

Aplicações de Nanocatalisadores Magnéticos em Processos Industriais: Uma Revisão Integrativa

F. D. A. B. Uchôa¹, G. P. Maia¹, V. K. D. S. Rojas¹, E. Raphael¹

¹Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, Brasil
(franciscobonfimuchoa@gmail.com)

O estudo realiza uma revisão integrativa sobre nanocatalisadores magnéticos na indústria. Objetiva-se mapear avanços na aplicação desses materiais em biocombustíveis, meio ambiente e alimentos. A análise evidencia que suportes baseados em magnetita resolvem limitações da catálise tradicional, conferindo estabilidade térmica, fácil separação magnética e reuso eficiente. Conclui-se que a nanocatálise é fundamental para a transição rumo a processos industriais mais sustentáveis.

Palavras-chave: Nanocatalisadores magnéticos; Catálise heterogênea; Imobilização de enzimas; Sustentabilidade industrial; Magnetita.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o avanço da nanotecnologia tem proporcionado o desenvolvimento de materiais com propriedades físicas e químicas únicas, resultantes do controle dimensional na escala de 1 a 100 nm. Nessa escala, a alta razão entre área superficial e volume confere aos nanomateriais características catalíticas superiores em relação aos seus análogos em escala macroscópica (LI et al., 2023). Essa singularidade tem impulsionado o interesse científico e industrial no desenvolvimento de nanocatalisadores capazes de atuar com maior atividade, seletividade e eficiência em processos químicos de relevância industrial. Além disso, os avanços nas técnicas de síntese e caracterização de nanomateriais têm permitido o controle preciso de parâmetros como tamanho, morfologia e composição das nanopartículas, abrindo novas possibilidades para o design racional de catalisadores com desempenho otimizado (NGUYEN et al., 2025).

A catálise heterogênea ocupa papel central na indústria química moderna, sendo responsável por mais de 80% dos processos industriais em operação no mundo, incluindo o refino de petróleo, a síntese de produtos químicos de base, a produção de fármacos e o tratamento de efluentes (RAEF et al., 2026). Nesse contexto, os nanocatalisadores emergem como uma evolução natural dos catalisadores heterogêneos tradicionais, uma vez que a redução do tamanho das partículas ativas para a escala nanométrica resulta em maior densidade de sítios ativos expostos, menor resistência à transferência de massa e maior interação entre o catalisador e os reagentes (LIU; CORMA,

2018). Essas características tornam os nanocatalisadores candidatos altamente promissores para substituir ou aprimorar os sistemas catalíticos convencionais em processos industriais de alta demanda energética e econômica.

Diversos setores industriais já reconhecem o potencial dos nanomateriais em suas cadeias produtivas. No setor de biocombustíveis, nanocatalisadores magnéticos funcionalizados têm se destacado na transesterificação de óleos residuais para produção de biodiesel, operando em condições brandas e permitindo fácil recuperação e reutilização do catalisador (PANDIT et al., 2023). Na área de energia limpa, nanocatalisadores de paládio suportados em óxido de grafeno reduzido derivado de garrafas PET demonstraram eficiência na produção de hidrogênio a partir do borohidreto de sódio, com valores de TOF de até 321,5 h⁻¹, evidenciando também o potencial do reaproveitamento de resíduos plásticos como precursores de materiais catalíticos sustentáveis (MORAES et al., 2025). Por fim, no tratamento de efluentes petroquímicos, nanocatalisadores de ZnO-Fe₃O₄ têm sido aplicados com sucesso em processos fotocatalíticos para degradação de compostos orgânicos recalcitrantes presentes em águas residuais industriais (AGHAZADEH et al., 2023).

Apesar dos avanços expressivos observados nas últimas décadas, a transição dos nanocatalisadores do ambiente laboratorial para a escala industrial ainda enfrenta barreiras significativas. Entre os principais desafios destacam-se o elevado custo de síntese de nanomateriais de alta pureza, a dificuldade de

manutenção da estabilidade catalítica em operações contínuas e em condições severas de temperatura e pressão, além das limitações nos processos de separação, recuperação e reciclagem dos catalisadores após o uso (RAEF et al., 2026). Questões relacionadas à toxicidade potencial dos nanomateriais e ao seu descarte adequado também representam preocupações crescentes do ponto de vista regulatório e ambiental (PANDIT et al., 2023). Superar essas limitações é condição essencial para que os nanocatalisadores possam ser integrados de forma ampla e economicamente viável aos processos industriais existentes.

Diante desse cenário, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre o estado da arte da aplicação de nanomateriais em catálise industrial, abrangendo diferentes setores produtivos e classes de nanomateriais. Busca-se mapear os principais avanços científicos e tecnológicos reportados na literatura recente, discutir as aplicações industriais já consolidadas e emergentes, e identificar os desafios e perspectivas para o escalonamento desses sistemas catalíticos. O trabalho está organizado em seções temáticas que contemplam os diferentes contextos de aplicação industrial, permitindo uma visão abrangente e crítica do papel dos nanomateriais na transformação dos processos catalíticos modernos.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho configura-se como uma revisão narrativa da literatura, modalidade de estudo que permite ao pesquisador reunir, analisar e discutir o conhecimento produzido sobre um determinado tema de forma ampla e interpretativa, sem a obrigatoriedade de seguir um protocolo rígido e reproduzível de busca. Essa abordagem foi escolhida por sua flexibilidade e adequação ao objetivo do estudo, que consiste em apresentar um panorama qualitativo sobre o desenvolvimento e a aplicação de nanocatalisadores magnéticos em processos industriais.

Para o levantamento bibliográfico, foram utilizadas bases de dados científicas reconhecidas, como ScienceDirect, Scopus e Web of Science. A busca foi orientada pelas seguintes palavras-chave, em português e inglês: "nanocatalisadores magnéticos" (magnetic nanocatalysts), "imobilização de enzimas" (enzyme immobilization), "nanopartículas de magnetita" (magnetite nanoparticles) e "catálise industrial" (industrial catalysis).

Como critérios de inclusão, foram selecionados artigos originais e de revisão publicados predominantemente a partir do ano de 2016,

disponíveis na íntegra e que abordassem diretamente a síntese, caracterização ou aplicação industrial de matrizes catalíticas magnéticas. Foram excluídos trabalhos que fugiam do escopo industrial ou que não apresentavam resultados claros de eficiência e reuso catalítico. Os dados extraídos foram organizados por setor de aplicação (biocombustíveis, biotecnologia, meio ambiente e setor alimentício) para facilitar a análise crítica e a discussão dos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O preparo de nanocatalisadores magnéticos de $\text{Ni}_{0,4}\text{Zn}_{0,4}\text{Mn}_{0,2}\text{Fe}_2\text{O}_4$ foi estudado por Moura et al. visando a obtenção de biodiesel a partir de óleo de soja acidificado, com o material atuando como catalisador heterogêneo. Diante das limitações inerentes aos catalisadores homogêneos, como corrosão de equipamentos, dificuldade na separação do produto de interesse e geração de efluentes prejudiciais ao meio ambiente, os pesquisadores optaram pela síntese do nanomaterial via reação de combustão. Essa escolha se mostrou adequada, uma vez que os testes catalíticos de bancada evidenciaram excelente reprodutibilidade e viabilidade para produção em larga escala, características essenciais para aplicações industriais. O nanocatalisador de $\text{Ni}_{0,4}\text{Zn}_{0,4}\text{Mn}_{0,2}\text{Fe}_2\text{O}_4$ demonstrou ser promissor para reações de esterificação do óleo de soja, alcançando conversões médias de 91,55% pela rota etílica e 89,26% pela rota metílica, consolidando-se como uma alternativa eficiente e sustentável para a produção de biodiesel em escala industrial.

A imobilização covalente das endopeptidases termolisina bacteriana (TLN) e tripsina pancreática bovina (TRY) em nanopartículas de magnetita revestidas de sílica aminada ($\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{sílica-NH}_2$) foi investigada por Ungaro. como estratégia para contornar as limitações clássicas do uso de enzimas livres em processos industriais, tais como a inviabilidade de recuperação e reuso do biocatalisador e a baixa estabilidade frente a variações térmicas e químicas. Os nanobiocatalisadores (NBCs) magnéticos obtidos ($\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{sílica-TLN}$ e $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{sílica-TRY}$) puderam ser facilmente recuperados dos meios reacionais e reutilizados por até 10 ciclos consecutivos, com ganhos expressivos em estabilidade química e térmica em relação às enzimas livres, ainda que com redução moderada na atividade específica e nos parâmetros cinéticos decorrente do processo de imobilização. A aplicabilidade dos NBCs foi demonstrada em reações de proteólise de caseínas do leite bovino e albumina do soro bovino, nas quais foram identificados 247 fragmentos peptídicos no total, dos quais 64 apresentaram potencial de bioatividade por semelhança de sequência com

peptídeos bioativos conhecidos. Os resultados obtidos consolidam esses nanobiocatalisadores magnéticos como ferramentas promissoras e sustentáveis para aplicações biotecnológicas, com destaque para o sequenciamento proteico, a indústria alimentícia e a produção de peptídeos bioativos em escala industrial.

O artigo de Mohammadi & Sheibani relata a síntese de um nanocatalisador magnético com estrutura núcleo-casca denominado $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2\text{-Ag}$, composto por um núcleo de magnetita (Fe_3O_4), uma camada intermediária protetora de sílica (SiO_2) e uma casca externa de nanopartículas de prata (Ag). A síntese foi conduzida em três etapas: coprecipitação química para formação do núcleo de Fe_3O_4 , recobrimento por sílica via método sol-gel com TEOS, e incorporação das nanopartículas de prata por síntese verde com extrato de flor de açafraão (*Carthamus tinctorius* L.), que atuou simultaneamente como agente redutor e estabilizador. Essa metodologia foi adotada porque a síntese verde usando extratos vegetais é sustentável, econômica e amigável ao meio ambiente, além de ocorrer sob condições brandas. Ela dispensa o uso de surfactantes ou agentes redutores químicos sintéticos e tóxicos, que geralmente são necessários em métodos tradicionais e geram resíduos poluentes. O material foi aplicado como catalisador heterogêneo recuperável para a degradação de poluentes orgânicos em meio aquoso como 4-nitrofenol (4-NP), azul de metileno (MB) e alaranjado de metila (MO), alcançando degradação completa em 4 minutos, 50 e 60 segundos, respectivamente. A presença do núcleo magnético permite a separação do catalisador por campo magnético externo, viabilizando sua reutilização por múltiplos ciclos sem perda significativa de atividade. Adicionalmente, a conversão do 4-NP em 4-aminofenol (4-AP), intermediário utilizado na síntese de fármacos como o paracetamol, confere valor agregado ao processo, transformando um resíduo tóxico em insumo industrial.

O desenvolvimento de um nanocatalisador magnético heterogêneo denominado $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2\text{-Schiff}$ base-Ni(II) é descrito por Nejad et al. O nanocompósito constituído por um núcleo de magnetita (Fe_3O_4), uma camada protetora de sílica (SiO_2) e uma superfície funcionalizada com ligante do tipo Base de Schiff, sobre a qual íons Ni(II) são coordenados como sítios ativos. A preparação ocorreu em quatro etapas sequenciais: coprecipitação química do núcleo de Fe_3O_4 , recobrimento com sílica pelo método sol-gel (processo de Stöber com TEOS), funcionalização da superfície via silanização com APTES seguida de condensação com 2-hidroxibenzaldeído, e metalação com acetato de

níquel. Essa rota foi escolhida por ser simples e econômica, sendo a Base de Schiff fundamental para prevenir a lixiviação do níquel durante as reações, garantindo estabilidade e alta densidade de sítios catalíticos expostos. O material foi aplicado como catalisador recuperável em reações de acoplamento cruzado C-N de Chan-Lam e C-C de Suzuki-Miyaura, alcançando rendimentos de até 95% em condições moderadas. Do ponto de vista industrial, o sistema representa uma alternativa de baixo custo aos catalisadores convencionais baseados em paládio e platina, especialmente relevante para os setores farmacêutico e agroquímico. A separação por campo magnético externo dispensa etapas onerosas de filtração, e a possibilidade de reutilização por pelo menos cinco ciclos consecutivos sem perda significativa de atividade reduz a geração de resíduos metálicos e os custos operacionais.

Outro exemplo é o trabalho de imobilização enzimática para aumento de eficiência biocatalítica foi feito por Golmohammad Khoobakht e colaboradores (2020), que aplicaram a metodologia de superfície de resposta (RSM) com delineamento composto central (CCD) para imobilizar a lipase de Burkholderia cepacia em nanopartículas magnéticas revestidas com sílica mesoporosa. O resultado foi um nanobiocatalisador altamente eficiente, capaz de atingir 92% de conversão na produção de biodiesel a partir de óleo de soja residual, mostrando um potencial dessa abordagem para a indústria de biocombustíveis.

Nesse cenário, as nanopartículas de magnetita (Fe_3O_4) têm se destacado como suportes promissores, graças à sua baixa toxicidade, estabilidade química e, sobretudo, à facilidade de recuperação por meio de um campo magnético externo. Sarno et al. (2017), por exemplo, utilizaram Fe_3O_4 funcionalizadas com ácido cítrico para imobilizar a lipase de *Thermomyces lanuginosus* (TLL) com vistas à síntese do aroma de banana. O biocatalisador mostrou-se mais ativo que a enzima livre, com hiperativação de até 323% em pH 7,5, e também demonstrou excelente reutilização e estabilidade mesmo após 120 dias de armazenamento, ainda retinha 64% da atividade inicial. Esses resultados reforçam o papel das matrizes magnéticas como aliadas estratégicas em setores como o de fragrâncias e biocombustíveis, onde eficiência e durabilidade são essenciais.

A valorização de resíduos agroindustriais também tem se beneficiado dessas inovações. Ao imobilizar celulasas e xilanases em suportes magnéticos, pesquisadores têm conseguido proteger essas enzimas contra a degradação térmica e química, prolongando sua vida útil em processos industriais. Paz-Cedeno et al. (2021) utilizaram óxido de grafeno

magnético (GO-MNP) para a hidrólise do bagaço de cana, observando que a imobilização restringe a mobilidade conformacional da enzima, preservando sua estrutura tridimensional e, consequentemente, sua atividade. Após 10 ciclos de reação, o sistema manteve entre 66% e 88% da atividade inicial, dependendo da enzima, um desempenho notável para um processo com potencial de escala industrial. De forma semelhante, Lin et al. (2017) imobilizaram celulase em nanopartículas de Fe_3O_4 revestidas com quitosana, usando glutaraldeído como agente reticulante. O resultado foi um carregamento enzimático de 99,6% e recuperação de atividade de 68,5%, mostrando como o suporte magnético pode aumentar a robustez do biocatalisador, ideal para a produção de etanol de segunda geração.

Na área de biossensores e células a combustível enzimáticas (EBFCs), as vantagens das nanopartículas magnéticas além da reutilização também ajudam a superar limitações difusionais que muitas vezes comprometem a eficiência catalítica. Perveen et al. (2021) desenvolveram um bioânodo inovador combinando Fe_3O_4 , nanotubos de carbono (CNT), nanopartículas de ouro (Au) e polipirrol (PPy), criando uma matriz condutora altamente eficaz para a imobilização da glicose oxidase (GOD). A sinergia entre os materiais ampliou a área de superfície e acelerou a transferência de elétrons, resultando em um bom desempenho eletroquímico, com densidade de corrente máxima de $6,01 \text{ mA cm}^{-2}$ e potencial de circuito aberto de 0,38 V com 40 mM de glicose. Esses números colocam o sistema como uma das referências atuais para o desenvolvimento de biossensores mais sensíveis e ânodos de biocombustível com alto rendimento.

No setor alimentício, a imobilização magnética surge como uma solução para evitar o vazamento enzimático e a contaminação de produtos finais. Li et al. (2018) exemplificam bem essa aplicação ao imobilizar a tanase de *Aspergillus niger* em nanopartículas magnéticas revestidas com quitosana (Fe_3O_4 -CS) para a clarificação de chás. A enzima imobilizada não só ganhou resistência térmica e estabilidade em diferentes faixas de pH, como também manteve mais de 50% de sua atividade após oito ciclos de uso. O impacto foi de melhoria significativa na cor e na qualidade visual das infusões, mostrando que a catálise heterogênea pode agregar valor real ao produto final sem comprometer a segurança.

Também, as proteases, enzimas amplamente usadas em detergentes, tratamento de couro e processos de reciclagem protéica, têm se beneficiado da imobilização em suportes magnéticos. Ibrahim et al. (2021) imobilizaram covalentemente uma protease alcalina em nanoesferas magnéticas mesoporosas de

duplo núcleo (DMCSS), obtendo um biocatalisador estável mesmo em ambientes com altas concentrações de sal, solventes e detergentes. Após dez ciclos, ainda retinha 79,8% da atividade inicial, o que demonstra viabilidade econômica e escalabilidade. Em outra abordagem, Razzaghi et al. (2018) imobilizaram a protease de *Penaeus vannamei* em nanopartículas de sulfeto de zinco (ZnS), observando aumento na tolerância térmica e estabilidade em pH extremos (de 3 a 12). Mais uma vez, o confinamento nanométrico mostrou-se capaz de transformar enzimas sensíveis em ferramentas catalíticas resistentes, prontas para enfrentar as demandas dos processos industriais mais exigentes.

CONCLUSÃO

A presente revisão evidenciou que os nanocatalisadores magnéticos, em especial aqueles suportados em nanopartículas de magnetita, representam um avanço tecnológico crucial para a modernização e sustentabilidade da catálise industrial. O mapeamento da literatura demonstrou que a transição da catálise homogênea para sistemas nanométricos heterogêneos resolve gargalos operacionais históricos, proporcionando maior estabilidade química e térmica aos catalisadores biológicos e sintéticos.

A principal vantagem tecnológica observada nas aplicações abordadas, que vão desde a produção de biodiesel até o refino de efluentes e setor alimentício, é a facilidade de recuperação dos catalisadores via campo magnético externo. Esse fator não apenas barateia os processos de separação e purificação dos produtos, mas também viabiliza o reuso extensivo do material reacional, alinhando-se aos princípios da química verde e da economia circular.

Contudo, para que o escalonamento em nível industrial seja plenamente consolidado, faz-se necessário superar os desafios remanescentes ligados ao custo de produção dos suportes nanoestruturados em larga escala e à formulação de regulamentações ambientais sobre a toxicidade e descarte de nanomateriais. Por fim, conclui-se que o aprimoramento contínuo na arquitetura desses materiais consolidará os nanocatalisadores magnéticos como ferramentas indispensáveis para processos industriais de alta eficiência e baixo impacto ambiental.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade do Estado do Amazonas (UEA) e ao Governo do Estado do Amazonas.

REFERÊNCIAS

- AGHAZADEH, M; HASSANI, A H; BORGHEI, M. Application of photocatalytic proxone process for petrochemical wastewater treatment. **Scientific Reports**, London, v. 13, p. 12738, ago. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40045-4>.
- IBRAHIM, Abdelnasser SS et al. Stabilization and improved properties of *Salipaludibacillus agaradhaerens* alkaline protease by immobilization onto double mesoporous core-shell nanospheres. **International journal of biological macromolecules**, v. 166, p. 557-566, 2021. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.10.21.
- KHOOBBAKHT, Golmohammad *et al*, Desirability Function Approach for Optimization of Enzymatic Transesterification Catalyzed by Lipase Immobilized on Mesoporous Magnetic Nanoparticles, **Renewable Energy**, 2020, 158, 253-262, DOI: 10.1016/j.renene.2020.05.087.
- LI, Ruyi et al. Tannase Immobilisation by Amino-Functionalised Magnetic Fe₃O₄-Chitosan Nanoparticles and Its Application in Tea Infusion, **International journal of biological macromolecules**, 2018, 114, 1134-1143, DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.03.077.
- LI, H; JIAN, S; BAALOUSHA, M. Applications of catalytic nanomaterials in energy and environment. **Molecules**, Basel, v. 28, n. 10, p. 4000, maio 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules28104000>.
- LIN, Jiahong et al. Huang, Synthesis of Amine-Functionalized Fe₃O₄@C Nanoparticles for Laccase Immobilization, **International journal of biological macromolecules**, 2017, 96, 377-383, DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2016.12.051.
- LIU, L; CORMA, A. Metal catalysts for heterogeneous catalysis: from single atoms to nanoclusters and nanoparticles. **Chemical Reviews**, Washington, v. 118, n. 10, p. 4981-5079, abr. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.7b00776>.
- LU, L. Synthesis and applications of novel low-dimensional nanomaterials in catalysis. **Molecules**, Basel, v. 31, n. 3, p. 482, jan. 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules31030482>.
- MOHAMMADI, Pourya; SHEIBANI, Hassan. Green synthesis of Fe₃O₄@SiO₂-Ag magnetic nanocatalyst using safflower extract and its application as a recoverable catalyst for reduction of dye pollutants in water. **Applied Organometallic Chemistry**, [S. l.], v. 32, n. 4, e4249, p. 1-11, abr. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/aoc.4249>.
- MORAES, L. B.; SILVA, K. L. C.; BARROS, B S.; BARROS, J. E. K. Síntese e caracterização de nanocatalisadores de paládio suportados em materiais carbonáceos derivados de garrafas PET para produção de hidrogênio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CATALISE, 23., 2025. **Anais**, 2025.
- NGUYEN, T-D; KHIEU, D Q; TUAN, N H; DASOG, M. Introduction to nanomaterials in catalysis and sensing applications. **Nanoscale Advances**, Cambridge, v. 7, p. 3601-3602, maio 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/D5NA90028J>.
- PANDIT, C; BANERJEE, S; PANDIT, S; LAHIRI, D; KUMAR, V; CHAUBEY, K K; AL-BALUSHI, R; AL-BAHRY, S; JOSHI, S J. Recent advances and challenges in the utilization of nanomaterials in transesterification for biodiesel production. **Heliyon**, Amsterdam, v. 9, n. 4, p. e15475, abr. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15475>.
- PAZ-CEDENO, Fernando Roberto et al. Masarin, Magnetic Graphene Oxide as a Platform for the Immobilization of Cellulases and Xylanases: Ultrastructural Characterization and Assessment of Lignocellulosic Biomass Hydrolysis, **Renewable Energy**, 2021, 164, 491-501, DOI: 10.1016/j.renene.2020.09.059.
- PERVEEN, Ruma et al. Development of a Ternary Conducting Composite (PPy/Au/CNT@Fe₃O₄) Immobilized FRT/GOD Bioanode for Glucose/Oxygen Biofuel Cell Applications, **International Journal of Hydrogen Energy**, 2021, 46, 3259-3269, DOI: 10.1016/j.ijhydene.2020.02.175.
- SARNO, Maria et al. High activity and selectivity immobilized lipase on Fe₃O₄ nanoparticles for banana flavour synthesis. **Process Biochemistry**, v. 56, p. 98-108, 2017. DOI: 10.1016/j.procbio.2017.02.004.
- SHAHABI NEJAD, Mohaddeseh *et al*. Synthesis and characterization of Ni(II) complex functionalized silica-based magnetic nanocatalyst and its application in C-N and C-C cross-coupling reactions. **Molecular Diversity**, [S. l.], v. 23, n. 3, p. 527-539, nov. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11030-018-9888-2>.
- RAEF, A N; GHALARI, M; MOTAHARI, Z; KASHANI, K M. Nanocatalysts: current challenges, industrial limitations, and emerging strategies for scalable and sustainable catalysis. **Nano-Structures & Nano-Objects**, Amsterdam, v. 46, p. 101644, abr. 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2026.101644>.
- RAZZAGHI, Mozghan; HOMAEI, Ahmad; MOSADDEGH, Elaheh. Penaeus vannamei protease stabilizing process of ZnS nanoparticles. **International journal of biological macromolecules**, v. 112, p. 509-515, 2018. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.01.173.
- UNGARO, V. A.. **Desenvolvimento, estudo e aplicações de nanobiocatalisadores proteolíticos magnéticos**. 2020. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. DOI: 10.11606/T.46.2020.tde-04082021-235008.