que o hidrogel de Ni-nanopartículas apresentou capacidade de adsorção elevada para *Basic Red 1*: 1.570 mg g^{-1} como capacidade máxima de adsorção e além de adsorção houve etapa de transformação química do poluente.

Antibacterial and nonlinear dynamical analysis of flower- and hexagon-shaped ZnO microstructures é um estudo que foca em atividade antibacteriana do ZnO, afim de sintetizar e caracterizar duas morfologias distintas e avaliar a eficiência. Por fim os autores sugerem que a combinação de alta área de superfície mais geometria superficial favorável (menos lacunaridade) favoreceu geração de espécies reativas, interação com membrana bacteriana, promovendo maior inibição.

Application of Nano Bio-clay Composite in a Scaling-up Study for Wastewater Treatment tem por objetivo desenvolver e aplicar um compósito de bio-argila em escala ampliada (*scaling-up*) para remoção de corantes de efluente industrial de tingimento. Incluindo preparação do material, caracterização, estudo de adsorção e remoção de corantes em efluente real (não apenas solução modelo) e avaliação da viabilidade em escala maior. O resultado do estudo em escala ampliada mostrou que o sistema pode funcionar em condições reais de efluente, mostrando que pode ser aplicado para tratamento industrial.

Cu/Ni-BTC@SiO₂ metal-organic framework as high-performance photocatalyst for degradation of azo dyes under visible light irradiation é um artigo que tem por objetivo produzir e caracterizar um fotocatalizador Cu/Ni-BTC SiO₂ e avaliar a eficiência na degradação dos dois tipos de corantes (MB e MO) sob luz visível. O resultado apresentado foi de remoção máxima para MO de aproximadamente 98 % e para MB de aproximadamente 71% em 60 minutos de irradiação visível.

Characterization Method for Gas Flow Reactor Experiments — NH₃ Adsorption on Vanadium-Based SCR Catalysts tem o foco no tratamento de emissões (NO_x) via adsorção de NH₄ em catalisador SCR, para isso o objetivo aqui foi desenvolver e aplicar um método de caracterização para medições de adsorção em catalisadores de monólito em fluxo de gás realista. O resultado foi que ao utilizar o método o catalisador no estado oxidado, antes do uso, teve aproximadamente 50 % maior capacidade de armazenamento de NH₃ comparado ao estado reduzido.

Clay-Catalyzed Ozonation of Organic Pollutants in Water and Toxicity on Lemna minor: Effects of Molecular Structure and Interactions tem por objetivo investigar como diferentes argilas influenciam a adsorção dos poluentes e a eficiência da ozonização catalítica em meio aquoso além de estabelecer correlações entre caracterização dos materiais e a eficiência do processo. A pesquisa sugere ao fim que a eficiência do processo de remoção não é suficiente e por isso é importante também considerar a geração de produtos intermediários e o impacto ecológico subsequente.

Clay Minerals/TiO₂ Composites Characterization and Application in Photocatalytic Degradation of Water Pollutants tem por objetivo promover a degradação de corante (Methyl Orange) e ácido húmico em água através de compósitos argila/ TiO₂, variando o tipo de argila e a forma de preparação de TiO₂, para atingir o objetivo os autores vão realizar a caracterização das argilas e avaliar a sua atividade fotocatalítica. O resultado foi que a estrutura da argila e o método de incorporação de TiO₂ influenciaram fortemente a dispersão de TiO₂, o tamanho das nanopartículas e consequentemente a atividade fotocatalítica, além disso os testes mostraram que alguns compósitos apresentaram desempenho comparável ou melhor que o padrão comercial.

Coked Ni/Al₂O₃ from the catalytic reforming of volatiles from co-pyrolysis of lignin and polyethylene: preparation, identification and application as a potential adsorbent tem o objetivo de preparar o composite C–Ni/Al₂O₃ através da reforma catalítica dos voláteis resultantes da co-pirólise de lignina+PE, caracterizar os

compósitos resultantes, avaliar o desempenho desses compósitos como adsorventes na remoção de poluentes aquosos em diferentes condições e ajustar os parâmetros de preparação para maximizar capacidade de adsorção. A conclusão do artigo foi que o material derivado de catalisador “usado” mostrou viabilidade como adsorvente para tratamento de água, sendo um exemplo de aproveitamento de subproduto de processo catalítico para fins ambientais.

Converting red mud wastes into mesoporous ZSM-5 decorated with TiO_2 as an eco-friendly and efficient adsorbent-photocatalyst for dyes removal é um trabalho que vem para fazer a remoção de corantes orgânicos em águas residuais, por um mecanismo combinado de adsorção e fotodegradação sob irradiação UV/LED. O resultado foi que o híbrido com aproximadamente 10 % de TiO_2 carregado apresentou a melhor eficiência de remoção de corante com degradação maior que 90% em 3 horas sob UV-LED.

CO Oxidation Catalyzed by Au Dispersed on SBA-15 Modified with TiO_2 Films Grown via Atomic Layer Deposition (ALD) tem o objetivo de investigar a eficácia de novos catalisadores para a reação de oxidação do CO em baixas temperaturas. O estudo também quer determinar como a ordem de deposição dos componentes do catalisador influencia seu desempenho. Os principais resultados mostram que os catalisadores desenvolvidos são ativos e capazes de promover a oxidação, utilizando oxigênio como oxidante.

Copper-Iron Bimetal Ion-Exchanged SAPO-34 for NH_3 -SCR of NO_x é um estudo com o objetivo de desenvolver e testar catalisadores bimetálicos suportados em SAPO-34 para a reação de redução catalítica seletiva (SCR) de NO_x usando amônia, buscando melhorar o desempenho catalítico em uma faixa de temperatura mais ampla do que os catalisadores contendo apenas um metal. O resultado do estudo foi que o catalisador bimetálico apresentou um desempenho catalítico superior devido a um número maior de sítios ativos.

Delafossite-alumina nanocomposite for enhanced catalytic wet peroxide oxidation of anionic pollutants é um artigo que foca em sintetizar um novo nanocompósito e avaliar a sua eficácia como catalisador no processo de oxidação catalítica úmida com peróxido para degradar poluentes em meio aquoso. Em condições otimizadas o catalisador alcançou uma remoção de 96,46 % de catecol e 99,75 % do corante RR195.

Design and Synthesis of Reusable Nanoparticles for Reversible Chemisorption of Hexavalent Chromium Anions from Aqueous Media and Catalysis é um estudo com o objetivo de sintetizar um novo nanomaterial compósito que fosse magneticamente ativo e reutilizável, capaz de remover os ânions de cromo hexavalente da água através de um processo de quimiossorção reversível. O resultado foi de um material altamente eficaz na remoção e com reutilização de pelo menos 10 ciclos sem perda de atividade.

DFT and comparative adsorption study of NiO, MnO, and Mn₂NiO₄ nanomaterials for the removal of amaranth dye from synthetic water trata de um artigo com o objetivo de preparar, caracterizar e comparar o desempenho de três materiais nanocatalizadores adsorventes para a remoção de um poluente aquático. Os resultados mostraram que o composto Mn₂NiO₄ sob condições ideais apresentou área de superfície muito maior, volume de poros e o melhor desempenho com 98.50% de remoção do corante comparado a 93,85% para MnO e 80.50% para NiO.

Diatom Biosilica Doped with Palladium(II) Chloride Nanoparticles as New Efficient Photocatalysts for Methyl Orange Degradation é um trabalho com foco em remoção e destruição de um poluente aquático e para isso os autores propõem desenvolver um novo fotocatalisador eficiente baseado em biosílica de diatomáceas dopada com PdCl₂ e, então, caracterizá-lo e determinar as condições ideais de operação. O resultado é de uma alta eficiência na degradação do corante com cerca de 85 % de remoção em 1 min de irradiação UV, alcançando mais de 98 % de remoção após 75 minutos sob condições ótimas.

Differentiation Between Metronidazole Residues Disposal by Using Adsorption and Photodegradation Processes Onto MgO Nanoparticles é um trabalho com objetivo de comparar a eficiência tanto da adsorção no escuro quanto da fotodegradação sob UV para a remoção de metronidazol de solução aquosa usando MgO NP. O resultado foi de uma remoção de 93,2% após 180 minutos com condições ótimas.

Effect of Polymer Concentration on the Photocatalytic Membrane Performance of PAN/TiO₂/CNT Nanofiber for Methylene Blue Removal through Cross-Flow Membrane Reactor é um estudo que busca avaliar como as variações de concentração da solução de PAN influenciam a remoção de MB num reator de fluxo cruzado. O resultado é que a melhor performance foi observada para a membrana com PAN 6,5% manteve cerca de 90% de rejeição por 240 minutos de operação, com permeabilidade de 750 litros por metro quadrado por hora.

Effects of gas phase composition on competitive adsorption properties of formaldehyde on titanium dioxide-supported platinum in single and mixture compositions é um estudo com o objetivo de fazer a adsorção do formaldeído da fase gasosa. Os resultados mostraram que embora Pt@TiO₂ seja um bom material para remoção de formaldeído, sua performance em condições reais pode ser significativamente reduzida por competição adsorptiva.

Efficient Photocatalytic Degradation of Tetracycline on the MnFe₂O₄/BGA Composite under Visible Light é um estudo com objetivo de sintetizar um novo fotocatalisador compósito, combinando ferrita de manganês com uma biomassa de alga verde-azul (BGA). O resultado mostrou que a melhor formulação alcançou uma taxa de degradação de 95,8% da Tetraciclina em 90 minutos sob luz visível.

Efficient Removal of Pb(II) Ion Using TiO₂/ZnO/SiO₂ Nanocomposite from Aqueous Solutions via Adsorption-Photocatalysis Process tem foco em limpeza e remoção do chumbo em meio aquoso. Para isso o trabalho desenvolveu o nanocompósito TiO₂/ZnO/SiO₂ e por meio da caracterização determinou qual a melhor condição para a remoção. O estudo encontrou que a composição com 30% TiO₂, 40% ZnO e 30% apresentou o melhor desempenho com a remoção de 99,98% em condições ótimas.

Efficient Toluene Decontamination and Resource Utilization through Ni/Al₂O₃ Catalytic Cracking é um artigo que busca desenvolver e caracterizar o catalisador Ni/Al₂O₃ para realizar a pirólise catalítica do tolueno em condições otimizadas. O resultado foi que sob condições ótimas o catalisador removeu cerca de 1.328 mg de tolueno por g de catalisador.

Electrostatic Assembly of Porphyrin-Functionalized Porous Membrane toward Biomimetic Photocatalytic Degradation Dyes é um estudo que busca avaliar o desempenho fotocatalítico da membrana TPPS@QPSf para a degradação dos corantes RhB, MB e MO sob luz visível.

Enhanced Photocatalytic removal of Cd(II) from aqueous solution using Bi/S co-doped carbon quantum dots é um trabalho com o objetivo de desenvolver um novo e eficiente fotocatalisador para a remoção do íon Cádmio da água. O novo fotocatalisador demonstrou uma atividade fotocatalítica melhor em comparação com catalisadores de referência.

Enhanced Photocatalytic Removal of Cyanotoxins by Al-Doped ZnO Nanoparticles with Visible-LED Irradiation é um artigo que desenvolve e caracterizar

nanopartículas de ZnO dopadas com alumínio (Al-ZnO) para melhorar a absorção da luz visível (via banda de absorção alargada) e também reduzir problema de fotocorrosão do ZnO. O resultado da pesquisa mostrou que o aumento do teor de alumínio melhorou a cinética de degradação das toxinas; por exemplo, para MC-LR e Anatoxin-A, nanopartículas A5ZO mostraram as melhores taxas.

Enhancement of adsorption and photocatalytic activity of MgO nanoparticles for the treatment of textile dye using ultrasound assisted process by Response Surface Methodology se propôs desenvolver e otimizar um processo eficiente para o tratamento de águas residuais com corantes têxteis, utilizando nanopartículas de óxido de magnésio como catalizador. Com condições ideais o resultado foi uma alta eficiência de remoção/degradação do corante, destacando o potencial econômico e a viabilidade do processo em escala industrial.

Enhancing Methylene Blue Removal through Adsorption and Photocatalysis - A Study on the GO/ZnTiO₃/TiO₂ Composite tinha o objetivo de sintetizar e caracterizar o compósito GO/ZnTiO₃/TiO₂ e avaliar o desempenho na remoção de MB. O resultado da reação foi de uma adsorção do compósito de aproximadamente 78 mg g⁻¹ para o MB.

Equivalence of difluorodichloromethane (CFC-12) hydrolysis catalyzed by solid acid(base) MoO₃(MgO)/ZrO₂ é um estudo com foco na hidrólise de um composto nocivo ambiental (CFC-12), para isso o artigo se propôs a desenvolver e caracterizar um catalizador para alcançar a conversão do poluente. Os resultados foram de altas taxas de conversão chegando a 99,21% sob condições ideais de hidrólise.

Facile synthesis of ZnMoO₄/AlPO₄-5 nanorod composites as visible-light-driven photocatalysts and high-performance energy storage materials se trata de um estudo com objetivo de desenvolver nanocompósitos e avaliar a atividade fotocatalítica para a degradação do p-nitrophenol sob luz visível, e também testar seu desempenho como eletrodo de supercapacitor para mostrar seu potencial em armazenamento de energia. O resultado foi que o compósito com razão Mo:Zn de 2:1 apresentou degradação de aproximadamente 99% de PNP sob condições visíveis. Além disso o compósito se mostrou como uma aplicação viável para a parte energética.

Functionalized mesoporous silicas SBA-15 for heterogeneous photocatalysis towards CECs removal from secondary urban wastewater é um estudo com o objetivo de desenvolver e caracterizar fotocatalíticos de TiO₂ em SBA-15 com diferentes

cargas e analisar a sua atividade para a degradação do antibiótico sulfadiazina em água pura e em efluente de águas residuais urbanas secundárias. O resultado obtido foi que as partículas de TiO_2 foram bem depositadas sobre a SBA-15 e o sistema apresentou boa atividade fotocatalítica para remoção de SDZ; no entanto, em águas residuais secundárias o desempenho foi reduzido devido à presença de matéria orgânica, sais, outros compostos que afetam a fotocatalise.

Graphene quantum dot and iron co-doped TiO_2 photocatalysts: Synthesis, performance evaluation and phytotoxicity studies tem o objetivo principal de sintetizar e avaliar o desempenho de novos fotocatalisadores à base de TiO_2 na degradação de contaminantes em águas residuais sob luz solar, além de realizar estudos de fitotoxicidade na água residual tratada para determinar se é viável e segura a utilização em irrigação. O resultado apresentou que os catalisadores modificados melhoraram a absorção de luz visível aprimorando a atividade fotocatalítica além de sugerir por meio dos resultados que o sistema proposto é uma solução viável para o uso seguro de águas residuais contaminados por corantes para fins de irrigação após o tratamento.

Green construction of eco-friendly phosphotungstic acid Sr-MOF catalysts for crystal violet removal and synthesis of coumarin and xanthene compounds é um artigo com objetivo de desenvolver um catalisador heterogêneo, estável que pudesse ser usado como adsorvente de poluentes orgânicos, corantes. O resultado obtido foi a alta eficiência na degradação ambiental além de se mostrar um catalisador eficiente ao ser aplicado na síntese de compostos como a cumarina e xanteno.

Green synthesis of Fe nanoparticles by using Mangifera indica extract and its application in photo-catalytic degradation of dyes é um estudo voltado para o desenvolvimento de um método verde de baixo custo para produção de nanopartículas de ferro usando um extrato de mangueira, e a aplicação desse material fotocatalisadores. As nanopartículas apresentaram resultados satisfatórios na degradação fotocatalítica e adsorção dos corantes, atingindo degradação máxima de cerca de 72-82% para Vermelho de Congo por exemplo.

Green synthesis of rGO-AgNP composite using Curcubita maxima extract for enhanced photocatalytic degradation of the organophosphate pesticide chlorpyrifos tem o objetivo principal de desenvolver um fotocatalisador avançado, eficiente e ecologicamente correto a partir de um extrato da *Curcubita maxima* para a degradação aprimorada do pesticida clorpirifós em águas. O catalisador alcançou uma

alta taxa de degradação do pesticida, confirmando o potencial da síntese verde de nanomateriais para o tratamento de águas poluídas por organofosforados.

Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using Padina pavonica extract for efficient photocatalytic removal of methylene blue é um artigo que busca desenvolver caracterizar ZnO NPs produzidas via extração de alga e avaliar a capacidade de fotodegradação de MB. Os resultados obtidos foram de um adsorvente de alta capacidade de remoção com pouco mais de 98 % para MB em condições ideais.

Green synthesis of silver nanoparticles using Lepidium sativum seed mucilage as a bioreductant/capping agent for efficient antibacterial and photocatalytic activities é um trabalho com o objetivo de desenvolver um produto sustentável usando mucilagem de *L. sativum* como redutor e agente de estabilização para sintetizar nanopartículas de prata e avaliar o desempenho fotocatalítica na degradação de corantes. O resultado foi de uma remoção de Methylene Blue (MB) 89,45%, Methyl Orange (MO) 84,78%.

High speed removal of toxic acid red dye using photocatalytic-hybrid composite material tem o objetivo de desenvolver um composto híbrido fotocatalítico de alta performance para a remoção do corante *Acid Red* em meio aquoso. O composto obteve rápida remoção do corante, resultando em taxas de remoção elevadas em curto prazo.

Immobilization of Aspergillus sp. laccase on hierarchical silica MFI zeolite with embedded macropores busca sintetizar e caracterizar um suporte zeolítico hierárquico e avaliar se o suporte tem vantagens para manter a atividade da enzima em condições ácidas. Em termos de estabilidade ao armazenamento: a enzima imobilizada manteve cerca de 50% da atividade original após 21 dias de armazenamento, e cerca de 30% após 30 dias.

Influence of Pd, Pt and Au nanoparticles in the photocatalytic performance of N-TiO₂ support under visible light tem o foco de remover um poluente aquático por fotocatalise. O catalizador mais eficaz foi Au/N-TiO₂ que alcançou 100% de degradação do corante MO após 4 h de irradiação com luz visível.

Influence of transition metal-based activating agent on the properties and catalytic activity of sewage sludge-derived catalysts. Insights on mechanism, DFT calculation and degradation pathways tem o objetivo de investigar como diferentes agentes ativantes à base de metais de transição afetam as propriedades do catalisador derivado de lodo de esgoto, e como essas alterações impactam a sua

atividade catalítica para degradar o contaminante alvo além de traçar as vias de degradação do composto orgânico. O uso exclusivo de cloreto de ferro como agente ativante mostrou a melhor performance, alcançando remoção máxima de 99,7 % do antibiótico testado, além de concluir que o contaminante é degradado em etapas intermediárias, até compostos menores ou mineralização parcial.

Insight into catalytic activation of bisulfite for lomefloxacin degradation by simple composite of calcinated red mud tem o objetivo de investigar como composite de red mud calcinado pode ativar o NaHSO_3 para degradar o antibiótico lomefloxacina de forma eficiente. A identificação de vias de degradação da lomefloxacina usando mostrou que a solução tratada reduziu a toxicidade e apresentou a melhor atividade catalítica de 89%.

Insights into the novel application of Fe-MOFs in ultrasound-assisted heterogeneous Fenton system: Efficiency, kinetics and mechanism tem o objetivo de explorar pela primeira vez a aplicação de Fe-MOFs em um sistema ultrasom mais H_2O_2 para degradação da tetraciclina. O resultado apresentou que, entre os MOFs avaliados, o MIL-88B apresentou a melhor performance catalítica, atribuída à maior quantidade de sítios ácidos do tipo Lewis.

Investigation of Synergistic Influence of Ultrasound and Co-Doping to Degrade Toluene from Polluted Air in Construction Sites — An Experimental Approach tem o objetivo de sintetizar diferentes fotocatalisadores baseados em TiO_2 , com dopagem de Fe mais N, com assistência de ultrasom comparando métodos sem ultrasom, para avaliar o efeito da técnica e da dopagem na capacidade de degradar tolueno aéreo. Os resultados apresentaram que a assistência de ultrasom melhorou significativamente a dispersão das partículas do fotocatalisador e reduziu a sua aglomeração, o que favoreceu a atividade fotocatalítica com uma degradação de 63,5% contra 50% nos métodos sem ultrasom.

Iron/titanium oxide-biochar ($\text{Fe}_2\text{TiO}_5/\text{BC}$): A versatile adsorbent/photocatalyst for aqueous Cr(VI) , Pb^{2+} , F^- and methylene blue é um estudo que desenvolveu e avaliou o desempenho como adsorvente o óxido de ferro-titânio sobre biochar para remoção de contaminantes comparando o desempenho do material para múltiplos poluentes simultaneamente, o que é um ponto de destaque. O resultado apresentou que o material $\text{Fe}_2\text{TiO}_5/\text{BC}$ mostrou alta eficiência de remoção de vários poluentes simultaneamente.

Mesoporous aluminosilicate materials supported zinc oxide photocatalytic degradation of pharmaceutical pollutants é um artigo que propõe sintetizar catalisadores multifuncionais utilizando um método de moagem mecanocatalítica para a decomposição de contaminantes farmacêuticos e pigmentos em água. Os nanocompósitos demonstraram eficiência na fotodegradação com o aumento da porcentagem em peso de nanopartículas de ZnO de 5% a 60%, além disso, atingiu uma eficiência máxima de 85,18% de degradação do Ibuprofeno após 4 horas.

Mixed-metal-oxide photocatalysts generated by high-temperature calcination of CaAlFe hydrocalumite-LDHs prepared from an aluminum salt-cake é um estudo que visou valorizar o resíduo de *salt-cake* de alumínio, transformando-o em material útil para aplicação em fotocatalise. Foi observado que os materiais calcinados a 750 °C exibiram boas propriedades fotocatalíticas para degradação de ibuprofeno, a área de superfície (BET) aumentou com o aumento do teor de Fe³⁺ porém o melhor desempenho fotocatalítico foi observado no material sem Fe.

Mn²⁺-Doped Cobalt Oxide and Its Composite with Carbon Nanotubes for Adsorption-Assisted Photocatalytic Applications busca desenvolver um material baixo custo e testar eficiência para remoção de corante por adsorção fotocatalítica. O compósito Mn-doped Co₃O₄/CNT mostrou a melhor performance de remoção do corante, alcançando um percentual entre 88 – 92%. A área de superfície BET aumentou significativamente com a incorporação de CNTs e a remoção do corante segue um modelo cinético de pseudo-segunda ordem e os dados de adsorção se ajustam melhor à isoterma de Langmuir.

Modeling adsorption and photocatalytic treatment of recalcitrant contaminant on multi-walled carbon/TiO₂ nanocomposite é um estudo com foco em produzir o nanocompósito TiO₂/MWCNT, caracterizar e modelar a cinética da reação. O nanocompósito alcançou cerca de 95% de remoção de tetraciclina, comparado a 86% para TiO₂ puro, além disso o modelo cinético de pseudo segunda ordem se ajusta bem ao modelo de Langmuir.

Nano-Intermediate of Magnetite Nanoparticles Supported on Activated Carbon from Spent Coffee Grounds for Treatment of Wastewater from Oil Industry and Energy Production tem o objetivo de desenvolver um nano-intermediário feito com carvão ativado e magnetita a partir de borra de café para remover óleo em águas produzidas pela indústria de petróleo e melhorar a sustentabilidade do processo. O resultado foi que o material apresentou maior afinidade para o óleo comparado ao carvão ativado

não modificado e outros adsorventes e em ensaios dinâmicos em leito fixo manteve concentrações de efluente abaixo de 10 mg L^{-1} óleo até aproximadamente 170 minutos antes de saturar.

Optimisation of a photoelectrochemical system for the removal of pharmaceuticals in water using graphitic carbon nitride tem o objetivo de desenvolver e otimizar experimentalmente um sistema PEC que usa $\text{g-C}_3\text{N}_4$, em suspensão ou suportado, para remover DCF do meio aquoso e simultaneamente gerar H_2O_2 . Em condições ideais o sistema alcançou 92 % de remoção de DCF e produção de aproximadamente 0,3 mM de H_2O_2 em cerca de cinco minutos, com desvio experimental inferior a 1%.

Optimizing treatment of alcohol vinasse using a combination of advanced oxidation with porous $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ nanoparticles and coagulation-flocculation é um estudo com o objetivo de otimizar os parâmetros de operação para maximizar a remoção de DQO da vinhaça alcoólica. A dose ótima de $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ nanopartículas foi de 3.000 ppm para a remoção máxima de DQO e sob condições ótimas alcançou uma remoção de aproximadamente 98,64 %.

Palladium/Carbon Nanofibers by Combining Atomic Layer Deposition and Electrospinning for Organic Pollutant Degradation busca desenvolver um catalisador heterogêneo altamente disperso de paládio em nanofibras de carbono, com boa atividade para a degradação de poluentes orgânicos em solução aquosa. Na reação modelo com 0,01 g de catalisador o resultado alcançado foi de 98,9 % de atividade catalítica em 240 minutos.

Performance and Mechanism of Fe_3O_4 Loaded Biochar Activating Persulfate to Degrade Acid Orange 7 é um estudo que desenvolveu e caracterizou o material de biochar com Fe_3O_4 com boa capacidade de adsorção do corante AO7, e em seguida permitia ativar persulfato (PS) a temperatura ambiente para degradar o corante. O material mostrou boa adsorção do corante e ativação eficaz de persulfato para degradação em condições moderadas.

Phenanthroline-based microporous organic materials for removal of Cu(II) from aqueous solution and reutilization of spent adsorbent as catalysts é um artigo que sintetiza o material microporoso Phen-MOP para avaliar suas propriedades para adsorção de Cu(II) . Os autores concluíram que o material apresentou remoção de aproximadamente 98,47%, além disso demonstrou boa estabilidade estrutural e

reutilização ajustando-se bem ao modelo pseudo-segunda ordem e a isoterma de Langmuir.

Photocatalysis coupled with adsorption of AC@Ni_{0.5}Cu_{0.5}Fe₂O₄ in peroxydisulfate assisted system efficiently enhance ciprofloxacin removal tem o objetivo de desenvolver um material que atue como adsorvente, fotocatalisador e ativador de persulfato para remover CIP de água eficientemente. Sob condições ótimas o sistema alcançou 94,30% de remoção.

Photocatalytic Activity of Ti-SBA-15/C₃N₄ for Degradation of 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid in Water under Visible Light é um artigo que busca desenvolver o catalisador Ti-SBA-15/C₃N₄ para uso em fotocatalise visível-luz para degradação de 2,4-D. Após 180 minutos sob irradiação de luz visível à temperatura ambiente o catalisador obteve cerca de 60% de degradação.

Photocatalytic Decolorization and Biocidal Applications of Non-metal Doped TiO₂: Isotherm, Kinetic Modeling and In Silico Molecular Docking Studies é um estudo que propõe sintetizar diferentes carregamentos de N-doped TiO₂ e investigar o desempenho na remoção de corante e na inibição bacteriana. A remoção do corante RB5 alcançou 90 % de remoção de DQO em 60 minutos de irradiação e, além disso, o material mostrou atividade contra *E. coli* em aproximadamente 150 minutos.

Photocatalytic degradation of methylene blue over MIL-100(Fe)/graphene oxide composites: a performance and kinetic study tem o objetivo de sintetizar o composto MIL-100(Fe)/GO para a remoção do corante MB, tanto pela adsorção quanto pela degradação fotocatalítica. O resultado foi de 95% de remoção do MB e uma capacidade de adsorção de cerca de 60,8 mg g⁻¹ em 210 minutos.

Photocatalytic degradation of methylisothiazolinone in water by TiO₂ and TiO₂/persulfate systems with simulated solar radiation busca sintetizar diferentes materiais de TiO₂ e busca entender a influência da adição de persulfato ao sistema e estudar o efeito de diferentes matrizes de água sobre a remoção de MIT. A adição de persulfato ao sistema resultou na melhoria da taxa de degradação do MIT, mostrando um efeito sinérgico entre TiO₂ e OS.

Photocatalytic Degradation of Organic Dyes from Clinical Laboratory Wastewater busca desenvolver uma rota de tratamento para efluentes de laboratório clínico que contenham corantes não-biodegradáveis, usando o ilmenite como fotocatalisador sob irradiação UV e, em alguns testes, com H₂O₂. O resultado obtido

no estudo obteve porcentagens de descoloração maiores que 90% após aproximadamente três horas de irradiação com UV-C.

Photodegradation of Rhodamine B using gallium hybrids as an efficient photocatalyst busca desenvolver materiais híbridos de gálio com estrutura mesoporosa para aumentar área superficial e testar seu desempenho na degradação do corante *Rhodamine B*. O material de gálio puro possuía área de superfície equivalente a $26 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, após a hibridização os materiais atingiram área superficial entre $31\text{--}37 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$. A degradação do *Rhodamine B* alcançou 47–72% de remoção sob 2 horas de irradiação.

Post-treatment of real municipal wastewater effluents by means of granular activated carbon (GAC) based catalytic processes: A focus on abatement of pharmaceutically active compounds busca avaliar a eficiência catalítica do carvão ativado granular em diferentes condições para o pós-tratamento de efluentes municipais reais e busca a remoção de compostos farmacêuticos persistentes que escapam dos tratamentos convencionais. O processo foi eficaz para vários compostos farmacêuticos, com redução de até 90%.

Preparation and characterization of N-doped ZnO and N-doped TiO₂ beads for photocatalytic degradation of phenol and ammonia busca desenvolver esferas de *N-ZnO* e *N-TiO₂* que possam servir como fotocatalisadores eficientes para tratar água contaminada com fenol e amônia. A fotocatalise mostrou que os materiais dopados com N apresentaram maior atividade para a degradação de fenol e amônia do que os não dopados, indicando que a dopagem de nitrogênio ajudou na melhoria da atividade.

Preparation of Fe-Based MOFs Composite as an Adsorptive Photocatalyst with Enhanced Photo-Fenton Degradation under LED Light Irradiation é um estudo que busca sintetizar o compósito MIL-100(Fe)@TiO₂ com diferentes razões molares e proporções Fe/Ti para otimizar sua capacidade de adsorção e atividade fotocatalítica sob LED. O resultado foi que a proporção ótima resultou em maior área de superfície de $450,7 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ para M₃T_{1.4} em comparação com outras proporções. E em experimentos de *Rhodamine B* melhorou significativamente a remoção do corante.

Preparation of hydrochar by one-step hydrothermal carbonization with potassium ferrate-assisted activation for the removal of tetracycline in water busca desenvolver um processo de hidrocarbonização de biomassas em um único passo, com ativação simultânea por K₂FeO₄, para produzir um hydrochar com alta superfície, porosidade e funcionalidades de superfície que permitam alta eficiência de remoção

de tetraciclina. O material produzido apresentou propriedades de superfície melhoradas e em testes de remoção de tetraciclina, o hydrochar ativado demonstrou alta capacidade de adsorção.

Self-regeneration hybrid hydrogel for bisphenol A adsorption in water busca desenvolver um hidrogel híbrido com auto-regeneração para adsorção de BPA. O hidrogel $\text{TiO}_2/\text{PEGDA}$ apresentou capacidade máxima de adsorção de BPA de $101,4 \text{ mg g}^{-1}$. Além disso após quatro ciclos de uso o hidrogel manteve 85,6% da sua capacidade inicial de adsorção, mostrando boa reusabilidade.

Shedding light on the performance of magnetically recoverable $\text{TiO}_2/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ -5 photocatalyst. Degradation of S-metolachlor as case study propõe desenvolver o catalisador magnético $\text{TiO}_2/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ -5 para aplicar na remoção de S-metolachlor em meio aquoso. A capacidade de adsorção máxima atingida pelo catalisador $\text{TiO}_2/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ -5 foi de $140,85 \pm 5.14 \text{ mg g}^{-1}$ para S-metolachlor. Além disso, o catalisador apresentou boa reutilização por quatro ciclos.

Study on the Pyrolysis and Adsorption Behavior of Activated Carbon Derived from Waste Polyester Textiles with Different Metal Salts busca investigar como diferentes sais metálicos adicionados aos resíduos de poliéster influenciam a pirólise do material e produzir carvões ativados derivados de WPTs. Os resultados mostraram que o AC preparado com Zn (Zn-AC) alcançou área específica (BET) de $847,87 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, a maior entre os estudados e a adsorção de $199,07 \text{ mg g}^{-1}$.

Synthesis of Eu^{3+} -doped $\text{ZnO}/\text{Bi}_2\text{O}_3$ heterojunction photocatalyst on graphene oxide sheets for visible light-assisted degradation of 2,4-dimethyl phenol and bacteria killing é um trabalho que busca sintetizar o nanocompósito Eu^{3+} - $\text{ZnO}/\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{GO}$ por método de precipitação, e caracterizar sua estrutura para confirmar a formação do heterojunction, localização dos dopantes e interação com GO. O nanocompósito apresentou maior área superficial quando comparado às versões sem GO ou sem dopagem além de que o material alcançou quase 100% mineralização em 100 minutos. E por fim foi observado que houve a inibição de 90% de colônias de *E. coli* após tratamento com o catalisador.

Synthesis of iron oxide/activated hydrochar composite from residual brewery biomass for remediation of water contaminated with chlorophenol propõe desenvolver e caracterizar compósitos de hidrochar ativado com óxido de ferro derivados de BSG, comparando dois métodos de síntese. As capacidades de adsorção de 2-CP em

equilíbrio foram aproximadamente 24,63 mg g⁻¹ para o compósito FeOHC e 18,70 mg g⁻¹ para FeOHC-C.

Synthesis of mesoporous TiO₂/BMMs via hydrothermal method and its potential application toward adsorption and photocatalytic degradation of crystal violet from aqueous solution é um estudo que sintetiza nanocompósitos TiO₂/BMMs via método hidrotermal seguido de calcinação a diferentes temperaturas para obter diferentes fases e propriedades texturais. A carga de TiO₂ aumentou a adsorção até certo ponto, mas a eficiência de degradação não seguiu exatamente proporcional à adsorção. A amostra mais altamente calcinada apresentou maior adsorção de 46 % mas menor degradação em 50 minutos.

Synthesis of Mesoporous Zn_{1-x}M_xAl₂O₄ Substituted by Co²⁺ and Ni²⁺ Ions and Application in the Photodegradation of Rhodamine B propõe sintetizar materiais Zn_{1-x}M_xAl₂O₄ substituídos por Co²⁺ e Ni²⁺ com estrutura mesoporosa e identificar a influência da substituição M²⁺ e do tratamento térmico na estrutura. A caracterização indicou que a substituição por Co²⁺ ou Ni²⁺ afeta ligeiramente o parâmetro de rede e a estrutura mesoporosa. Na fotodegradação de Rhodamine B a amostra atingiu a maior taxa de remoção de 83% sob condições experimentais especificadas.

Synthesis of Mesoporous ZnO•SiO₂ Nanocomposite from Rice Husk for Enhanced Degradation of Organic Substances Including Janus Green B under Visible Light busca sintetizar o nanocompósito ZnO•SiO₂ a partir de casca de arroz e determinar a adsorção de N₂. O estudo apresenta desempenho para o corante Janus Green B equivalente a 97,87% de remoção em 60 minutos, porém, com o aumento da concentração inicial de corante a eficiência reduziu para 59,94% no mesmo intervalo de tempo.

Tailoring BiOBr Photocatalyst: In-situ Bi Doping for Enhanced Photocatalytic Removal of Sulfamethoxazole (SMX) Antibiotic é um estudo que tem por objetivo preparar e caracterizar vários fotocatalisadores Bi/BiOBr com diferentes temperaturas de síntese, para determinar como a formação de Bi metálico afeta a absorção de luz visível e a atividade fotocatalítica. O resultado foi que a amostra preparada a 180 °C obteve a melhor performance com 74,35% de remoção de SMX em 4 horas.

Thermal conversion of irradiated LLDPE waste into sustainable sponge-like compounds: a novel approach for efficient trace-level oil–water removal busca transformar resíduos de LLDPE irradiados em um novo material de estrutura esponja, com boa capacidade de adsorção, em condições mais brandas do que a pirólise

convencional para plásticos. A capacidade máxima de adsorção relativa foi elevada para o solvente 1,1,2,2-tetracloroetano que alcançou $43 \text{ g}_{\text{solvente}} \text{ g}_{\text{esponja}}^{-1}$, e a adsorção de óleo também foi significativa de 24.75 g g^{-1} para as condições testadas.

TiO₂-functionalized biochar from pistachio nutshells: adsorptive removal and photocatalytic decolorization of methyl Orange tem por objetivo preparar e caracterizar materiais biochar a partir de cascas de pistache, funcionalizados com TiO₂ em diferentes teores para estudar como afeta a morfologia, estabilidade, estrutura, e desempenho na remoção de MO. O material com 3 % de TiO₂ apresentou desempenho de cerca de 99,47% de remoção de MO em 30 minutos sob as condições otimizadas, comparado a 88,44% para 2 % e 81,38% para 1% de TiO₂.

TiO₂ Nanoparticles with Adjustable Phase Composition Prepared by an Inverse Microemulsion Method: Physicochemical Characterization and Photocatalytic Properties busca desenvolver um método simples, usando microemulsão inversa a baixa temperatura para sintetizar nanopartículas de TiO₂ com composição de fase controlada variando o precursor de Ti e a acidez da fase aquosa. O método permitiu controlar a proporção de fases de TiO₂ variando o tipo de precursor e o pH da solução.

Transition metal-based MOFs for Fenton-like photocatalytic degradation of organic pollutants: Performance, stability, and biocompatibility propõe avaliar o desempenho de diferentes MOFs baseados em metais de transição como catalisadores para processos tipo Fenton-like, incluindo sua atividade fotocatalítica, estabilidade e biocompatibilidade. Os autores concluem que MOFs de metais de transição mostraram alta eficiência na degradação de poluentes orgânicos via radicais gerados em processo Fenton-like sob luz.

Understanding the NH₃ adsorption mechanism on a vanadium-based SCR catalyst: A data-driven modeling approach propõe desenvolver um modelo baseado em dados para descrever de forma mecanística a adsorção de NH₃ em diferentes sítios de adsorção no catalisador vanádio-SCR, combinando múltiplos mecanismos de adsorção dentro da estrutura de isótera de Langmuir. O modelo final contempla cinco sítios de adsorção distintos, cada um com diferentes mecanismos cinéticos e termodinâmicos, capaz de capturar as principais características das isotermas experimentais obtidas de NH₃ no catalisador.

Visible Light Photo-Fenton with Hybrid Activated Carbon and Metal Ferrites for Efficient Treatment of Methyl Orange (Azo Dye) tem por objetivo criar um material híbrido sustentável usando carbono ativado de resíduos agrícolas mais ferritas

metálicas para aplicação em foto-Fenton sob luz visível, visando otimizar a remoção de corantes de alta concentração ótica. Como resultado, o híbrido FeCr-SBA-15/AC alcançou 97% de remoção de *Methyl Orange* em 180 minutos sob condições ótimas. Os autores sugerem que este tipo de sistema híbrido pode ser uma rota promissora para tratamento de efluentes de alta coluna ótica ou alta carga de corantes.

Zr(OH)₄/GO Nanocomposite for the Degradation of Nerve Agent Soman (GD) in High-Humidity Environments busca desenvolver o nanocompósito Zr(OH)₄/GO que mantém alta atividade mesmo em condições de alta umidade, superando a limitação do Zr(OH)₄ puro, que perde atividade por adsorção de água. Os autores concluíram que o composto Zr(OH)₄/GO mantém a atividade mesmo após exposição prolongada de 324 horas à umidade de 80% RH (umidade relativa), ao contrário do Zr(OH)₄ puro que reduz a sua atividade.

Síntese de Produtos Químicos

O Artigo *2nd generation PLA; Lactide formation directly from aqueous lactic acid* tinha por objetivo desenvolver um processo de segunda geração para o monômero para polilático, converter ácido láctico aquoso diretamente em lactídeo (LD) em reator contínuo de leito fixo, usando diversos catalisadores (zeólitas, γ -Al₂O₃) e estudar efeitos de pressão, temperatura e teor de água na alimentação. Usando ácido láctico 90 % em água e catalisador γ -Al₂O₃, obtiveram seletividade de LD de 98,9 % e concluíram que o rendimento de LD aumenta quando se usa ácido láctico oligomerizado com menor quantidade de água. Além disso, os autores realizaram testes de caracterização dos potenciais catalisadores a serem utilizados.

Adsorption of lipases on porous silica-based materials for esterification in a solvent-free system tem o objetivo principal de investigar como diferentes suportes porosos de sílica/zeólita podem influenciar a adsorção das lipases CALB e RML, determinar a eficiência de imobilização (em função do tipo de suporte, pH, concentração de buffer, etc.), e então testar os biocatalisadores resultantes (enzima imobilizada sobre suporte) na reação de esterificação de ácido oleico com etanol para formar etil oleato, em sistema sem solvente.

No estudo, *A New Series of Tungstophosphoric Acid-Polymeric Matrix Catalysts: Application in the Green Synthesis of 2-Benzazepines and Analogous Rings*, o foco está na produção de compostos orgânicos heterocíclicos (2-

benzazepinas) com o uso de um catalisador ácido heterogêneo. O objetivo do trabalho é desenvolver e caracterizar o catalisador com elevada acidez e alta dispersão, e então aplicar eles para a ciclagem eficiente da síntese de 2-benzazepinas e análogos, sob condições suaves (ex: 70 °C, três horas) e em meio heterogêneo, verificando rendimento, seletividade, reutilização e parâmetros de “*green chemistry*”. Na reação de síntese de 2-benzazepinas, foram obtidos rendimentos entre aproximadamente 55 % e 88 % dependendo da estrutura do catalisador e das condições usadas.

Em *A novel Zn-based-MOF for efficient CO₂ adsorption and conversion under mild conditions*, o foco principal do artigo é transformar CO₂ em carbonatos cíclicos por meio da reação de cicloadição. Para alcançar o objetivo do trabalho, os autores propuseram sintetizar e caracterizar um novo MOF de Zn que promova forma adsorção. O resultado foi de um rendimento de 97%.

Bismuth Oxychloride as an Efficient Heterogeneous Catalyst for Aldol Condensation Reaction between Aldehydes and Ketones possui o objetivo de desenvolver e caracterizar BiOCl como um catalisador heterogêneo eficaz para a reação de Aldol entre aldeídos e cetonas, usando condições relativamente suaves, com boa seletividade, reutilização do catalisador e caracterização do material. Portanto o resultado da síntese orgânica foi um rendimento de 85% para a reação de benzaldeído + acetona nas condições ótimas.

CaO nanoparticles incorporated metal organic framework (NH₂-MIL-101(Cr)) for Knoevenagel condensation reaction tem por objetivo a produção de um material catalítico híbrido de NH₂-MIL-101(Cr) caracterizá-lo e confirmar a integridade do MOF após a modificação. O resultado do estudo foi a conversão de aproximadamente 99% do óxido de cálcio sob condições otimizadas. Além disso, a atividade elevada foi mantida em variados derivados de benzaldeído com mais de 90 % de conversão.

Characteristics of Crosslinking Polymers Play Major Roles in Improving the Stability and Catalytic Properties of Immobilized Thermomyces lanuginosus lipase (TLL) é um estudo que trata de melhorar um biocatalisador (enzima) para reações de hidrólise/esterificação, essencialmente síntese ou transformação orgânica usando enzima imobilizada e os resultados mostraram que a adsorção com condições otimizadas indicaram monocamada e distribuição homogênea da lipase além de diminuir a perda da enzima por dessorção de aproximadamente 40% para menos de 2% quando a enzima foi modificada por reticulação (*cross-linking*) com quitosana por exemplo.

Characterization of $H_4SiW_{12}O_{40}$ supported on mesoporous silica (SBA-15), non-structured amorphous silica and γ -alumina teve por objetivo caracterizar os catalisadores HSiW suportados em diferentes materiais avaliando o comportamento na reação de desidratação de etanol que resulta na produção de etileno. O resultado principal foi que o SBA- mostrou o melhor desempenho em atividade catalítica.

Characterization of the Different Oils Obtained through the Catalytic In Situ Pyrolysis of Polyethylene Film from Municipal Solid Waste tem o foco em transformar resíduos plásticos em um produto de valor, o óleo combustível, por via de pirólise catalítica. Para atingir o objetivo os autores fizeram a caracterização dos diferentes óleos obtidos pela pirólise catalítica quando usados diferentes catalisadores comerciais. Como resultado do estudo, a análise mostrou correlação entre as características do catalisador e desempenho, como por exemplo, os materiais com maior área mesoporosa favoreciam a produção de frações de transporte como o querosene ou diesel.

Composition-tunable $ZnS_{1-x}Se_x$ nanobelt solid solutions for efficient solar-fuel production é um estudo que se trata de produção de combustíveis a partir de radiação usando material semiconductor treinado para fotocatalise. Para isso os autores propuseram ajustar a composição dos nanobelts $ZnS_{1-x}Se_x$ para melhorar captação de luz, separação de portadores photoexcitados e desempenho em fotocatalise. Os resultados foram que em termos de performance, os materiais resultantes demonstraram atividade relevante para produção de combustível.

CuO-CeO₂ catalysts based on SBA-15 and SBA-16 for COPrOx. Influence of oxides concentration, incorporation method and support structure é um estudo que tem o objetivo de desenvolver e testar catalisadores de Cobre e Cério suportados em sílicas mesoporosas para a reação de oxidação preferencial de CO e também otimizar o catalisador. Os resultados obtidos mostraram a eficácia e a seletividade dos novos catalisadores na remoção do CO em baixas temperaturas, essencial para aplicações em células a combustível.

Cycloaddition of limonene epoxide and CO₂ over Zn/SBA-15 catalysts for limonene carbonate synthesis é um estudo com o objetivo de desenvolver e aumentar a eficácia do catalisador heterogêneo Zn/SBA-15 para a reação de cicloadição entre o epóxido de limoneno e o CO₂, buscando produzir carbonato de limoneno. Os resultados obtidos mostraram que a seletividade foi de 93% e a conversão de 33% graças a uma concentração ideal testada e um tempo de reação ótimo.

Dispersion and Stabilization of Supported Layered Double Hydroxide-Based Nanocomposites on V-Based Catalysts for Nonoxidative Dehydrogenation of Isobutane to Isobutene tem foco na transformação do isobutano em outro composto de maior valor, o isobuteno, através de catálise.

Easy functionalization of carbon nano-onions with disulfides and their use as recyclable heterogeneous organocatalysts tem por objetivo desenvolver uma abordagem fácil para modificar as CNOs com grupos de bissulfetos, permitindo que se tornem catalisadores orgânicos heterogêneos. Em termos práticos os catalisadores apresentaram atividade catalítica relevante em reações orgânicas e a combinação de CNOs com a funcionalização orgânica mostrou vantagens de estabilidade, superfície de contato, e reutilização em comparação com catalisadores convencionais.

Effect of microwave method on jasminaldehyde synthesis using solvent-free over Mg–Al–NO₃ hydrotalcite catalyst é um artigo com o objetivo de comparar métodos de aquecimento para a síntese de jasminaldeído com o catalisador Mg–Al–NO₃, caracterizar, avaliar a conversão, o tempo de reação e reusabilidade. O resultado foi que sob aquecimento por micro-ondas alcançaram conversão de 99% e seletividade de aproximadamente 80% para jasminaldeído em apenas 50 minutos.

Effect of Sm₂O₃ Doping of CeO₂-Supported Ni Catalysts for H₂ Production by Steam Reforming of Ethanol tinha o objetivo de investigar como a adição de óxido de samário em catalisadores de níquel (Ni) afetaria o desempenho da reação de reforma a vapor do etanol. Com o resultado obtido, os autores concluíram que aumentar o teor de Sm₂O₃ melhorou as propriedades catalíticas com uma conversão média de etanol de 97%.

Enhanced Aquathermolysis of Water–Heavy Oil–Ethanol Catalyzed by B@Zn(II)L at Low Temperature é um estudo que investiga como o catalisador pode melhorar o processo de aquatermolise de água-óleo pesado-etanol a baixa temperatura, com vistas a reduzir a viscosidade do óleo pesado e buscou entender o mecanismo de quebra de ligações neste contexto. Assim, ao utilizar o catalisador em condições ótimas a viscosidade do óleo pesado foi reduzida em aproximadamente 88,3%.

Electrostatic Reaction Inhibition in Nanoparticle Catalysis propõe entender como a acumulação de produtos na superfície da nanopartícula pode inibir a reação catalítica pela repulsão eletrostática. Ainda, o artigo explora o comportamento da nanopartícula desde a adsorção fraca até forte, e desde controle por difusão até

controle por reação superficial, para quantificar o impacto da inibição eletrostática na taxa observada. Por fim, os autores concluíram que a inibição eletrostática pode reduzir significativamente a taxa de reação quando a adsorção de produtos carregadas for forte e a força iônica do meio for baixa.

Fractal Features of pH-sensitive Bimodal Mesoporous Silica-supported Bipyridine-proline Organocatalysts with Core-shell Structure and Their Application in Asymmetric Aldol Reaction é um artigo voltado para projetar e sintetizar materiais com funcionalização de ligante bipyridine-proline, com sensibilidade ao pH para modular liberação ou acesso da espécie ativa Z.

Generalized synthesis of high surface area mesoporous metal titanates as efficient heterogeneous catalysts tem o objetivo de desenvolver um método generalizado para sintetizar titanatos metálicos mesoporosos com alta área de superfície, utilizando uma estratégia de dissolução metálica acoplada à formação de micelas inversas. Os resultados mostraram que a produção gerou materiais com alta área de superfície e morfologia mesoporosa.

Green diesel production from palm fatty acid distillate over SBA-15-supported nickel, cobalt, and nickel/cobalt catalysts tem o objetivo de desenvolver e otimizar catalisadores à base de Níquel, Cobalto ou bimetálicos suportados em SBA-15 para a produção de "Diesel Verde" através da conversão catalítica do Destilado de Ácidos Graxos de Palma. O resultado foi que o sistema catalítico modificado apresentou uma maior pureza, rendimento, taxa de conversão e seletividade do Diesel Verde em comparação com outros estudos no mesmo campo que utilizam reatores em batelada ou semi-batelada.

Hierarchical Zeolites Prepared Using a Surfactant-Mediated Strategy: ZSM-5 vs. Y as Catalysts for Friedel–Crafts Acylation Reaction é um estudo que busca desenvolver e caracterizar zeólitas hierárquicas através de tratamento alcalino em presença de surfactante para introduzir mesoporosidade controlada e ao fim avaliar o desempenho catalítico dos materiais na reação de acilação de furano com anidrido acético. O resultado foi de uma mesoporosidade com um aumento da superfície externa, porém, não apresentou melhora significativa para o rendimento catalítico.

Immobilization of soybean peroxidase enzyme on hierarchical zeolite-ordered mesoporous carbon nanocomposite and its activity busca produzir nanocompósitos de suporte combinando zeólita hierárquica e carbono mesoporoso, funcionalizar com amino-grupos e cruz-ligar com GA para imobilização da SBP. O estudo conclui que o

sistema suporte é uma boa plataforma para imobilização de enzimas, com benefícios em estabilidade e reutilização.

Improved Hydrolysis of Granular Starches by a Psychrophilic α -Amylase Starch Binding Domain-Fusion tem o objetivo de melhorar a eficiência da hidrólise de grânulos de amido por meio de uma α -amilase psicrófila modificada para alcançar maior atividade sobre substrato insolúvel, aumentando os sítios de ataque e a ligação ao grânulo. O resultado foi de uma atividade três vezes maior sobre grânulos de amido em comparação com a enzima selvagem.

Insight into Active Centers and Anti-Coke Behavior of Niobium-Containing SBA-15 for Glycerol Dehydration tem o objetivo de investigar como diferentes materiais de catalisador de SBA-15 contendo nióbio influenciam a atividade catalítica para conversão de glicerol em produtos de desidratação, a resistência à formação de coque e os centros ativos.

Insight into the reaction mechanism of photocatalytic production of solketal é um estudo com o objetivo de elucidar o mecanismo da reação fotocatalítica de produção de *solketal* a partir de glicerol mais acetona. O estudo constatou que o O_2 é essencial para que a reação ocorra, além de propor um mecanismo detalhado envolvendo o equilíbrio BQ/ H_2Q , a geração de O_2 , ativação de acetona ou glicerol via H-atom transfer em H_2Q , e posterior ciclagem até formar o acetal *solketal*.

Kinetic and Equilibrium Function and Switchable Catalytic Activity of Some Thermo-Responsive Hydrogel Metal Absorbents Based on Modified PNIPAM é um trabalho que busca sintetizar hidrogéis termo-responsivos baseados em PNIPAM, modificados com grupos amina/Schiff-base, que funcionem como absorventes de metais e como catalisadores capazes de ativar e desativar sua atividade em função da temperatura. Os autores concluíram que as modificações apresentaram propriedades de absorção, temperatura de transição, capacidade de inchaço e estrutura química influenciam decisivamente o desempenho tanto na adsorção quanto na catalização. A elevada capacidade de adsorção de íons cobre se mostrou com a melhor amostra alcançando até aproximadamente 8.550 mg g^{-1} como valor máximo de capacidade de adsorção.

Kinetics for the biodiesel production from lauric acid over Keggin heteropolyacid loaded in silica framework é um estudo que propõe produzir e caracterizar catalisadores heterogêneos baseados em ácido heteropolíaco do tipo Keggin incorporado em sílica para a esterificação do ácido láurico com etanol. O

catalisador com carga de 20% do heteropolíaco na sílica apresentou os melhores resultados de conversão, além de determinar que o modelo cinético de Langmuir-Hinshelwood–Hougen–Watson ajustaram bem os dados.

Light-driven methane conversion: unveiling methanol using a TiO₂/TiOF₂ photocatalyst é um trabalho que propõe sintetizar e caracterizar o compósito TiO₂/TiOF₂ com controle da proporção e das facetas expostas para otimizar a atividade fotocatalítica, além de obter o rendimento e a taxa de produção de metanol sob condições de luz, à temperatura ambiente e pressão 1 atm, e investigar o mecanismo da reação. O resultado pelos autores apresenta que a presença de Ag depositado no compósito melhorou o rendimento em cerca de 2,2 vezes em relação ao TiO₂/TiOF₂ sem Ag. Outro resultado significativo para o estudo, é a melhora no rendimento de metanol equivalente a 0,7257 $\mu\text{mol h}^{-1} \text{g}_{\text{cat}}^{-1}$.

Liquid phase oxidation of cyclopentanone over metal-free carbon catalysts artigo que aborda e avalia a viabilidade de catalisadores de carbono sem metais para a oxidação em fase líquida de cyclopentanone, sob condições solvente-livres. O resultado foi que sob condições ideais certos catalisadores de carbono tipo Vulcan XC72 modificados, alcançaram cerca de 25 % de conversão de cyclopentanone, com aproximadamente 30 % de seletividade para ácido glutárico.

Modified Catalysts and Their Fractal Properties é um estudo focado em reunir e discutir resultados científicos relativos a catalisadores modificados, especialmente óxidos de perovskita e nanopartículas metálicas, e examinar como a dimensão fractal da superfície influenciam a atividade catalítica. O estudo concluiu que quanto maior a dimensão fractal da superfície do catalisador, melhor tende a ser a atividade catalítica.

Ni-citric acid coordination polymer as a practical catalyst for multicomponent reactions busca melhorar e oferecer um catalisador prático, reutilizável, estável, de Ni-ácido cítrico para reações de tipo multicomponente com boa eficiência e rendimento elevado. O catalisador Ni-CP apresentou área superficial de aproximadamente 22.65 m²/g e obteve rendimento de 97% em condições ótimas.

One-pot A³-coupling solvent-free synthesis of propargylamines by Pd-impregnated Al-based LDHs synthesized from aluminum salt slag é um artigo que visa desenvolver um catalisador heterogêneo baseado em LDHs de Al, impregnado com Pd, para realizar a reação A³-coupling sem uso de solvente e com boa reciclabilidade. O catalisador que apresentou melhor desempenho foi o de Ni–Al–Pd sob condições

ótimas mostrou boa reciclabilidade, mantendo atividade acima de 80% após 4 ciclos de uso.

One-pot synthesis of quinazolinone heterocyclic compounds using functionalized SBA-15 with natural material ellagic acid as a novel nanocatalyst é um tema que busca desenvolver um catalisador heterogêneo novo que fosse reutilizável, eficiente e aplicá-lo na síntese de quinazolinonas. O catalisador SBA-15@ELA mostrou altos rendimentos para derivados de 4-oxo-dihidroquinazolinone entre 78 % a 96 %.

On the selective transformation of ethanol over Mg- and/or La-containing mixed oxides catalysts é um trabalho que tem como objetivo principal investigar como a composição dos óxidos mistos influencia a atividade e seletividade na transformação do etanol. Os autores mostraram que os catalisadores com diferentes proporções de Mg e La apresentaram diferenças em conversão de etanol e seletividade para determinados produtos.

Palladium-loaded lanthanum metal organic framework for vanillin hydrodeoxygenation se trata de um estudo com objetivo de desenvolver o catalisador Pd-MOF baseado em La para eficiente conversão da vanilina via HDO com olhar para aplicação em refino de bio óleos. O suporte La-MOF com Pd permitiu boa dispersão do metal e melhora da atividade comparado a suportes convencionais e destacou que a sinergia entre o suporte MOF e o Pd melhora a estabilidade, seletividade e taxa da HDO.

Photocatalytic Hydrogen Production Using Porous 3D Graphene-Based Aerogels Supporting Pt/TiO₂ Nanoparticle é um estudo que propõe desenvolver fotocatalisador de alta performance baseado em aerogel rGO/Pt/TiO₂ com estrutura 3D e porosidade adequada para maximizar a produção de H₂. O sistema otimizado atingiu uma taxa de produção de H₂ de aproximadamente 18.800 $\mu\text{mol}_{\text{H}_2} \text{h}^{-1} \text{g}^{-1}$.

Production of High-Octane Number Gasoline from Basra Low Octane-Number Gas Condensate and Ethanol over Modified Zn/ZSM5 Zeolite Catalyst teve como objetivo preparar o catalisador Zn/ZSM-5 e compará-lo com a zeólita ZSM-5 não modificada, sob diferentes condições operacionais, para ver qual promove maior RON no produto de gasolina a partir do condensado de gás misturado com etanol. O novo produto permitiu elevar o número de octano (RON) do produto de 60.5 para 89.0 sob condição ótima e para a ZSM-5 não modificada, a elevação foi de 60.5 para 82.0 sob condições similares.

Role of Brønsted and Lewis acidic sites in sulfonated Zr-MCM-41 for the catalytic reaction of cellulose into 5-hydroxymethyl furfural é um estudo com o objetivo de sintetizar diferentes versões de Zr-MCM-41 sulfonadas com diferentes cargas de Zr e diferentes graus de sulfonação, caracterizar e investigar como a relação entre sítios ácidos de Brønsted e de Lewis influencia a conversão de celulose em 5-HMF. Sem catalisador, a conversão de celulose foi de 1,3 %, com MCM-41 simples, ficou em 15,2 % e por fim os catalisadores sulfonados Zr-MCM-41 alcançaram 70,2 % de conversão de celulose.

Ruthenium incorporation into hydrotalcites-derived mixed oxides for phenol hydrogenation: Role of Mg/Al molar ratio é um trabalho que busca avaliar como a razão Mg/Al nos precursores LDH influencia a estrutura dos óxidos mistos calcinados e a dispersão do Ru, bem como as propriedades de superfície que afetam o desempenho da catalise de fenol. O melhor resultado foi obtido com o catalisador com a menor razão Mg/Al = 1 que alcançou aproximadamente 95,9% de conversão de fenol e aproximadamente 47,4% de seletividade para ciclohexanona.

Sensing molecular organizational changes through the catalytic activity of acetylcholinesterase from erythrocyte membranes in Langmuir-Blodgett films se trata de um estudo com foco em preparar filmes LB de membrana de eritrócitos bovinos sob diferentes tensões superficiais e comparar com membranas em suspensões para estudar efeito do empacotamento sobre a atividade da AChE.

Solar thermo-photocatalytic methanation using a bifunctional RuO₂:TiO₂/Zeolite 13X (Z13X) photocatalyst/adsorbent material for efficient CO₂ capture and conversion busca desenvolver um material bifuncional que possa adsorver CO₂ e ao mesmo tempo converter cataliticamente para CH₄, integrando funções de adsorção e catálise numa única estrutura. O estudo reporta que o RuO₂:TiO₂/Z13X alcançou conversão de CO₂ em CH₄ e CO sob irradiação solar combinada com aquecimento.

Sorption enhanced dimethyl ether synthesis under industrially relevant conditions: experimental validation of pressure swing regeneration propõe demonstrar experimentalmente, em escala de bancada a viabilidade do processo “*sorption enhanced DME synthesis*” (SEDMES) sob condições relevantes para a indústria, ou seja, temperaturas e pressão elevadas. O processo SEDMES demonstrou uma seletividade de carbono em único passe para DME acima de 80% sob as condições testadas.

Structure Effects Induced by High Mechanical Compaction of STAM-17-OEt MOF Powders tem o objetivo de estudar em detalhe os efeitos da compactação mecânica sobre o MOF STAM-17-OEt, em particular. Os autores concluíram que o MOF STAM-17-OEt demonstrou ser adequado para compactação mecânica. Ao contrário de muitos MOFs sensíveis, ele manteve sua estrutura, porosidade e até melhorou em parte seus desempenhos quando comprimido a 200 MPa.

Study of Mesoporous Zr-TiO₂ Catalyst with Rich Oxygen Vacancies for N-Methylmorpholine Oxidation to N-Methylmorpholine-N-oxide busca desenvolver catalisadores Zr-TiO₂ com estrutura mesoporosa e um elevado nível de vacâncias de oxigênio para melhorar a oxidação de NMM para NMMO em condições moderadas. O catalisador com 5 % Zr-doping (5 %Zr-TiO₂) mostrou 97,6 % de rendimento para NMMO a 40 °C o que indicou boa dispersão de Zr e características texturais favoráveis para a reação em questão.

Synthesis and characterization of highly efficient and recoverable Cu@MCM-41 (2-hydroxy-3-propoxypropyl) metformin mesoporous catalyst and its uses in Ullmann type reactions tem o objetivo de desenvolver um catalisador recuperável e eficiente para reações de acoplamento tipo Ullmann. A funcionalização com metformina e a estrutura MCM-41 permitiram fácil separação e reutilização, com o catalisador sendo reutilizado por pelo menos cinco ciclos.

Synthesis and Mathematical Modelling of the Preparation Process of Nickel-Alumina Catalysts with Egg-Shell Structures for Syngas Production via Reforming of Clean Model Biogas busca desenvolver e modelar o processo de preparação do catalisador Ni/Al₂O₃ com estrutura egg-shell buscando a performance catalítica ampliada. O modelo matemático proposto conseguiu prever satisfatoriamente a distribuição de Ni no extrudado obtido via EDF sob condições específicas de impregnação, em concordância com dados experimentais.

Synthesis of MeOH and DME From CO₂ Hydrogenation Over Commercial and Modified Catalysts busca avaliar o desempenho de três tipos de catalisadores na hidrogenação de CO₂ em MeOH e DME. O catalisador preparado por coprecipitação apresentou a maior conversão de CO₂ de 24% depois de 30 horas de reação.

The Production of Green Diesel Rich Pentadecane (C15) from Catalytic Hydrodeoxygenation of Waste Cooking Oil using Ni/Al₂O₃-ZrO₂ and Ni/SiO₂-ZrO₂ é um estudo que propõe sintetizar os catalisadores Ni/Al₂O₃-ZrO₂ e Ni/SiO₂-ZrO₂ via

impregnação, caracterizar e e avaliar a performance na HDO de óleo de cozinha usado em reator de batelada. O catalisador Ni/Al₂O₃-ZrO₂ apresentou seletividade de 68.97% para n-C15 após 2 horas de reação. O catalisador Ni/SiO₂-ZrO₂ apresentou seletividade de 55,39% para n-C15 em 2 horas. Ambos os catalisadores conseguiram produzir hidrocarbonetos na faixa de diesel livres de oxigênio, indicando que o processo de HDO por decarbonilação foi bem sucedido.

Thermocatalytic Hydrogenation of CO₂ to Methanol Using Cu–ZnO Bimetallic Catalysts Supported on Metal–Organic Frameworks é um estudo que prepara os catalisadores Cu–ZnO sobre suporte UiO-66 (MOF) através de impregnação em fase de lodo e compara com um catalisador convencional CuO/ZnO/Al₂O₃ para a hidrogenação de CO₂. O catalisador apresentou conversão de CO₂ de 27% e seletividade para metanol de 16% sob as condições testadas. A pesquisa conclui que o suporte MOF pode funcionar como alternativa promissora para suportes tradicionais, embora o resultado neste estudo específico ainda esteja abaixo da melhor referência.

TiO₂-Modified Montmorillonite-Supported Porous Carbon-Immobilized Pd Species Nanocomposite as an Efficient Catalyst for Sonogashira Reactions busca desenvolver o suporte híbrido TiO₂-MMT/PCN que oferece alta área de superfície, boa porosidade e forte interação com Pd para estabilizar espécies ativas e reduzir lixiviação. Em termos de rendimento catalítico, o nanocompósito alcançou yields na faixa de 59-99% para as reações testadas, dependendo dos substratos.

Towards continuous deoxygenation of acetic acid catalyzed by recyclable mono/bi/trimetallic zeolite catalysts é um trabalho que propõe desenvolver catalisadores de zeólita mordenite suportando diferentes combinações metálicas e testá-los em modo contínuo para desoxigenação do ácido acético, correlacionando a composição metálica com a conversão e rotas de reação. Foi observado uma relação quase linear entre o conteúdo de Ni e a conversão de ácido acético reforçando o papel de Ni na ativação de hidrogênio e na via de hidro-desoxigenação. Além disso o catalisador Ni/MOR puro manteve atividade por 24 horas a 460 °C e um adicional de 20 horas após regeneração.

Towards Photothermal Acid Catalysts Using Eco - Sustainable Sulfonated Carbon Nanoparticles — Part I: Synthesis, Characterization and Catalytic Activity towards Fischer Esterification é um estudo que busca desenvolver um catalisador ácido heterogêneo a partir de nanopartículas de carbono sulfonadas, com enfoque em sustentabilidade (“eco-sustainable” – usando tanino, um precursor natural, em

substituição ao resorcinol) e conectar essa estrutura com a capacidade de aquecimento fototérmico das nanopartículas de carbono sob irradiação. Na reação de esterificação do ácido acético com etanol, os catalisadores sulfonados alcançaram conversões de até aproximadamente 70% sob condições otimizadas, superando catalisadores ácidos comerciais.

Understanding phase-transfer catalytic synthesis of fullerenol and its interference from carbon dioxide and ozone propõe a investigação de como variam os níveis de hidrólise quando se altera a quantidade de TBAH e o volume de NaOH no método de fase de transferência. Ao variar a quantidade de TBAH na faixa de 3 a 192 gotas, as respostas foram não lineares: por exemplo, com 24 gotas de TBAH obtiveram uma fullerenol com cerca de 13 grupos –OH; com 48 gotas o número caiu para 8 grupos –OH.

Understanding solvent effects on adsorption and protonation in porous catalysts tem o objetivo de quantificar experimentalmente isóteras de adsorção de piridina em diferentes zeólitas em solventes variados para separar os efeitos de confinamento e transferência de próton em meio líquido. O resultado foi que o solvente exerce efeito primário na adsorção e atividade ácida em fase líquida, o que implica que escolhas de solvente são críticas para catalise líquida heterogênea, não apenas o material catalítico em si.

Utilization of ornamental rock waste as a catalytic support for α -MoO₃ in biodiesel production é um estudo que busca desenhar e caracterizar sistemas catalíticos heterogêneos em que o suporte seja rocha ornamental residual, impregnado com α -MoO₃ em diferentes taxas para avaliar a viabilidade econômica, ecológica e tecnológica de reutilização de resíduos da indústria de pedras. Os suportes residuais de rocha apresentaram fases cristalinas como mica-biotite, ferrotschermakite, albite, quartzo e silicatos de ferro-magnésio, além da fase ortorrômbica de α -MoO₃ nos sistemas heterogêneos, sugerindo que estes resíduos podem oferecer uma rota sustentável.

Vanadium-containing modified clays as catalysts for acetaldehyde production by ethanol selective oxidation propõe desenvolver catalisadores sustentáveis utilizando argilas naturais modificadas com vanádio para atuar na oxidação seletiva de etanol, visando produção de acetaldeído. Os resultados do artigo indicam que a natureza da argila, o método de modificação com vanádio e as condições de reação

influenciam significativamente a conversão de etanol e a seletividade para acetaldeído.

Visible-Light Responsive Cu-MOF-NH₂ for Highly Efficient Aerobic Photocatalytic Oxidation of Benzyl Alcohol é um estudo que busca demonstrar que o material Cu-MOF-NH₂ responde à luz visível e tem elevada atividade fotocatalítica para oxidação de benzyl alcohol, em comparação com catalisadores à base de titânia. A conversão de benzyl alcohol atingiu praticamente 100% após 240 minutos de irradiação com lâmpada de mercúrio 125 W para os catalisadores preparados. Além disso, a funcionalização com NH₂ melhora a absorção de luz e a separação de cargas.

Oxidação e Redução

O artigo *Hydrogen adsorption on Pt(111) in alkaline media: an impedance-spectroscopy study at variable temperatures* se trata de um processo eletroquímico de adsorção de hidrogênio que envolve transferência de elétrons e reação de redução do íon de hidrogênio. O objetivo deste trabalho era obter dados sobre a cinética de adsorção de hidrogênio sobre Pt(111) em meio alcalino, algo que ainda era escasso experimentalmente apesar de haver muitos estudos computacionais. Para isto, fizeram testes em diferentes temperaturas (278 K a 318 K) para deduzir a cobertura superficial de H adsorvido e a resistência de transferência de carga, e a partir disso extrair a constante de taxa padrão e a energia de ativação.

Aqui, *an improved immobilized molybdenum oxidative catalyst bearing an amino acid-derived bifunctional chelator*, o foco do trabalho é desenvolver um catalisador heterogêneo melhorado (complexo de Mo VI com quelante de amino-ácido imobilizado em sílica mesoporosa-15) para reações de oxidação, avaliar sua preparação, imobilização, caracterização e testar seu desempenho em reações seletivas de oxidação, provavelmente com tempo de reação, reutilização, seletividade. O sistema mostrou boa estabilidade e reutilização e o catalisador imobilizado apresentou atividade catalítica superior demonstrando que a imobilização sobre SBA-15 com quelante bifuncional melhorou a performance.

Catalysis by sulfides: Advanced IR/CO spectroscopy for the identification of the most active sites in hydrodesulfurization reactions é um trabalho que lida com catálise de sulfetos no contexto de hidrodessulfurização, que é uma reação de transferência de hidrogênio para compostos de enxofre. Portanto o objetivo do estudo é utilizar espectroscopia de infravermelho com CO adsorvido para caracterizar os sítios ativos nos sistemas de catalisadores de sulfeto para entender quais são os sítios realmente funcionais em HDS. O resultado do estudo permitiu determinar afinidades relativas de CO para diferentes sítios e mostrou a importância de ter técnicas espectroscópicas sensíveis para identificar sítios ativos reais.

Catalytic Oxidation of Benzoin by Hydrogen Peroxide on Nanosized HKUST-1: Influence of Substituents on the Reaction Rates and DFT Modeling of the Reaction Path propõe o desenvolvimento e caracterização de um sistema catalítico voltado para a oxidação de benzoinas com H_2O_2 . Os autores concluíram que somente o ácido benzóico correspondente foi formado como produto principal da oxidação das benzoinas além de sugerir que a adsorção do substrato no sítio metálico do MOF e a ativação do H_2O_2 são etapas chave.

CeO₂:Mn₃O₄ Catalytic Micro-Converters Tuned for CH₄ Detection Based on Catalytic Combustion under Real Operating Conditions é um estudo focado em uma reação de combustão catalítica de CH₄ como mecanismo de detecção sensorial. Isso é claramente um processo de oxidação (do metano) com uso de catalisador. Portanto, o objetivo aqui é preparar e caracterizar filmes mesoporosos para uso como micros conversores catalíticos para CH₄ além de caracterizar e avaliar o desempenho desses materiais. O trabalho revelou que em condições ambientais reais o sensor-catalisador funciona de modo confiável, ilustrando a aplicabilidade prática.

UiO-66(Ce) (Ce-organic framework) as a support for nanoparticulate gold for use in oxidation catalysis é um estudo claramente focado em uma oxidação catalítica (álcool → aldeído/vanilina) usando nanopartículas de ouro suportadas em MOF. O objetivo do artigo é sintetizar, otimizar, caracterizar o MOF e avaliar a atividade catalítica e comparar desempenho entre os dois métodos de preparo. Por fim, a caracterização confirmou que a estrutura do MOF se manteve cristalina, e que a versão com Au internamente incorporado tinha melhor dispersão de Au e acesso aos sítios ativos.

Co-immobilization of a Rh Catalyst and a Keggin Polyoxometalate in the UiO-67 Zr-Based Metal-Organic Framework: In Depth Structural Characterization and

Photocatalytic Properties for CO₂ Reduction é um estudo que se volta para a transferências de elétrons por meio da fotocatalise e tem por objetivo desenvolver um sistema heterogêneo por co-imobilização do complexo Rh e do POM dentro da estrutura do MOF UiO-67 e avaliar a performance fotocatalítica deste sistema para a redução de CO₂. O resultado obtido apresentou que o híbrido alcançou o número de *turnovers* de até aproximadamente 175 quando preparado como filme fino. Ainda, os autores afirmam que a presença do POM aumentou significativamente a atividade de redução de em relação ao catalisador contendo apenas o complexo com Rh.

Cooperative Effects Drive Water Oxidation Catalysis in Cobalt Electrocatalysts through the Destabilization of Intermediates é um estudo com o objetivo de investigar como os efeitos cooperativos entre sítios ativos em catalisadores de cobalto afetam a catálise da OER. No catalisador CoFe-PB foi observada uma desestabilização de aproximadamente 0.19 eV/monolayer, o que indica que os efeitos cooperativos e a natureza estrutural do catalisador têm impacto forte na reação. O estudo mostra que não basta otimizar sítios isolados ativos, é preciso considerar como a cobertura de superfície, difusão, acúmulo de intermediários e interações entre eles influenciam a catálise.

Coverage, repulsion, and reactivity of hydrogen on High-Entropy alloys é um estudo que busca modelar e entender como o hidrogênio interage com as superfícies de Ligas de Alta Entropia. Os pesquisadores buscaram determinar como a cobertura de hidrogênio na superfície, os efeitos de repulsão entre os átomos de hidrogênio adsorvidos e a composição da liga influenciam para a Reação de Evolução de Hidrogênio, além de identificar composições de liga que sejam catalisadores mais eficientes para a produção de H₂. O artigo apresentou que os efeitos de repulsão (H-H) são maiores nas Ligas de Alta Entropia do que em metais puros e também mostrou que a formação de H₂ é dependente do nível de cobertura de hidrogênio na superfície do catalisador.

Glycerol electrooxidation catalyzed by Pt-Sb supported in periodic mesoporous carbon CMK-3 and CMK-5 é um estudo que busca investigar como diferentes suportes de carbono mesoporosos e a presença de antimônio no catalisador Pt-Sb influenciam o desempenho na eletrooxidação do glicerol além de caracterizar os catalisadores e avaliar variáveis experimentais para otimização do processo.

Hydrogen producing water treatment through mesoporous TiO₂ nanofibers with oriented nanocrystals busca desenvolver nanofibras de TiO₂ com estrutura mesoporosa e cristais orientados para melhorar eficiência de fotocatalise para produção de hidrogênio juntamente com tratamento de água. Por fim, os autores concluíram que a estrutura desenvolvida favorece a separação de cargas e aumenta a eficiência de fotocatalise para geração de H₂.

Influence of Silica Coatings on Magnetite-Catalyzed Selenium Reduction é um artigo que busca investigar como o revestimento de sílica afeta a reatividade de magnetita na redução de selênio em diferentes estados de oxidação e em diferentes condições de cobertura de Si. O estudo sugere que, em ambientes naturais aquáticos nos quais a magnetita ou óxidos de ferro se encontram revestidos por sílica ou parcialmente oxidados, a reatividade redox ainda pode persistir.

Insights into the Electrocatalytic Activity of Fe,N-Glucose/Carbon Nanotube Hybrids for the Oxygen Reduction Reaction é um artigo com o objetivo de investigar e otimizar híbridos de carbono derivados de glicose mais nanotubos de carbono com dopagem de Fe e N para melhorar seu desempenho como eletrocatalisadores para a ORR. Por fim, os resultados apresentam que os materiais com maior conteúdo de Fe/N conseguiram densidades de corrente maiores e melhores propriedades eletroquímicas do que os derivados não modificados de glicose.

Investigation of palladium catalysts in mesoporous silica support for CO oxidation and CO₂ adsorption é um estudo focado em desenvolver catalisadores de paládio suportados em sílica mesoporosa, avaliar a atividade catalítica para oxidação de CO em baixas temperaturas e investigar o efeito da umidade no desempenho de oxidação de CO e adsorção de CO₂ para condições mais realistas. Os autores concluíram que houve aumento de desempenho após o primeiro ciclo, o que foi atribuído a recondicionamento dos poros do catalisador além de que a presença de óxidos de paládio na microestrutura de SiO₂, juntamente com vacâncias de oxigênio, influenciou positivamente o número de sítios ativos e consequentemente a atividade catalítica.

Key-lock Ceria Catalysts for the Control of Diesel Engine Soot Particulate Emissions é um estudo que busca projetar e sintetizar catalisadores de ceria com estrutura porosa ajustada para que a morfologia dos poros se encaixe com as partículas de fuligem, promovendo maior contato e melhor transferência de oxigênio ativo para as partículas de fuligem, chave fechadura. Os resultados foram de um

catalisador com melhor desempenho na oxidação de fuligem em comparação com ceria convencional, a conclusão foi que a estrutura porosa ajustada favorece a transferência de oxigênio ativo da ceria para a fuligem, permitindo uma melhor oxidação da fuligem.

Liquid-Phase Effects on Adsorption Processes in Heterogeneous Catalysis é um artigo focado em desenvolver um método híbrido de mecânica quântica e mecânica molecular para calcular energias livres de solvatação da adsorção de moléculas em superfícies metálicas em presença de água, ou seja, para o impacto da fase líquida no processo de adsorção. Usando o método proposto os autores calcularam que a energia livre adicional devido ao solvente para a adsorção de fenol em Pt(111) foi aproximadamente 0,91 eV. O estudo destaca que efeitos de solvente são grandes o suficiente para alterar taxas de reação em fatores de 10-50 ou mais, se considerados via relações de Arrhenius.

Methane coupling and hydrogen evolution induced by palladium-loaded gallium oxide photocatalysts in the presence of water vapor é um estudo que busca investigar os condicionantes de reação para o catalisador Pd/Ga₂O₃ na conversão de metano em condições fotocatalíticas, com foco em como o vapor d'água afeta a produção de etano e hidrogênio. O catalisador 0,1 wt % Pd/Ga₂O₃ apresentou uma seletividade para etano de aproximadamente 75,8% sob condições de vapor de água.

Preparation, characterization and catalytic performance of ordered macroporous–mesoporous SiO₂-supported MnMO_x catalysts for soot combustion tem o objetivo principal de sintetizar catalisadores suportados de MnMO_x em sílica com estrutura ordenada de macroporos mais mesoporos, caracterizar sua estrutura e porosidade, e avaliar o desempenho desses catalisadores na oxidação de fuligem em condições relevantes de exaustão. O catalisador demonstrou bom desempenho na combustão de fuligem, com redução significativa da temperatura de início de oxidação da fuligem, ou aumento da taxa de oxidação comparado a suportes convencionais.

Preparation of Magnetic CuFe₂O₄@Ag@ZIF-8 Nanocomposites with Highly Catalytic Activity Based on Cellulose Nanocrystals é um estudo com o objetivo de desenvolver uma metodologia simples para sintetizar nanocompósitos magnéticos com alta atividade catalítica apoiados em CNC, depositando Ag NPs sobre CuFe₂O₄/CNC e depois envoltos em casca de ZIF-8 para melhorar dispersão, estabilidade e reusabilidade, além de avaliar o desempenho catalítico. O estudo conclui que a combinação de ferrita magnética + prata + ZIF-8 shell + suporte de CNC

resulta num catalisador de alta performance para reações redox em ambiente aquoso e com potencial para reutilização e aplicações ambientais ou de síntese.

Preparation of VOC low-temperature oxidation catalysts with copper and iron binary metal oxides via hydrotalcite-like precursors busca desenvolver um método para preparar catalisadores de óxido binário Cu–Fe via precursor tipo hidrotalcita (LDH) que resultem em boa dispersão, forte interação Cu-Fe, elevada quantidade de oxigénio quimicamente adsorvido, e menor temperatura de ativação para oxidação de VOCs. O catalisador identificado como CuFe-4.5 apresentou desempenho significativamente melhor que catalisadores comparados apresentando pico de redução mais baixo e maior intensidade de oxigénio quimicamente adsorvido, o que favoreceu a ativação da superfície e oxidação de tolueno a menor temperatura.

Probing surface-adsorbate interactions through active particle dynamics é um estudo que busca medir a cobertura superficial efectiva de diferentes moléculas-adsorbato sobre superfícies catalíticas metálicas em ambiente aquoso. A modelagem computacional para furfural concordou com os valores experimentais e elucidou efeitos de solvatação e orientação molecular na adsorção.

Reduction of 4-Nitrophenol to 4-Aminophenol by Reusable CuFe₅O₈-Based Catalysts Synthesized by Co-Precipitation Method propôs sintetizar e caracterizar vários catalisadores CuFe₅O₈ para avaliar qual mostra melhor desempenho na redução de 4-NP. O melhor desempenho apresentou constante aparente de reação $k = 0.25 \text{ min}^{-1}$, com conversão quase 100% de 4-nitrofenol para 4-aminofenol em menos de 9 minutos.

Stability of Nitrogen-Doped Activated Carbon as an Electrocatalyst for the Oxygen Reduction Reaction in Various Storage Media busca investigar a estabilidade de carbonos ativados dopados com N quando armazenados em diferentes meios físicos e como essa estabilidade afeta sua atividade catalítica para ORR e ativação de PMS. A atividade catalítica reduziu-se mais significativamente para amostras armazenadas ao ar do que para aquelas em vácuo ou N₂.

Sulfur poisoning and regeneration of Rh-ZSM-5 catalysts for total oxidation of methane busca avaliar a performance de Rh/ZSM-5 para oxidação completa de metano em condições simuladas de exaustão de motores a gás natural, considerando faixas de temperatura, presença de vapor de água e diferentes concentrações de SO₂. Os resultados constataam que a presença de SO₂ provoca desativação acentuada do catalisador, e, em temperatura mais elevada a cobertura por espécies de enxofre foi

significativamente menor, de modo que o catalisador ainda manteve uma parte considerável de atividade apesar do SO₂ presente.

Tuning formate surface coverage with cosolvents for liquid-phase catalytic transfer hydrogenation tem objetivo de explorar como a presença de co-solventes afeta a cobertura superficial de formato no catalisador (Pd) e, conseqüentemente, a eficácia da transferência de hidrogênio. O resultado do artigo foi que a adição de álcool como co-solvente aumentou a adsorção de formato na superfície do catalisador comparado a apenas água, entretanto os autores também constataram que existe uma cobertura intermedia ótima para maximizar a reação de forma a impedir o bloqueio dos sítios ativos.

Isomerização

Assessment of the Reaction Location of Skeletal 1-Butene Isomerization over Ferrierite tem por objetivo determinar se a reação de isomerização de hidrocarboneto sobre zeólita ocorre principalmente dentro dos poros da zeólita, nas zonas de microporos, ou nas regiões externas/superficiais, e como a acessibilidade de poros afeta o desempenho catalítico, para entender como a estrutura catalítica muda com uso e como isso altera onde a reação se dá. O trabalho sugere ao final que o controle da estrutura porosa e da acessibilidade do catalisador é fundamental para otimizar a atividade da isomerização de 1-buteno em zeólitas.

Utilization of Loaded Cobalt onto MCM-48 Mesoporous Catalyst as a Heterogeneous Reaction in a Fixed Bed Membrane Reactor to Produce Isomerization Product from n-Heptane é um estudo voltado ao preparo do atalisador Co/MCM-48 para verificar estrutura, dispersão de Co, morfologia e porosidade. A partir da produção propõe instalar o catalisador em um reator de leito fixo com membrana catalítica e avaliar a conversão de n-heptano e a seletividade para produtos de isomerização sob diferentes condições de temperatura e fluxo. O catalisador 3 wt% alcançou conversão de 83% de n-heptano a 400 °C, e a seletividade foi aproximadamente 65% a 325 °C.

ANEXO B - PORTIFÓLIO

Tabela B1 – Ranqueamento dos artigos do portfólio pelo método NIRP

Pos.	Referência	Citações	SNIP	JIF	SELFCI T	NIRP
1	(Benseghir et al., 2020)	188	2,61	15,60	0,07	3,17
2	(Gould et al., 2020)	92	3,15	15,70	0,04	2,57
3	(Geng et al., 2021)	91	2,04	9,70	0,09	1,94
4	(Zhang et al., 2020d)	28	2,58	21,10	0,06	1,92
5	(Huang et al., 2020b)	55	1,81	17,70	0,04	1,83
6	(Moss et al., 2024)	12	2,61	15,60	0,07	1,73
7	(Kamaruzaman; Taufiq-Yap; Derawi, 2020)	111	1,38	5,80	0,04	1,72
8	(Rueda-Márquez et al., 2021)	27	2,36	12,40	0,08	1,46
9	(Herath et al., 2022)	45	1,32	9,70	0,05	1,42
10	(Li et al., 2020a)	8	1,81	17,70	0,04	1,36
11	(Subagyo et al., 2022b)	49	1,24	5,20	0,02	1,32
12	(Tikhanova et al., 2025)	2	2,61	8,20	0,01	1,31
13	(Chmielniak et al., 2024)	5	2,03	13,10	0,05	1,28
14	(Russo; Merlo; Jacobo, 2021)	31	1,87	6,50	0,01	1,23
15	(Zare et al., 2022b)	20	1,83	8,70	0,02	1,23
16	(Gharagozlou et al., 2024)	15	1,56	7,70	0,04	1,22
17	(Goberna-Ferrón et al., 2021)	10	2,13	11,30	0,09	1,12
18	(Nazari et al., 2021)	8	2,11	11,30	0,08	1,12
19	(Ali et al., 2023b)	37	0,81	4,00	0,03	1,10
20	(El-Shafie; Abouseada; El-Azazy, 2023)	18	1,64	5,70	0,03	1,08
21	(Mahmoudabadi; Rashidi; Maklavany, 2022)	31	1,33	6,10	0,05	1,07
22	(Wei et al., 2024)	6	1,81	8,70	0,06	1,04
23	Mercadante et al., 2024)	2	1,76	11,60	0,06	1,03
24	(Ishimaru et al., 2021b)	36	1,24	6,50	0,05	1,03
25	(Khan et al., 2021)	33	1,33	6,10	0,05	1,00
26	(Greydanus et al., 2022b)	16	1,32	9,70	0,05	1,00
27	(Hua et al., 2023)	11	1,84	8,00	0,10	0,98
28	(Paulista et al., 2024b)	12	1,29	7,20	0,07	0,97
29	(Saha et al., 2020)	48	1,21	3,90	0,05	0,95
30	(Koolivand et al., 2021)	37	1,21	3,90	0,05	0,92
31	(Martín-Gómez et al., 2024)	14	1,02	5,30	0,03	0,92
32	(Aljaddua; Alhumaimess; Hassan, 2022)	22	1,24	5,20	0,02	0,91
33	(Mosquera; Villa, 2024)	4	1,52	8,40	0,04	0,90
34	(Tapiador et al., 2022b)	26	1,02	5,30	0,03	0,89
35	(Jaramillo-Fierro; Cuenca, 2024)	13	1,18	4,90	0,06	0,88
36	(Botello; Felíu; Climent, 2020b)	18	1,26	8,20	0,05	0,86
37	(Gallego-Villada et al., 2020)	29	1,13	6,00	0,03	0,85
38	(Oliviero et al., 2021b)	19	1,24	6,50	0,05	0,83
39	(Sprynskyy et al., 2021)	26	1,18	4,90	0,06	0,80

Pos.	Referência	Citações	SNIP	JIF	SELFCI T	NIRP
40	(Shandilya et al., 2020)	46	0,81	3,30	0,03	0,80
41	(Castanheira et al., 2022b)	24	1,54	0,00	0,04	0,77
42	(Gul et al., 2022b)	13	1,24	5,20	0,02	0,77
43	(Kojima et al., 2021)	14	1,24	6,50	0,05	0,77
44	(Jiménez et al., 2023)	13	1,02	5,30	0,03	0,76
45	(Wang et al., 2023)	11	1,34	6,20	0,11	0,75
46	(Ibrahim et al., 2021)	24	0,96	4,60	0,03	0,74
47	(Østergaard; Abild- Pedersen; Rossmeis, 2024)	4	1,24	6,50	0,05	0,72
48	(Benamara et al., 2021)	24	1,24	4,00	0,09	0,72
49	(Khan et al., 2020)	22	1,14	4,60	0,03	0,72
50	(Wang et al., 2021b)	18	1,02	5,30	0,03	0,71
51	(Jiang; Zhou; Lian, 2023)	10	1,18	4,90	0,06	0,69
52	(Alprol et al., 2024)	7	1,21	3,90	0,05	0,69
53	(Aman et al., 2022b)	16	0,96	4,60	0,03	0,69
54	(Ahmad et al., 2024b)	8	0,96	4,60	0,03	0,69
55	(Thalgaspitiya et al., 2020)	5	1,21	6,90	0,02	0,69
56	(Crawford; Jasinski; Carreon, 2021)	7	1,24	6,50	0,05	0,68
57	(Gutiérrez-Sánchez et al., 2023)	11	1,21	5,20	0,11	0,67
58	(Zhang et al., 2020a)	17	1,14	4,60	0,03	0,67
59	(Chen et al., 2023)	8	1,14	4,60	0,03	0,66
60	(Tocco et al., 2023)	8	0,95	5,60	0,02	0,65
61	(Fdez-Sanromán et al., 2024)	5	1,02	5,30	0,03	0,64
62	(Fang et al., 2020)	19	1,01	4,30	0,03	0,64
63	(Duma et al., 2022)	18	0,81	4,00	0,03	0,63
64	(Houssaini et al., 2023)	3	1,24	5,20	0,02	0,63
65	(Mohassel Yazdi; Naimi- Jamal, 2024)	5	1,21	3,90	0,05	0,63
66	(Saputera; Yuniar; Sasongko, 2024)	6	0,96	4,60	0,03	0,63
67	(Medina et al., 2024)	0	1,59	3,70	0,01	0,63
68	(Mandor et al., 2022b)	24	1,08	0,00	0,05	0,62
69	(Chinnappa et al., 2022)	24	1,08	0,00	0,05	0,62
70	(Santiago et al., 2022)	13	0,89	4,20	0,01	0,62
71	(Martins et al., 2024)	4	1,14	4,60	0,03	0,62
72	(Zhu et al., 2023)	14	0,97	3,00	0,08	0,60
73	(Kubovics et al., 2022b)	12	0,98	5,30	0,09	0,60
74	(Barroso-Martín et al., 2023)	5	1,02	5,30	0,03	0,59
75	(Gómez-Rodríguez et al., 2023)	5	1,02	5,30	0,03	0,59
76	(Najem et al., 2020)	23	1,00	3,20	0,06	0,59
77	(Suarez-Corredor et al., 2022b)	9	1,17	4,30	0,07	0,59
78	(Xu et al., 2023b)	1	1,24	5,20	0,02	0,59
79	(Napruszewska et al., 2024c)	3	1,14	4,60	0,03	0,59

Pos.	Referência	Citações	SNIP	JIF	SELFCIT	NIRP
80	(Tiscornia et al., 2022b)	6	1,02	5,30	0,03	0,58
81	(Robotjazi; Naimi-Jamal; Tajbakhsh, 2022)	7	1,21	3,90	0,05	0,58
82	(Barquín; Rivero; Ortiz, 2022)	11	1,54	0,00	0,04	0,58
83	(Napruszewska et al., 2024a)	5	0,94	4,30	0,03	0,58
84	(Ghobashy; Gayed, 2024)	3	1,21	3,90	0,05	0,57
85	(Al Soubaihi et al., 2023a)	7	1,12	3,60	0,05	0,57
86	(Ghasemi; Owrang; Javaheri, 2023b)	3	1,12	5,00	0,04	0,56
87	(Mao et al., 2022b)	4	1,18	4,90	0,06	0,56
88	(Shen et al., 2024)	2	1,14	4,60	0,03	0,56
89	(Yurchenko et al., 2023b)	3	1,14	4,60	0,03	0,56
90	(Ballesteros Plata et al., 2024)	2	1,02	5,30	0,03	0,55
91	(Acosta et al., 2021)	18	0,86	2,80	0,04	0,54
92	(Niu et al., 2024)	1	1,14	4,60	0,03	0,52
93	(Li et al., 2024)	1	1,14	4,60	0,03	0,52
94	(Sabre et al., 2024)	1	1,02	5,30	0,03	0,52
95	(Dobrescu et al., 2021b)	13	0,81	4,00	0,03	0,52
96	(Zhao et al., 2021)	12	0,81	4,20	0,04	0,51
97	(Van Kampen et al., 2021)	20	0,72	3,10	0,07	0,51
98	(Jang et al., 2020)	14	1,00	3,20	0,06	0,50
99	(Do Nascimento et al., 2020)	14	1,00	3,20	0,06	0,50
100	(Doan et al., 2020)	14	0,81	4,00	0,03	0,50
101	(Zulfikar et al., 2021)	19	0,73	2,60	0,04	0,50
102	(Latsiou et al., 2022)	9	0,81	4,00	0,03	0,50
103	(Zhang; Zuo, 2024b)	0	1,14	4,60	0,03	0,49
104	(Siri-apai et al., 2025a)	0	1,14	4,60	0,03	0,49
105	(Hamieh et al., 2025b)	0	1,14	4,60	0,03	0,49
106	(Pedro et al., 2023b)	9	0,76	2,90	0,02	0,49
107	(Sorolla-Rosario et al., 2020b)	17	0,72	3,90	0,05	0,48
108	(Sales et al., 2025b)	0	1,21	3,90	0,05	0,48
109	(Kopp et al., 2025)	0	1,21	3,90	0,05	0,48
110	(Simion et al., 2020a)	11	1,00	3,20	0,06	0,47
111	(Zhang et al., 2022b)	2	0,96	4,60	0,03	0,47
112	(Parveen et al., 2023)	8	0,82	3,00	0,05	0,47
113	(Pete et al., 2023)	10	1,08	0,00	0,05	0,46
114	(Li et al., 2020c)	2	0,96	4,60	0,03	0,46
115	(Zhou et al., 2022)	6	1,00	3,20	0,06	0,45
116	(Armando et al., 2022b)	4	1,11	3,30	0,08	0,45
117	(Fida et al., 2022)	4	1,11	3,30	0,08	0,45
118	(Kumar; Pandey; Kumar, 2024)	0	1,61	0,00	0,02	0,45
119	(Pradeepan; Nishimura, 2025)	0	0,96	4,80	0,03	0,44
120	(Azhaapillai et al., 2025b)	0	0,96	4,60	0,03	0,44

Pos.	Referência	Citações	SNIP	JIF	SELFCIT	NIRP
121	(Militello et al., 2023)	4	0,81	4,00	0,03	0,44
122	(Al Soubaihi et al., 2023a)	0	1,12	3,60	0,05	0,43
123	(Quesada et al., 2022b)	6	0,96	2,50	0,05	0,42
124	(Suarez-Corredor et al., 2021b)	4	0,93	3,90	0,07	0,42
125	(Qin et al., 2023)	3	0,81	4,00	0,03	0,42
126	(Stawicka; Trejda; Ziolk, 2021b)	5	0,81	4,00	0,03	0,42
127	(Venschott; Hoelderich; Eisenacher, 2023b)	2	0,78	4,30	0,01	0,42
128	(Ramírez Franco; Castañeda Cárdenas; Zea Ramírez, 2023)	4	0,97	3,00	0,08	0,42
129	(De Andrade et al., 2021b)	6	0,73	4,10	0,03	0,41
130	(Aguilera Palacios et al., 2022)	3	0,81	4,00	0,03	0,40
131	(Liu et al., 2022)	3	0,81	4,00	0,03	0,40
132	(Duan et al., 2023)	7	1,08	0,00	0,05	0,40
133	(Lin; Roa; Dzubiella, 2021b)	4	0,84	3,90	0,10	0,37
134	(Baghdady; Medlin; Schwartz, 2025a)	0	0,81	4,20	0,04	0,37
135	(He et al., 2023b)	7	0,59	2,40	0,02	0,37
136	(Thampikannu et al., 2024b)	2	0,88	4,90	0,18	0,37
137	(Chirinos et al., 2025b)	0	0,81	4,00	0,03	0,36
138	(Bouraie; Ibrahim, 2020)	10	1,06	0,00	0,04	0,36
139	(Akbarzadeh et al., 2024)	1	1,06	3,10	0,15	0,35
140	(Morais et al., 2024b)	1	0,77	2,90	0,00	0,35
141	(Tian et al., 2022b)	5	0,73	2,60	0,04	0,35
142	(Felsztyna et al., 2020)	6	0,77	2,50	0,03	0,34
143	(Omwoma Lugasi; Sarkar, 2020)	0	0,89	2,60	0,01	0,34
144	(Zhao et al., 2024)(Zhao et al., 2024)	2	0,63	3,30	0,02	0,34
145	(Wang et al., 2022)	4	0,73	2,60	0,04	0,33
146	(Piao et al., 2022)	3	1,08	0,00	0,05	0,31
147	(Hamd et al., 2022b)	13	0,55	0,00	0,01	0,30
148	(Pham et al., 2020)	17	0,52	1,70	0,09	0,30
149	(Chokaouychai; Zhang, 2020)	3	0,72	3,50	0,13	0,29
150	(Gašparovičová et al., 2024)	2	0,60	2,50	0,04	0,28
151	(Tahir et al., 2024)	9	0,26	1,00	0,11	0,28
152	(Duong et al., 2022a)	2	0,67	2,20	0,01	0,28
153	(Terracina et al., 2021)	4	0,53	2,00	0,04	0,23
154	(Badshah et al., 2024b)	7	0,26	1,00	0,11	0,23
155	(Nguyen et al., 2024)	4	0,42	1,30	0,08	0,22
156	(Safaei et al., 2024b)	0	0,57	2,40	0,07	0,20
157	(Sowe et al., 2022)	6	0,42	1,30	0,08	0,19
158	(Ibrahim et al., 2024)	5	0,26	1,00	0,11	0,17
159	(Shaheen; Hanif, 2024)	4	0,26	1,00	0,11	0,15

Pos.	Referência	Citações	SNIP	JIF	SELFCI T	NIRP
160	(Hastuti et al., 2022)	3	0,42	1,30	0,08	0,15
161	(Fauziyen; Saputera; Sasongko, 2024b)	1	0,54	0,70	0,09	0,14
162	(Salim; Saed, 2023a)	2	0,42	1,30	0,08	0,14
163	(Hadian et al., 2024b)	2	0,42	0,80	0,11	0,13
164	(Rehman et al., 2024)	3	0,26	1,00	0,11	0,12
165	(Abdel-Azim et al., 2021b)	7	0,44	1,40	0,32	0,11
166	(Oanh; Huuzz; Nong, 2023)	0	0,42	1,30	0,08	0,10

Fonte: Autoria própria (2025)