

DOI: <https://doi.org/10.48195/sepe2025.29623>

DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS BIOGÊNICAS DE ÓXIDO DE MAGNÉSIO UTILIZANDO EXTRATO DE AÇAÍ

Gabriela Geraldo Sangoi¹; Lailla Daianna Soltau Missio Pinheiro²; Yolice Patricia Moreno Ruiz³, Giovani Pavoski⁴, Denise Croce Romano Espinosa⁴, Taíse Regina Schuster Montagner⁵; William Leonardo da Silva⁶; Alencar Kolinski Machado^{7*}

RESUMO

A nanotecnologia é uma área que se caracteriza pelo caráter multidisciplinar, por meio da manipulação da matéria em escala nanométrica, que proporciona que os sistemas nanoestruturados apresentem propriedades específicas, com potencial aplicação em diversas áreas. Dentre estas, a nanomedicina vem sendo cada vez mais utilizada como tratamento alternativo e/ou à soluções pioneiras em áreas ainda não exploradas, devido às limitações da barreira hematoencefálica, como um obstáculo limitante para o tratamento de doenças neuronais. Assim, por meio de nanopartículas, o acesso ao sistema nervoso central pode ser melhorado, devido ao tamanho das partículas e sua considerável reatividade, o que proporciona uma baixa dose efetiva das moléculas. Dentre as nanopartículas disponíveis, nanopartículas metálicas se caracterizam como ótimas alternativas devido sua grande área superficial e porosidade. Para obtenção destas, o uso da biossíntese é uma alternativa ecológica, pois além de não precisar de solventes na síntese, utiliza-se extratos vegetais. Visando este aspecto, o objetivo do estudo foi desenvolver e caracterizar nanopartículas biogênicas de óxido de magnésio (MgO-NPs) a partir do extrato hidroalcoólico de açaí como alternativa terapêutica às doenças neuropsiquiátricas, devido caracteres benéficos das MgO-NPs, como a biodegradabilidade, biocompatibilidade e alta bioatividade. Assim, nanopartículas de óxido de magnésio foram produzidas por síntese verde a partir do precursor metálico e extrato hidroalcoólico de açaí (5 mg.mL⁻¹) na proporção de 1:1 v v⁻¹. As MgO-NPs foram

¹Gabriela Geraldo Sangoi, Laboratório de Cultura Celular e Efeitos Bioativos, Programa de Pós-Graduação em Nanociências, Universidade Franciscana, Santa Maria, RS, Brasil. gabriela.sangoi30@gmail.com. ORCID: 0000-0001-7785-2859.

²Pesquisadora colaboradora, Dra. Lailla Daianna Soltau Missio Pinheiro, Doutora, Universidade Franciscana, Programa de Pós-Graduação em Nanociências, Santa Maria-RS, Brasil. E-mail: lailladpinheiro@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7785-2859

³Pesquisadora colaboradora, Dra. Yolice Patricia Moreno Ruiz, Doutora, Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE), Recife - PE, Brasil. E-mail: ypmoreno@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1976-003X

⁴Giovani Pavoski, Denise Croce Romano Espinosa, Doutores, Universidade de São Paulo, Laboratório de Reciclagem, Tratamento de Resíduos e Extração, São Paulo-SP, Brasil. E-mail: giovanipavoski@gmail.com; espinosa@usp.br; ORCID: 0000-0002-2610-6669; 0000-0003-2359-9485

⁵Taíse Regina Schuster Montagner, Laboratório de Cultura Celular e Efeitos Bioativos, Universidade Franciscana, Santa Maria, RS, Brasil. taise_schuster@hotmail.com. ORCID: 0009-0004-1985-2243

⁶Professor. Dr. William Leonardo da Silva, Doutor, Universidade Franciscana, Programa de Pós-Graduação em Nanociências, Santa Maria-RS, Brasil. E-mail: w.silva@ufn.edu.br, ORCID: 0000-0002-7804-9678

⁷Professor Dr. Alencar Kolinski Machado, Laboratório de Cultura Celular e Efeitos Bioativos, Programa de Pós-Graduação em Nanociências, Universidade Franciscana, Santa Maria, RS; Brasil. alencarkolinski@gmail.com. ORCID: 0000-0003-2003-8420

caracterizadas pelas técnicas de difração de raios X (DRX), Microscopia Eletrônica de Varredura com Emissão de Campo com Espectroscopia por Energia Dispersiva (MEV-FEG-EDS), porosimetria de N₂ e Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), a fim de avaliar as propriedades texturais, estruturais, morfológicas e elementares. Assim, as MgO-NPs apresentaram uma estrutura cristalina, com uma morfologia heterogênea e uma composição majoritária de magnésio de oxigênio, seguido de uma área superficial de 88 m² g⁻¹ e a presença de estiramento Mg-O, indicando a efetividade do processo de biossíntese. Por conseguinte, foi possível o desenvolvimento e caracterização das MgO-NPs biogênicas, para posterior avaliação da citotoxicidade e eficácia no âmbito biológico.

Palavras-chave: Biossíntese, *Euterpe oleracea* Mart., Nanopartículas metálicas, Nanotecnologia.

1. INTRODUÇÃO

A nanotecnologia é uma área caracterizada por sua interdisciplinariedade, indo desde a área das engenharias ao âmbito medicinal, o que permite diversas aplicações (Buzea; Pacheco; Robbie, 2007). Ao condicionar o material para escala nanométrica, em pelo menos uma dimensão, resulta-se em mudanças estruturais, magnéticas, biológicas e/ou eletrônicas deste material (Makuye; Abera, 2023; Xia *et al.*, 2009), caracterizando-o como um nanomaterial ou nanopartícula.

A medicina vem se beneficiando cada vez mais das evoluções da nanociência, com os mecanismos de entregas de fármacos, o chamado *drug delivery*, por meio da utilização de nanossensores, nanocarreadores, nanopartículas (NPs) metálicas para melhoramento de imagem na área da imagenologia, nanomateriais para regeneração óssea e cutânea e produção de biomateriais (Mengesha; Mekonnen; Tesfaw, 2024; Selvakumar *et al.*, 2024).

Assim, a nanomedicina utiliza das propriedades oriundas de nanomateriais ou nanoestruturas para melhorar o efeito de fármacos já existentes, como é o caso do Doxil[®] (Johnson & Johnson) (doxirrubicina em forma lipossomal) e do AmBisome[®] (Gilead) (anfotericina B nanoencapsulada) (Bulbake *et al.*, 2017; Allen; Cullis, 2013; Liu; Bravo; Liu, 2021), para promover o tratamento à enfermidades ainda não exploradas por possuírem limitações, como barreiras biológicas, que com o uso da nanotecnologia, podem ser ultrapassadas, devido propriedades como aumento da área superficial e diminuição de tamanho, o que pode permitir a ultrapassagem de obstáculos como o caso da barreira sangue-cérebro (Melo; Pimenta, 2004).

Dentre as nanoestruturas existentes, NPs metálicas possuem propriedades interessantes para o uso medicinal, devido a grande área superficial e elevada reatividade. Por exemplo, NPs de ouro (AuNPs) vêm sendo utilizadas na terapia fototérmica, auxiliando na liberação de medicamentos, quando empregadas em nanocarreadores, e proporcionando um sistema híbrido de tratamento (Patil; Rane; Jain 2025; Riaz *et al.*, 2024).

NPs de óxido de magnésio (MgO-NPs), em especial, possuem propriedades distintas de demais NPs metálicas, como grandes índices de biodegradabilidade, biocompatibilidade e bioatividade, o que as proporcionam um âmbito grande de estudos na área médica, como a busca de atividade antibacteriana, engenharia de tecidos, regeneração óssea e até mesmo terapia antitumoral (Mazaheri *et al.*, 2019; Ammulu *et al.*, 2021; Saberi; Baltatu; Vizureanu, 2024). Além disso, outro diferencial atribuído às MgO-NPs em relação à demais NPs metálicas, é a excreção facilitada (Fahmy *et al.*, 2022), o que as confere biodegradabilidade e, consequente a diminuição de citotoxicidade, pois a não acumulação das NPs em órgãos, é um fator importante na avaliação da nanotoxicologia (Cheng *et al.*, 2022).

Além destas propriedades, MgO-NPs possuem potencial antioxidante, ou seja, são capazes de sequestrar radicais livres (Shahid *et al.*, 2022; Periakaruppan; Naveen; Danaraj, 2022), sendo já comprovado, por exemplo, que MgO-NPs a partir de síntese verde possuem

potencial antioxidante maior que a vitamina C (ácido ascórbico), um padrão antioxidante estabelecido (Shahid *et al.*, 2022).

Para produção de NPs metálicas, existem métodos convencionais de obtenção, os quais são a partir do uso de solventes, muitas vezes nocivos ao meio ambiente (Shnoudeh *et al.* 2019). Em contrapartida, métodos verdes, chamados de biossíntese, utilizam apenas microorganismos, plantas e seus derivados, no lugar de solventes, como redutores na reação química ocasionada para a produção das NPs metálicas (Kong *et al.*, 2021).

Visando a síntese verde, o açaí é um fruto nativo da região amazônica brasileira que possui atividade antioxidante estabelecida (Davidson *et al.*, 2022; Machado *et al.*, 2016), possuindo um grande potencial de agente redutor, oxidando-se na reação química do processo de biossíntese (Sibuyi *et al.*, 2021).

Assim, visando as propriedades benéficas e bioativas de MgO-NPs, somando-se às propriedades atribuídas à nanotecnologia, o uso destas NPs para o tratamento alternativo de doenças neuropsiquiátricas, por exemplo, seria uma alternativa promissora, visto que diversas enfermidades neuronais possuem o estresse oxidativo atrelado (Andreazza *et al.*, 2010). Sobretudo, utilizando-se da síntese verde para a produção destas NPs, tem-se um cenário ecologicamente benéfico.

Neste cenário, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver e caracterizar nanopartículas verde de óxido de magnésio (MgO-NPs) a partir do extrato de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.), para potencial aplicação ao tratamento alternativo à doenças neuropsiquiátricas.

2. METODOLOGIA

2.1 PREPARO DO EXTRATO HIDROALCOÓLICO DE AÇAÍ

O extrato hidroalcoólico de açaí foi previamente produzido e caracterizado por Davidson *et al.* (2024), conforme a metodologia descrita por De Souza *et al.* (2020). Os frutos para a produção do extrato foram obtidos a partir de uma região de colheita de Manaus/AM e transportados até o Laboratório de Cultura Celular e Efeitos Bioativos da Universidade Franciscana (UFN), onde foram dispostos em frascos âmbar na concentração de 300 mg mL⁻¹, utilizando etanol 70% como solvente. O processo de extração teve duração de 21 dias e o material filtrado obtido foi rotaevaporado e em seguida liofilizado. O pó de extrato de açaí foi conduzido para caracterização via cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC – do inglês *High Performance Liquid Chromatography*) e diferentes padrões foram utilizados para verificação da matriz química de tal extrato.

2.2 DESENVOLVIMENTO DAS NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE MAGNÉSIO

As nanopartículas biogênicas de MgO-NPS foram produzidas a partir do método descrito por Senthilkumar *et al.* (2017), com a utilização do óxido de magnésio (MgO) precursor metálico, seguindo as etapas de redução, nucleação e estabilização. Assim, foi utilizado uma solução de MgO (0,3 mol.L⁻¹, Vetec, 97%, ACS reagent) e o extrato de açaí, como agente bioreductor.

Primeiramente, o extrato de açaí liofilizado foi previamente reidratado e colocado misturados sob agitação magnética (500 rpm / 2 horas / 60 ± 2°C) com a solução de MgO 0,3 mol.L⁻¹, na proporção de 1:1 v v⁻¹, seguido da adição de 10 gotas de hidróxido de amônia (NH₄OH), para promover as etapas de redução e nucleação. Após, o precipitado formado seco (90°C/ 48h) e calcinado (400°C / 2 horas), para a etapa de estabilização.

2.3 TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO

A difração de raios X (DRX) foi utilizada para avaliar as fases cristalinas em um difratômetro Bruker (D2 Advance) com $\lambda_{Cu-\alpha} = 0,15417$ nm, variando o ângulo de Bragg de 5° a 70° e determinado o tamanho médio de cristalito (d_c), por meio da Equação de Scherrer (Eq. 1) (Silva *et al.*, 2007).

$$d_c = \frac{0,94 * \lambda_{Cu-\alpha}}{\beta * \cos(\theta)} \quad (1)$$

Onde: θ é o ângulo de difração ($^\circ$) e β é a largura total na metade do máximo do pico (FWHM).

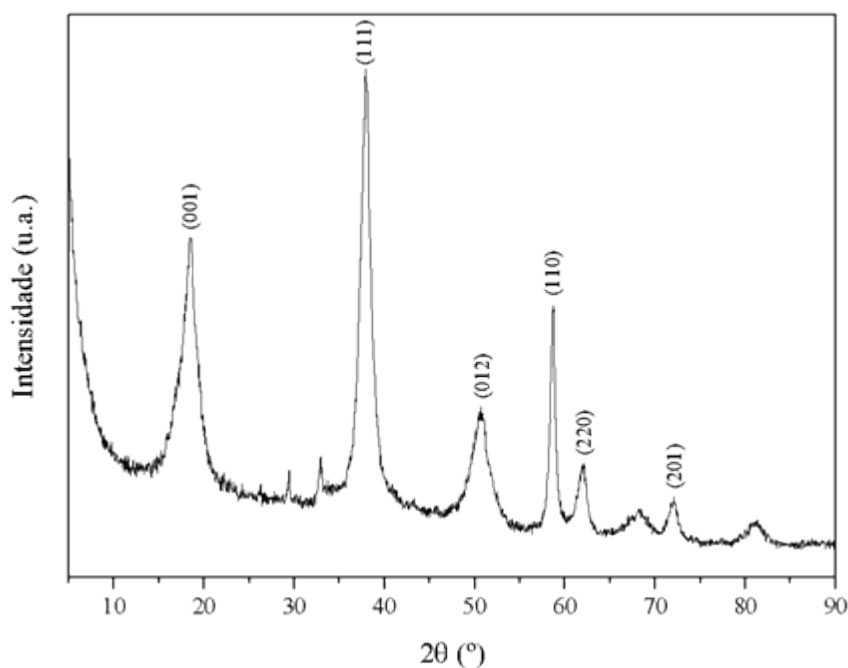
As propriedades texturais foram determinadas pela porosimetria de N_2 (BET e BJH) em um Sistema de Área de Superfície Acelerada e Porosimetria ASAP 2020. O Microscópio Eletrônico de Varredura de Emissão de Campo TESCAN MIRA3 foi usado para avaliar propriedades morfológicas, com uma magnificação de 25kx. O sistema de detecção Oxford EDX foi usado para verificar a composição elementar, acoplado ao microscópio eletrônico

A espectroscopia de infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) foi utilizada para identificação dos grupos funcionais em um espectrômetro PerkinElmer Frontier, no modo de transmissão, variando de 4000 e 450 cm^{-1} com 45 varreduras e resolução.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta o difratograma de DRX das MgO-NPs biogênicas preparadas a partir do extrato de açaí, apresentando um estrutura cristalina hexagonal do hidróxido de magnésio, com picos característicos $18,47$ (001), $37,86$ (111), $50,68$ (012); $58,63$ (110), $61,92$ (220) e $72,10$ (201) (JCPDS nº 00-045-0946) (Sathyamoorthy, 2011). Além disso, o tamanho médio de cristalito foi de $56,39 \pm 1.2$ nm, indo ao encontro de reportado na literatura (Zahir *et al.*, 2019).

Figura 1. Difratograma de DRX das MgO-NPs obtidas a partir do extrato de açaí.

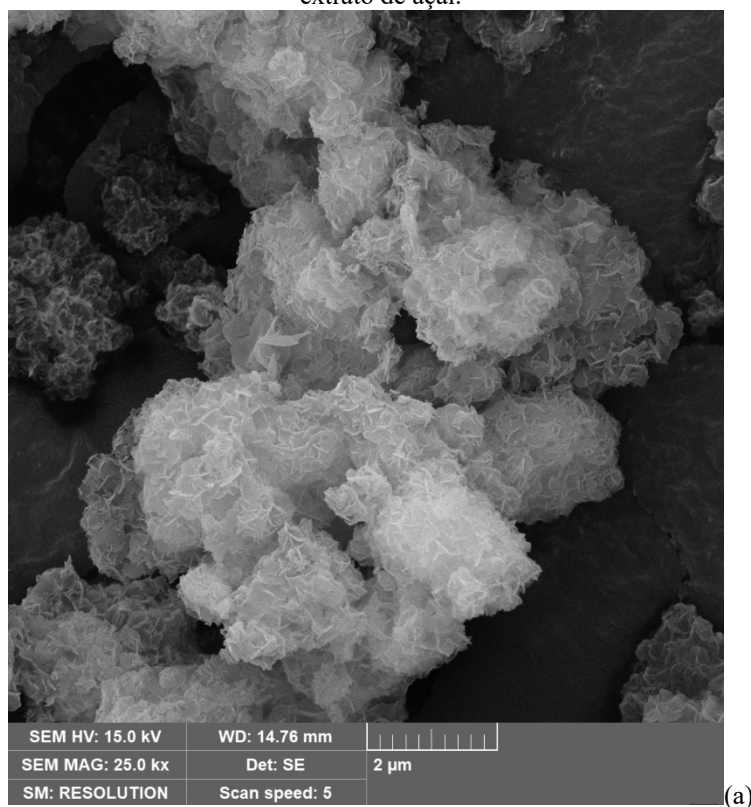


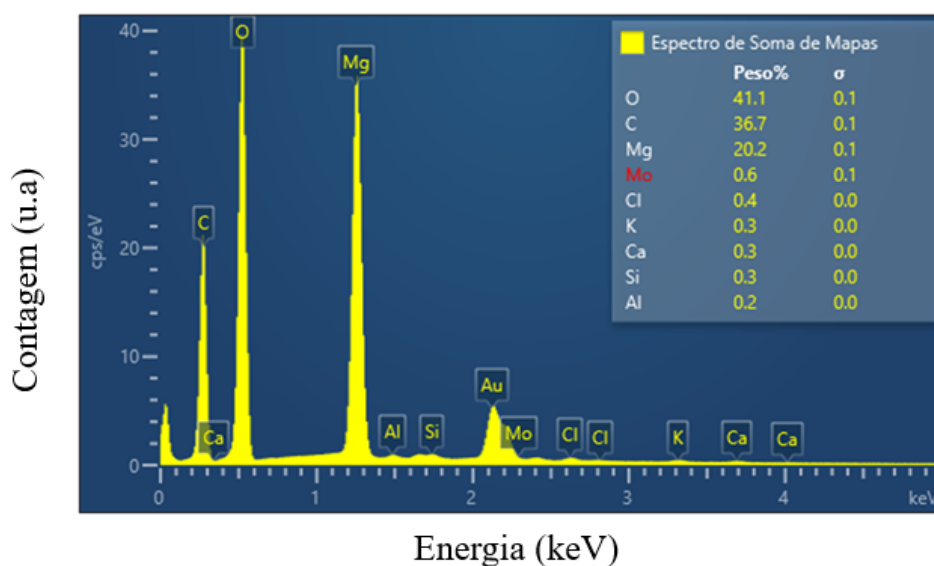
Fonte: Construção da autora (2025).

A Figura 2 apresenta as micrografias eletrônica de varredura e composição elementar por EDS, onde as MgO-NPs apresentaram uma morfologia arredondada, com pequenos clusters, em virtude da exposição em altas temperaturas, neste caso o processo de calcinação à 400°C (Zahir *et al.*, 2019) (Figura 2a). Sobre a composição elementar (Figura 2b), as MgO-NPs biogênicas apresentam majoritariamente a presença de oxigênio (41,4% em massa), carbono (36,7% em massa) e magnésio (20,2% em massa), confirmando a efetividade do processo de biossíntese e a presença de nanopartículas de óxido de magnésio.

Destaca-se que a morfologia das NPS é um aspecto determinante para sua citotoxicidade, pois uma vez possuindo caráter pontiagudo, por exemplo, em contato com células poderia rompê-las, aumentando a citotoxicidade (Xie, 2024). Neste sentido, as NPs produzidas, a partir do quesito morfologia, podem ser consideradas seguras. Entretanto, a toxicidade de nanomateriais não está relacionada somente ao aspecto estrutural, mas também ao tempo de exposição, área de contato e concentração (Bain *et al.*, 2024), o que então preconiza a avaliação do perfil de segurança, em linhagens celulares por exemplo, para determinação mais fidedigna de segurança e não citotoxicidade.

Figura 2. (a) Micrografias eletrônica de alta resolução e (b) resultados de EDS das MgO-NPs obtidas a partir do extrato de açaí.



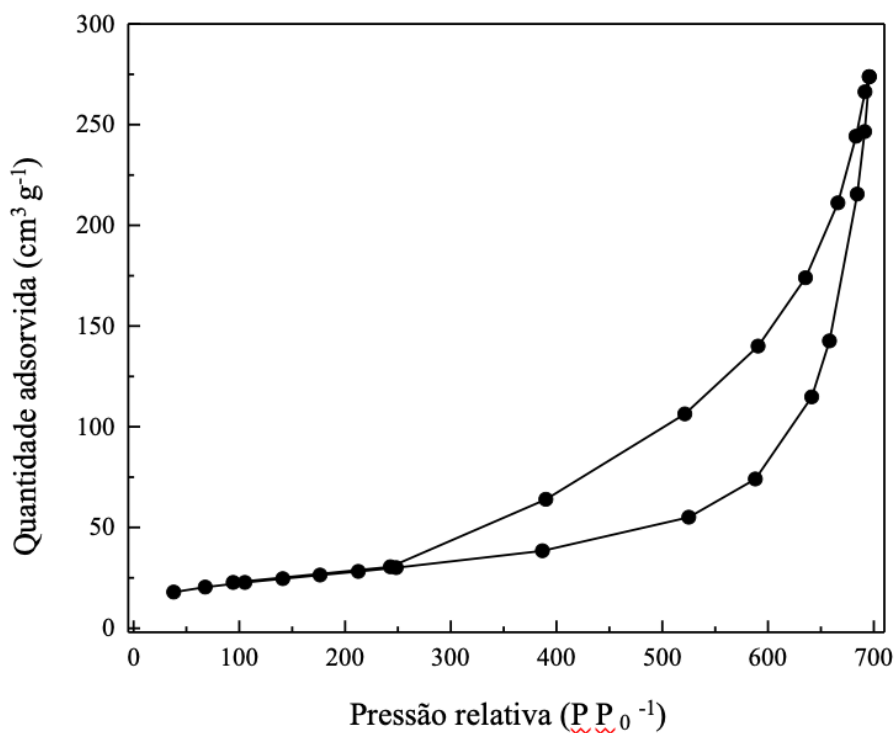


(b)

Fonte: Construção da autora (2025).

A Figura 3 apresenta as isotermas de adsorção/dessorção de N_2 para avaliar as propriedades texturais das MgO-NPs, onde apresentaram uma área superficial de $88 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1} \pm 1$ e volume de poros de $0,42 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1} \pm 0,02$. Assim, apresentaram uma isoterma do tipo IV com histerese H2(b) (Sing *et al.*, 1985), característico de um material mesoporo com a estrutura dos poros mais complexa (Thommes *et al.*, 2015). MgO-NPs desenvolvidos por Li (2019) também apresentaram isoterma do tipo IV com histerese H2, sendo então recorrente esta característica neste tipo de material.

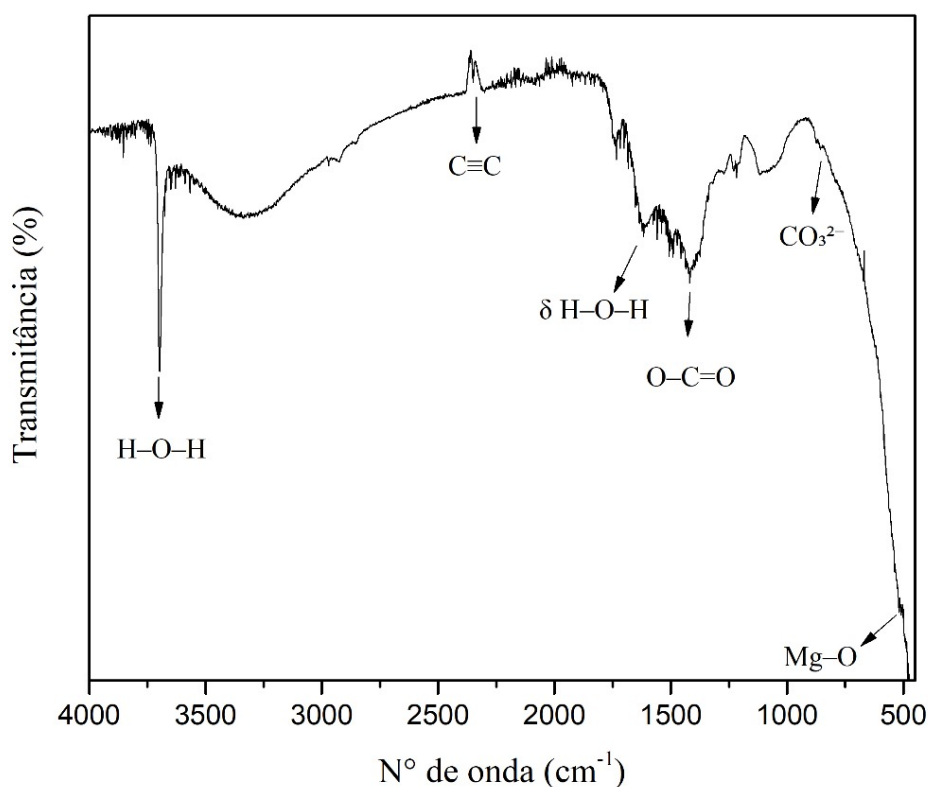
Figura 3. Isotermas de adsorção/dessorção de N_2 das MgO-NPs obtidas a partir do extrato de açaí.



Fonte: Construção da autora (2025).

A Figura 4 apresenta o espectro de FTIR, onde foram identificados os seguintes grupos funcionais e estiramentos: (i) em 3697 cm^{-1} e 1616 cm^{-1} : o que juntamente com a flexão de água ($\delta\text{ H-OH}$) relacionado com água e grupamentos hidroxilas superficiais oriundas da água adsorvida (Zahir *et al.*, 2019); (ii) em 1418 cm^{-1} : grupamentos O-C=O , provavelmente oriundos de impurezas dos precursores utilizados na síntese e este mesmo padrão também foi observado por Zahir *et al.* (2019); (iii) em 856 cm^{-1} : estiramento relacionado ao carbonato CO_3^{2-} , sendo característico da carbonatação de MgO e são comuns quando o carbonato está ligado à superfície (mono/bidentado) ou quando o material é nanoestruturado (Choi *et al.*, 2013) e (iv) 517 cm^{-1} : estiramento característico da ligação Mg-O (Sagadevan *et al.*, 2020).

Figura 4. Espectro de FTIR das MgO -NPs obtidas a partir do extrato de açaí.



Fonte: Construção da autora (2025).

CONCLUSÃO

Após os resultados obtidos, conclui-se que a obtenção das nanopartículas a partir do extrato de açaí, ocorreu com êxito. A partir disso, há uma perspectiva de sua utilização para fins terapêuticos às doenças neuronais, visando o perfil antioxidante e biocompatível de MgO -NPs. Entretanto, deve-se previamente realizar estudos *in vitro* de citotoxicidade, como o perfil de segurança em linhagens celulares e posterior ensaios *in vivo*, pois a determinação da nanotoxicidade é de extrema importância.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Franciscana e ao Programa de Pós-Graduação em Nanociências pela infraestrutura para desenvolvimento do trabalho. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) (24/2551-0001295-8).

REFERÊNCIAS

- ALLEN, T. M.; CULLIS, P. R. Liposomal drug delivery systems: From concept to clinical applications. **Adv. Drug Deliv. Rev.**, v.65, p. 36-48, 2013.
- ANDREAZZA, A. C. *et al.* Mitochondrial complex I activity and oxidative damage to mitochondrial proteins in the pré-frontal cortex of patients with bipolar disorder. **Arch. Gen. Psychiatry**, v. 67, p. 360-368, 2010.
- AMMULU, M. A. *et al.* Phytoassisted synthesis of magnesium oxide nanoparticles from *Pterocarpus marsupium* rox.b heartwood extract and its biomedical applications. **J. Gen. Eng. Biotech**, v.19, p. 21, 2021.
- BAIN, A. *et al.* Toxicity of nanomaterials. In: TEKADE, R. K. Public Health and Toxicology Issues in Drug Research Volume 2: Toxicity and Toxicodynamics. Academic Press, 2024. p. 679-706.
- BULBAKE, U. *et al.* Liposomal Formulations in Clinical Use: An Updated Review. **Pharmaceuticals**, v. 9, n. 2. p. 12-45, 2017.
- BUZEA, C.; PACHECO, I. I.; ROBBIE, K. Nanomaterials and nanoparticles: sources and toxicity. **Biointerphases**, v. 2, n. 4, p. 17-71, 2007.
- CHENG, T. *et al.* Toxicologic Concerns with Current Medical Nanoparticles. **Int. J. Mol. Sci.**, v. 23, n. 14, p.7597-7619, 2022.
- CHOI, S. B. *et al.* Growth Mechanism of Cubic MgO Granule via Common Ion Effect. **J. Nanosci. Nanotechnol.**v. 13, n. 11, p. 7577-7580, 2013.
- DAVIDSON, C. B. *et al.* Potencial anti-inflamatório do extrato de *Euterpe oleracea* Mart. em células pulmonares ativadas. **Disciplinarum Scientia**, v. 23, p. 1-12, 2022.
- DAVIDSON, C. B. *et al.* Euterpe oleracea Mart. Bioactive Molecules: Promising Agents to Modulate the NLRP3 Inflammasome. **Biology**, v.13, n. 9, p. 729-760, 2024.
- DE SOUZA, D. V. *et al.* Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) presents anti- neuroinflammatory capacity in LPS-activated microglia cells. **Nutr. Neurosci**, v. 25, p.1188-1199, 2020.
- FAHMY, H. M. *et al.* Review on MgO Nanoparticles Multifunctional Role in the Biomedical Field: Properties and Applications. **Nanomed J.**, v. 9, n. 1, p. 1–14, 2022.
- KONG, Y. *et al.* Novel Green Synthesis, Chemical Characterization, Toxicity, Colorectal Carcinoma, Antioxidant, Anti-Diabetic, and Anticholinergic Properties of Silver Nanoparticles: A Chemopharmacological Study. **Arab. J. Chem**, v. 14, p. 103193-103202, 2021.
- LI, S. Combustion synthesis of porous MgO and its adsorption properties. **Int. J. Ind. Chem.**, v. 10, p. 89-96, 2019.
- LIU, Y.; BRAVO, K. M. C.; LIU, J. Targeted liposomal drug delivery: a nanoscience and biophysical perspective. **Nanoscale Horiz**, v. 6, p. 78-94, 2020.
- MACHADO, A. K. *et al.* Neuroprotective Effects of Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) against Rotenone In Vitro Exposure. **Oxid. Med. Cell. Longev**, v. 2016. p. 1-14, 2016.
- MAZAHARI, N. *et al.* In vivo Toxicity Investigation of Magnesium Oxide Nanoparticles in Rat for Environmental and Biomedical Applications. **Iran J. Biotechnol**, v. 17, p. 1-9, 2019.

MENGESHA, W. G.; MEKONNEN, C. S.; TESFAW, A. F. Advancements of Nanomaterials for Diagnostic Imaging, Radiotherapy and Nuclear Medicine. In: Sphaier, h. ionizing radioation – insights into chemistry, biology and applications. 1. ed, 2024.

MEKUYE, B; ABERA, B. Nanomaterials: An overview of synthesis, classification, characterization, and applications. **Nano Select**, v.4 p. 486-501, 2023.

MELO, C. P.; PIMENTA, M. A. Nanociências e nanotecnologia. **Parcerias Estratég.**, v. 18, p. 9-21, 2004.

PATIL, V. L.; RANE, B. R.; JAIN, A. S. Nanocarrier Breakthroughs: Revolutionizing Cancer Treatment with Nanotechnology. **Curr. Smart Mater.**, v. 10, p. 397-423, 2025.

RIAZ, A. *et al.* Targeted drug delivery via nanoparticles for cancer treatment. **Int. J. Sci. Res. Arch.**, v. 13, n. 2, p. 1777-1796, 2024.

SABERI, A.; BALATU, M. S.; VIZUREANU, P. Recent Advances in Magnesium–Magnesium Oxide Nanoparticle Composites for Biomedical Applications. **J. Bioeng**, v.11, n.5, p. 508-525, 2024.

SAGADEVAN, S. *et al.* Effect of Synthesis Temperature on the Morphologies, Optical and Electrical Properties of MgO Nanostructures. **J. Nanosci. Nanotechnol**, v. 20, n. 4, p. 2488-2494, 2020.

SATHYAMOORTHY, R. Preparation and characterization of Mgo nanoflakes by wet precipitation method, 2011.

SENTHILKUMAR, N. *et al.* Synthesis of ZnO nanoparticles using leaf extract of *Tectona grandis* (L.) and their anti-bacterial, anti-arthritis, anti-oxidant and in vitro cytotoxicity activities. **New J. Chem**, v. 41, p. 10347-10356, 2017.

SELVAKUMAR, P. *et al.* Application of Nanotechnology on Medicine and Biomedical Engineering. In: ERISEN, D. E.; ULUDAG, K.; AHMAD, N. (org). Nanomaterials and nervous system. 1. ed. IGI Global Scientific Publishing, 2024. p. 195-210.

SIBUYI, N. R. S. *et al.* Green synthesis of gold nanoparticles using Acai berry and Elderberry extracts and investigation of their effect on prostate and pancreatic cancer cells. **Nanobiomedicine**, v. 8, 2021.

SILVA, C.C. *et al.* Crystallite size study of nanocrystalline hydroxyapatite and ceramic system with titanium oxide obtained by dry Ball milling. **Journal of Materials Science**, v. 42, p. 3851-3855, 2007.

SHAHID, S. *et al.* The Anti-Inflammatory and Free Radical Scavenging Activities of Bio-Inspired Nano Magnesium Oxide. **Front. Mater.**, v. 9, p. 875163 – 875173, 2022.

SHNOUDEH, A. J. *et al.* Synthesis, characterization, and applications of metal nanoparticles. In: Tekade, R. K (org). Biomaterials and Bionanotechnology. 1. ed. Academic Press, 2019, p. 527-612.

PERIAKARUPPAN, R.; NAVEEN, V.; DANARAJ, J. Green Synthesis of Magnesium Oxide Nanoparticles with Antioxidant Potential Using the Leaf Extract of *Piper nigrum*. **JOM**, v. 74, p. 4817- 4822, 2022.

XIA, Y. *et al.* Shape-controlled synthesis of metal nanocrystals: simple chemistry meets complex physics? **Angew. Chem. Int. Ed**, v.103, p. 48-60, 2009.

XIE, Q. *et al.* Mass Spectrometry Imaging Reveals the Morphology-Dependent Toxicological Effects of Nanosilvers on Multiple Organs of Adult Zebrafish (*Danio rerio*). **Environ. Sci. Technol**, v. 59, 2024.

ZAHIR, M. H. *et al.* Shape-Stabilized Phase Change Materials for Solar Energy Storage: MgO and Mg(OH)₂ Mixed with Polyethylene Glycol. **Nanomaterials**, v. 9, n. 12, p. 1773-1794, 2019.

Este trabalho de acesso aberto está licenciado sob Creative Commons - Atribuição (CC BY 4.0).