

Panorama da Catálise no Maranhão

Overview of Catalysis in Maranhão

Manoel D. Moraes Neto,^a Raissa da C. Serejo,^a Jeiza F. Pinheiro,^b Milena C. C. Abreu,^a Ronilson L. Brito,^b Vanessa N. S. Campos,^b Gilvan P. de Figueredo^{a,b,*}

^aInstituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Programa de Pós-Graduação em Química, CEP 65030-005, São Luís-MA, Brasil

^bPrograma de Pós-Graduação Stricto Sensu de Doutorado em Química Associativo UFMA-IFMA, CEP 65030-005, São Luís-MA, Brasil

*E-mail: gilvanfigueredo@ifma.edu.br

Recebido: 8 de Janeiro de 2024

Aceito: 4 de Maio de 2024

Publicado online: 20 de Maio de 2024

Brazil is one of the countries with a large volume of research in the area of catalysis, with the northeast region contributing significantly to this scenario, along with other Brazilian regions. However, there are still few scientific papers on the subject, considering the great importance of this technology for the development of society. The study of catalysis in the state of Maranhão has taken new paths through the nucleation and consolidation of *stricto sensu* postgraduate programs. However, there are no or very limited records on the development of catalysis in Maranhão. In this context, the aim of this study was to investigate aspects of catalysis in Maranhão, considering its progress and prospects, and to begin a major mapping of institutions, researchers, laboratories, groups and lines of research in the state. Through this overview of catalysis in Maranhão, it was possible to guide diversification in the areas of study developed by the research groups in order to promote advances in the synthesis, characterization and application of catalysts, especially solid catalysts and heterogeneous catalysis.

Keyword: Heterogeneous catalysis; catalysts; Maranhão.

1. Introdução

No contexto mundial contemporâneo, a ciência, a tecnologia e a inovação são ferramentas fundamentais para o desenvolvimento social e crescimento econômico, promovendo mais emprego e renda.¹ Atualmente, o uso da catálise e dos catalisadores têm um impacto substancial na economia mundial. A maioria dos processos químicos são processos catalíticos, e é possível afirmar que mais de 80% dos produtos químicos industriais de valor agregado são obtidos através do uso de catalisadores.² Entretanto, as reações catalíticas já eram utilizadas desde a antiguidade, por exemplo a fermentação do açúcar em etanol catalisada por enzimas, conhecidas também como biocatalisadores.³⁻⁴

Segundo a International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC),⁵ o fenômeno em que uma substância é capaz de aumentar a velocidade de uma reação sem alteração na energia de Gibbs padrão (ΔG°) é chamado de catálise. A catálise exerce um papel fundamental em diversos processos de remediação ambiental, produção de energia, refino do petróleo e petroquímica, assim como na entrega de importantes produtos como combustíveis, biocombustíveis, polímeros, fármacos, vacinas, fertilizantes e aditivos alimentícios.² Com a tendência emergente do movimento de sustentabilidade, a catálise surgiu como um elemento fundamental para o desenvolvimento sustentável da economia mundial.⁶⁻⁷

Estudos sobre a catálise existem há mais de um século. Todavia, suas atividades na América Latina têm crescido nas últimas três décadas. Com a instalação de indústrias de biocombustíveis no Brasil em 1960 e 1970,⁸ foi dado início as primeiras atividades de pesquisa em catálise no território nacional. No início do século XXI, houve a formação de uma das sociedades mais representativas deste núcleo de pesquisa no Brasil: a Sociedade Brasileira de Catálise – SBCat incluindo áreas de química, engenharia química, bioquímica, materiais e física.⁹ A Sociedade Brasileira de Catálise (SBCat) é subdividida em regionais, sendo a regional 1 representada pelas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. A SBCat realiza a reunião bianual desde 1996, conhecida como Encontro de Catálise do Norte, Nordeste e Centro-Oeste (ENCAT), abordando as tendências de investigação nas diferentes áreas da catálise. Os pesquisadores apresentam resultados de pesquisas desenvolvidas em universidades, institutos, instituições de ciência e tecnologia, e assim ajudam a desenvolver a catálise na região.

A catálise desenvolvida no Maranhão, nordeste do Brasil, tem trilhado novos caminhos através da nucleação e consolidação dos programas de pós-graduação *stricto sensu* (mestrado e doutorado), mas as informações acerca do desenvolvimento da catálise no estado não existem ou são bastante limitadas. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo realizar um

levantamento sobre a situação atual do desenvolvimento da catálise no Maranhão. O diagnóstico foi realizado através da aplicação de questionários junto aos pesquisadores em atuação nas Instituições de Ensino Superior (IES) do estado. Portanto, o presente estudo se concentrou em investigar e mapear os aspectos da catálise no Maranhão, visando um levantamento sobre os pesquisadores, laboratórios, aplicações e perspectivas mais relevantes no estado.

1.1. Contexto histórico da catálise

No século XIX os químicos alemães Alexander Mitscherlich e Johann Wolfgang Döbereiner iniciaram o estudo da catálise conceituando-a como um processo de contato. Esse estudo deu origem à fabricação de um isqueiro, amplamente comercializado em 1820, também conhecido como lâmpada de Döbereiner. Seu funcionamento baseava-se no contato do hidrogênio com a platina (o catalisador da reação), resultando na queima desse gás devido a reação com o oxigênio, produzindo calor e luz. Posteriormente (1836), o termo catálise começou a ser empregado por Jöns Jakob Berzelius com a finalidade de caracterizar as reações com o uso de elementos que não eram consumidos no processo reacional e que, por sua vez, auxiliavam na redução do tempo de reação.¹⁰ Aproximadamente 60 anos após esse estudo, Wilhelm Ostwald investigou minuciosamente as reações com a presença de catalisadores ácidos e básicos, na Universidade de Leipzig, onde sua pesquisa foi premiada com o Nobel de Química em 1909, devido à contribuição para o estudo da catálise e, conseqüentemente, para o entendimento dos parâmetros que influenciam no equilíbrio e na velocidade das reações.¹¹

No Brasil, somente a partir de 1970 deu-se início aos estudos referentes às atividades catalíticas, impulsionado principalmente pela implantação de parques industriais de refino de petróleo. Essas pesquisas possuíam uma área de atuação específica baseada na catálise heterogênea com ênfase em processos petroquímicos, centralizadas nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro. Já nos demais estados não há registro de incentivos para o desenvolvimento de pesquisas relacionadas à produção de catalisadores durante esse período. Foi a partir de 1982, com a criação do Programa Nacional de Catálise (PRONAC), que diversos grupos de pesquisa foram criados nas demais regiões do Brasil, e a partir dessa época notou-se um pequeno avanço nas pesquisas sobre catálise homogênea, ainda ligada à indústria petroquímica. Em 1990 houve um notório aumento no quantitativo de grupos relacionados a catálise homogênea, com foco em materiais poliméricos e na química fina, como por exemplo, os grupos de pesquisa das universidades federais da Bahia, Minas Gerais e Rio Grande do Sul (UFBA, UFMG e UFRGS).¹²

O ano de 1995 representou um grande marco para a catálise no Brasil, com a criação da Divisão de Catálise, Biocatálise e Processos Químicos (DICAP) no Rio de Janeiro pela Sociedade Brasileira de Química (SBQ),

tendo como objetivo incentivar as diversas atividades que vinham sendo realizadas nas demais regiões do país.⁸ Assim, foi possível proporcionar uma maior interação entre os pesquisadores interessados em catálise. Atualmente o Brasil possui diversos grupos desenvolvendo pesquisas na área e vem apresentando um crescente aumento anual. De acordo com o Diretório de Grupos de Pesquisas do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), atualmente estão cadastrados 423 grupos de pesquisa na área da Catálise no Brasil. Na busca dessa informação foi utilizado o descritor “catálise”.

A região nordeste concentra um número expressivo de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) em catálise. Todavia, não há um material específico que forneça um panorama histórico desse desenvolvimento ao longo dos anos, sendo que na maioria das vezes as informações estão pulverizadas em artigos científicos, sites, livros, etc. Além disso, são muitas instituições e pesquisadores de grande destaque em PD&I em catálise, sendo praticamente impossível reportar todos os casos no contexto histórico deste trabalho. Mas, vale destacar inicialmente o importante trabalho desenvolvido pelo professor cearense Expedito José de Sá Parente, que detém a primeira patente brasileira de produção de biodiesel, solicitada em 1980 e concedida em 1983,¹³ onde foi relatado o processo de transesterificação de ésteres aprimorada com o uso de catalisadores. Sobre as pesquisas desenvolvidas em universidades na região nordeste, é possível destacar a Universidade Federal do Rio Grande do Norte, onde existe uma grande concentração de núcleos e laboratórios de pesquisa em catálise, especialmente dedicados aos arranjos produtivos locais, com foco na cadeia do óleo e gás. Nesse contexto, é possível mencionar: Laboratório de Tecnologia Ambiental (LABTAM) coordenado pela pesquisadora do CNPq, Profa. Dra. Dulce Maria de Araújo Melo e o Prof. Dr. Marcus Antonio de Freitas Melo, e demais colaboradores; Laboratório de Catálise e Petroquímica (LCP) coordenado pelo pesquisador do CNPq, Prof. Dr. Antonio Souza de Araújo, e demais colaboradores; Laboratório de Peneiras Moleculares (Labpemol) coordenado pela pesquisadora do CNPq, Profa. Dra. Sibebe Berenice Castellã Pergher, e demais colaboradores.

No Maranhão, de acordo com o Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq, existem 12 grupos de catálise devidamente cadastrados. Um dos grandes destaques para o Maranhão tem sido a produção catalítica de biocombustíveis a partir de diferentes biomassas, com destaque para o babaçu, abundante no território maranhense, localizado na Amazônia Legal. Todavia, há evidências de que os primeiros estudos em catálise realizados pelos pesquisadores maranhenses envolvia a eletrocatalise. Há relatos de que os pesquisadores pioneiros dessas investigações foram a Profa. Dra. Aldalea Lopes Brandes Marques, o Prof. Dr. Edmar Pereira Marques e o Prof. Dr. Auro Atsushi Tanaka, todos da Universidade Federal do Maranhão, em parceria com pesquisadores de outras universidades e centros de pesquisa.

2. Metodologia

O presente trabalho foi desenvolvido a partir de uma abordagem qualitativa e quantitativa, envolvendo pesquisa acadêmica documental, análise de currículo lattes, coleta de dados através da aplicação de formulários eletrônicos e contato através de e-mail.

Inicialmente foi realizado um levantamento sobre os principais pesquisadores atuantes no Maranhão. Foi utilizada a Plataforma Lattes do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), para acesso aos curriculares dos pesquisados, suas instituições e os grupos de pesquisa que atuam. Para esta primeira etapa, os descritores de busca escolhidos, por assunto, foram: Catalisadores AND Maranhão; Catalisadores OR IFMA OR UFMA OR UEMA OR CEUMA; Eletrocatalise OR Maranhão OR IFMA OR UFMA; Fotocatalise AND Maranhão; Photocatalysis AND Maranhão; Biodiesel AND Maranhão. Utilizaram-se como critérios de exclusão: dados em duplicidade ou de pesquisadores que não realizaram pesquisa no Maranhão. Após aplicação dos critérios indicados, foram coletados um total de 37 currículos.

Paralelamente, levando-se em consideração os perfis desatualizados e que alguns pesquisadores não foram alcançados na busca inicial, foi elaborado um questionário via Google Forms. Os formulários foram compartilhados eletronicamente com os Programas de Pós-Graduação em Química e em Materiais do Maranhão, além de enviá-los diretamente aos próprios pesquisadores identificados individualmente. Esse questionário possibilitou a coleta de diversas informações, incluindo dados pessoais, titulação mais alta, instituição onde a pesquisa foi realizada, tipo(s) de pesquisa em catálise realizada ou em andamento, áreas de aplicação, período dedicado ao estudo da catálise, quantidade de artigos publicados na área, afiliação a grupos de pesquisa, posição dentro do grupo de pesquisa e opiniões sobre as limitações, avanços e expectativas relacionadas à pesquisa em catálise no Maranhão. Com base nos dados coletados, foi possível avaliar graficamente o panorama da pesquisa em catálise no Maranhão. A Figura 1 resume o fluxo de trabalho adotado para o desenvolvimento desta pesquisa.

3. Resultados e Discussão

Os resultados da busca realizada na plataforma Lattes do CNPq revelam a participação de 37 pesquisadores do Maranhão em atividades de pesquisa relacionadas aos descritores selecionados e mencionados na metodologia. Além disso, foi aplicado um questionário eletrônico aos Programas de Pós-graduação em Química (mestrado e doutorado) do estado, identificando 38 pesquisadores aptos para entrevistas. Também foi realizada uma caracterização das Instituições de Ensino Superior (IES) às quais esses pesquisadores estão vinculados. Neste caso, a mineração das informações foi realizada na plataforma Lattes empregando os descritores “Catálise” e “Maranhão”. Foi possível observar que os pesquisadores pertencem ao quadro de servidores de instituições públicas.

De fato, a produtividade científica e progresso da pesquisa no Brasil, onde os principais financiamentos são oriundos de órgãos de fomento como a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), as Fundações de Amparo à Pesquisa (FAPs), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) ou o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), geralmente são distribuídas entre Instituições de Pesquisa Científica e Tecnológica (ICT). No Maranhão, observamos que os pesquisadores entrevistados estão divididos igualmente entre as duas maiores instituições públicas federais de ensino: UFMA com 47% e IFMA com 53% (Figura 2). Vale salientar que é possível que haja pesquisadores de catálise em outras IES do estado, como UEMA e CEUMA, mas que não conseguimos obter suas informações a partir do algoritmo empregado nessa pesquisa diagnóstica.

Os resultados obtidos através da aplicação do formulário mostram que os pesquisadores em catálise do Maranhão apresentam uma formação acadêmica de alto nível, compreendendo 81% com doutorado, 16% com mestrado e apenas 3% com graduação. Para Soares e Nova,¹⁴ a formação acadêmica dos pesquisadores é um dos aspectos que pode colaborar com o elevado desempenho na sua atuação como pesquisador. Meadows¹⁵ afirma que

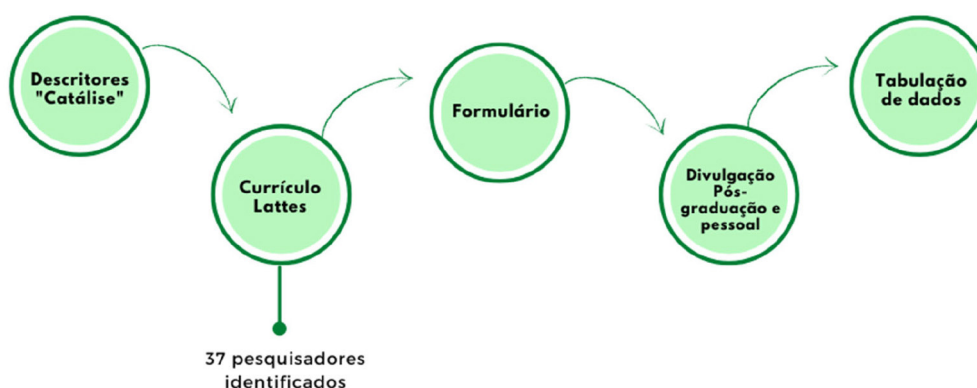


Figura 1. Fluxograma de desenvolvimento do trabalho

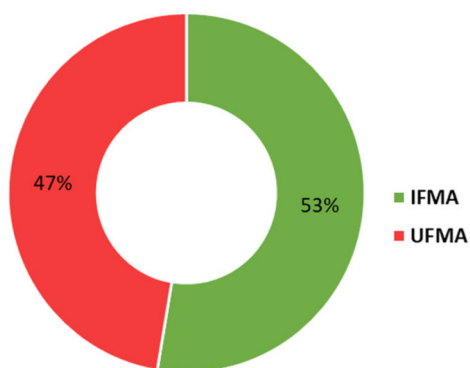


Figura 2. Dados percentuais obtidos a partir do levantamento realizado junto aos pesquisadores pertencentes ao quadro de servidores da UFMA e do IFMA que desenvolvem pesquisa na área de catálise atualmente

frequentemente, eminentes pesquisadores são ensinados por eminentes pesquisadores da geração anterior e desta forma, a produção acadêmica se perpetua. Na Figura 3, observa-se que cerca de 40% dos pesquisadores entrevistados possuem mais de 10 anos aprofundando seus estudos em catálise. Isso reflete o engajamento dos pesquisadores e seus colaboradores para o desenvolvimento da catálise no Maranhão, bem como seus esforços na formação de recursos humanos qualificados para atuação no mundo do trabalho onde especialistas em catálise e catalisadores são demandados. Além disso, 78,4% dos pesquisadores entrevistados afirmaram que continuam a desenvolver estudos e pesquisas na área da catálise.

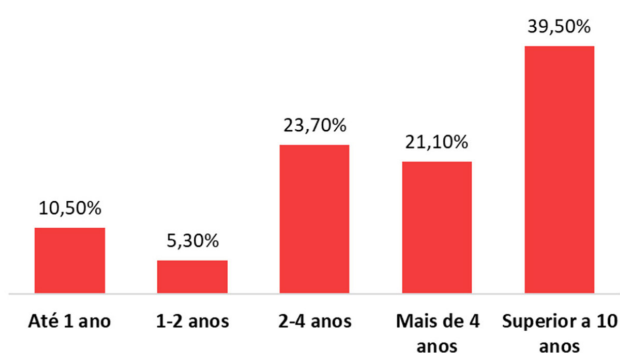


Figura 3. Período dedicado aos estudos em catálise realizado pelos pesquisadores entrevistados

A Figura 4 apresenta dados estatísticos relativos às três principais linhas temáticas de catálise desenvolvidas pelos pesquisadores Maranhenses entrevistados. No questionário estava disponível as seguintes áreas da catálise: a) síntese de materiais catalíticos, b) catálise homogênea, c) catálise heterogênea (fotocatálise e eletrocatalise). De acordo com os resultados alcançados, foi possível perceber que as pesquisas são concentradas na síntese de materiais catalíticos (catalisadores) para catálise heterogênea, com 43,2% das opções. Também são sintetizados catalisadores para catálise homogênea (2,7%) e para outras aplicações catalíticas (8,1%). Dentre os entrevistados, 10,8% dos pesquisadores sintetizam catalisadores para catálise homogênea e hetero-

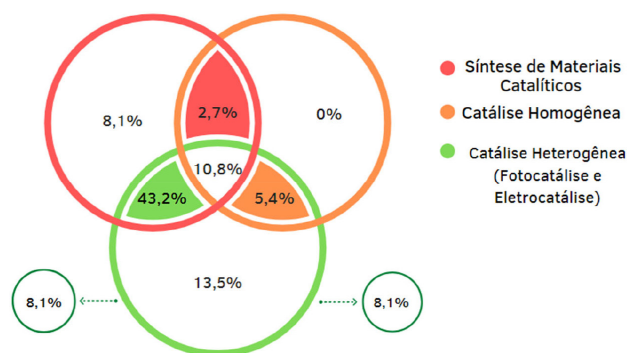


Figura 4. Dados estatísticos relativos às três principais linhas temáticas de catálise desenvolvidas pelos pesquisadores Maranhenses entrevistados

gênea, simultaneamente. Nenhum pesquisador se dedica exclusivamente a catálise homogênea, mas 5,4% dos entrevistados responderam que desenvolvem estudos em catálise homogênea e heterogênea, simultaneamente. A catálise heterogênea é o foco da maioria dos pesquisadores, com 13,5% das pesquisas dedicadas exclusivamente a catálise heterogênea, 8,1% focada na fotocatalise heterogênea e 8,1% exclusiva de eletrocatalise heterogênea. Finalmente, foi possível perceber que 62,1% dos entrevistados estão envolvidos em mais de um tipo de pesquisa em catálise, indicando que no estado do Maranhão os pesquisadores da área da catálise diversificam suas áreas de atuação de acordo com as oportunidades de investimento, infraestrutura, parcerias e temáticas em pauta na ciência e tecnologia desenvolvida no estado, no país e no mundo.

Conforme apresentado, há uma distribuição extremamente diversificada das pesquisas em catálise desenvolvida no estado do Maranhão, com foco em catálise heterogênea. Esse panorama se alinha ao contexto global, visto que a catálise heterogênea tem uma participação pelo menos 80% nos processos catalíticos industriais.¹⁶ Além disso, existe uma tendência geral de heterogeneização da catálise homogênea de modo a combinar as vantagens que esses dois processos catalíticos oferecem. Esses avanços e perspectivas futuras garantem mais sustentabilidade, eficiência energética e uma economia mais alinhada aos princípios da Química Verde.

As pesquisas realizadas nas ICTs geram avanços tecnológicos significativos, contribuindo para o desenvolvimento do país. No entanto, os processos de transferência de tecnologia ainda são limitados, lentos e burocráticos, restringindo muitos avanços e perspectivas promissoras para a sociedade.¹⁷⁻¹⁸ Formar recursos humanos qualificados, como mestres e doutores, ajuda a superar obstáculos. Maiores investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação, e aproximação com o setor industrial e do governo, são estratégias promissoras para mitigar os entraves ainda existentes no que se refere à transferência de tecnologia entre a academia e o setor produtivo.¹⁹

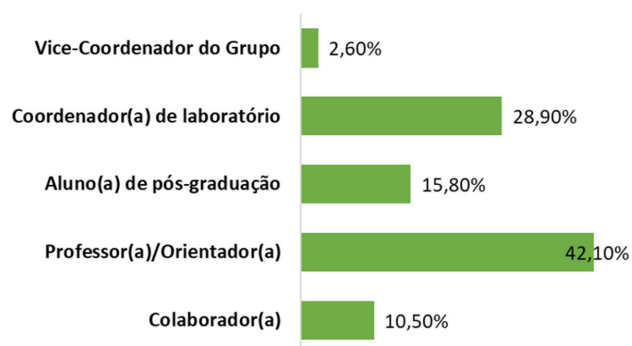
A Tabela 1 mostra a relação dos grupos de pesquisa de estudos em catálise e que estão cadastrados no Diretório de

Tabela 1. Grupos de pesquisa dos pesquisadores em catálise atuantes no Maranhão

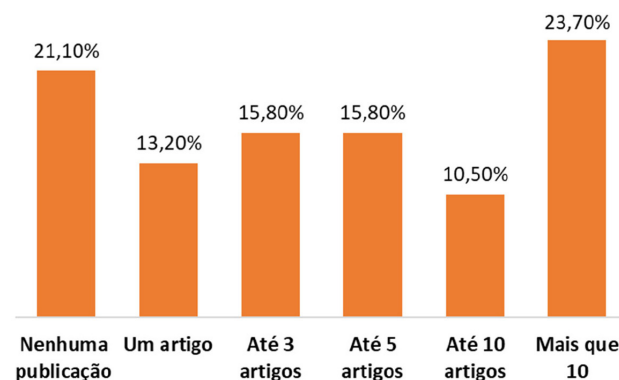
Instituição	Grupo de pesquisa
IFMA	Síntese de Óxidos Metálicos para Aplicação Catalítica
	Modelagem Computacional de Materiais Inorgânicos
	Grupo de Química Analítica e Ambiental
	Micro-ondas
	Laboratório de Química Analítica e Ambiental
	Centro de Desenvolvimento de Materiais Funcionais
	Grupo Biomassa
	Grupo de Estudos em Inorgânica e Catálise
	Grupo de Pesquisas em Química
	Grupo de Pesquisa Multidisciplinar
UFMA	Grupo de Desenvolvimento e Caracterização em Materiais
	Grupo de Pesquisa em Tecnologia de Materiais Avançados
	Laboratório de Sensores
	Grupo de Eletroquímica
	Inovação em Tecnologias Energéticas e Nanomateriais
	Laboratório de Sensores, Dispositivos e Métodos Analíticos
	Núcleo de Combustíveis e Catálise Ambiental
	Núcleo de Análise de Resíduos Pesticidas
	Grupo de Pesquisa em Materiais Híbridos e Bionanocompósitos
	Desenvolvimento Regional e Inovação: Aspectos Urbano, Econômicos e Dinâmicas Sociais do Vale do Pindaré
Grupo de Pesquisa em Ciência e Tecnologia	
Ciência e Tecnologia Ambiental	
Química Analítica	

Grupos de Pesquisa no CNPq. Conforme pode ser observado, os grupos são diversificados, compreendendo desde a síntese, caracterização e modelagem de catalisadores, até a catálise ambiental, o aproveitamento de biomassa para transformação em produtos de valor agregado como biocombustíveis e outras fontes de energia renovável como hidrogênio, além de grupos dedicados ao desenvolvimento de dispositivos para análise e caracterização, como os sensores eletroquímicos e fotoeletroquímicos, etc. Por sua vez, a Figura 5 apresenta as funções desempenhadas por cada pesquisador dentro dos diferentes grupos apresentados na Tabela 1. Em primeira análise é possível observar que 81,1% dos pesquisadores entrevistados fazem parte de algum grupo de pesquisa da UFMA ou do IFMA e que, dentre aqueles que responderam ao questionário, 15,8% eram estudantes de pós-graduação, 10,5% eram colaboradores, e o maior percentual foi referente aos professores orientadores, com 42,1%.

Ao analisar a quantidade de publicações realizadas na área da catálise, conforme apresentado na Figura 6,

**Figura 5.** Funções dos pesquisadores dentro dos grupos de pesquisa

observou-se que 33,85% dos pesquisadores possuem 10 ou mais publicações na área, enquanto 21% destes ainda não possuem nenhuma publicação. As publicações técnico-científicas têm como objetivo a divulgação junto à comunidade científica do conhecimento desenvolvido sobre os novos materiais, novas descobertas ou métodos científicos. Além de conferir tradição a um profissional, grupo ou instituição, também amplia a capacidade em conseguir maiores recursos de investimentos.¹⁹

**Figura 6.** Porcentagem de artigos publicados na área de catálise por pesquisadores do Maranhão

No período de 2017 a Capes publicou um relatório da Research in Brazil relatando o desempenho das universidades brasileiras em cenário global, entre os anos 2011 e 2016.²⁰ Estas métricas foram obtidas mediante análises de documentos como artigos, trabalhos de eventos, livros, patentes, sites e estruturas químicas, compostos e reações. O relatório informa que a formação científica brasileira vem

expandindo, porém, concentrada em poucas universidades, a maior parte ligada ao setor público, demonstrando que as universidades públicas produzem artigos de alto impacto científico, presente na faixa de 1% dos *papers* mais citados no mundo. Conforme a pesquisa, até 2016 o Brasil ocupava o 13º lugar de maior produtor de publicações de pesquisa (*papers*) mundialmente. Também é disponibilizado o perfil dos dez estados brasileiros com maior produção de pesquisa de 2011 a 2016. O Maranhão ocupava em 2016 a posição de 22º lugar em produções científicas no Brasil. Esses dados, conseqüentemente, refletem no financiamento de pesquisas e inovações no estado, assim como impacta as produções dos pesquisadores atuantes.

Dentre os resultados obtidos, também foi possível coletar relatos dos pesquisadores entrevistados quanto aos avanços, limitações e expectativas em torno da pesquisa em catálise no Maranhão. Os pesquisadores apontaram como avanço as cooperações nacionais e internacionais com outras instituições e grupos de pesquisas. Mas, inicialmente, esta cooperação vem se fortalecendo internamente.

Ao tratar de catálise no Maranhão, é necessário considerar as instituições de nível superior, a vocação enquanto centros de estudo e pesquisa científica e tendências no uso de matérias primas regionais para produção de catalisadores e conversão da biomassa local que é abundante em energia, como a hidrólise de polissacarídeos residuais de mandioca usando catalisador natural à base de zeólita Stilbite-Ca na obtenção de produtos de maior valor agregado como dextrina, açúcares, furfural e 5-HMF,²¹ e os fatores como investimento em industrialização e pesquisa aplicada articulada com parcerias público-privado visando o desenvolvimento e comercialização de produtos de interesse tecnológico, que poderiam influenciar no potencial do estado para o desenvolvimento da área de Catálise.

Atualmente, os pesquisadores do IFMA têm se concentrado no desenvolvimento de pesquisa em catálise heterogênea, especialmente no estudo de materiais para a produção de biocombustíveis, fotocatalisadores, cerâmicas e, mais recentemente, na produção de hidrogênio. Por sua vez, as pesquisas na UFMA concentram-se em estudos de eletrocatalise com a produção de catalisadores para células a combustível, catálise heterogênea e mais recentemente, a catálise homogênea para a produção de biocombustíveis, especialmente o biodiesel. Isso expressa o potencial científico das instituições acadêmicas, através das pesquisas e produtos desenvolvidos envolvendo a catálise.

Devido a relevância destas duas instituições na pesquisa na área da catálise, em 2019 foi aprovado o programa de pós-graduação *stricto sensu* em química, em nível de doutorado associativo UFMA-IFMA. A cooperação entre instituições é vital para o desenvolvimento da pesquisa, tanto no compartilhamento de infraestruturas, como também de conhecimento, sendo este um dos pontos altos do estudo da catálise no Maranhão.

Os pesquisadores também destacam que, apesar de terem estabelecido colaborações com outros grupos de pesquisa

e instituições nacionais e internacionais, um dos principais obstáculos enfrentados pela pesquisa no Maranhão é a infraestrutura limitada, especialmente em relação à falta de equipamentos modernos nos laboratórios multiusuários.

Pesquisador A: *“Uma das principais limitações encontradas é o acesso aos equipamentos de caracterização dos materiais. Alguns que temos na região são limitados em algumas especificações, o que obriga o pesquisador enviar amostras para outros estados. Além da delonga no agendamento do equipamento, alguns requerem custo financeiro para a realização do experimento. E nem sempre temos investimento necessário no suporte a pesquisa tanto local quanto nacional.”*

Pesquisador B: *“A falta de equipamento para a realização das caracterizações é a maior dificuldade que há no Maranhão.”*

Tratando-se da pesquisa em catálise no Maranhão, ainda há grande dependência de parcerias das instituições de ensino locais com outras instituições de ensino que possuem laboratórios mais modernos e bem equipados, especialmente para estudos de caracterização. Na maioria das vezes, estas instituições encontram-se na Região Sudeste ressaltando a disparidade regional em termos de infraestrutura científica e tecnológica.

Para o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação,²² a infraestrutura de pesquisa, ou seja, instalações físicas, recursos materiais e laboratórios equipados, permite a manutenção necessária para a produção de pesquisas com excelência. Estes recursos são fundamentais para o desenvolvimento de novos processos, serviços, produtos e sapienciais. Entretanto, Negri e Squeff²³ afirmam que a infraestrutura brasileira ainda é nova, e sua maior parte é constituída de pequenos laboratórios distribuídos nas universidades. Comparado a países mais desenvolvidos, o Brasil possui poucas instalações de grande porte e uso compartilhado, limitando o desenvolvimento de pesquisas de ponta.

Dessa forma, para contornar esta situação são necessários mais investimentos, de modo a melhorar o desenvolvimento científico e tecnológico do país, reduzindo suas assimetrias. Nesse contexto, a maior expectativa que os pesquisadores atuantes no Maranhão levantaram foi um aumento nos investimentos (públicos e privados) em infraestrutura, projetos e profissionais qualificados no estado, além da valorização da classe para que seja possível desenvolver ainda mais pesquisas com mais excelência e autonomia.

Assim, renovar as lideranças científicas nos laboratórios acadêmicos e a valorização da pesquisa de base através da iniciação científica norteada pelos nobre pesquisadores da linha de catálise, articulado com o investimento em estrutura, intercâmbio acadêmico e promoção do aperfeiçoamento profissional com o intuito de atrair os jovens pesquisadores é indispensável ao desenvolvimento da catálise no estado

do Maranhão, assim intermediado por políticas públicas ou parcerias com o setor privado para promover e fortalecer as instituições de pesquisa que desenvolvem estudos na linha de catálise com o intuito de preparar e aplicar materiais de interesse tecnológico.

4. Considerações Finais

O levantamento do panorama da catálise no Maranhão identificou 38 pesquisadores atuantes na área da catálise na UFMA e no IFMA. Os dados mostram que 81,1% dos pesquisadores participam de algum grupo de pesquisa, de modo que 70% ocupando posições de coordenação de laboratórios e orientação de estudantes nos grupos investigados. Nesse contexto, a relevância dos programas de pesquisa na área de catálise, em 2019, levou a aprovação do programa de pós-graduação *stricto sensu* em química, em nível de doutorado associativo UFMA-IFMA. Os resultados mostraram formação acadêmica relevante, sendo 81% dos pesquisadores doutores, 16% mestres e apenas 3% graduados. Destes, 78,4% continuam com estudos na área, sendo que 33,85% dos pesquisadores possuem a partir de 10 artigos ou mais publicações na área. Constatou-se que há maior prevalência de estudos em catálise heterogênea, sendo que 62,1% dos pesquisadores desempenham mais de um tipo de pesquisa, focados na catálise para remediação ambiental, produção de energias renováveis e limpas e outros produtos de alto valor agregado. Como perspectivas, os pesquisadores apontaram o avanço das cooperações nacionais e internacionais com outras instituições e grupos de pesquisas e a busca de novos investimentos em ciência, tecnologia e inovação.

Agradecimentos

Ao IFMA pela infraestrutura e apoio financeiro. A CAPES pelas bolsas concedidas, pelo apoio financeiro disponibilizado pelo Edital/CAPES nº 13/2020 (Programa de Apoio ao Desenvolvimento da Pós-Graduação na Amazônia Legal) e pela disponibilização do Portal de Periódicos (Código de Financiamento 001). Os coautores agradecem à FAPEMA, ao CNPq e a PRPGI/IFMA pelas bolsas de mestrado e doutorado. Agradecemos especialmente a todos os pesquisadores que gentilmente responderam ao questionário e contribuíram para a concretização deste trabalho.

Referências Bibliográficas

- Hayne, L. A.; Wyse, A. T. de S.; Análise da evolução da tecnologia: uma contribuição para o ensino da ciência e tecnologia. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia* **2018**, *11*, 37. [Crossref]
- Ferreira, L. E. M.; Ribeiro, R. S. A.; Madriaga, V. G. C.; Vasconcelos, S. C.; Shimabukuro, E. T. T.; Rossa, V.; Vieira, S. S.; Passos, F. B.; Lima, T. M.; Uma breve revisão sobre a catálise por átomos isolados: conceitos e aplicações. *Química Nova* **2022**, *45*, 194. [Crossref]
- Hagen, J.; *Industrial catalysis: a practical approach*, 3a. Ed; Wiley: New Jersey, 2015.
- Armor, J. N.; A history of industrial catalysis. *Catalysis Today* **2011**, *163*, 3. [Crossref]
- IUPAC *Compendium of Chemical Terminology (the "Gold Book")* 2014. Disponível em: <https://goldbook.iupac.org/pdf/goldbook.pdf>. Acesso em: 10 agosto 2023.
- Schmal, M.; *Catálise Heterogênea* Synergia, 2018.
- Rodríguez-Padrón, D.; Puente-Santiago, A. R.; Balu, A. M.; Muñoz-Batista, M. J.; Luque, R.; Environmental Catalysis: Present and Future. *ChemCatChem* **2019**, *11*, 18. [Crossref]
- Bernardo-Gusmão, K.; Pergher, S. B. C.; Dos Santos, E. N.; Um panorama da Catálise no Brasil nos últimos 40 anos. *Química Nova* **2017**, *40*, 650. [Crossref]
- Schmal, M.; Catalysis in Brazil. *Journal of the Brazilian Chemical Society* **2014**, *25*, 2135. [Crossref]
- Fernandes, R. F.; Catálise. *Revista Ciência Elementar* **2015**, *3*, 229. [Crossref]
- NOBEL *The Nobel Prize in Chemistry* 1909. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1909/summary/>. Acesso em: 21 setembro 2023.
- Dupont, J.; A Catálise no Brasil nos últimos 25 anos: uma história de sucesso. *Química Nova* **2002**, *25*, 12. [Crossref]
- BiodieselBr.; Brasil. **2014**. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/biodiesel/historia/oleos-vegetais-biodiesel-brasil#:~:text=A%20patente%20que%20o%20professor,primeira%20do%20g%C3%AAnero%20no%20pa%C3%ADs>. Acesso em: 10 abril 2024.
- Soares, S. V.; Nova, S. P. de C. C.; Pesquisadores brasileiros que publicam em periódicos internacionais: qual sua formação acadêmica? *Revista Gestão Universitária na América Latina - GUAL* **2017**, *125*. [Crossref]
- Meadows, A. J.; *A comunicação científica*, Briquet de Lemos: Brasília, 1999.
- Turchi, L. M.; Morais, J. M. de; *Políticas de apoio à inovação tecnológica no Brasil: avanços recentes, limitações e propostas de ações* IPEA: Brasília, **2017**. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8125/1/Pol%C3%ADticas%20de%20apoio%20%C3%A0%20inova%C3%A7%C3%A3o%20tecnol%C3%B3gica%20no%20Brasil.pdf>. Acesso em: 10 agosto 2023.
- Gestic, P. L.; Patentes de universidade mais atrativas para empresas. *Inova* 2017. Disponível em: <https://www.inova.unicamp.br/2017/03/patentes-de-universidade-mais-atrativas-para-empresas/>. Acesso em: 28 setembro 2023.
- Lima, L. A.; Oliveira, L. P.; Tenório, L. X. da S.; Py-Daniel, S. S.; Fernandes, T. L.; Ghesti, G. F.; Silva, M. L. da; Desenvolvimento Tecnológico e a Maturidade das Pesquisas no Âmbito das Instituições de Pesquisa Científica e Tecnológica (ICT) no Brasil. *Cadernos de Prospecção* **2019**, *12*, 31. [Crossref]
- Burihan, E.; A importância da publicação científica. *Jornal Vascular Brasileiro* **2002**, *1*, 2. [Link]

20. Cross, D.; Thomson, S.; Sinclair, A.; Research in Brazil: a report for CAPES by Clarivate Analytics. **2017**. Disponível em: <https://www.gov.br/capes/pt-br/centrais-de-conteudo/17012018-capes-incitesreport-final-pdf>. Acesso em: 15 outubro 2023.
21. Martins, F.; Abreu, M. C. C.; Diniz, P. A. F.; Marques, G. N.; Oliveira, M. M.; Mendonça, C. J. S.; De Figueredo, G. P.; Cavalcante, K. S. B.; Hydrolysis of cassava's (*Manihot esculenta* Crantz) waste polysaccharides using the natural zeolite Stilbite-Ca as catalyst. *Bioresource Technology Reports* **2023**, *21*, 101384. [[Crossref](#)]
22. Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação (MCTI); *Estratégia nacional de ciência, tecnologia e inovação 2016-2019* MCTI: Brasília, **2016**. Disponível em: http://www.mcti.gov.br/noticia/-/%20/asset_publisher/epbV0pr6eIS0/content/mcti-lancaestrategia-nacional-de-ciencia-tecnologia-einovacao-2016-2019. Acesso em: 10 setembro 2023.
23. Negri, F. D. (Organizadora); Squeff, F. de H. S. (Organizadora); *Sistemas setoriais de inovação e infraestrutura de pesquisa no Brasil. Sectoral systems of innovation and research infrastructure in Brazil* **2016**. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/6016>. Acesso em: 10 julho 2023.