EFEITO DO EXTRATO DE CAMBUCI (*CAMPOMANESIA PHAEA*) NA DISPERSÃO COLOIDAL DE NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE FERRO

Autores: Julia Genezini Lacerda, Giulia Capizzani Gonçalves, Aveline Ventura, Leandro Raniero.

[1]Universidade do Vale do Paraíba/Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova - 12244-000 - São José dos Campos-SP, Brasil, genzinijulia@gmail.com, giulia.engquimica@gmail.com, Aveline.biomed@gmail.com, lraniero@univap.br.

Resumo

As nanopartículas de óxido de ferro (IONPs) apresentam propriedades de interesse para diferentes aplicações, porém sua tendência à agregação pode comprometer a estabilidade das suspensões. Neste estudo, avaliou-se o extrato de Cambuci (*Campomanesia phaea*) como agente estabilizante natural de IONPs. As nanopartículas foram sintetizadas pelo método de coprecipitação química e posteriormente tratadas com o extrato de Cambuci. As amostras foram caracterizadas por espalhamento dinâmico de luz (DLS), potencial zeta e espectroscopia de absorção UV-visível. As IONPs não tratadas apresentaram Z-Average de 1.649 nm e potencial zeta de −8,50 ± 6,88 mV, indicando a presença de agregados e baixa estabilidade coloidal. Após o tratamento com o extrato e a aplicação das condições de dispersão, o Z-Average foi reduzido para 184,2 nm e o potencial zeta atingiu −41,0 ± 6,09 mV, indicando melhora da dispersão e da estabilidade eletrostática. A análise por UV-visível evidenciou diferenças entre os perfis ópticos das IONPs não tratadas, das IONPs@Cambuci e do sobrenadante do extrato. Os resultados indicam que o tratamento empregado reduziu a agregação das IONPs e que o extrato de Cambuci apresenta potencial como agente natural para auxiliar em sua estabilização. Entretanto, avaliações ao longo do tempo são necessárias para confirmar a estabilidade das suspensões.

Palavras-chave: IONPs. Cambuci. Nanotecnologia. Estabilidade Coloidal.

Área do Conhecimento: ciências exatas e da terra, química.

Introdução

A nanotecnologia é uma área da ciência e da engenharia dedicada ao desenvolvimento e à manipulação de materiais em escala nanométrica, geralmente entre 1 e 100 nm. Nessa escala, os materiais podem apresentar propriedades físico-químicas distintas das observadas em dimensões maiores, devido, entre outros fatores, à elevada razão entre área superficial e volume. Essas características tornam os nanomateriais relevantes para diferentes setores, incluindo indústria, meio ambiente, energia, agricultura e saúde (Priya et al., 2021; Poh Yan et al., 2022).

Entre os nanomateriais estudados, as nanopartículas de óxido de ferro destacam-se por suas propriedades magnéticas e pela possibilidade de modificação superficial. Essas características favorecem sua utilização na adsorção e remoção de contaminantes, no tratamento de água, em processos catalíticos, sensores e aplicações biomédicas. Além disso, a separação das partículas por meio de um campo magnético representa uma vantagem em processos que exigem sua recuperação do meio (Priya et al., 2021; Guo et al., 2023). Apesar dessas propriedades, as nanopartículas de óxido de ferro apresentam tendência à agregação devido às interações entre as partículas e às características de sua superfície. A formação de agregados pode aumentar o diâmetro hidrodinâmico e comprometer o comportamento coloidal da suspensão. Dessa forma, o emprego de agentes de recobrimento ou estabilização constitui uma estratégia para melhorar a dispersão e preservar as propriedades das nanopartículas (Schwan et al., 2023).

Nesse contexto, o Cambuci (*Campomanesia phaea*), fruto nativo da Mata Atlântica brasileira, apresenta compostos fenólicos, incluindo polifenóis e elagitaninos, além de atividade antioxidante. Esses compostos possuem grupos funcionais que podem interagir com a superfície das nanopartículas, justificando a investigação do extrato de Cambuci como possível agente estabilizante (Donado-Pestana et al., 2021; Silva, 2022). Sua utilização também pode contribuir para a valorização de um recurso

vegetal nativo e para o desenvolvimento de estratégias mais sustentáveis de preparação de nanomateriais.

Embora diferentes extratos vegetais sejam investigados na síntese e na estabilização de nanopartículas, as variações na composição química de cada fonte natural podem resultar em diferentes interações com a superfície dos materiais. Assim, é necessário avaliar individualmente cada sistema, considerando tanto a composição do extrato quanto as características das nanopartículas (Poh Yan et al., 2022; Khatiwara et al., 2023). Este trabalho teve como objetivo avaliar o extrato de Cambuci como agente estabilizante de nanopartículas de óxido de ferro. O comportamento coloidal das amostras foi investigado por espalhamento dinâmico de luz, potencial zeta e espectroscopia de absorção UV-visível.

Metodologia

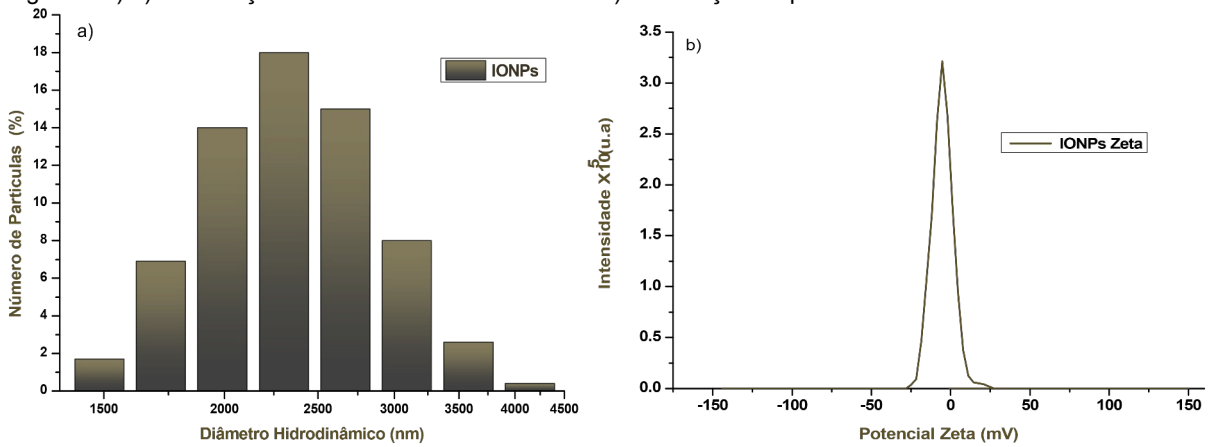
As nanopartículas de óxido de ferro foram sintetizadas pelo método de coprecipitação química conforme descrito por Massart (1981). Inicialmente, a água ultra pura foi desoxigenada por 30 minutos de borbulhamento de Nitrogênio. Em seguida, prepararam-se separadamente soluções contendo 10,81g de cloreto de ferro (II) tetra hidratado ($FeCl_2 \cdot 4H_2O$, Sigma-Aldrich) e 3,98g de cloreto de ferro (III) hexahidratado ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$, Sigma-Aldrich), mantendo-se a razão molar Fe^{2+}/Fe^{3+} de 1:2. Após 20 minutos de sonicação por banho ultrassônico e nova desoxigenação de cada solução de ferro por 5 minutos, as soluções foram misturadas sob agitação mecânica a 250rpm e 75°C e atmosfera de N_2. A precipitação foi realizada pela adição de 35 mL de Hidróxido de amônio (NH_4OH), mantendo-se o pH entre 8 e 9 e a temperatura de 85 °C por 1 h. Após o resfriamento, as nanopartículas foram separadas magneticamente e purificadas com metanol e água ultrapura em três ciclos seguidos, utilizando o mesmo procedimento de separação magnética.

O Procedimento de estabilização com extrato de Cambuci se deu por meio da utilização preparado com base no procedimento descrito por Eldeeb et al. (2023), com adaptações. Para isso, 23,113 g do fruto foram triturados em 100 mL de água ultrapura. Após a filtração, foram obtidos aproximadamente 25 mL de extrato, aos quais foi adicionado 1000 µL de nanopartículas de óxido de ferro em solução. A mistura foi mantida sob agitação magnética a aproximadamente 100 °C durante 15 minutos. Em seguida, a suspensão foi submetida à sonicação em banho durante 5 min e à sonicação por sonda durante 60 min, com o objetivo de favorecer a dispersão das partículas. Posteriormente, as nanopartículas foram separadas magneticamente e submetidas a três ciclos de lavagem com metanol e água ultrapura. Por fim, foram ressuspensas em 5 mL de água ultrapura e o pH foi ajustado de 5 para 10, utilizando NaOH 0,1 M, antes da caracterização.

Resultados

Inicialmente, as nanopartículas de óxido de ferro foram caracterizadas por espalhamento dinâmico de luz (Figura 1a) e potencial zeta (Figura 1b), sendo referência para as demais amostras tratadas com o extrato de Cambuci.

Figura 1-a) a) Distribuição do diâmetro hidrodinâmico e b) distribuição do potencial zeta das IONPs não tratadas.

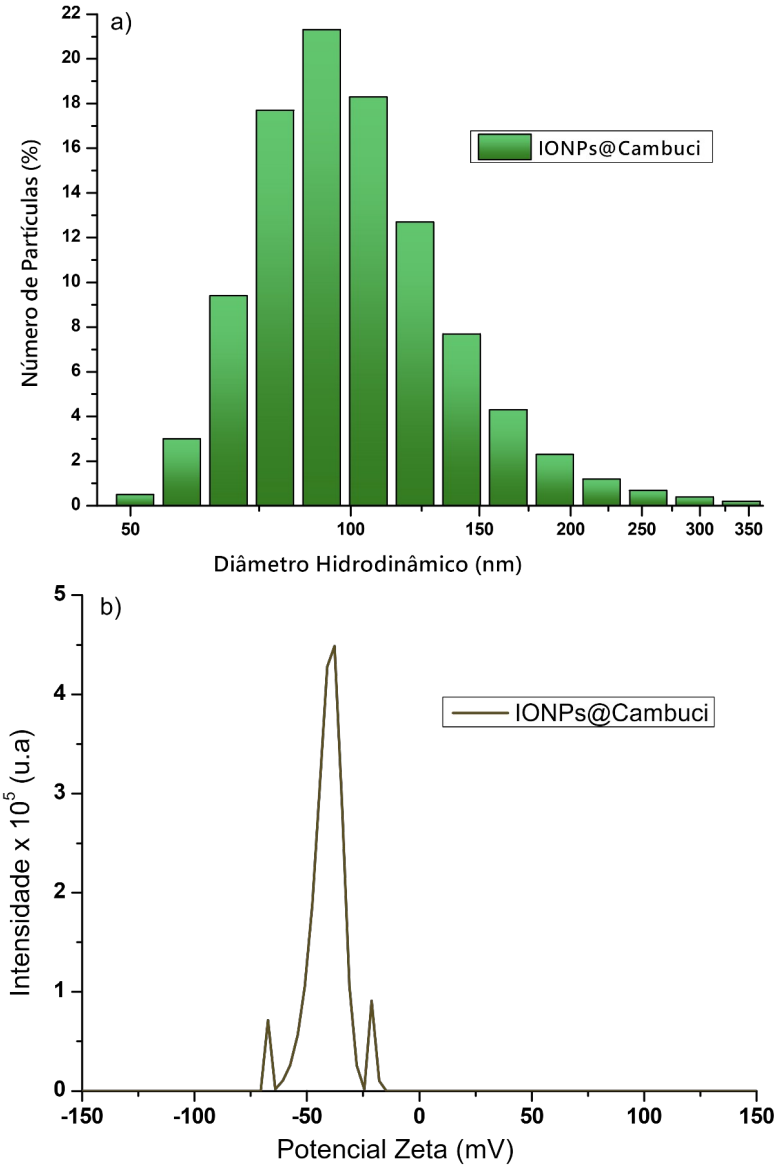


Fonte: Os autores (2026)

A distribuição do diâmetro hidrodinâmico apresentou valores entre aproximadamente 1.500 e 4.000 nm, com maior frequência na faixa de 2.000 a 3.000 nm (Figura 1a). O diâmetro hidrodinâmico médio (Z-Average) foi de 1.649 nm, com índice de polidispersidade (PDI) de 0,151. Para essa amostra, foi obtido um potencial zeta médio de −8,50 ± 6,88 mV (Figura 1b).

Após o tratamento com o extrato de Cambuci, as nanopartículas de óxido de ferro (IONPs@Cambuci) apresentaram redução do diâmetro hidrodinâmico em comparação às IONPs não tratadas, conforme apresentado na (Figura 2). A distribuição obtida por DLS concentrou-se predominantemente abaixo de 200 nm, com Z-Average de 184,2 nm e PDI de 0,192, indicando uma distribuição mais uniforme. O potencial zeta foi de −41,0 ± 6,09 mV (Figura 2b), enquanto a condutividade foi de 0,331 $mS \cdot cm^{-1}$. O potencial zeta negativo indica a presença de carga superficial negativa, cuja maior magnitude favorece a repulsão eletrostática entre as partículas. Em conjunto, os resultados de DLS e potencial zeta indicam que o tratamento com o extrato de Cambuci, associado às condições de dispersão empregadas, modificou o comportamento coloidal das IONPs e contribuiu para sua estabilização em meio aquoso.

Figura 2- a) Distribuição do diâmetro hidrodinâmico e b) distribuição do potencial zeta das IONPs@Cambuci.



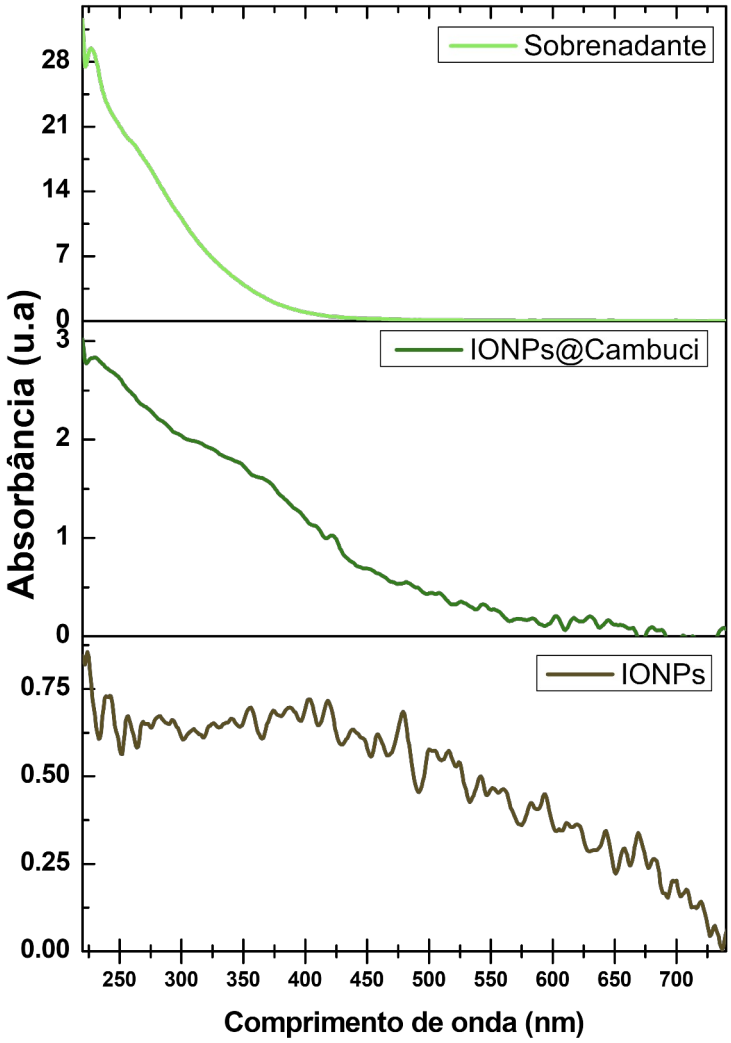
Fonte: Os autores (2026)

A análise por espectroscopia UV-visível permitiu comparar o comportamento óptico das IONPs, das IONPs tratadas com extrato de Cambuci (IONPs@Cambuci) e do sobrenadante do extrato (Figura 3). O sobrenadante apresentou a maior absorbância entre as três amostras, com valor próximo a 30 na região de 230 nm. Em seguida, observou-se redução contínua da absorbância com o aumento do comprimento de onda, atingindo valores próximos de zero a partir de aproximadamente 450 nm.

As IONPs@Cambuci apresentaram absorbância próxima a 3,0 na região de 230 nm, seguida por redução gradual ao longo do espectro, mais acentuada entre aproximadamente 350 e 450 nm. As IONPs não tratadas apresentaram menor absorbância, próxima a 0,7 na região de 230 nm, com oscilações ao longo do espectro e redução gradual em maiores comprimentos de onda.

De modo geral, as três amostras apresentaram maior absorbância na região do ultravioleta e redução do sinal com o aumento do comprimento de onda. As IONPs@Cambuci apresentaram maior absorbância que as IONPs não tratadas em praticamente toda a faixa analisada, enquanto o sobrenadante apresentou a maior intensidade entre as amostras avaliadas.

Figura 3- Espectros de absorção UV-visível das IONPs não tratadas, das IONPs@Cambuci e do sobrenadante do extrato.



Fonte: Os autores (2026)

Discussão

As IONPs não tratadas apresentaram Z-Average de 1.649 nm e potencial zeta de −8,50 ± 6,88 mV. O elevado diâmetro hidrodinâmico indica a presença de estruturas agregadas na suspensão, enquanto a baixa magnitude do potencial zeta sugere reduzida repulsão eletrostática entre as partículas e baixa estabilidade coloidal nas condições analisadas (Rodriguez-Loya *et al*., 2024; Abdullah *et al*., 2023). Após o tratamento com o extrato de Cambuci e a aplicação das condições de dispersão, o Z-Average foi reduzido para 184,2 nm, com PDI de 0,192. Essa redução indica a diminuição dos agregados e a melhora da dispersão das nanopartículas, mas não representa uma redução do tamanho físico dos núcleos de óxido de ferro. Isso ocorre porque o DLS determina o diâmetro hidrodinâmico das estruturas presentes na suspensão, incluindo partículas individuais, agregados e moléculas associadas à superfície.

O potencial zeta das IONPs@Cambuci foi de −41,0 ± 6,09 mV, indicando aumento da carga superficial negativa em comparação às IONPs não tratadas. A maior magnitude do potencial zeta favorece a repulsão eletrostática entre as partículas e, consequentemente, contribui para a manutenção da dispersão. Esse comportamento pode estar relacionado à adsorção de compostos do extrato na superfície das IONPs. O Cambuci contém compostos fenólicos com grupos funcionais que podem interagir com a superfície do óxido de ferro e conferir carga negativa ao sistema (Uwaya et al., 2020). Entretanto, a melhora observada não deve ser atribuída exclusivamente ao extrato de Cambuci, pois a suspensão também foi submetida à sonicação e ao ajuste de pH. Entretanto, a melhora observada não deve ser atribuída exclusivamente ao extrato de Cambuci, pois a suspensão também foi submetida à sonicação e ao ajuste de pH. A sonicação pode favorecer a desagregação e a homogeneização das partículas, enquanto o pH influencia as características superficiais e o potencial zeta das IONPs (Abdullah *et al*., 2023). Dessa forma, os resultados refletem o efeito conjunto do tratamento com o extrato e das condições de dispersão empregadas.

A análise por espectroscopia UV-visível complementou a caracterização das amostras. O sobrenadante apresentou maior absorbância na região do ultravioleta, atribuída aos componentes do extrato que permaneceram no meio. As IONPs@Cambuci apresentaram absorbância superior às IONPs não tratadas em grande parte da faixa analisada, evidenciando uma modificação no comportamento óptico da suspensão após o tratamento. Entretanto, essa diferença não comprova isoladamente a ligação dos componentes do extrato à superfície das nanopartículas. Análises complementares, como a espectroscopia FTIR, seriam necessárias para identificar os grupos funcionais envolvidos e fornecer evidências da interação entre o extrato e as IONPs.

Em conjunto, a redução do diâmetro hidrodinâmico e o aumento da magnitude do potencial zeta indicam melhora da dispersão e da estabilidade eletrostática das IONPs nas condições avaliadas. Apesar dos resultados promissores, a estabilidade ao longo do tempo ainda deve ser investigada, assim como a morfologia e o tamanho dos núcleos por microscopia eletrônica de transmissão. Essas análises permitirão avaliar se a dispersão obtida é mantida durante o armazenamento e confirmar as características das nanopartículas tratadas.

Conclusão

Os resultados demonstraram que as IONPs não tratadas apresentaram elevada agregação e baixa estabilidade coloidal. Após o tratamento com extrato de Cambuci e a aplicação das condições de dispersão, observou-se redução do diâmetro hidrodinâmico e aumento da magnitude do potencial zeta, indicando melhora da dispersão e da estabilidade eletrostática das nanopartículas. A análise por UV-visível complementou a caracterização, evidenciando diferenças entre as IONPs não tratadas, as IONPs@Cambuci e o sobrenadante. Dessa forma, o extrato de Cambuci apresentou potencial como agente natural para auxiliar na estabilização de nanopartículas de óxido de ferro. Entretanto, análises ao longo do tempo são necessárias para confirmar a estabilidade das suspensões.

Referências

ABDULLAH, J. A. A.; DÍAZ-GARCÍA, Á.; LAW, J. Y.; ROMERO, A.; FRANCO, V.; GUERRERO, A. Sustainable nanomagnetism: investigating the influence of green synthesis and pH on iron oxide nanoparticles for enhanced biomedical applications. *Polymers*, v. 15, n. 18, 3850, 2023. DOI: 10.3390/polym15183850.

DONADO-PESTANA, C. M.; PESSOA, É. V. M.; RODRIGUES, L.; ROSSI, R. M.; MOURA, M. H. C.; SANTOS-DONADO, P. R.; CASTRO, É.; FESTUCCIA, W. T. L.; GENOVESE, M. I. Polyphenols of cambuci (*Campomanesia phaea* (O. Berg.)) fruit ameliorate insulin resistance and hepatic steatosis in obese mice. *Food Chemistry*, v. 340, 128169, 2021. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.128169.

ELDEEB, B. A.; EL-RAHEEM, W. M. A.; ELBELTAGI, S. Green synthesis of biocompatible Fe_3O_4 magnetic nanoparticles using *Citrus sinensis* peels extract for their biological activities and magnetic-hyperthermia applications. *Scientific Reports*, v. 13, 19000, 2023. DOI: 10.1038/s41598-023-46287-6.

GUO, Q. Y.; XU, C. C.; ZHANG, J. Z.; et al. Recent trends in preparation and biomedical applications of iron oxide nanoparticles. *Journal of Nanobiotechnology*, 2023. DOI: 10.1186/s12951-023-02235-0.
KHATIWARA, B.; SINGH, S.; SARANGI, S.; DAS, A.; DHAKAL, J.; CHAKRABORTY, P. Application of plant extracts for the synthesis of nanoparticles in green chemistry: a concise update. *Current Nanomaterials*, v. 8, n. 3, p. 224–232, 2023. DOI: 10.2174/2405461507666220531111906.

MASSART, R. Preparation of aqueous magnetic liquids in alkaline and acidic media. *IEEE Transactions on Magnetics*, v. 17, n. 2, p. 1247–1248, 1981. DOI: 10.1109/TMAG.1981.1061188.

POH YAN, L.; GOPINATH, S. C. B.; SUBRAMANIAM, S.; CHEN, Y.; VELUSAMY, P.; CHINNI, S. V.; GOBINATH, R.; LEBAKA, V. R. Greener synthesis of nanostructured iron oxide for medical and sustainable agro-environmental benefits. *Frontiers in Chemistry*, v. 10, 984218, 2022. DOI: 10.3389/fchem.2022.984218.

PRIYA, P.; NAVEEN, N. A.; KAUR, K.; SIDHU, A. K. Green synthesis: an eco-friendly route for the synthesis of iron oxide nanoparticles. *Frontiers in Nanotechnology*, v. 3, 655062, 2021. DOI: 10.3389/fnano.2021.655062.

RODRIGUEZ-LOYA, J.; LERMA, M.; GARDEA-TORRESDEY, J. L. Dynamic light scattering and its application to control nanoparticle aggregation in colloidal systems: a review. *Micromachines*, v. 15, n. 1, 24, 2024. DOI: 10.3390/mi15010024.

SCHWAN, J.; MARKERT, S.; ROSENFELDT, S.; SCHÜLER, D.; MICKOLEIT, F.; SCHENK, A. S. Comparing the colloidal stabilities of commercial and biogenic iron oxide nanoparticles that have potential in vitro/in vivo applications. *Molecules*, v. 28, n. 13, 4895, 2023. DOI: 10.3390/molecules28134895.

SILVA, R. R. e. Bioavailability of ellagitannins from cambuci (*Campomanesia phaea* Berg) in healthy and obese subjects. 2022. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022. DOI: 10.11606/D.9.2022.tde-29072022-205852. Disponível em: teses.usp.br. Acesso em: 27 ago. 2026.

UWAYA, G. E.; FAYEMI, O. E.; SHERIF, E.-S. M.; JUNAEDI, H.; EBENSO, E. E. Synthesis, electrochemical studies, and antimicrobial properties of Fe_3O_4 nanoparticles from *Callistemon viminalis* plant extracts. *Materials*, v. 13, n. 21, 4894, 2020. DOI: 10.3390/ma13214894.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo suporte financeiro concedido por meio da bolsa de doutorado, processo nº 140686/2026-6, e do projeto nº 302158/2022-7.