

RESSALVA

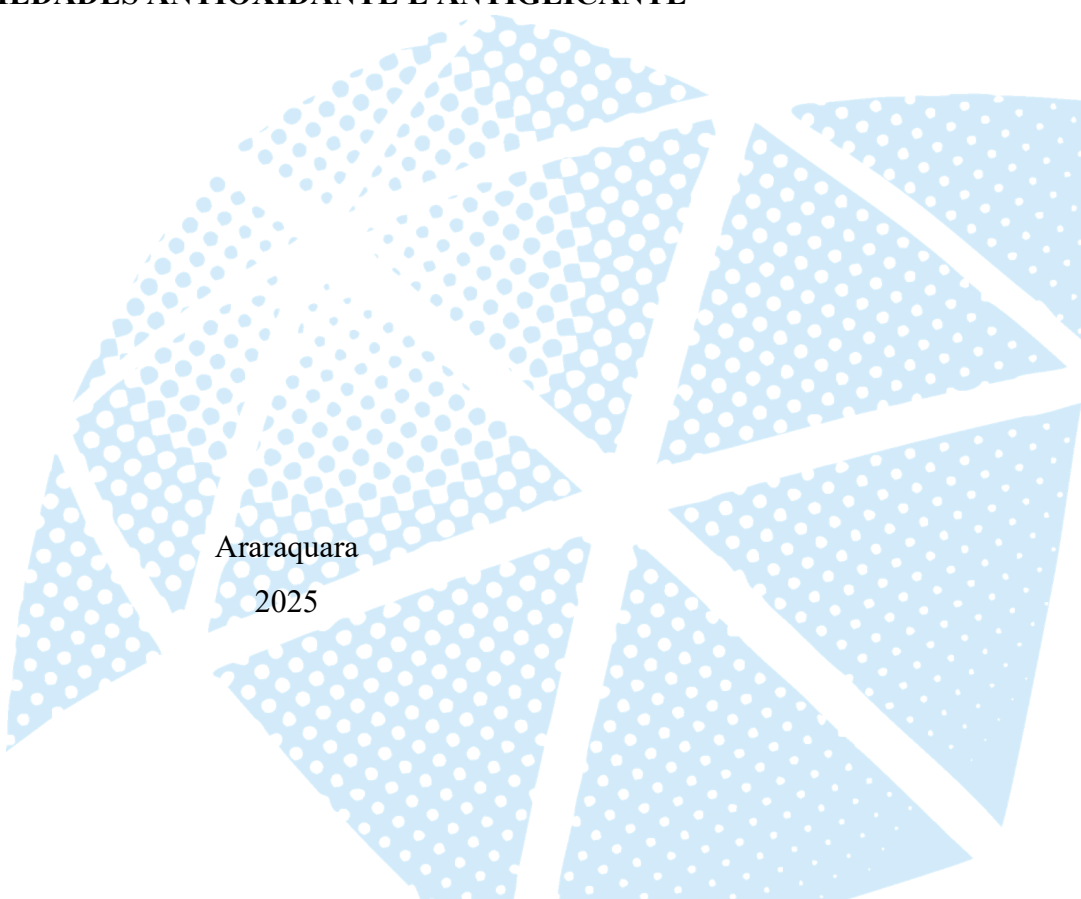
Atendendo solicitação do autor, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 30/01/2028.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
Instituto de Química - Câmpus de Araraquara

THAYNÁ SAYUMI DE SOUZA SHIMODA

**SÍNTESE VERDE DE NANOPARTÍCULAS MEDIADA POR EXTRATO
HIDROETANÓLICO DE *Turnera ulmifolia* L.: CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DAS
PROPRIEDADES ANTIOXIDANTE E ANTIGLICANTE**

Araraquara
2025



THAYNÁ SAYUMI DE SOUZA SHIMODA

**SÍNTESE VERDE DE NANOPARTÍCULAS MEDIADA POR EXTRATO
HIDROETANÓLICO DE *Turnera ulmifolia* L.: CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DAS
PROPRIEDADES ANTIOXIDANTE E ANTIGLICANTE**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Química, Araraquara, para obtenção do título de Mestra em Biotecnologia.

Área de Concentração: Biotecnologia

Orientador(a): Prof. Dr. Regildo Márcio Gonçalves da Silva

Araraquara

2025

S556s Shimoda, Thayná Sayumi de Souza
Síntese verde de nanopartículas mediada por extrato hidroetanólico de *Turnera ulmifolia* L.: caracterização e avaliação das propriedades antioxidante e antiglicante / Thayná Sayumi de Souza Shimoda. -- Araraquara, 2026
68 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Química, Araraquara
Orientador: Regildo Márcio Gonçalves da Silva

1. biotecnologia. 2. flavonoides. 3. radicais livres. 4. compostos bioativos. 5. polifenóis. I. Título.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

A pesquisa promove síntese verde sustentável de nanopartículas, com inovação científica e potencial técnico, social e econômico. Valoriza *Turnera ulmifolia*, planta daninha abundante, fortalecendo inserção local e nacional, internacionalização do conhecimento e desenvolvimento sustentável em saúde e biotecnologia.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The research promotes the sustainable green synthesis of nanoparticles, with scientific innovations and technical potential, social and economic. It adds values to *Turnera ulmifolia*, an abundant weed, strengthening local and national engagement, internationalization of knowledge and sustainable development in health and biotechnology

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: "Síntese verde de nanopartículas mediada por extrato hidroetanólico de *Turnera ulmifolia* L.: caracterização e avaliação das propriedades antioxidante e antiglicante"

AUTORA: THAYNÁ SAYUMI DE SOUZA SHIMODA

ORIENTADOR: REGILDO MÁRCIO GONÇALVES DA SILVA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Biotecnologia, pela Comissão Examinadora:

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Biotecnologia, pela Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 REGILDO MÁRCIO GONÇALVES DA SILVA
Data: 02/02/2026 13:26:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. REGILDO MÁRCIO GONÇALVES DA SILVA (Participação Virtual)
Departamento de Biotecnologia / UNESP / Câmpus de Assis - FCLAS

Documento assinado digitalmente
 LEVI POMPERMAYER MACHADO
Data: 03/02/2026 12:06:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. LEVI POMPERMAYER MACHADO (Participação Virtual)
Departamento de Recursos Pesqueiros e Aquicultura / UNESP / Câmpus de Registro - FCAVR

Documento assinado digitalmente
 CARLOS AUGUSTO PRATA GAONA
Data: 02/02/2026 16:38:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. CARLOS AUGUSTO PRATA GAONA (Participação Virtual)
Departamento de Recursos Pesqueiros e Aquicultura / UNESP / Câmpus de Registro - FCAVR

Araraquara, 29 de janeiro de 2026.

DADOS CURRICULARES

IDENTIFICAÇÃO	
	THAYNÁ SAYUMI DE SOUZA SHIMODA 31/07/1999
Nacionalidade	brasileira
Nome em citações bibliográficas:	SHIMODA, Thayná Sayumi de S.
Endereço profissional	Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências e Letras de Assis. Avenida Dom Antônio, 2100 Vila Universitária 19806900 - Assis, SP - Brasil Telefone: (18) 33025848
Currículo Lattes	URL http://lattes.cnpq.br/4147066903200075
ORCID	https://orcid.org/0009-0008-8497-9215
FORMAÇÃO ACADÊMICA	
2019/2023	Bacharelado em Ciências Biológicas em Universidade Estadual Paulista – UNESP
2019/2024	Licenciatura em Ciências Biológicas em Universidade Estadual Paulista – UNESP
PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS CIENTÍFICOS	
V CONGRESSO DE NANOBIOTECNOLOGIA E BIOENGENHARIA, 2024, Obtenção de micro e nanocápsula contendo extrato de flores de <i>Moringa oleifera</i> e subsequente avaliação antirradicalar. 2024 (Apresentação de e-pôster). VI CONGRESSO DE NANOBIOTECNOLOGIA E BIOENGENHARIA, 2025. Síntese verde de nanopartículas de prata utilizando extrato de <i>Turnera ulmifolia</i> e avaliação da atividade antirradicalar. 2025. (Apresentação de e-pôster). II SEMANA DA BIOLOGIA, 2025, (Assis). Mini-curso: Bioimpressão 3D. 2025.	

II SEMANA DA BIOLOGIA, 2025, (Assis). Mini-curso: Desenvolvimento de Fitoprodutos. 2025.

V WORKSHOP DE BIOTECNOLOGIA (Assis). Minicurso – Lipases.

V CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - CONBRACIB. (Nova Olinda). Abordagem verde para síntese fitomediada de nanopartículas de prata utilizando extrato de *Turnera ulmifolia* e seu potencial antioxidante. 2024 (Apresentação de e-pôster).

VIII SIMPÓSIO DE BIOQUÍMICA E BIOTECNOLOGIA DE LONDRINA (CCE-BBTEC). 2025, (Londrina). Nanopartículas de ferro obtidas por síntese verde mediada por extrato de *Turnera ulmifolia* com ação antirradicalar (Apresentação de poster).

Dedico este trabalho à minha família,
amigos, colegas e todos aqueles que, de
alguma forma, contribuíram para minha
formação pessoal e acadêmica ao longo
deste percurso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, ao meu orientador, Prof. Dr. Regildo Márcio Gonçalves da Silva por todos os ensinamentos ao longo desta trajetória, não apenas como professor, mas também como amigo. Serei eternamente grata pela oportunidade e confiança. Agradeço por compartilhar seus conhecimentos, por todo seu apoio e paciência.

Ao Filipe Granero, pelos conselhos, pelas discussões construtivas e pelo tempo, paciência e disponibilidade em oferecer auxílio e suporte ao longo desse período.

Às minhas amigas e colegas de mestrado Laura Zibordi e Bianca Bras, por todo o suporte acadêmico e emocional. Sou muito grata por termos caminhado juntas nessa trajetória e pelas trocas compartilhadas.

Ao Pedro Rosatto por emprestar seu computador para a realização do exame de seleção e teste de proficiência e aos demais colegas de laboratório, pela convivência e por criarem um ambiente de trabalho tão acolhedor e colaborativo, marcado por discussões enriquecedoras, tanto acadêmicas quanto sobre temas diversos do cotidiano.

Aos meus familiares, em especial meus pais, Elisabete e Armando, por todo esforço que tiveram que me permitiu chegar até aqui e por todo o apoio. Aos meus amigos, pelo amparo, compreensão e encorajamento ao longo de toda esta trajetória, bem como pelo carinho e motivação durante todo este processo.

Ao Prof. Dr. Carlos Augusto Prata Gaona, por ter emprestado temporariamente seu espectrofotômetro UV-Vis, crucial para o andamento do presente estudo.

À banca de qualificação e à banca de defesa, pela disponibilidade em compor a banca examinadora e pelas contribuições, críticas construtivas e sugestões fundamentais para o aprimoramento deste trabalho.

Por fim, agradeço aos funcionários de assistência operacional, cujo trabalho é indispensável para o bom funcionamento da instituição. Em especial, agradeço ao Allan Souza, funcionário da Unesp/Assis, responsável pelo suporte técnico e pela manutenção dos equipamentos do laboratório, atividades indispensáveis para a execução de pesquisas científicas.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

Turnera ulmifolia L. (Turneraceae) é uma espécie herbácea amplamente distribuída em regiões tropicais e subtropicais, especialmente no Brasil, conhecida popularmente como chanana ou flor-do-Guarujá. Do ponto de vista taxonômico, pertence ao gênero *Turnera*, que compreende espécies tradicionalmente utilizadas na medicina popular. *T. ulmifolia* apresenta reconhecido valor etnofarmacológico, sendo empregada no tratamento de processos inflamatórios, distúrbios gastrointestinais, infecções, diabetes e alterações metabólicas. Estudos fitoquímicos demonstram que suas partes aéreas são ricas em flavonoides, ácidos fenólicos, taninos, alcaloides e compostos nitrogenados, metabólitos associados a atividades antioxidante, antiglicante, anti-inflamatória e antimicrobiana, o que confere elevado potencial para aplicações biotecnológicas. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo desenvolver um método de síntese verde para a obtenção de nanoestruturas metálicas contendo extrato hidroetanólico das partes aéreas de *T. ulmifolia* (HETu), realizar a caracterização das nanopartículas e avaliar o perfil fitoquímico, bem como as atividades antioxidante e antiglicante. Nanopartículas de prata (AgNPs), ferro (FeNPs) e selênio (SeNPs) foram sintetizadas sob condições otimizadas de concentração, pH, tempo e temperatura, sendo confirmadas por espectroscopia UV-Vis. A caracterização por FTIR evidenciou a participação de polifenóis, flavonoides, proteínas e aminoácidos nos processos de redução e estabilização das nanopartículas. As análises de DLS e potencial zeta demonstraram que AgNPs e SeNPs apresentaram maior estabilidade coloidal e menor polidispersão, enquanto as FeNPs exibiram maior heterogeneidade. O perfil fitoquímico revelou elevado teor de compostos fenólicos e flavonoides no extrato, com alterações quantitativas após a nanoestruturação. Os ensaios antioxidantes (DPPH[•], FRAP, ABTS^{•+} e TBARS) indicaram elevada capacidade antioxidante do HETu, parcialmente ou totalmente preservada nas nanoformulações. Na avaliação antiglicante, as nanopartículas mostraram maior eficiência na proteção estrutural de proteínas frente à glicação, quando comparadas ao extrato livre. Os resultados reforçam o potencial biotecnológico de *T. ulmifolia* e de suas nanoformulações para aplicações em saúde e biotecnologia.

Palavras-chave: AGEs; Biossíntese Verde; Compostos Ativos; Nanoestrutura; Radicais Livres.

ABSTRACT

Turnera ulmifolia L. (Turneraceae) is a herbaceous species widely distributed in tropical and subtropical regions, especially in Brazil, and belongs to the genus *Turnera*, which includes plants traditionally used in folk medicine. Known as “chanana,” *T. ulmifolia* has significant ethnopharmacological relevance and is commonly used to treat inflammatory conditions, gastrointestinal disorders, infections, diabetes, and metabolic diseases. Phytochemical studies indicate that its aerial parts are rich in flavonoids, phenolic acids, tannins, alkaloids, and nitrogen-containing compounds, which are associated with antioxidant, antiglycation, anti-inflammatory, and antimicrobial activities, highlighting its biotechnological potential. In this context, this study aimed to develop a green synthesis method for obtaining metallic nanostructures containing a hydroethanolic extract of the aerial parts of *T. ulmifolia* (HETu), to characterize the nanoparticles, and to evaluate their phytochemical profile, antioxidant activity, and antiglycation potential. Silver (AgNPs), iron (FeNPs), and selenium nanoparticles (SeNPs) were synthesized under optimized conditions of concentration, pH, time, and temperature, with nanoparticle formation confirmed by UV–Vis spectroscopy. FTIR analysis demonstrated the involvement of phenolics, flavonoids, proteins, and amino acids in the reduction and stabilization processes. DLS and zeta potential analyses showed that AgNPs and SeNPs exhibited higher colloidal stability and lower polydispersity, whereas FeNPs displayed greater heterogeneity. Phytochemical evaluation revealed high levels of phenolic compounds and flavonoids in the extract, with quantitative changes after nanoformulation. Antioxidant assays (DPPH[•], FRAP, ABTS^{•+}, and TBARS) confirmed the strong antioxidant capacity of HETu, which was partially or fully retained in the nanoparticles. Antiglycation assays indicated that the nanoparticles were more effective than the free extract in protecting protein structure against glycation. These findings highlight the biotechnological relevance of *T. ulmifolia* and its green-synthesized nanostructures for potential health-related applications.

Keywords: AGEs; Green Biosynthesis; Active Compounds; Nanostructure; Free Radicals.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Partes aéreas de <i>Turnera ulmifolia</i>	24
Figura 2. Mudança na cor do nitrato prata solução após adição de Extrato hidroetanólico de partes aéreas de <i>T. ulmifolia</i> (HETu). (A) solução de nitrato de prata incolor; (B) HETu; (C) Formação de dispersão coloidal de nitrato de prata e HETu (D) cor marrom escuro escuro indicando formação de nanopartículas de prata após ajuste do pH.	33
Figura 3. Espectros de extinção de nanopartículas de prata (AgNPs) sintetizadas sob diferentes condições: (A) concentração de Nitrato de prata (AgNO_3 (s)), (B) concentração de extrato hidroetanólico de partes aéreas de <i>T. ulmifolia</i> (HETu), (C) pH de síntese, (D) Temperatura e Tempo de síntese.	34
Figura 4. Espectro de extinção de AgNP sintetizado sob as melhores condições: 10 mMol/L de AgNO_3 ; HETu 50%; pH 10; 30 minutos a 50°C.	35
Figura 5. Alteração da cor do sulfato ferroso após adição de Extrato hidroetanólico de partes aéreas de <i>T. ulmifolia</i> (HETu). (A) Solução de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; (B) HETu; (C) Formação de dispersão coloidal de sulfato ferroso e HETu (D) cor marrom escuro indicando formação de nanopartículas de ferro após ajuste do pH.	36
Figura 6. Espectros de extinção de FeNPs sintetizados sob diferentes condições (A) concentração de extrato hidroetanólico de partes aéreas de <i>T. ulmifolia</i> (HETu); (B) concentração de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; (C) pH de síntese; (D) Tempo e temperatura de síntese.	36
Figura 7. Espectro de extinção de nanopartícula de ferro sintetizada sob melhores condições: HETu 50%; 0,01 M/L de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; pH 8 e 50°C a 30 minutos.	37
Figura 8. Espectros de extinção de SeNPs de Extrato hidroetanólico de partes aéreas de <i>T. ulmifolia</i> , sintetizados sob diferentes condições: (A) concentração do HETu; (B) concentração de $\text{Na}_2\text{O}_3\text{Se(s)}$; (C) pH de síntese; (D) tempo e temperatura de síntese.	38
Figura 9. Espectro de extinção de SeNP de HETu, sintetizada sob as melhores condições: HETu 25%; concentração de $\text{Na}_2\text{O}_3\text{Se}$ 10 mM; pH de síntese 10 e 30 minutos a 50°C.	39
Figura 10. (A) FTIR das amostras: HETu (Extrato-Tu), Nanopartícula de prata (Tu-AgNPs) e Nitrato de prata ($\text{AgNO}_3(\text{s})$) (B) Tu - Extrato; Nanopartícula de ferro (Tu-FeNPs) e Sulfato Ferroso (FeSO_4). (C) Tu – Extrato; Nanopartícula de selênio de (Tu-SeNPs) e Selenito de sódio (Na_2SeO_3).	40
Figura 11. Diâmetro hidrodinâmico de Nanopartícula de prata (AgNPs) de extrato hidroetanólico de partes aéreas de <i>T. ulmifolia</i> (HETu) em água com pH 10 a 25°C obtido por DLS e analisado pela intensidade de espalhamento das partículas.	43

Figura 12. Diâmetro hidrodinâmico de Nanopartícula de ferro (FeNPs) de extrato hidroetanólico de partes aéreas de <i>T. ulmifolia</i> (HETu) em água com pH 8 a 25°C obtido por DLS e analisado pela intensidade de espalhamento das partículas.	44
Figura 13. Diâmetro hidrodinâmico de Nanopartícula de selênio (SeNPs) de extrato hidroetanólico de partes aéreas de <i>T. ulmifolia</i> (HETu) em água com pH 10 a 25°C obtido por DLS e analisado pela intensidade de espalhamento das partículas.	45
Figura 14. Porcentagem de grupos amino livres determinados pelo teste OPA. Aminoguanidina (AMG), Extrato hidroetanólico de partes aéreas de <i>T. ulmifolia</i> : 25% (HETu25), 50% (HETu50) e 100% (HETu100), Nanopartículas de prata (AgNPs), Nanopartículas de ferro (FeNPs) e Nanopartículas de selênio (SeNPs).	52
Figura 15. Teste de Mobilidade Relativa em eletroforese para avaliação da capacidade antiglicante. 1 = BSA; 2 = BSA+RIB; 3 = BSA+RIB+AMG; 4 = BSA+RIB+AMG+HETu 25%; 5 = BSA+RIB+AMG+ HETu 50%; 6 = BSA+RIB+AMG+ HETu 100%; 7 = BSA+RIB+ AgNP; 8 = BSA+RIB+ FeNP; BSA+RIB+ FeNP; BSA+RIB+ SeNP.	52
Figura 16. Efeitos do extrato hidroetanólico de partes aéreas de <i>T. ulmifolia</i> (HETu) e nanopartículas na formação de ligações cruzadas de proteínas num sistema modelo in vitro de glicação de proteínas utilizando albumina sérica bovina (BSA) e metilglioxal (MGO). (1) BSA; (2) BSA+MGO; (3) BSA+Aminoguanidina; (4) BSA+MGO+ Aminoguanidina; (5A) BSA+ HETu 25%; (6A) BSA+ HETu 25%+MGO; (7A) BSA+ HETu 50%; (8A) BSA+ HETu 50%+MGO; (5B) BSA+AgNP; (6B) BSA+AgNP+MGO; (7B) BSA+FeNP; (8B) BSA+FeNP+MGO; (9B) BSA+SeNP; (8B) BSA+SeNP+MGO.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Média de 25 medidas de DLS analisadas para Nanopartícula de prata (AgNPs) de extrato hidroetanólico de partes aéreas de <i>T. ulmifolia</i> (HETu) extraídos diretamente do software do DLS.....	43
Tabela 2. Média de 25 medidas de DLS analisadas para Nanopartícula de ferro (FeNPs) de extrato hidroetanólico de partes aéreas de <i>T. ulmifolia</i> (HETu) extraídos diretamente do software do DLS.....	45
Tabela 3. Média de 25 medidas de DLS analisadas para Nanopartícula de selênio (SeNPs) de extrato hidroetanólico de partes aéreas de <i>T. ulmifolia</i> (HETu) extraídos diretamente do software do DLS.....	46
Tabela 4. Determinação do teor de polifenóis e flavonoides totais de HETu, AgNPs, FeNPs e SeNPs.....	46
Tabela 5. Atividade sequestradora do radical DPPH e Determinação da inibição da peroxidação lipídica (TBARS) de diferentes concentrações de Extrato hidroetanólico de <i>T. ulmifolia</i> (HETu), nanopartículas de prata (AgNPs), nanopartículas de ferro (FeNPs) e nanopartículas de selênio (SeNPs) contendo HETu.....	49
Tabela 6. Poder redutor de íons férricos (FRAP) e atividade sequestradora do radical ABTS de Extrato hidroetanólico de <i>T. ulmifolia</i> (HETu), nanopartículas de prata (AgNPs), nanopartículas de ferro (FeNPs) e nanopartículas de selênio (SeNPs) contendo HETu.	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AgNPs	Nanopartículas de prata
AgNO ₃	Nitrato de prata
AAPH	Dicloridrato 2,2'-azobis-2- amidinopropano
ABTS	Ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico)
AGEs	Produtos Finais de Glicação Avançada (<i>Advanced Glycation End Products</i>)
AMG	Aminoguanidina
BSA	Albumina Bovina Sérica
DLS	Espalhamento de luz dinâmica (<i>Dynamic Light Scattering</i>)
DPPH	2,2-difenil-1-picril-hidrazila
EAG	Equivalente de ácido gálico
ER	Equivalente de rutina
FeNPs	Nanopartículas de ferro
FeSO ₄	Sulfato Ferroso
FRAP	Poder redutor de íons férricos (<i>Ferric Reducing Antioxidant Power</i>)
FTIR	Espectroscopia por infravermelho transformado de Fourier
HETu	Extrato Hidroetanólico de <i>Turnera ulmifolia</i>
MDA	Malondialdeído
MGO	Metilglioxal
Na ₂ O ₃ Se	Selenito de sódio
NO	Óxido nítrico
NPs	Nanopartículas
OPA	Ortoftaldialdeído
PBS	Tampão Fosfato Salino (<i>Phosphate-Buffered Saline</i>)
PDI	Índice de Polidispersão
PRP	Pico de retenção plasmônica
RAGEs	Receptores para Produtos Finais de Glicação Avançada (Receptor for Advanced Glycation End Products)
RDS	Coeficiente De variação
RIB	Ribose
RNS	Espécies reativas de nitrogênio (<i>Reactive Nitrogen Species</i>)
ROS	Espécies reativas de oxigênio (<i>Reactive Oxygen Species</i>)
SDS	Dodecil Sulfato de Sódio (<i>Sodium Dodecyl Sulfate</i>)
SeNPs	Nanopartículas de selênio
TBARS	Substâncias Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico, do inglês (<i>Thiobarbituric Acid Reactive Substances</i>)
TPC	Teores de compostos fenólicos totais
UV-Vis	Ultravioleta-Visível

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1 Estresse oxidativo.....	17
2.2 Glicação e Produtos Finais de Glicação Avançada (AGEs).....	18
2.3 Produtos naturais.....	19
2.4 Nanotecnologia.....	19
2.4.1 Síntese verde de nanopartículas metálicas.....	20
2.4.2 Nanopartículas de prata (AgNPs).....	21
2.4.3 Nanopartículas de ferro (FeNPs).....	21
2.4.4 Nanopartículas de Selênio (SeNPs).....	22
2.4.5 Nanopartículas verde com atividade antioxidante e antiglicante.....	22
2.5 Plantas como fonte de biorredutores para síntese verde de nanopartículas.....	23
2.6 Espécie <i>Turnera ulmifolia</i> L.....	23
2.7 Plantas daninhas como recursos biotecnológicos.....	25
3. OBJETIVOS.....	26
3.1 Objetivo geral.....	26
3.1 Objetivos específicos.....	26
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
4.1 Coleta e preparação do material vegetal.....	26
4.2 Preparação do extrato.....	27
4.3 Síntese de Nanopartículas de prata (AgNP).....	27
4.4 Síntese de Nanopartículas de (FeNPs).....	27
4.5 Síntese de Nanopartículas de Selênio (SeNPs).....	28
4.6. Caracterização das nanopartículas.....	28
4.6.1 Caracterização por espectrofotometria.....	28
4.6.2 Análise de espectroscopia por infravermelho transformado de Fourier (FTIR)....	28
4.6.3 Potencial Zeta e DLS (Dynamic Light Scattering)	29
4.7 Determinação de compostos fitoquímicos.....	29
4.7.1 Polifenóis totais.....	29
4.7.2 Flavonoides totais.....	29
4.8 Determinação da atividade antioxidante.....	29
4.8.1 Atividade sequestradora do radical DPPH*.....	29
4.8.2 Poder redutor de íons férricos (FRAP).....	30
4.8.3 Determinação da inibição da peroxidação lipídica (TBARS).....	30

4.8.4 Avaliação da Atividade sequestradora do radical ABTS ^{•+}	30
4.9 Determinação da atividade antiglicante.....	31
4.9.1 Preparo da mistura reacional de glicação	31
4.9.2 Determinação de grupos amino livres.....	31
4.9.3 Teste da Mobilidade Relativa em Eletroforese (MRE)	31
4.9.4 Avaliação da formação de cross-linking proteico.....	32
4.10 Análise Estatística.....	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
5.1 Nanopartículas de prata (AgNPs)	32
5.2 Nanopartículas de ferro (FeNPs)	35
5.3 Nanopartículas de Selênio (SeNPs)	38
5.4 Caracterização das nanopartículas	39
5.4.1 Análise de espectroscopia por infravermelho transformado de Fourier (FTIR)....	40
5.4.2 Potencial Zeta e DLS das nanopartículas obtidas.....	42
5.5 Determinação de compostos fitoquímicos (polifenóis e flavonoides totais)	46
5.6 Determinação da atividade antioxidante (DPPH [•] , FRAP, TBARS e ABTS ^{•+})	48
5.7 Determinação da atividade antiglicante do extrato e nanopartículas	51
6. CONCLUSÃO.....	55
7. REFERÊNCIAS	56

1. INTRODUÇÃO

Durante processos metabólicos essenciais, como a respiração celular, são formadas espécies reativas de oxigênio (ROS) e de nitrogênio (RNS), incluindo radicais como hidroxila, peróxido de hidrogênio e óxido nítrico (Rananaware *et al.*, 2025). Em condições fisiológicas, essas espécies participam de mecanismos de sinalização celular; entretanto, o desequilíbrio entre sua produção e os sistemas antioxidantes resulta no estresse oxidativo, condição associada a danos em lipídios, proteínas e DNA (Lee, 2024). Fatores exógenos, como tabagismo, alimentação inadequada, poluição e radiação, intensificam a geração de radicais livres, favorecendo o desenvolvimento de doenças degenerativas, inflamatórias e metabólicas (Chandimali *et al.*, 2025).

Neste contexto, entre as patologias relacionadas ao estresse oxidativo destaca-se o *diabetes mellitus*, doenças cardiovasculares e neurodegenerativas, que estão fortemente associadas à formação dos produtos finais de glicação avançada, do inglês *Advanced Glycation End Products* (AGEs) (Burman; Bag e Bhowmik, 2025). A glicação é um processo não enzimático resultante da reação entre açúcares redutores e grupos amino livres de proteínas, conhecido como reação de Maillard (Liu *et al.*, 2025). Esse processo envolve a formação inicial de bases de Schiff, rearranjos em produtos de Amadori e posterior geração de intermediários altamente reativos, como glioxal e metilglioxal, culminando na formação de AGEs. Além de promover alterações estruturais em biomoléculas, os AGEs estimulam a produção de espécies reativas e respostas inflamatórias via ativação de receptores específicos, do inglês *Receptor for Advanced Glycation End Products* (RAGEs), contribuindo para o envelhecimento celular e progressão de diversas doenças (Shen *et al.*, 2020).

Diante do exposto acima, os compostos de origem naturais, principalmente vegetais, que apresentam atividade antioxidante e antiglicante tem ganhado destaque em estudos científicos (Wang *et al.*, 2024). Os ácidos fenólicos e os polifenóis, especialmente os flavonoides, apresentam reconhecida capacidade de sequestrar e eliminar radicais livres e também de inibir processos de glicação (Valle-Sanchez, 2024). As plantas constituem fontes relevantes dessas biomoléculas, uma vez que produzem metabólitos secundários associados à proteção contra estresses ambientais (principalmente edafoclimáticos, predatórios e patológicos) (Khawula, 2023). Historicamente, produtos naturais derivados de plantas têm desempenhado papel fundamental na descoberta e desenvolvimento de fármacos, oferecendo ampla diversidade estrutural e elevado potencial terapêutico (Singh *et al.*, 2025).

Entretanto, compostos bioativos presentes em extratos vegetais podem sofrer degradação por fatores ambientais, como luz, oxigênio e microrganismos. Nesse sentido, a nanobiotecnologia surge como uma estratégia promissora para potencializar a estabilidade e a atividade biológica desses compostos (Kamble, 2025). As nanopartículas obtidas por síntese verde, em especial, apresentam propriedades físico-químicas diferenciadas devido à elevada razão superfície/volume (Elizondo-Villarreal, 2022). Por exemplo: nanopartículas de prata possuem reconhecida atividade antimicrobiana (Sil e Goswami, 2025), enquanto nanopartículas de ferro apresentam propriedades magnéticas e catalíticas (Kosi *et al.*, 2026), e nanopartículas de selênio destacam-se por menor toxicidade e maior biodisponibilidade em comparação às formas convencionais (Alshaal, 2025).

No que diz, respeito aos métodos convencionais de síntese de nanopartículas, apesar de eficientes, frequentemente envolvem o uso de reagentes tóxicos e alto custo ambiental. Em contraposição, a síntese verde baseia-se nos princípios da química verde, utilizando solventes menos tóxicos e agentes redutores naturais, como extratos vegetais, promovendo a biorredução de íons metálicos a sua forma elementar (Cardoso *et al.*, 2025). Esse método resulta em processos mais seguros, sustentáveis e alinhados às diretrizes de economia circular (Nithya *et al.*, 2026).

No contexto de potenciais espécies vegetais com atividade antioxidante e antiglicante, *Turnera ulmifolia* L., pertencente à família Turneraceae, é uma espécie amplamente distribuída em regiões tropicais e subtropicais, especialmente no Nordeste brasileiro. Conhecida popularmente como chanana ou damiana, é considerada planta daninha, embora apresente expressivo uso na medicina popular, com propriedades anti-inflamatórias, anti-hiperglicêmicas e gastroprotetoras (Gracioso *et al.*, 2002). Estudos recentes relatam a presença de diversos compostos bioativos em *T. ulmifolia*, associados às suas atividades antioxidante e sua correlação no tratamento e/ou prevenção de doenças ligadas ao estresse oxidativo e agravadas pela glicação proteica (Viel *et al.*, 2022).

Apesar de relatos sobre a utilização de *T. ulmifolia* na síntese verde de nanopartículas de prata, são escassos os estudos envolvendo a síntese de nanopartículas de ferro e selênio utilizando essa espécie, bem como investigações sobre sua atividade antiglicante (Chandrasekhar e Vinay, 2017). Assim, a presente dissertação propõe a síntese verde de nanopartículas mediada por extrato hidroetanólico de *T. ulmifolia* L., visando sua caracterização e avaliação das propriedades antioxidante e antiglicante, contribuindo para a ampliação do conhecimento e exploração biotecnológica dessa espécie.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Estresse Oxidativo

O estresse oxidativo constitui um dos principais temas de investigação no campo da biotecnologia, especialmente devido à sua relação direta com processos fisiológicos e patológicos. Durante a respiração celular e outros processos metabólicos essenciais que ocorrem naturalmente nos sistemas biológicos, são geradas espécies reativas de oxigênio (ROS) e espécies reativas de nitrogênio (RNS). As ROS incluem, principalmente, a radical hidroxila ($\bullet\text{OH}$) e o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), enquanto as RNS são representadas pelo óxido nítrico (NO) e por moléculas relacionadas ao NO que contêm átomos de nitrogênio em estados oxidativos variados (Arihara; Yokoyama; Ohata, 2019).

Essas espécies reativas exercem um papel duplo nos organismos vivos. Em concentrações fisiológicas, ROS e RNS participam de processos importantes como sinalização celular, defesa imunológica e regulação de vias metabólicas. Entretanto, quando ocorre um desequilíbrio entre a produção dessas espécies e a capacidade antioxidante das células, instala-se uma condição conhecida como estresse oxidativo (Valko, 2006). Esse desequilíbrio pode resultar da produção excessiva de radicais livres ou da deficiência dos sistemas antioxidantes endógenos, como enzimas antioxidantes e compostos não enzimáticos (Chibuye, 2024).

Diante disso, o estresse oxidativo está fortemente associado a danos em estruturas celulares essenciais, incluindo lipídios, proteínas e o DNA. A peroxidação lipídica compromete a integridade das membranas celulares, afetando sua fluidez e funcionalidade. A oxidação de proteínas pode resultar em alterações estruturais e perda de atividade biológica, enquanto os danos ao DNA podem gerar mutações, instabilidade genômica e ativação de vias apoptóticas (Wang *et al.*, 2024). Além dos processos endógenos, fatores exógenos exercem influência significativa na intensificação do estresse oxidativo. Hábitos como o tabagismo, alimentação inadequada, exposição à poluição ambiental e à radiação aumentam consideravelmente a produção de radicais livres no organismo. Essas condições podem levar ao desenvolvimento ou agravamento de diversas patologias, incluindo câncer, doenças reumáticas e enfermidades degenerativas (Gimenis *et al.*, 2023).

Nesse contexto, o estudo do estresse oxidativo assume grande relevância na biotecnologia, uma vez que possibilita o desenvolvimento de estratégias preventivas e terapêuticas, como a prospecção de compostos antioxidantes, o aprimoramento de biomarcadores e a aplicação de ferramentas biotecnológicas voltadas à mitigação dos danos oxidativos (Lembo; Buonocore e Perrone, 2021).

2.2 Glicação e Produtos Finais de Glicação Avançada (AGEs)

O desenvolvimento de doenças degenerativas, como Alzheimer e doença de Parkinson, bem como outras condições patológicas, incluindo o diabetes mellitus, está fortemente associado ao acúmulo de produtos finais de glicação avançada (*Advanced Glycation End Products* – AGEs) (Sourris *et al.*, 2020). Esses compostos são formados a partir da glicação, um processo não enzimático amplamente estudado devido ao seu impacto na homeostase celular e na progressão de diversas doenças crônicas (Brás; König; Outeiro, 2019). A glicação ocorre por meio da reação entre açúcares redutores e grupos amino livres de proteínas, lipídios ou ácidos nucleicos. Esse processo integra um conjunto complexo de reações conhecido como reação de Maillard, inicialmente descrita no contexto da química de alimentos, mas atualmente reconhecida por sua relevância biológica e patológica (Han, 2025).

Neste contexto, as etapas iniciais da reação de Maillard, ocorre a formação de bases de Schiff instáveis, resultantes da interação entre o grupo carbonila dos açúcares redutores e os grupos amino das proteínas. Essas bases sofrem rearranjos estruturais, originando os chamados produtos de Amadori, que são relativamente mais estáveis (Han *et al.*, 2025). Posteriormente, os produtos de Amadori podem sofrer degradação oxidativa e não oxidativa, gerando intermediários altamente reativos, como o glioxal (GO) e o metilglioxal (MGO) (Li *et al.*, 2025). Por fim, estes compostos dicarbonílicos apresentam elevada reatividade e podem interagir rapidamente com resíduos de aminoácidos, como lisina, arginina e cisteína, promovendo a formação direta de AGEs de maneira muito mais intensa do que aquela mediada pelos açúcares redutores originais (Shumilina, 2019). A acumulação desses produtos pode comprometer a estrutura e a função de macromoléculas biológicas, contribuindo para disfunções celulares e teciduais (Avila *et al.*, 2025).

Além de seus efeitos estruturais, os AGEs exercem papel importante na indução do estresse oxidativo e da resposta inflamatória. A ligação desses compostos a receptores específicos, conhecidos como Receptores para Produtos Finais de Glicação Avançada (RAGEs), desencadeia cascatas de sinalização intracelular associadas ao aumento da produção de espécies reativas de oxigênio, ativação de fatores pró-inflamatórios e alterações em estruturas celulares (Wasim *et al.*, 2022). Esses mecanismos estão diretamente relacionados ao envelhecimento precoce, bem como à progressão e perpetuação de diferentes tipos de câncer (Shahab *et al.*, 2018).

Diante do exposto acima, a busca por estratégias capazes de prevenir ou minimizar a glicação e seus efeitos deletérios têm despertado grande interesse científico. Os polifenóis,

especialmente os flavonoides, destacam-se por sua reconhecida atividade antioxidante e pela capacidade de inibir a formação de AGEs, estando fortemente associados à prevenção de doenças relacionadas ao estresse oxidativo e à glicação proteica (Rudrapal, 2022). Assim, as plantas representam uma importante fonte natural desses compostos bioativos, uma vez que sintetizam flavonoides e outros compostos fenólicos como metabólitos secundários (Galic', Zdenko Loncaric e Lisjak, 2025). Essas substâncias estão frequentemente associadas à proteção vegetal contra diferentes tipos de estresses ambientais, incluindo radiação, patógenos e condições oxidativas (Singh, 2017). Historicamente, as plantas têm desempenhado papel fundamental como fonte de compostos bioativos e substâncias farmacologicamente ativas, sendo essenciais para a descoberta e o desenvolvimento de novos fármacos (Atanasov *et al.*, 2015).

2.3 Produtos naturais

Os produtos naturais, definidos como compostos químicos produzidos por organismos vivos por meio do metabolismo primário ou secundário, evoluíram para desempenhar funções biológicas específicas. Esses compostos também podem ser obtidos por métodos sintéticos ou semissintéticos e estão presentes tanto na alimentação quanto no tratamento de doenças desde a antiguidade, evidenciando sua relevância terapêutica ao longo da história humana (Stocks, 2013). No entanto, muitos compostos fenólicos, quando utilizados em sua forma natural ou como extratos vegetais, apresentam limitações relacionadas à estabilidade, podendo ser facilmente oxidados e degradados quando expostos ao ar, à luz ou a microrganismos como bactérias e fungos (Takó *et al.*, 2020). Nesse cenário, o uso de nanopartículas surge como uma estratégia promissora para intensificar e preservar as atividades biológicas desses compostos (Ibrahim *et al.*, 2025).

2.4 Nanotecnologia

A nanotecnologia é uma área que consiste na aplicação de insumos ou processos em que ao menos um de seus componentes possua uma de suas dimensões na escala nanométrica, isto é, entre 1 e 100 nanômetros (Thiruvengadam *et al.*, 2021). Essa área tem atraído interesse crescente devido à sua ampla utilização em diversos setores, como os segmentos industriais, ambientais e medicinais, nos quais a manipulação de materiais em escala nano permite o desenvolvimento de produtos com propriedades físico-químicas diferenciadas (Ashique *et al.*, 2025). Uma das vertentes importantes da nanotecnologia é a das nanopartículas metálicas, em

razão de suas múltiplas aplicações no campo da medicina, biologia, física e química, incluindo uso em sistemas de liberação controlada de fármacos, agentes antimicrobianos, sensores e catalisadores (Ramalingam, 2019).

A chamada química verde, estreitamente relacionada ao desenvolvimento sustentável de novos materiais, fundamenta-se em doze princípios que visam tornar os processos químicos mais sustentáveis, seguros e eficientes. Esses princípios destacam a prevenção de resíduos na fonte, a síntese de substâncias menos perigosas, o uso racional de reagentes, a economia de átomos e o planejamento de rotas sintéticas que reduzam etapas e subprodutos (Durand; Lecomte; Villeneuve, 2016). Além disso, priorizam o desenvolvimento de solventes e auxiliares menos tóxicos, como água e líquidos iônicos, a eficiência energética, o emprego de matérias-primas renováveis, a redução de derivados desnecessários e utilização de processos catalíticos seletivos (Banerjee *et al.*, 2025). Também defendem a biodegradação pós-utilização e o monitoramento em tempo real para maior segurança e controle ambiental, alinhando-se às diretrizes da economia circular e da preservação da saúde humana e ambiental (Meher, 2025).

2.4.1 Síntese verde de nanopartículas metálicas

Os métodos convencionais de síntese química de nanopartículas metálicas geralmente empregam solventes orgânicos e agentes redutores tóxicos, o que resulta em elevado custo, alto consumo energético e geração de resíduos perigosos (Acharya *et al.*, 2024). Entre os métodos de síntese de nanopartículas metálicas, destaca-se a síntese verde, que se consolidou como uma abordagem eficiente e sustentável ao buscar diminuir a toxicidade tanto do produto final quanto de seus resíduos (Bhardwaj *et al.*, 2020). Nessa abordagem, evitam-se solventes tóxicos e prioriza-se a utilização de extratos vegetais, microrganismos ou outros agentes biológicos como fontes de compostos redutores e estabilizantes, integrando o conceito de química verde às estratégias de obtenção de nanomateriais (Thomas *et al.*, 2024).

A síntese verde baseia-se na biorredução, processo pelo qual o metal na forma ionizada é transformado em metal no estado de oxidação zero (Nox 0), que posteriormente se aglomera formando as nanopartículas (Silva *et al.*, 2025). Esse processo de biorredução contribui para a formação de partículas recobertas por moléculas de origem biológica, que atuam como estabilizantes de superfície, aumentando a estabilidade coloidal e modulando a reatividade dos nanomateriais (Das *et al.*, 2024). Dessa forma, evita-se que as nanopartículas reajam de maneira indesejada após a síntese, o que potencialmente aumenta a segurança de seu uso e reduz impactos ambientais e toxicológicos (Jamkhande *et al.*, 2019).

2.4.2 Nanopartículas de prata (AgNPs)

As nanopartículas de prata (AgNPs) têm sido amplamente estudadas devido à sua expressiva ação antibacteriana, que pode ocorrer por diferentes mecanismos complementares. Entre esses mecanismos, destacam-se a destruição e permeabilização da parede celular bacteriana, a geração de espécies reativas de oxigênio (radicais livres), a liberação gradual de íons prata e a interação direta com componentes intracelulares, incluindo o DNA (Aderibigbe, 2017). A combinação desses efeitos pode levar à inibição da replicação, à desestabilização de proteínas essenciais e, conseqüentemente, à morte celular, o que torna as AgNPs materiais promissores para aplicações em revestimentos antimicrobianos, embalagens ativas e sistemas terapêuticos (Singh *et al.*, 2026). Em biotecnologia e biomedicina, tais propriedades estimulam o desenvolvimento de dispositivos e formulações baseadas em prata nanoestruturada para prevenção de infecções, principalmente em contextos hospitalares e de alta taxa de resistência microbiana.

2.4.3 Nanopartículas de ferro (FeNPs)

O ferro está amplamente presente em sistemas vivos, sobretudo nas formas de óxidos e hidróxidos, participando de processos biológicos essenciais, como transporte de oxigênio e reações (Sánchez *et al.*, 2017). As nanopartículas de ferro (FeNPs) apresentam alta razão superfície/volume, característica que gera elevada reatividade e confere propriedades magnéticas e catalíticas de grande interesse científico e tecnológico (Kumar *et al.*, 2023).

A redução do tamanho dessas partículas de ferro para a escala nanométrica altera consideravelmente suas propriedades físicas, favorecendo a interação com micro-organismos e estruturas celulares e, conseqüentemente, potencializando a ação antimicrobiana. Além disso, as FeNPs têm sido investigadas em biotecnologia ambiental para a remediação de contaminantes, na catálise de processos oxidativos avançados e em aplicações biomédicas, como agentes de contraste em imagem por ressonância magnética e em sistemas de hipertermia magnética.

2.4.4 Nanopartículas de selênio (SeNPs)

O selênio é um micronutriente essencial envolvido em importantes processos fisiológicos, incluindo a defesa antioxidante, a regulação da função tireoidiana e o suporte ao sistema imunológico (Botha *et al.*, 2024). Apesar de sua relevância biológica, o consumo de

selênio deve ser cuidadosamente controlado, uma vez que a toxicidade varia de acordo com a dose, a forma química e a biodisponibilidade do elemento (Bai *et al.*, 2024). Nesse contexto, as nanopartículas de selênio (SeNPs) ganham destaque por apresentarem menor toxicidade e maior biodisponibilidade em comparação às formas convencionais de selênio, como sais inorgânicos ou compostos orgânicos de baixa estabilidade (Skalickova, 2017). Essas características tornam as SeNPs candidatas interessantes para formulações nutracêuticas, farmacêuticas e biomateriais funcionalizados (Vijayaram *et al.*, 2025).

Além do papel como fonte de selênio com perfil de segurança potencialmente superior, as SeNPs podem atuar em diversos setores biotecnológicos, incluindo a desintoxicação de metais tóxicos, a remediação de contaminantes ambientais e o tratamento de diversas doenças (Borowska *et al.*, 2025). Estudos recentes descrevem efeitos antioxidantes, anti-inflamatórios, antitumorais e imunomoduladores associados às SeNPs, sugerindo aplicações em estratégias terapêuticas avançadas e sistemas de liberação direcionada de fármacos (Chen *et al.*, 2025). Assim, a combinação de síntese verde de SeNPs com abordagens biotecnológicas reforça o potencial desses nanomateriais como ferramentas inovadoras para a interface entre saúde humana, meio ambiente e desenvolvimento sustentável.

2.4.5 Nanopartículas verde com atividade antioxidante e antiglicante

Considerando o contexto da síntese verde, as nanopartículas de prata, ferro e selênio apresentam propriedades complementares que as tornam particularmente promissoras para o estabelecimento de estudos com foco em atividades antioxidantes e antiglicante (Peron *et al.* 2021; Aldossari *et al.*, 2023; Zhao *et al.*, 2023). As AgNPs, além de seu reconhecido potencial antimicrobiano, podem atuar de forma indireta na proteção contra o estresse oxidativo ao reduzir a carga microbiana associada à produção de espécies reativas (Kummara; Patil e Uriah, 2016), enquanto as FeNPs, graças às suas características redox e catalíticas, podem ser exploradas em sistemas modelo para modulação e detecção de espécies reativas de oxigênio, desde que cuidadosamente controladas quanto à sua estabilidade superficial (Ahmouda; Khaled, 2025). Já as SeNPs, por sua vez, destacam-se pela menor toxicidade e maior biodisponibilidade, associadas a efeitos antioxidantes e à capacidade de modular vias inflamatórias, o que as coloca como candidatas centrais em ensaios voltados à inibição da formação de produtos finais de glicação avançada (AGEs) e à prevenção de danos oxidativos a biomoléculas (Zhai *et al.*, 2017). Nesse cenário, a integração dessas três classes de nanopartículas, obtidas por rotas verdes, oferece um arcabouço biotecnológico robusto para o

desenvolvimento de sistemas nanoestruturados com potencial sinérgico antioxidante e antiglicante, alinhados às demandas de terapias mais seguras, sustentáveis e eficazes em doenças associadas ao estresse oxidativo e à glicação proteica.

2.5 Plantas como fonte de biorredutores para síntese verde de nanopartículas

A ampla diversidade de metabólitos secundários presentes em vegetais sugere que seus extratos possam atuar como fontes de biorredutores e agentes estabilizantes capazes de mediar a síntese verde de nanopartículas de prata, ferro e selênio, por meio de processos de biorredução e formação de aglomerações protetoras em ambiente aquoso (Bhusal *et al.*, 2024). Nesse contexto, compostos como terpenos, fenólicos e outros antioxidantes naturais potencialmente presentes em vegetais podem reduzir íons metálicos a sua forma nanoestruturada, ao mesmo tempo em que conferem estabilidade coloidal e funcionalização superficial às nanopartículas, favorecendo sua biocompatibilidade (Mustapha *et al.*, 2021). A obtenção dessas nanopartículas por rotas verdes, a partir de extratos de vegetais, abre perspectivas para o desenvolvimento de sistemas nanoestruturados com propriedades antioxidantes e antiglicantes, com potencial aplicação em modelos de estresse oxidativo e glicação proteica de interesse biotecnológico e terapêutico (Tupe *et al.*, 2016).

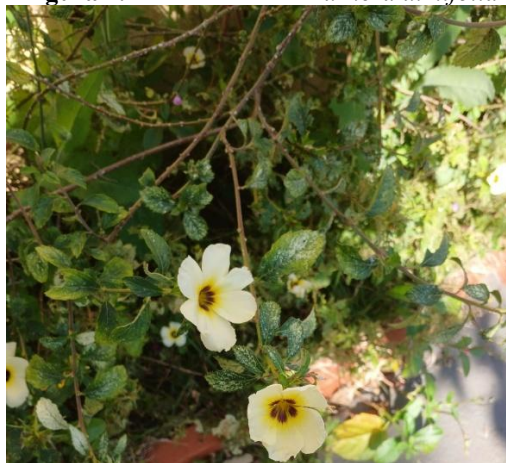
2.6 Espécie *Turnera ulmifolia* L.

A diversidade de metabólitos secundários presentes na espécie *Turnera ulmifolia* sugere que seus extratos possam atuar como fontes de biorredutores e agentes estabilizantes capazes de mediar a síntese verde de nanopartículas (Nascimento *et al.*, 2006). A espécie *T. ulmifolia* L. (Figura 1), pertencente à família botânica Turneraceae, é conhecida popularmente como “chanana”, “damiana” ou “flor do Guarujá”, caracteriza-se por ser uma espécie amplamente distribuída em regiões de clima tropical e subtropical, sendo considerada planta daninha, mas com utilização ornamental e expressivo potencial biotecnológico para aplicações farmacêuticas (Brito *et al.*, 2012). No Brasil, ocorre principalmente na região Nordeste, onde integra ecossistemas campestres, áreas de restinga e ambientes antrópicos, contribuindo tanto para a composição florística local quanto para práticas tradicionais de uso medicinal (Costa *et al.*, 2009).

Quanto a suas características botânicas e taxonômicas, esta espécie é descrita como uma erva perene herbácea, com 30-60 cm de altura, geralmente encontrada em solos arenosos,

apresentando caule com poucas ramificações, folhas simples, pecioladas e dotadas de nectários extraflorais que participam de interações ecológicas com insetos (Galvez *et al.*, 2006).

Figura 1. Partes aéreas de *Turnera ulmifolia*



Fonte: Autora (2025).

A espécie integra um complexo polimórfico, composto por formas heterostílicas e homostílicas, no qual se reconhecem ao menos três variedades, elegans, angustifolia e surinamensis, com diferenças morfológicas associadas, entre outros aspectos, ao comprimento dos estilos e à organização do sistema reprodutivo (Barrett, 1978). No contexto do presente estudo, foi utilizada a variedade elegans, cuja caracterização morfofuncional está relacionada a padrões específicos de heterostilia e mecanismos de reprodução cruzada descritos no complexo *T. ulmifolia*.

No que diz respeito a sua utilização na medicina tradicional e propriedades farmacológicas, *T. ulmifolia* é amplamente empregada na medicina popular devido às suas propriedades anti-inflamatórias, anti-hiperglicêmicas e afrodisíacas, sendo preparada principalmente na forma de chás e infusões a partir das folhas e flores. Chanana tea é referida para o tratamento de doenças relacionadas à disfunção gástrica, incluindo úlceras gástricas e duodenais, achado corroborado por estudos experimentais que demonstram efeito antiulcerogênico significativo em modelos animais (Gracioso *et al.*, 2002). Além disso, seu uso popular envolve o manejo de bronquite, resfriado, febre, furúnculos, dor de garganta, vertigens e dispepsia, sugerindo um espectro amplo de atividades biológicas, possivelmente vinculadas à presença de metabólitos secundários com ação anti-inflamatória, antinociceptiva e antioxidante (Sruthi e Rao, 2024).

Quanto aos compostos presentes em sus extratos, estudos fitoquímicos indicam que *T. ulmifolia* contém diversos constituintes voláteis e não voláteis, incluindo alfa- e beta-pineno, 1,8-cineol, p-cimeno, timol, alfacopeno, gamacadineno e calamina, compostos com

reconhecidas propriedades biológicas, tais como atividade antimicrobiana, anti-inflamatória, antioxidante e moduladora de processos fisiológicos. Esses metabólitos podem estar diretamente associados às atividades anti-inflamatória, anti-hiperglicêmica, antiulcerogênica e potencialmente afrodisíaca descritas para a espécie, reforçando seu interesse como fonte de moléculas bioativas para desenvolvimento de fitofármacos e insumos biotecnológicos (Sá e Freitas, 2022). Adicionalmente, o gênero *Turnera* tem sido apontado como promissor para bioprospecção de flavonoides, taninos e outros polifenóis, o que amplia a relevância da espécie no contexto da pesquisa em biotecnologia de produtos naturais.

2.7 Plantas daninhas como recursos biotecnológicos

Embora plantas daninhas sejam frequentemente associadas a impactos negativos em sistemas agropecuários, em função de sua elevada competitividade e do consequente prejuízo ao rendimento de culturas econômicas, cresce o interesse por estudos voltados à compreensão de seu potencial como fontes de compostos bioativos e aplicações biotecnológicas (Martín-lefevre *et al.*, 2025). No caso de *T. ulmifolia*, sua abundância em ambientes tropicais e subtropicais, aliada à capacidade de adaptação e rápido crescimento, favorece a disponibilidade de biomassa de baixo custo para obtenção de extratos com fins farmacêuticos, nutracêuticos e tecnológicos (Salazar-Rojas *et al.*, 2012). Dessa forma, em vez de serem vistas apenas como fatores de prejuízo econômico, plantas daninhas como *T. ulmifolia* podem ser ressignificadas como recursos de valor agregado, integrando estratégias de inovação, economia circular e aproveitamento biotecnológico sustentável em consonância com princípios de uso racional da biodiversidade.

Ainda neste contexto, a literatura recente descreve a utilização de *T. ulmifolia* na síntese de nanopartículas de prata por síntese verde, a partir de flores de coloração amarela, demonstrando atividade antibacteriana e antioxidante relevante das nanopartículas obtidas (Chandrasekhar e Vinay, 2017). No entanto, esses estudos empregam variedade distinta daquela utilizada no presente trabalho, e não há relatos sobre o uso da espécie ou mesmo do gênero *Turnera* na síntese verde de nanopartículas de ferro ou de selênio, apontando uma lacuna importante no campo da bionanotecnologia vegetal aplicada a metais e semicondutores. Além disso, os dados disponíveis sobre a atividade antiglicante associada a extratos ou nanopartículas derivadas desse gênero permanecem escassos, o que limita o entendimento do potencial de *T. ulmifolia* em modelos de glicação proteica e doenças relacionadas ao estresse glico-oxidativo.

reforçando a nanoestruturação como estratégia promissora para aprimorar as propriedades funcionais de extratos vegetais naturais, passíveis de serem empregados em indústria farmacêutica, alimentícia e cosmética.

7. REFERÊNCIAS

- ACHARYA, Chinmayee; MISHRA, Sonam; CHAURASIA, Sandeep Kumar; PANDEY, Bishnu Kumar; DHAR, Ravindra; PANDEY, Jitendra Kumar. Synthesis of metallic nanoparticles using biometabolites: mechanisms and applications. **BioMetals**, [S.l.], v. 38, n. 1, p. 21–54, fev. 2025. DOI: 10.1007/s10534-024-00642-w. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s10534-024-00642-w>. Acesso em: 18 fev. 2026.
- ADERIBIGBE, Blessing. Metal-Based Nanoparticles for the Treatment of Infectious Diseases. **Molecules**, v. 22, n. 8, p. 1370, 2017. DOI: 10.3390/molecules22081370. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/22/8/1370>. Acesso em: 18 fev. 2026.
- ALDOSSARI, Saeed M; REHMAN, Latif Ur; AHMAD, Ijaz; ASLAM, Madeeha; FOZIA, Fozia; MOHANY, Mohamed; MILOŠEVIĆ, Marija; AL-REJAIE, Salim S.; ABOUL-SOUD, Mourad A. M. Phytosynthesized Iron Oxide Nanoparticles Using Aqueous Extract of *Saccharum arundinaceum* (Hardy Sugar Cane), Their Characterizations, Antiglycation, and Cytotoxic Activities. **ACS Omega**, [S.l.], v. 8, n. 44, p. 41214–41222, 7 nov. 2023. DOI: 10.1021/acsomega.3c04484. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.3c04484>. Acesso em: 18 fev. 2026.
- AHMAD, Saheem; SHAHAB, Uzma; ASHRAF, Jalaluddin M.; ALYAHYAWI, Amjad R.; ANSARI, Mohammad Azam; FATMA, Sana; ALSHAMMARI, Ahmed; AKASHA, Rihab; ASIRI, Sarah; PURI, Paridhi; KHANAM, Afreen. Antiglycating activity of biomimetically synthesized magnetic copper ferrite nanoparticles: inhibition of methylglyoxal-derived AGEs. **Frontiers in Nanotechnology**, [S.l.], v. 7, p. 1564954, 10 jun. 2025. DOI: 10.3389/fnano.2025.1564954. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnano.2025.1564954/full>. Acesso em: 18 fev. 2026.
- AHMOUDA, Kaouthar; OUCIF KHALED, Mohammed Tayeb. A novel study on enhancing ascorbic acid colorimetric detection: Green synthesis-driven crystallinity, stability, and catalytic performance of iron oxide nanoparticles in Mo(VI)/FeNPs-based biosensors. **Plant Physiology and Biochemistry**, [S.l.], v. 222, p. 109723, maio 2025. DOI: 10.1016/j.plaphy.2025.109723. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0981942825002517>. Acesso em: 18 fev. 2026.
- ALSHAAL, Tarek; SZABOLCSY, Éva Domokos; FÁRI, Miklós; VERES, Szilvia; KASZÁS, László; KOVÁCS, Zoltán; EISSA, Fawzy; ELHAWAT, Nevien. Agricultural sustainability and the challenges of selenium nanoparticles (SeNPs): Their role in supporting the environmental economy. **Plant Stress**, [S.l.], v. 16, p. 100846, jun. 2025. DOI: 10.1016/j.stress.2025.100846. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2667064X25001113>. Acesso em: 18 fev. 2026.
- ALTAFHUSAIN; SANNAIKAR, M. S.; SINGH, Dharmendra Pratap; INAMDAR, Sanjeev R. Spectroscopic Analysis and Energy Transfer From Synthesized AgInS₂ Nanoparticles to Cresyl Violet Dye. **Luminescence**, [S.l.], v. 40, n. 9, p. e70281, set. 2025. DOI: 10.1002/bio.70281. Disponível em: <https://analyticalsciencejournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bio.70281>. Acesso em: 18 fev. 2026.
- ANANDAN, Satish; MAHADEVAMURTHY, Murali; ANSARI, Mohammad Azam; ALZOHAIIRY, Mohammad A.; ALOMARY, Mohammad N.; FARHA SIRAJ, Syeda; HALUGUDDE NAGARAJA, Sarjan; CHIKKAMADAI AH, Mahendra; THIMAPPA RAMACHANDRAPPA, Lakshmeesha; NAGUVANAHALLI KRISHNAPPA, Hemanth Kumar; LEDESMA, Ana E.; NAGARAJ, Amruthesh Kestur; UROOJ, Asna. Biosynthesized ZnO-NPs from *Morus indica* Attenuates Methylglyoxal-Induced Protein Glycation and RBC Damage: In-Vitro, In-Vivo and Molecular Docking Study. **Biomolecules**, [S.l.], v. 9, n. 12, p. 882, 16 dez. 2019. DOI: 10.3390/biom9120882. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2218-273X/9/12/882>. Acesso em: 18 fev. 2026.

ANNAMALAI, Jayshree; NALLAMUTHU, Thangaraju. Green synthesis of silver nanoparticles: characterization and determination of antibacterial potency. **Applied Nanoscience**, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 259–265, fev. 2016. DOI: 10.1007/s13204-015-0426-6.

ARIHARA, K.; YOKOYAMA, I.; OHATA, M. DMHF (2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone), a volatile food component with attractive sensory properties, brings physiological functions through inhalation. In: **Advances in Food and Nutrition Research**. [S.l.]: Elsevier, 2019. v. 89 p. 239–258. DOI: 10.1016/bs.afnr.2019.05.001. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1043452619300373>. Acesso em: 18 fev. 2026.

ASHIQUE, Sumel; KUMAR, Shubneesh; SIROHI, Ekta; HUSSAIN, Afzal; FARID, Arshad; FAIYAZUDDIN, Md.; MISHRA, Neeraj; GARG, Ashish. A Comprehensive Update on Nanotechnology in Functional Food Developments: Recent Updates, Challenges, and Future Perspectives. **Recent Patents on Nanotechnology**, [S.l.], v. 19, n. 2, p. 241–256, fev. 2025. DOI: 10.2174/1872210517666230825100347. Disponível em: <https://www.eurekaselect.com/220333/article>. Acesso em: 18 fev. 2026.

ATANASOV, Atanas G.; WALTENBERGER, Birgit; PFERSCHY-WENZIG, Eva-Maria; *et al.* Discovery and resupply of pharmacologically active plant-derived natural products: A review. **Biotechnology Advances**, v. 33, n. 8, p. 1582–1614, 2015. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2015.08.001. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0734975015300276>. Acesso em: 18 fev. 2026.

ÁVILA, Felipe; CRUZ, Nadia; GONZÁLEZ, Ma Angélica; FUENTES, Eduardo; WEHINGER, Sergio; LUTZ, Mariane. Dietary advanced glycation end products (AGEs): A modifiable risk factor in the prevention of chronic diseases associated with aging? **Biochimie**, [S.l.], v. 235, p. 80–92, ago. 2025. DOI: 10.1016/j.biochi.2025.06.001. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0300908425001129>. Acesso em: 18 fev. 2026.

BAI, Song; ZHANG, Miaohe; TANG, Shouying; LI, Miao; WU, Rong; WAN, Suran; CHEN, Lijun; WEI, Xian; FENG, Shuang. Effects and Impact of Selenium on Human Health, A Review. **Molecules**, [S.l.], v. 30, n. 1, p. 50, 26 dez. 2024. DOI: 10.3390/molecules30010050. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/30/1/50>. Acesso em: 18 fev. 2026.

BANERJEE, Sayani; PERIYASAMY, Sakthi; MUTHUKUMARADOSS, Kathiravan; DEIVASIGAMANI, Priya; SARAVANAN, Venkatesan. Revolutionizing organic synthesis through green chemistry: metal-free, bio-based, and microwave-assisted methods. **Frontiers in Chemistry**, [S.l.], v. 13, p. 1656935, 4 ago. 2025. DOI: 10.3389/fchem.2025.1656935. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fchem.2025.1656935/full>. Acesso em: 18 fev. 2026.

BARRETT, S. C. H. Heterostyly in a tropical weed: the reproductive biology of the *Turnera ulmifolia* complex (Turneraceae). **Canadian Journal of Botany**, v. 56, n. 15, p. 1713–1725, 1978. DOI: 10.1139/b78-203. <http://www.nrcresearchpress.com/doi/10.1139/b78-203>. Acesso em: 18 fev. 2026.

BHATIA, Pradeep. Comparison study of iron and iron-oxide nanoparticles for thermoplasmonic applications. **Materials Today Communications**, [S.l.], v. 35, p. 106008, jun. 2023. DOI: 10.1016/j.mtcomm.2023.106008. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352492823006992>. Acesso em: 18 fev. 2026.

BENZIE, Iris FF; STRAIN, John J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. **Analytical biochemistry**, v. 239, n. 1, p. 70–76, 1996. DOI: 10.1006/abio.1996.0292. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0003269796902924>. Acesso em: 18 fev. 2026.

BHARDWAJ, Kanchan; DHANJAL, Daljeet Singh; SHARMA, Anirudh; NEPOVIMOVA, Eugenie; KALIA, Anu; THAKUR, Shabnam; BHARDWAJ, Sonali; CHOPRA, Chirag; SINGH, Reena; VERMA, Rachna; KUMAR, Dinesh; BHARDWAJ, Prerna; KUČA, Kamil. Conifer-Derived Metallic Nanoparticles: Green Synthesis and Biological Applications. **International Journal of Molecular Sciences**, [S.l.], v. 21, n. 23, p. 9028, 27 nov. 2020. DOI: 10.3390/ijms21239028. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/21/23/9028>. Acesso em: 18 fev. 2026.

BLOIS, Marsden S. Antioxidant Determinations by the Use of a Stable Free Radical. **Nature**, v. 181, n. 4617, p. 1199–1200, 1958. DOI: 1038/1811199a0. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/1811199a0>. Acesso em: 19 fev. 2026.

BOROWSKA, Magdalena; PSZCZOŁA, Joanna; PAWLAK, Katarzyna; RUZIK, Lena; OMBUGADU, Jesse Namo; TRZASKOWSKI, Maciej; JANKOWSKI, Krzysztof. Microwave-assisted green synthesis of selenium nanoparticles using citrus extracts: Insights into size-controlled formation and surface characteristics. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, [S.l.], v. 725, p. 137516, nov. 2025. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2025.137516. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0927775725014190>. Acesso em: 18 fev. 2026.

BOTHA, Loti Kasezga; NAMAUMBO, Sydney; KAPITO, Noel Jabesi; NDOVIE, Patrick; TSUKULUZA, Deborah Charles; JAGOT, Fatema; MLANGENI, Angstone Thembachako. Selenium health impacts and Sub-Saharan regional nutritional challenges: Review. **Results in Chemistry**, [S.l.], v. 12, p. 101920, dez. 2024. DOI: 10.1016/j.rechem.2024.101920. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2211715624006167>. Acesso em: 18 fev. 2026.

BRÁS, Inês Caldeira; KÖNIG, Annekatrin; OUTEIRO, Tiago Fleming. Glycation in Huntington's Disease: A Possible Modifier and Target for Intervention. **Journal of Huntington's Disease**, v. 8, n. 3, p. 245–256, 27 ago. 2019 DOI: 10.3233/JHD-190366. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.3233/JHD-190366>. Acesso em: 18 fev. 2026.

BHUSAL, Manisha; PATHAK, Ishwor; BHADEL, Anita; SHRESTHA, Deepak Kumar; SHARMA, Khaga Raj. Synthesis of silver nanoparticles assisted by aqueous root and leaf extracts of *Rhus chinensis* Mill and its antibacterial activity. **Heliyon**, [S.l.], v. 10, n. 13, p. e33603, jul. 2024. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e33603. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405844024096348>. Acesso em: 18 fev. 2026.

BRAS, Bianca Silva; PEREIRA, Isabelly Do Nascimento; ZIBORDI, Laura Camargo; *et al.* Green synthesis of silver nanoparticles using food supplement from *Avena sativa* L., and their antioxidant, antiglycation, and anti-aging activities: In vitro and in silico studies. **Food and Bioproducts Processing**, v. 147, p. 175–188, 2024. DOI: 10.1016/j.fbp.2024.06.013. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960308524001251>. Acesso em: 18 fev. 2026.

BRITO, Naira J.N.; LÓPEZ, Jorge A.; NASCIMENTO, Maria Aparecida Do; MACÊDO, José B.M.; SILVA, Gabriel Araujo; OLIVEIRA, Cláudia N.; DE REZENDE, Adriana Augusto; BRANDÃO-NETO, José; SCHWARZ, Aline; ALMEIDA, Maria Das Graças. Antioxidant activity and protective effect of *Turnera ulmifolia* Linn. var. *elegans* against carbon tetrachloride-induced oxidative damage in rats. **Food and Chemical Toxicology**, [S.l.], v. 50, n. 12, p. 4340–4347, dez. 2012. DOI: 10.1016/j.fct.2012.08.003. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S027869151200556X>. Acesso em: 18 fev. 2026.

BURMAN, Mangal Deep; BAG, Sagar; GHOSAL, Souvik; BHOWMIK, Sudipta. Glycation of Proteins and Its End Products: From Initiation to Natural Product-Based Therapeutic Preventions. **ACS Pharmacology & Translational Science**, [S.l.], v. 8, n. 3, p. 636–653, 14 mar. 2025. DOI: 10.1021/acsptsci.4c00684. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsptsci.4c00684>. Acesso em: 18 fev. 2026.

CARDOSO, Beatriz; NOBREGA, Glauco; AFONSO, Inês S.; RIBEIRO, João E.; LIMA, Rui A. Sustainable green synthesis of metallic nanoparticle using plants and microorganisms: A review of biosynthesis methods, mechanisms, toxicity, and applications. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, [S.l.], v. 13, n. 3, p. 116921, jun. 2025. DOI: 10.1016/j.jece.2025.116921. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2213343725016173>. Acesso em: 18 fev. 2026.

CHANDRASEKHAR, N.; VINAY, S. P. Yellow colored blooms of *Argemone mexicana* and *Turnera ulmifolia* mediated synthesis of silver nanoparticles and study of their antibacterial and antioxidant activity. **Applied Nanoscience**, v. 7, n. 8, p. 851–861, 2017. DOI: 10.1007/s13204-017-0624-5. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s13204-017-0624-5>. Acesso em: 18 fev. 2026.

CHANDIMALI, Nisansala; BAK, Seon Gyeong; PARK, Eun Hyun; LIM, Hyung-Jin; WON, Yeong-Seon; KIM, Eun-Kyung; PARK, Sang-Ik; LEE, Seung Jae. Free radicals and their impact on health and antioxidant

defenses: a review. **Cell Death Discovery**, [S.l.], v. 11, n. 1, p. 19, 24 jan. 2025. DOI: 10.1038/s41420-024-02278-8. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41420-024-02278-8>. Acesso em: 18 fev. 2026.

CHAUDHARY, Jyoti; JANDU, Suresh; TAILOR, Giriraj; CHETNA. Green synthesis and characterization of iron nanoparticles using *Moringa oleifera* (Leaves) and their phytochemical screening with biological significance. **Chemical Data Collections**, [S.l.], v. 47, p. 101065, out. 2023. DOI: 10.1016/j.cdc.2023.101065. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405830023000769>. Acesso em: 18 fev. 2026.

CHEN, Zhe; ŚWISŁOCKA, Renata; CHOŃSKA, Renata; MARSZAŁEK, Krystian; DĄBROWSKA, Aleksandra; LEWANDOWSKI, Włodzimierz; LEWANDOWSKA, Hanna. Exploring the Correlation Between the Molecular Structure and Biological Activities of Metal–Phenolic Compound Complexes: Research and Description of the Role of Metal Ions in Improving the Antioxidant Activities of Phenolic Compounds. **International Journal of Molecular Sciences**, [S.l.], v. 25, n. 21, p. 11775, 1 nov. 2024. DOI: 10.3390/ijms252111775. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/25/21/11775>. Acesso em: 18 fev. 2026.

CHENG, Hua; WANG, Li; JIA, Shuqing; WANG, Lu; CHENG, Shuiyuan; LU, Yingtang; LI, Linling. Green Synthesis of Selenium Nanoparticles by Grape Seed Extract Synergized with Ascorbic Acid: Preparation Optimization, Structural Characterization, and Functional Activity. **Foods**, [S.l.], v. 14, n. 17, p. 3002, 27 ago. 2025. DOI: 10.3390/foods14173002. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/14/17/3002>. Acesso em: 18 fev. 2026.

CHIBUYE, Bitwell; SINGH, Indra Sen; RAMASAMY, Subbaiya; MASEKA, Kakoma Kenneth. Natural antioxidants: A comprehensive elucidation of their sources, mechanisms, and applications in health. **Next Research**, [S.l.], v. 1, n. 2, p. 100086, dez. 2024. DOI: 10.1016/j.nexres.2024.100086. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S3050475924000861>. Acesso em: 18 fev. 2026.

CHRIST, B.; MÜLLER, K. H. Zur serienmäßigen Bestimmung des Gehaltes an Flavonol-Derivaten in Drogen. **Archiv der Pharmazie**, v. 293, n. 12, p. 1033–1042, 1960. DOI: 10.1002/ardp.19602931202. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ardp.19602931202>. Acesso em: 18 fev. 2026.

DANAEI, M.; DEGHANKHOLD, M.; ATAEL, S.; HASANZADEH DAVARANI, F.; JAVANMARD, R.; DOKHANI, A.; KHORASANI, S.; MOZAFARI, M. R. Impact of Particle Size and Polydispersity Index on the Clinical Applications of Lipidic Nanocarrier Systems. **Pharmaceutics**, [S.l.], v. 10, n. 2, p. 57, 18 maio 2018. DOI: 10.3390/pharmaceutics10020057. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4923/10/2/57>. Acesso em: 18 fev. 2026.

DAS, Ranjana; GANGOPADHYAY, Sneha; DAS, Aishwarya; DAS, Anubhab; BHATTACHARJEE, Chiranjib. Environment friendly green synthesis of nanomaterials. **Comprehensive Materials Processing**. [S.l.]: Elsevier, 2024. p. 320–333. DOI: 10.1016/B978-0-323-96020-5.00160-6. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780323960205001606>. Acesso em: 18 fev. 2026.

DIAS, Danyelle Trevisan Macedo; PALERMO, Karen Ramalho; MOTTA, Bruno Pereira; KAGA, Anderson Kiyoshi; LIMA, Tayra Ferreira Oliveira; BRUNETTI, Iguatemy Lourenço; BAVIERA, Amanda Martins. Rutin inhibits the in vitro formation of advanced glycation products and protein oxidation more efficiently than quercetin. **Revista de Ciências Farmacêutica Básica e Aplicadas - RCFBA**, [S.l.], v. 42, p. e718, 2021. DOI: 10.4322/2179-443X.0718. Disponível em: <https://rcfba.fcfa.unesp.br/index.php/ojs/article/view/718>. Acesso em: 18 fev. 2026.

DURAND, Erwann; LECOMTE, Jérôme; VILLENEUVE, Pierre. From green chemistry to nature: The versatile role of low transition temperature mixtures. **Biochimie**, v. 120, p. 119–123, jan. 2016. DOI: 10.1016/j.biochi.2015.09.019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0300908415002941>. Acesso em: 18 fev. 2026.

ELIZONDO-VILLARREAL, Nora; VERÁSTEGUI-DOMÍNGUEZ, Luz; RODRÍGUEZ-BATISTA, Raúl; GÁNDARA-MARTÍNEZ, Eleazar; ALCORTA-GARCÍA, Aracelia; MARTÍNEZ-DELGADO, Dora; RODRÍGUEZ-CASTELLANOS, Edén Amaral; VÁZQUEZ-RODRÍGUEZ, Francisco; GÓMEZ-RODRÍGUEZ, Cristian. Green Synthesis of Magnetic Nanoparticles of Iron Oxide Using Aqueous Extracts of Lemon Peel

Waste and Its Application in Anti-Corrosive Coatings. **Materials**, [S.l.], v. 15, n. 23, p. 8328, 23 nov. 2022. DOI: 10.3390/ma15238328. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1944/15/23/8328>. Acesso em: 18 fev. 2026.

FAYLE, Siân E.; HEALY, Jackie P.; BROWN, Paula A.; REID, Elizabeth A.; GERRARD, Juliet A.; AMES, Jennifer M. Novel approaches to the analysis of the Maillard reaction of proteins. **ELECTROPHORESIS**, [S.l.], v. 22, n. 8, p. 1518–1525, maio 2001. DOI: 10.1002/1522-2683(200105)22:8<1518::AID-ELPS1518>3.0.CO;2-U. Disponível em: [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/1522-2683\(200105\)22:8<1518::AID-ELPS1518>3.0.CO;2-U](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/1522-2683(200105)22:8<1518::AID-ELPS1518>3.0.CO;2-U). Acesso em: 18 fev. 2026.

FARKAS, Natalia; KRAMAR, John A. Dynamic light scattering distributions by any means. **Journal of Nanoparticle Research**, [S.l.], v. 23, n. 5, p. 120, maio 2021. DOI: 10.1007/s11051-021-05220-6. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s11051-021-05220-6>. Acesso em: 18 fev. 2026.

GALVEZ, Julio; DE SOUZA GRACIOSO, Juliano; CAMUESCO, Desirée; GALVEZ, Julio; VILEGAS, Wagner; MONTEIRO SOUZA BRITO, Alba Regina; ZARZUELO, Antonio. Intestinal antiinflammatory activity of a lyophilized infusion of *Turnera ulmifolia* in TNBS rat colitis. **Fitoterapia**, [S.l.], v. 77, n. 7–8, p. 515–520, dez. 2006. DOI: 10.1016/j.fitote.2006.05.029. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0367326X06001778>. Acesso em: 18 fev. 2026.

GALIĆ, Lucija; LONČARIĆ, Zdenko; LISJAK, Miroslav. A Review of Phenolic Compounds: From Biosynthesis and Ecological Roles to Human Health and Nutrition. **Phyton**, [S.l.], v. 94, n. 11, p. 3297–3318, 2025. DOI: 10.32604/phyton.2025.072504. Disponível em: <https://www.techscience.com/phyton/v94n11/64704>. Acesso em: 18 fev. 2026.

GIMENIS, Janine Mailho; FIGUEIREDO, Célia Cristina Malaguti; GOMES, Amanda Da Costa; GRANERO, Filipe Oliveira; XIMENES, Valdecir Farias; SILVA, Luciana Pereira; BRONZEL JUNIOR, João Luiz; LEITE E SILVA, Vânia Rodrigues; SILVA, Regildo Márcio Gonçalves Da. Microencapsulation of Moringa oleifera L. extract in liposomes: Evaluation of antioxidant and antiglycation activities, cytotoxicity and skin biometric parameters. **Journal of Drug Delivery Science and Technology**, [S.l.], v. 88, p. 104972, out. 2023. DOI: 10.1016/j.jddst.2023.104972. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1773224723008249>. Acesso em: 18 fev. 2026.

GRACIOSO, Juliano De Souza; VILEGAS, Wagner; HIRUMA-LIMA, Clélia Akiko; BRITO, Alba Regina Monteiro Souza. Effects of Tea from *Turnera ulmifolia* L. on Mouse Gastric Mucosa Support the Turneraceae as a New Source of Antiulcerogenic Drugs. **Biological and Pharmaceutical Bulletin**, [S.l.], v. 25, n. 4, p. 487–491, 2002. DOI: 10.1248/bpb.25.487. Disponível em: http://www.jstage.jst.go.jp/article/bpb/25/4/25_4_487/_article. Acesso em: 18 fev. 2026.

GULCIN, İlhami; ALWASEL, Saleh H. DPPH Radical Scavenging Assay. **Processes**, v. 11, n. 8, p. 2248, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr11082248>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-9717/11/8/2248>. Acesso em: 18 fev. 2026.

GUIMARÃES, Adriana G.; OLIVEIRA, Geovana F.; MELO, Mônica S.; CAVALCANTI, Sócrates C.H.; ANTONIOLLI, Angelo R.; BONJARDIM, Leonardo R.; SILVA, Francilene A.; SANTOS, João Paulo A.; ROCHA, Ricardo F.; MOREIRA, José Claudio F.; ARAÚJO, Adriano A.S.; GELAIN, Daniel P.; QUINTANS-JÚNIOR, Lucindo J. Bioassay-guided Evaluation of Antioxidant and Antinociceptive Activities of Carvacrol. **Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology**, [S.l.], v. 107, n. 6, p. 949–957, dez. 2010. DOI: 10.1111/j.1742-7843.2010.00609.x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1742-7843.2010.00609.x>. Acesso em: 18 fev. 2026.

GWADA, Cynthia A.; NDIVHUWO, Prince S.; MATSHETSHE, Kabo; ARADI, Emily; MDLULI, Phumlane; MOLOTO, Nosipho; OTIENO, Francis; AIRO, Mildred. Phytochemical-assisted synthesis, optimization, and characterization of silver nanoparticles for antimicrobial activity. **RSC Advances**, [S.l.], v. 15, n. 18, p. 14170–14181, 2025. DOI: 10.1039/D4RA08900F. Disponível em: <https://xlink.rsc.org/?DOI=D4RA08900F>. Acesso em: 18 fev. 2026.

HAN, Xue; SUN, Xue; SHI, Zihang; FAN, Xiankang; HU, Yangyang; CHEN, Chen; XIA, Qiang; SUN, Yangying; PAN, Daodong. Study on the inhibitory effects and mechanisms of four polyphenolic compounds

from perilla extract on advanced glycation end products (AGEs). **Food Chemistry: X**, [S.l.], v. 29, p. 102857, jul. 2025. DOI: 10.1016/j.fochx.2025.102857. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2590157525007047>. Acesso em: 18 fev. 2026.

HAN, Yongqiang; FU, Renchi; DAI, Yanyang; TAN, Chao; WANG, Wenjie; GUO, Dongdong; MA, Zhongling; ZHANG, Xiaojun. Leaf versus flower: green-synthesized silver nanoparticles from *Xanthoceras sorbifolia* leaf extract reveal superior antimicrobial and cytotoxic efficacy. **RSC Advances**, [S.l.], v. 15, n. 29, p. 23654–23669, 2025. DOI: 10.1039/d5ra02434j. Disponível em: <https://xlink.rsc.org/?DOI=D5RA02434J>. Acesso em: 18 fev. 2026.

HOVE, Mfandaizda; VAN HILLE, Robert P.; LEWIS, Alison E. Iron solids formed from oxidation precipitation of ferrous sulfate solutions. **AIChE Journal**, v. 53, n. 10, p. 2569–2577, out. 2007. DOI: 10.1002/aic.11264. Disponível em: <https://aiche.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/aic.11264>. Acesso em: 18 fev. 2026.

IBRAHIM, Nourhan M.; FOUAD, Omar A.; ELIWA, Ayman S.; MOHAMED, Gehad G.; HOSNY, Wafaa M.; HEFNAWY, Mahmoud A. Chemical and green synthesis of silver nanoparticles and their use as an electrocatalyst for water splitting. **International Journal of Hydrogen Energy**, [S.l.], v. 159, p. 150536, ago. 2025. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2025.150536. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360319925035359>. Acesso em: 18 fev. 2026.

JAMKHANDE, Prasad Govindrao; GHULE, Namrata W.; BAMER, Abdul Haque; KALASKAR, Mohan G. Metal nanoparticles synthesis: An overview on methods of preparation, advantages and disadvantages, and applications. **Journal of Drug Delivery Science and Technology**, [S.l.], v. 53, p. 101174, out. 2019. DOI: 10.1016/j.jddst.2019.101174. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1773224718308189>. Acesso em: 18 fev. 2026.

JIA, Wei; GUO, Aiai; ZHANG, Rong; SHI, Lin. Mechanism of natural antioxidants regulating advanced glycosylation end products of Maillard reaction. **Food Chemistry**, [S.l.], v. 404, p. 134541, mar. 2023. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.134541. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814622025031>. Acesso em: 18 fev. 2026.

JIA, Zixian; LI, Jiantao; GAO, Lin; YANG, Dezheng; KANAIEV, Andrei. Dynamic Light Scattering: A Powerful Tool for In Situ Nanoparticle Sizing. **Colloids and Interfaces**, [S.l.], v. 7, n. 1, p. 15, 16 fev. 2023. DOI: 10.3390/colloids7010015. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2504-5377/7/1/15>. Acesso em: 18 fev. 2026.

KALIMUTHU, K; CHINNADURAI, V; PRABAKARAN, R; SUBRAMANIAM, P; JULIET, Y. Antimicrobial, Antioxidant and Anticancer Activities of *Turnera ulmifolia* (Yellow Alder) Callus. **British Journal of Pharmaceutical Research**, [S.l.], v. 9, n. 5, p. 1–12, 10 jan. 2016. DOI: 10.9734/BJPR/2016/21920. Disponível em: <https://journaljpri.com/index.php/JPRI/article/view/491>. Acesso em: 18 fev. 2026.

KARUPPIAH, Muthu; RAJMOHAN, Rangasamy. Green synthesis of silver nanoparticles using *Ixora coccinea* leaves extract. **Materials Letters**, v. 97, p. 141–143, abr. 2013. DOI: 10.1016/j.matlet.2013.01.087. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167577X13001195>. Acesso em: 18 fev. 2026.

KAMBLE, Meenatai G.; SINGH, Anurag; SINGH, Sukh Veer; KAMBLE, Manisha G.; SAGAR, Narashans Alok; RANI, Nitu. Nanotechnology for encapsulation of bioactive components: a review. **Discover Food**, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 116, 26 abr. 2025. DOI: 10.1007/s44187-025-00386-7. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s44187-025-00386-7>. Acesso em: 18 fev. 2026.

KHAWULA, Sindiswa; GOKUL, Arun; NIEKERK, Lee-Ann; BASSON, Gerhard; KEYSTER, Marshall; BADIWE, Mhlali; KLEIN, Ashwil; NKOMO, Mbukeni. Insights into the Effects of Hydroxycinnamic Acid and Its Secondary Metabolites as Antioxidants for Oxidative Stress and Plant Growth under Environmental Stresses. **Current Issues in Molecular Biology**, [S.l.], v. 46, n. 1, p. 81–95, 21 dez. 2023. DOI: 10.3390/cimb46010007. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1467-3045/46/1/7>. Acesso em: 18 fev. 2026.

KOLD-CHRISTENSEN, Rasmus; JOHANNSEN, Mogens. Methylglyoxal Metabolism and Aging-Related Disease: Moving from Correlation toward Causation. **Trends in Endocrinology & Metabolism**, [S.l.], v. 31, n.

2, p. 81–92, fev. 2020. DOI: 10.1016/j.tem.2019.10.003. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1043276019302061>. Acesso em: 18 fev. 2026.

KOSI, Nina Križaj; PAVELIĆ, Jakov-Stjepan; GRILC, Miha; GYERGYEK, Sašo; MAKOVEC, Darko. Synthesis of a Magnetically Heatable Ceria-Supported Ruthenium Catalyst via Deposition of Nanocrystalline Ceria on Silica-Coated Magnetic Iron–Oxide Nanoparticles. **Journal of Physics and Chemistry of Solids**, [S.l.], p. 113517, jan. 2026. DOI: 10.1016/j.jpcs.2026.113517. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S002236972600003X>. Acesso em: 18 fev. 2026.

KUMAR, S; SHARMA, A. Pharmacognostic Investigations On *Turnera ulmifolia*. **Nigerian Journal of Natural Products and Medicine**, [S.l.], v. 11, n. 1, p. 5–9, 8 maio 2008. DOI: 10.4314/njnp.v11i1.11869. Disponível em: <http://www.ajol.info/index.php/njnp/article/view/11869>. Acesso em: 18 fev. 2026. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141813023039144>. Acesso em: 18 fev. 2026.

KUMAR, Vinod; KAUSHIK, Naveen Kumar; TIWARI, S.K.; SINGH, Davender; SINGH, Bijender. Green synthesis of iron nanoparticles: Sources and multifarious biotechnological applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, [S.l.], v. 253, p. 127017, dez. 2023. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.127017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141813023039144>. Acesso em: 18 fev. 2026.

KUMMARA, Sivaiah; PATIL, Mrityunjaya B.; URIAH, Tiewlasubon. Synthesis, characterization, biocompatible and anticancer activity of green and chemically synthesized silver nanoparticles – A comparative study. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, [S.l.], v. 84, p. 10–21, dez. 2016. DOI: 10.1016/j.biopha.2016.09.003.

LEE, Ji-Hoon. Oxidative stress and the multifaceted roles of ATM in maintaining cellular redox homeostasis. **Redox Biology**, [S.l.], v. 75, p. 103269, set. 2024. DOI: 10.1016/j.redox.2024.103269.

LEE, Cheolju; YIM, Moon B.; CHOCK, P. Boon; YIM, Hyung-Soon; KANG, Sa-Ouk. Oxidation-Reduction Properties of Methylglyoxal-modified Protein in Relation to Free Radical Generation. **Journal of Biological Chemistry**, [S.l.], v. 273, n. 39, p. 25272–25278, set. 1998. DOI: 10.1074/jbc.273.39.25272. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2213231724002477>. Acesso em: 18 fev. 2026.

LEMBO, Chiara; BUONOCORE, Giuseppe; PERRONE, Serafina. Oxidative Stress in Preterm Newborns. **Antioxidants**, [S.l.], v. 10, n. 11, p. 1672, 23 out. 2021. DOI: 10.3390/antiox10111672.

LI, Li-Feng; WANG, Meng-Di; ZHANG, Chen-Yang; JIN, Meng-Yao; CHEN, Hua-Lei; LUO, Huan; HOU, Tian-Yu; ZHANG, Zhi-Jun; LI, He. Influence of hydroxyl substitution on the inhibition of flavonoids in advanced glycation end-products formation in glucose-lysine-arginine Maillard reaction models. **Food Research International**, [S.l.], v. 207, p. 116068, abr. 2025. DOI: 10.1016/j.foodres.2025.116068. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996925004053>. Acesso em: 18 fev. 2026.

LIU, Ziwang; WANG, Xiaoqian; QIN, Honglin; CHEN, Yan; XIA, Ling; WANG, Xuanjing; LAI, Yanhua; LI, Gongke. Research progress of the Maillard reaction process monitoring. **Chinese Chemical Letters**, [S.l.], p. 111742, ago. 2025. DOI: 10.1016/j.ccl.2025.111742. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1001841725009210>. Acesso em: 18 fev. 2026.

MARTIN-LEFEVRE, L.; OLLIVIER, M.; KAZAKOU, E.; BOPP, M.-C.; FRIED, G. Impacts of agricultural intensification on weed floral and competitive traits: A spatiotemporal study in French vineyards and annual crops. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [S.l.], v. 394, p. 109877, dez. 2025. DOI: 10.1016/j.agee.2025.109877. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167880925004098>. Acesso em: 18 fev. 2026.

MEDIC, Aljaz; ZAMLJEN, Tilan; HUDINA, Metka; VEBERIC, Robert. Time-Dependent Degradation of Naphthoquinones and Phenolic Compounds in Walnut Husks. **Biology**, [S.l.], v. 11, n. 2, p. 342, 21 fev. 2022. DOI: 10.3390/biology11020342. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-7737/11/2/342>. Acesso em: 18 fev. 2026.

MEHER, Anil Kumar; ZAROURI, Akli. Green Analytical Chemistry—Recent Innovations. **Analytica**, v. 6, n. 1, p. 10, 2025. DOI: 10.3390/analytica6010010. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2673-4532/6/1/10>. Acesso em: 18 fev. 2026.

MUHAMMAD, Sher; KHAN, Abid Ali; KHAN, Muhammad Rameez; MUKHTAR, Sidra; KAZMI, Abeer; ALI, Amir; SIDDIQA, Ayesha; AILEEN HERNÁNDEZ RAMÍREZ, Kayley; LUNA-ARIAS, Juan Pedro; MEDINA-PÉREZ, Gabriela; PELAEZ-ACERO, Armando; ARMENTA, Silvia; AHMAD, Ajaz. Effective substitution of ferrous sulfate with iron oxide nanoparticles enhances growth, antioxidant activity, and stevioside accumulation in micro-propagated *Stevia rebaudiana*. **Frontiers in Plant Science**, [S.l.], v. 16, p. 1569613, 25 abr. 2025. DOI: 10.3389/fpls.2025.1569613. Disponível em:

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2025.1569613/full>. Acesso em: 18 fev. 2026.

MUSTAPHA, Tijjani; MISNI, Norashiqin; ITHNIN, Nur Raihana; DASKUM, Abdullahi Muhammad; UNYAH, Ngah Zasmy. A Review on Plants and Microorganisms Mediated Synthesis of Silver Nanoparticles, Role of Plants Metabolites and Applications. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [S.l.], v. 19, n. 2, p. 674, 7 jan. 2022. DOI: 10.3390/ijerph19020674. Disponível em:

<https://www.mdpi.com/1660-4601/19/2/674>. Acesso em: 18 fev. 2026.

NAGARAJ, Karuppiah; THANGAMUNIYANDI, Pilavadi; KAMALESU, Subramaniam; *et al.* Metallo-Surfactant assisted silver nanoparticles: A new approach for the colorimetric detection of amino acids. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 296, p. 122693, 2023. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1386142523003785>>. Acesso em: 19 fev. 2026.

NASCIMENTO, M.A.; SILVA, A.K.; FRANÇA, L.C.B.; QUIGNARD, E.L.J.; LÓPEZ, J.A.; ALMEIDA, M.G. *Turnera ulmifolia* L. (Turneraceae): Preliminary study of its antioxidant activity. **Bioresource Technology**, [S.l.], v. 97, n. 12, p. 1387–1391, ago. 2006. DOI: 10.1016/j.biortech.2005.07.009. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S096085240500341X>. Acesso em: 18 fev. 2026.

NATANAEL BORGES RODRIGUES SILVA; EDRIAN MANIA. Biossíntese de nanopartículas *utilizando Turnera subulata*. **Anais dos Seminários de Iniciação Científica**, [S.l.], n. 27, 18 jun. 2024. DOI: 10.13102/semic.vi27.

NÉMETH, Zsófia; CSÓKA, Ildikó; SEMNANI JAZANI, Reza; SIPOS, Bence; HASPEL, Henrik; KOZMA, Gábor; KÓNYA, Zoltán; DOBÓ, Dorina Gabriella. Quality by Design-Driven Zeta Potential Optimisation Study of Liposomes with Charge Imparting Membrane Additives. **Pharmaceutics**, [S.l.], v. 14, n. 9, p. 1798, 26 ago. 2022. DOI: 10.3390/pharmaceutics14091798. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4923/14/9/1798>. Acesso em: 18 fev. 2026.

NIRAIMATHEE, V.A.; SUBHA, V.; RAVINDRAN, R.S. Ernest; RENGANATHAN, S. Green synthesis of iron oxide nanoparticles from *Mimosa pudica* root extract. **International Journal of Environment and Sustainable Development**, [S.l.], v. 15, n. 3, p. 227, 2016. DOI: 10.1504/IJESD.2016.077370. Disponível em: <http://www.inderscience.com/link.php?id=77370>. Acesso em: 18 fev. 2026.

NITHYA, Rajarathinam; THIRUNAVUKKARASU, Arunachalam; SRUTHI, Rengaseshan; DHANAPANDI, Mariappan; ARJUN, Siva; HARIHARAN, Govindaraj. Circular bioeconomy valorization of E-waste and invasive biomass for sustainable copper oxide nanoparticle synthesis and emerging pollutant removal. **Journal of Water Process Engineering**, [S.l.], v. 81, p. 109319, jan. 2026. DOI: 10.1016/j.jwpe.2025.109319. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S221471442502392X>. Acesso em: 18 fev. 2026.

PAL, Anoop K.; AALAEI, Iraj; GADDE, Suresh; GAINES, Peter; SCHMIDT, Daniel; DEMOKRITOU, Philip; BELLO, Dhimiter. High Resolution Characterization of Engineered Nanomaterial Dispersions in Complex Media Using Tunable Resistive Pulse Sensing Technology. **ACS Nano**, [S.l.], v. 8, n. 9, p. 9003–9015, 23 set. 2014. DOI: 10.1021/nn502219q. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/nn502219q>. Acesso em: 18 fev. 2026.

PAPAGEORGIOU, Sergios K.; KOUVELOS, Evangelos P.; FAVVAS, Evangelos P.; SAPALIDIS, Andreas A.; ROMANOS, George E.; KATSAROS, Fotios K. Metal–carboxylate interactions in metal–alginate complexes studied with FTIR spectroscopy. **Carbohydrate Research**, [S.l.], v. 345, n. 4, p. 469–473, fev. 2010. DOI: 10.1016/j.carres.2009.12.010. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0008621509005941>. Acesso em: 18 fev. 2026.

PENG, Yukun; ZHANG, Yutao; LIU, Chuanqun; ULLAH, Fahim; JI, Guozhao; MA, Zhongqing; ZHANG, Haibo. Multi-algorithm synergy in biomass pyrolysis via TG-FTIR-GC/MS: kinetic triplet resolution with particle swarm optimization (PSO) and the specific product evolution. **Journal of the Energy Institute**, [S.l.], v. 121, p. 102180, ago. 2025. DOI: 10.1016/j.joei.2025.102180. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1743967125002089>. Acesso em: 18 fev. 2026.

PÉREZ, Maria; DOMINGUEZ-LÓPEZ, Inés; LAMUELA-RAVENTÓS, Rosa M. The Chemistry Behind the Folin–Ciocalteu Method for the Estimation of (Poly)phenol Content in Food: Total Phenolic Intake in a Mediterranean Dietary Pattern. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [S.l.], v. 71, n. 46, p. 17543–17553, 22 nov. 2023. DOI: 10.1021/acs.jafc.3c04022. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jafc.3c04022>. Acesso em: 18 fev. 2026.

PERON, Shahin; HADI, Faranak; AZARBANI, Farideh; ANANDA MURTHY, H. C. Antimicrobial, antioxidant, anti-glycation and toxicity studies on silver nanoparticles synthesized using *Rosa damascena* flower extract. **Green Chemistry Letters and Reviews**, [S.l.], v. 14, n. 3, p. 519–533, 3 jul. 2021. DOI: 10.1080/17518253.2021.1963492. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17518253.2021.1963492>. Acesso em: 18 fev. 2026.

RANANAWARE, Pranita; SINGH, Sanjay; BRAHMKHATRI, Varsha P. Scavenging of reactive oxygen and nitrogen species using nanoparticles and their applications in disease management. **RSC Advances**, [S.l.], v. 15, n. 56, p. 47955–47980, 2025. DOI: 10.1039/D5RA05248C. Disponível em: <https://xlink.rsc.org/?DOI=D5RA05248C>. Acesso em: 18 fev. 2026.

RAMALINGAM, Vaikundamoorthy. Multifunctionality of gold nanoparticles: Plausible and convincing properties. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 271, p. 101989, set. 2019. DOI: 10.1016/j.cis.2019.101989. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0001868619300235>. Acesso em: 18 fev. 2026.

RE, Roberta; PELLEGRINI, Nicoletta; PROTEGGENTE, Anna; PANNALA, Ananth; YANG, Min; RICE-EVANS, Catherine. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, [S.l.], v. 26, n. 9–10, p. 1231–1237, maio 1999. DOI: 10.1016/S0891-5849(98)00315-3. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0891584998003153>. Acesso em: 18 fev. 2026.

REYES-BECERRIL, Martha; MALDONADO, Minerva; VIMOLMANGKANG, Sornkanok; ANGULO, Carlos. In vivo and ex vivo studies support the immunostimulant and immunoprotective effect of Damiana (*Turnera diffusa* Willd) in Almaco Jack (*Seriola rivoliana*). **Fish & Shellfish Immunology**, [S.l.], v. 146, p. 109369, mar. 2024. DOI: 10.1016/j.fsi.2024.109369. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1050464824000135>. Acesso em: 18 fev. 2026.

RUDRAPAL, Mithun; KHAIRNAR, Shubham J.; KHAN, Johra; DUKHYIL, Abdulaziz Bin; ANSARI, Mohammad Azam; ALOMARY, Mohammad N.; ALSHABRMI, Fahad M.; PALAI, Santwana; DEB, Prashanta Kumar; DEVI, Rajlakshmi. Dietary Polyphenols and Their Role in Oxidative Stress-Induced Human Diseases: Insights Into Protective Effects, Antioxidant Potentials and Mechanism(s) of Action. **Frontiers in Pharmacology**, [S.l.], v. 13, p. 806470, 14 fev. 2022. DOI: 10.3389/fphar.2022.806470. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphar.2022.806470/full>. Acesso em: 18 fev. 2026.

RUNGRATANAWANICH, Wiramon; QU, Ying; WANG, Xin; ESSA, Musthafa Mohamed; SONG, Byoung-Joon. Advanced glycation end products (AGEs) and other adducts in aging-related diseases and alcohol-mediated tissue injury. **Experimental & Molecular Medicine**, [S.l.], v. 53, n. 2, p. 168–188, fev. 2021. DOI: 10.1038/s12276-021-00561-7. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s12276-021-00561-7>. Acesso em: 18 fev. 2026.

SÁ, João Batista Ribeiro Dos Reis; FREITAS, Rafaela Maianna Cruz De Castro. Avaliação da *Turnera ulmifolia*: perfil fitoquímico e atividades farmacológicas / Evaluation of *Turnera ulmifolia*: phytochemical profile and pharmacological activities. **Brazilian Journal of Development**, [S.l.], v. 8, n. 6, p. 43897–43907, 6 jun. 2022. DOI: 10.34117/bjdv8n6-090. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/49016>. Acesso em: 18 fev. 2026.

SABURA SARBUDEEN, Sulthana; MADHAVAN, Saranya; REBEZOV, Maksim; ALI SHARIATI, Mohammad; SVIDERSKIY, Alexandr; BOGONOSOV, Konstantin. Recent Insights and Multifactorial Applications of Carbon Nanotubes. **Micromachines**, [S.l.], v. 12, n. 12, p. 1502, 30 nov. 2021. DOI: 10.3390/mi12121502. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-666X/12/12/1502>. Acesso em: 18 fev. 2026.

SAGITHA, S. Reema; ARAVINDAN, V.; RANI, J. Suvetha; MAHENDRAN, M. Green synthesis and characterization of nano selenium using the extract of *Phyllanthus emblica*. **Measurement: Energy**, [S.l.], v. 6, p. 100051, jun. 2025. DOI: 10.1016/j.meae.2025.100051. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2950345025000181>. Acesso em: 18 fev. 2026.

SALAZAR-ROJAS, Betzabeth; RICO-GRAY, Víctor; CANTO, Azucena; CUAUTLE, Mariana. Seed fate in the myrmecochorous Neotropical plant *Turnera ulmifolia* L., from plant to germination. **Acta Oecologica**, [S.l.], v. 40, p. 1–10, abr. 2012. DOI: 10.1016/j.actao.2012.01.010. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1146609X12000112>. Acesso em: 18 fev. 2026.

SÁNCHEZ, Manu; SABIO, Laura; GÁLVEZ, Natividad; CAPDEVILA, Mercè; DOMINGUEZ-VERA, Jose M. Iron chemistry at the service of life. **IUBMB Life**, [S.l.], v. 69, n. 6, p. 382–388, jun. 2017. DOI: 10.1002/iub.1602. Disponível em: <https://iubmb.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/iub.1602>. Acesso em: 18 fev. 2026.

SARAVANAN, Karunya; MADHAIYAN, Manivannan; PERIYASAMY, Prabu; MANIVANNAN, Prasath; BAYRAKDAR, Alpaslan; BALAKRISHNAN, V. Green synthesis and detailed characterization of selenium nanoparticles derived from *Alangium salviifolium* (L.f) Wangerin. **Chemical Physics Impact**, [S.l.], v. 10, p. 100876, jun. 2025. DOI: 10.1016/j.chphi.2025.100876. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2667022425000647>. Acesso em: 18 fev. 2026.

SĘCZYK, Łukasz; ŚWIECA, Michał; KAPUSTA, Ireneusz; GAWLIK-DZIKI, Urszula. Protein–Phenolic Interactions as a Factor Affecting the Physicochemical Properties of White Bean Proteins. **Molecules**, [S.l.], v. 24, n. 3, p. 408, 23 jan. 2019. DOI: 10.3390/molecules24030408. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/24/3/408>. Acesso em: 18 fev. 2026.

SHAHAB, Uzma; AHMAD, Mohd. Kaleem; MAHDI, Abbas Ali; WASEEM, Mohd.; ARIF, Binish; MOINUDDIN; AHMAD, Saheem. The receptor for advanced glycation end products: A fuel to pancreatic cancer. **Seminars in Cancer Biology**, [S.l.], v. 49, p. 37–43, abr. 2018. DOI: 10.1016/j.semcancer.2017.07.010. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1044579X17300342>. Acesso em: 18 fev. 2026.

SHUMILINA, Julia; KUSNETSOVA, Alena; TSAREV, Alexander; JANSE VAN RENSBURG, Henry C.; MEDVEDEV, Sergei; DEMIDCHIK, Vadim; VAN DEN ENDE, Wim; FROLOV, Andrej. Glycation of Plant Proteins: Regulatory Roles and Interplay with Sugar Signalling? **International Journal of Molecular Sciences**, [S.l.], v. 20, n. 9, p. 2366, 13 maio 2019. DOI: 10.3390/ijms20092366. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/20/9/2366>. Acesso em: 18 fev. 2026.

SIDHU, Amanpreet K.; VERMA, Naveen; KAUSHAL, Priya. Role of Biogenic Capping Agents in the Synthesis of Metallic Nanoparticles and Evaluation of Their Therapeutic Potential. **Frontiers in Nanotechnology**, v. 3, p. 801620, 31 jan. 2022. DOI: 10.3389/fnano.2021.801620. 10.3389/fnano.2021.801620. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnano.2021.801620/full>. Acesso em: 18 fev. 2026.

SIL, Moumita; GOSWAMI, Arunava. Biogenic silver nanoparticles as antimicrobial agents: Plant-mediated bioactivity and metabolic disruption in *E. coli*. **The Microbe**, [S.l.], v. 9, p. 100609, dez. 2025. DOI: 10.1016/j.microb.2025.100609. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2950194625003772>. Acesso em: 18 fev. 2026.

SILVA, Regildo Márcio Gonçalves Da; ROSATTO, Pedro Augusto Pereira; PEREIRA, Isabelly Do Nascimento; ZIBORDI, Laura Camargo; SANTOS, Hugo Henrique; GRANERO, Filipe Oliveira; FIGUEIREDO, Célia Cristina Malaguti; SANTIAGO, Patrícia Soares; PRATA GAONA, Carlos Augusto; NICOLAU-JUNIOR, Nilson; SILVA, Luciana Pereira. Green synthesis of silver nanoparticles using *Pyrostegia venusta* extract, characterization and estimation of antioxidant, antiglycation and anti-aging activities. **Journal of Genetic Engineering and Biotechnology**, [S.l.], v. 23, n. 3, p. 100539, set. 2025. DOI:

10.1016/j.jgeb.2025.100539. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1687157X25000836>. Acesso em: 18 fev. 2026.

SINGH, Kuldeep; GUPTA, Jeetendra Kumar; CHANCHAL, Dilip Kumar; SHINDE, Manoj Gangadhar; KUMAR, Shivendra; JAIN, Divya; ALMARHOON, Zainab M.; ALSHAHRANI, Asma M.; CALINA, Daniela; SHARIFI-RAD, Javad; TRIPATHI, Anjali. Natural products as drug leads: exploring their potential in drug discovery and development. **Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology**, [S.l.], v. 398, n. 5, p. 4673–4687, maio 2025. DOI: 10.1007/s00210-024-03622-6. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s00210-024-03622-6>. Acesso em: 18 fev. 2026.

SINGH, Baljinder; KUMAR, Ashwini; MALIK, Ashok Kumar. Flavonoids biosynthesis in plants and its further analysis by capillary electrophoresis. **ELECTROPHORESIS**, v. 38, n. 6, p. 820–832, mar. 2017. DOI: 10.1002/elps.201600334. Disponível em: <https://analyticalsciencejournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/elps.201600334>. Acesso em: 18 fev. 2026.

SINGH, Kaustubh; PRAKASH, Shraddha; CHOUDHURY, Deepak; JAYAS, Digvir S.; KUMARI, Muskan; SINGH, Rakesh K.; KOUNDAL, Rupali; CHAUHAN, Anil Kumar. The nano-revolution in food preservation: A review of advanced silver nanoparticle packaging. **Food Control**, [S.l.], v. 182, p. 111855, abr. 2026. DOI: 10.1016/j.foodcont.2025.111855. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956713525007248>. Acesso em: 18 fev. 2026.

SINGLETON, Vernon L.; ROSSI, Joseph A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 3, p. 144-158, 1965. DOI: 10.5344/ajev.1965.16.3.144. Disponível em: <http://www.ajevonline.org/lookup/doi/10.5344/ajev.1965.16.3.144>. Acesso em: 18 fev. 2026.

SRIVASTAVA, Nishant; MUKHOPADHYAY, Mausumi. Green synthesis and structural characterization of selenium nanoparticles and assessment of their antimicrobial property. **Bioprocess and Biosystems Engineering**, [S.l.], v. 38, n. 9, p. 1723–1730, set. 2015. DOI: 10.1007/s00449-015-1413-8. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00449-015-1413-8>. Acesso em: 18 fev. 2026.

SKALICKOVA, Sylvie; MILOSAVLJEVIC, Vedran; CIHALOVA, Kristyna; HORKY, Pavel; RICHTER, Lukas; ADAM, Vojtech. Selenium nanoparticles as a nutritional supplement. **Nutrition**, [S.l.], v. 33, p. 83–90, jan. 2017. DOI: 10.1016/j.nut.2016.05.001. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0899900716300727>. Acesso em: 18 fev. 2026.

SOURRIS, Karly C.; WATSON, Anna; JANDELEIT-DAHME, Karin. Inhibitors of Advanced Glycation End Product (AGE) Formation and Accumulation. In: SCHMIDT, Harald H. H. W.; GHEZZI, Pietro; CUADRADO, Antonio (org.). **Reactive Oxygen Species**. Cham: Springer International Publishing, 2020. v. 264, p. 395–423. DOI: 10.1007/164_2020_391. Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/164_2020_391. Acesso em: 18 fev. 2026.

SRUTHI, Vuppula; RAO, G. Baba Shankar. Extraction Phytochemical Screening and Isolation of Active Fraction of *Turnera ulmifolia* Linn. **Asian Journal of Green Chemistry**, n. Online First, jun. 2024. DOI:10.48309/AJGC.2024.454175.1494. Disponível em: <https://doi.org/10.48309/ajgc.2024.454175.1494>. Acesso em: 18 fev. 2026.

STOCKS, Michael. The small molecule drug discovery process – from target selection to candidate selection. In: **Introduction to Biological and Small Molecule Drug Research and Development**. [s.l.]: Elsevier, 2013, p. 81–126. DOI: 10.1016/B978-0-12-397176-0.00003-0. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780123971760000030>. Acesso em: 18 fev. 2026.

TAKÓ, Miklós; KERÉKES, Erika Beáta; ZAMBRANO, Carolina; KOTOGÁN, Alexandra; PAPP, Tamás; KRISCH, Judit; VÁGVÖLGYI, Csaba. Plant Phenolics and Phenolic-Enriched Extracts as Antimicrobial Agents against Food-Contaminating Microorganisms. **Antioxidants**, [S.l.], v. 9, n. 2, p. 165, 18 fev. 2020. DOI: 10.3390/antiox9020165. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3921/9/2/165>. Acesso em: 18 fev. 2026.

THIRUVENGADAM, Muthu; RAJAKUMAR, Govindasamy; SWETHA, Venkata; *et al.* Recent Insights and Multifactorial Applications of Carbon Nanotubes. **Micromachines**, v. 12, n. 12, p. 1502, 2021. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2072-666X/12/12/1502>>. Acesso em: 23 fev. 2026.

THOMAS, Shijith; GONSALVES, Richard A.; JOSE, Jomy; ZYOUN, Samer H.; PRASAD, Anupama R.; GARVASIS, Julia. Plant-based synthesis, characterization approaches, applications and toxicity of silver nanoparticles: A comprehensive review. **Journal of Biotechnology**, [S.l.], v. 394, p. 135–149, nov. 2024. DOI: 10.1016/j.jbiotec.2024.08.009. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168165624002244>. Acesso em: 18 fev. 2026.

TUPE, Rashmi S.; KEMSE, Nisha G.; KHAIRE, Amrita A.; SHAIKH, Shamim A. Attenuation of glycation-induced multiple protein modifications by Indian antidiabetic plant extracts. **Pharmaceutical Biology**, [S.l.], v. 55, n. 1, p. 68–75, jan. 2017. DOI: 10.1080/13880209.2016.1228683. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13880209.2016.1228683>. Acesso em: 18 fev. 2026.

VALLE-SÁNCHEZ, Sergio Luis; RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, Roberto; ÁVILA-VILLA, Luz Angélica; *et al.* Phenolic compounds profile in extracts of Smilax spp., antioxidant activity, and inhibition of advanced glycation end products. **Food Chemistry**, v. 463, p. 141389, 2025. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814624030395>>. Acesso em: 23 fev. 2026.

VANKUDOTH, Suvarchala; DHARAVATH, Sunithabai; VEERA, Spoorthi; MADURU, Narsimhulu; CHADA, Radhika; CHIRUMAMILLA, Pavani; GOPU, Chaitanya; TADURI, Shasthree. Green synthesis, characterization, photoluminescence and biological studies of silver nanoparticles from the leaf extract of *Muntingia calabura*. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, [S.l.], v. 630, p. 143–150, nov. 2022. DOI: 10.1016/j.bbrc.2022.09.054. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0006291X22013109>. Acesso em: 18 fev. 2026.

VIEL, Amanda Martins; FIGUEIREDO, Célia Cristina Malaguti; GRANERO, Filipe Oliveira; *et al.* Antiglycation, antioxidant and cytotoxicity activities of crude extract of *Turnera ulmifolia* L. before and after microencapsulation process. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, v. 219, p. 114975, 2022. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S073170852200396X>>. Acesso em: 19 fev. 2026.

VIJAYARAM, Srirengaraj; GHAFARIFARSANI, Hamed; VUPPALA, Srikanth; *et al.* Selenium Nanoparticles: Revolutionizing Nutrient Enhancement in Aquaculture – A Review. **Biological Trace Element Research**, v. 203, n. 1, p. 442–453, 2025. Disponível em: <<https://link.springer.com/10.1007/s12011-024-04172-x>>. Acesso em: 23 fev. 2026.

WANG, Si-Wei; ZHENG, Qiu-Yi; HONG, Wei-Feng; *et al.* Mechanism of immune activation mediated by genomic instability and its implication in radiotherapy combined with immune checkpoint inhibitors. **Radiotherapy and Oncology**, v. 199, p. 110424, 2024. DOI: 10.1016/j.radonc.2024.110424. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167814024006947>. Acesso em: 18 fev. 2026.

VILLAGRÁN, Zuamí; ANAYA-ESPARZA, Luis Miguel; VELÁZQUEZ-CARRILES, Carlos Arnulfo; *et al.* Plant-Based Extracts as Reducing, Capping, and Stabilizing Agents for the Green Synthesis of Inorganic Nanoparticles. **Resources**, v. 13, n. 6, p. 70, 2024. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2079-9276/13/6/70>>. Acesso em: 19 fev. 2026.

WANG, Yajie; LI, Shuqin; ZHANG, Tingting; *et al.* Effects of myricetin and its derivatives on nonenzymatic glycation: A mechanism study based on proteomic modification and fluorescence spectroscopy analysis. **Food Chemistry**, v. 455, p. 139880, 2024. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814624015309>>. Acesso em: 18 fev. 2026.

WASIM, Rufaida; MAHMOOD, Tarique; SIDDIQUI, Mohd. Haris; *et al.* Aftermath of AGE-RAGE Cascade in the pathophysiology of cardiovascular ailments. **Life Sciences**, v. 307, p. 120860, 2022. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0024320522005604>>. Acesso em: 23 fev. 2026.

WILCZYŃSKA, Aleksandra; RUCHOMSKI, Leszek; ŁAKOMSKI, Mateusz; GÓRAL-KOWALCZYK, Małgorzata; SUROWIEC, Zbigniew; MIAKOWSKI, Arkadiusz. Chitosan-Coated Fe₃O₄ Nanoparticles for

Magnetic Hyperthermia. **Materials**, [S.l.], v. 18, n. 24, p. 5629, 15 dez. 2025. DOI: 10.3390/ma18245629. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1944/18/24/5629>. Acesso em: 18 fev. 2026.

WU, Jiamin; WU, Yingji; YUAN, Yan; *et al.* Eco-friendly, green synthesized copper oxide nanoparticle (CuNPs) from an important medicinal plant *Turnera subulata* Sm. and its biological evaluation. **Food and Chemical Toxicology**, v. 168, p. 113366, 2022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0278691522005646>. Acesso em: 19 fev. 2026.

ZEIN, R.; ALGHORAIBI, I.; SOUKKARIEH, Ch.; SALMAN, A.; ALAHMAD, A. In-vitro anticancer activity against Caco-2 cell line of colloidal nano silver synthesized using aqueous extract of *Eucalyptus Camaldulensis* leaves. **Heliyon**, [S.l.], v. 6, n. 8, p. e04594, ago. 2020. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e04594. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405844020314389>. Acesso em: 18 fev. 2026.

ZHAO, Meimei; WU, Yunzhou; ZHANG, Fan; ZHENG, Sitao; WANG, Libo; BAI, Jingwen; YANG, Yu. Preparation of *Ribes nigrum* L. polysaccharides-stabilized selenium nanoparticles for enhancement of the anti-glycation and α -glucosidase inhibitory activities. **International Journal of Biological Macromolecules**, [S.l.], v. 253, p. 127122, dez. 2023. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.127122. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141813023040199>. Acesso em: 18 fev. 2026.

ZHAI, Xiaona; ZHANG, Chunyue; ZHAO, Guanghua; STOLL, Serge; REN, Fazheng; LENG, Xiaojing. Antioxidant capacities of the selenium nanoparticles stabilized by chitosan. **Journal of Nanobiotechnology**, [S.l.], v. 15, n. 1, p. 4, dez. 2017. DOI: 10.1186/s12951-016-0243-4. Disponível em: <http://jnanobiotechnology.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12951-016-0243-4>. Acesso em: 18 fev. 2026.

ZUHROTUN, Ade; OKTAVIANI, Dede Jihan; HASANAH, Aliya Nur. Biosynthesis of Gold and Silver Nanoparticles Using Phytochemical Compounds. **Molecules**, [S.l.], v. 28, n. 7, p. 3240, 5 abr. 2023. DOI: 10.3390/molecules28073240. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/28/7/3240>. Acesso em: 18 fev. 2026.