



**MICRORGANISMOS GENETICAMENTE MODIFICADOS EM BIORREATORES
ELETROQUÍMICOS: UMA ROTA SUSTENTÁVEL PARA A SÍNTESE DE AMÔNIA
GENETICALLY MODIFIED MICROORGANISMS IN ELECTROCHEMICAL
BIOREACTORS: A SUSTAINABLE ROUTE FOR AMMONIA SYNTHESIS**

Autores: Lorena Colliard de Farias Antas¹, Janice Pereira de Sá Souza²,

Maria Claudia Barbosa da Silva³, Vivianne Lúcia Bormann de Souza⁴

¹CRCN-NE/UFPE – colliardlorena@gmail.com; ²CRCN-NE/UFPE – jpds2@discente.ifpe.edu.br;

³CRCN-NE/UFPE – mclaudia2702@gmail.com; ⁴CRCN-NE/UFPE – vivianne.souza@cnen.gov.br

RESUMO

Por deter eletrodos, os biorreatores eletroquímicos catalisam reações redox diretamente com os microrganismos. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo discutir as potencialidades dos microrganismos geneticamente modificados aplicados nesses sistemas para fixação de nitrogênio. Foram analisados artigos experimentais, publicados entre 2010 e 2025, em inglês ou português, a partir das bases de dados Web of Science, PubMed e ScienceDirect. Os resultados obtidos conforme a literatura indicam que a fixação biológica de nitrogênio tem sido estudada como rota alternativa ao processo de Haber-Bosch, cuja elevada demanda energética e impacto ambiental impulsionam a busca por rotas mais limpas. Nesse contexto, microrganismos geneticamente modificados captam elétrons diretamente do cátodo e os direcionam para a nitrogenase, favorecendo a redução de nitrogênio atmosférico à amônia. Esses, por sua vez, apresentam vantagens sobre organismos naturalmente fixadores em termos de crescimento e manipulação genética laboratorial. Conclui-se, portanto, que, embora promissora, essa abordagem permanece incipiente, o que demanda estudos adicionais que validem sua robustez em larga escala e que ampliem seu potencial de aplicação não apenas na agricultura, mas também em bioenergia, biocatálise e mitigação ambiental.

Palavras-chave: Bioeletroquímica; Desenvolvimento Sustentável; Fixação de Nitrogênio.

ABSTRACT

By having electrodes, electrochemical bioreactors catalyze redox reactions directly with microorganisms. Therefore, the present study aimed to discuss the potential of genetically modified microorganisms applied in these systems for nitrogen fixation. Experimental articles published between 2010 and 2025, in English or Portuguese, were analyzed from the Web of Science, PubMed and ScienceDirect databases. The results obtained according to the literature indicate that biological nitrogen fixation has been studied as an alternative route to the Haber-Bosch process, whose high energy demand and environmental impact drive the search for cleaner routes. In this context, genetically modified microorganisms capture electrons directly from the cathode and direct them to nitrogenase, favoring the reduction of atmospheric nitrogen to ammonia. These, in turn, have advantages over naturally fixative organisms in terms of growth and laboratory genetic manipulation. It is concluded, therefore, that, although promising, this approach remains incipient, which requires additional studies that validate its robustness on a large scale and that expand its potential for application not only in agriculture, but also in bioenergy, biocatalysis and environmental mitigation.

Keywords: Bioelectrochemistry; Nitrogen Fixation; Sustainable Development.



1 INTRODUÇÃO

Os biorreatores eletroquímicos apresentam, adicionalmente aos clássicos, a interface eletrodo-microrganismo, ou seja, a integração de eletrodos ao sistema, de forma que a fonte de energia se torne parcialmente elétrica e catalise as reações redox, diretamente, com os microrganismos (San-Martin *et al.*, 2018). Assim, o objetivo consiste em analisar a literatura científica disponível acerca dos biorreatores eletroquímicos, especialmente com microrganismos geneticamente modificados, como alternativa sustentável ao processo de Haber-Bosch, o qual combina nitrogênio e hidrogênio a altas pressões e temperaturas.

2 METODOLOGIA

Este trabalho consiste em um estudo de revisão bibliográfica, descritivo-analítico, com abordagem narrativa. A busca foi realizada nas bases de dados Web of Science, PubMed e ScienceDirect. Foram excluídos estudos tangenciais e sem relevância direta com o tema, e incluídos artigos experimentais publicados entre 2010 e 2025, em inglês ou português.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do proposto, algumas cepas podem ser geneticamente modificadas com o objetivo de otimizar a atividade da nitrogenase e aumentar a síntese da amônia de forma sustentável. Nesse viés, estudos recentes propõem hospedeiros geneticamente receptivos, principalmente, a *Escherichia coli*, para a expressão heteróloga da nitrogenase (Solomon *et al.*, 2024). Segundo Ito *et al.* (2024), uma cepa da bactéria em questão, expressando 18 genes de *Azotobacter vinelandii*, após ajustes cromossômicos e superexpressão de componentes de transferência eletrônica, ou seja, de genes relacionados a flavodoxinas (proteínas de transporte de elétrons), atuou no aumento de 10 vezes da atividade da nitrogenase.

Outra estratégia foi a de aplicar a expressão heteróloga da proteína Fe, uma das subunidades essenciais da nitrogenase, de *Azotobacter vinelandii* em *Escherichia coli* (Tatemichi *et al.*, 2021). Nesse contexto, os biorreatores eletroquímicos para fixação de nitrogênio atuam a partir da transferência externa de elétrons do eletrodo para os microrganismos, que os utilizam como poder redutor para catalisar as reações metabólicas, o que oferece uma alternativa mais sustentável para a produção de compostos nitrogenados e com potencial de aplicação em agricultura e bioenergia.

4 CONCLUSÕES

Os avanços recentes em biorreatores eletroquímicos demonstram que a conversão de energia elétrica em energia química mediada por microrganismos representa uma alternativa promissora para superar as limitações do processo de Haber-Bosch, ainda predominante no que tange à produção de amônia.

REFERÊNCIAS

- SAN-MARTIN, M. I. *et al.* Bioeletrochemical Systems for Energy Valorization of Waste Streams. **IntechOpen**, 2018.
- SOLOMON J. B. *et al.* Ammonia synthesis via an engineered nitrogenase assembly pathway in *Escherichia coli*. **Nature Catalysis**, v.7, n.10, p.1130-1141, 2024.
- TATEMACHI, Y *et al.* Construction of recombinant *Escherichia coli* producing nitrogenase-related proteins from *Azotobacter vinelandii*. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, v.85, n.10, p.2209-2216, 2021.