

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE BIOTECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA

SAMILLY DIAS MESQUITA

**BIOSSÍNTESE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA UTILIZANDO EXTRATOS
METANÓLICOS DE *Calliandra dysantha*: CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA
ATIVIDADE ANTIMICROBIANA**

PATOS DE MINAS – MG
JULHO DE 2026

SAMILLY DIAS MESQUITA

**BIOSSÍNTESE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA UTILIZANDO EXTRATOS
METANÓLICOS DE *Calliandra dysantha*: CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA
ATIVIDADE ANTIMICROBIANA**

Monografia apresentada ao Instituto de
Biotecnologia da Universidade Federal de
Uberlândia como requisito final para a
obtenção do título de Bacharel em
Biotecnologia.

Orientadora: Dra. Claudilene Ribeiro Chaves

Coorientadora: Me. Carla Ferreira de Lima

PATOS DE MINAS – MG

JULHO DE 2026

SAMILLY DIAS MESQUITA

Biossíntese de nanopartículas de prata utilizando extratos metanólicos de *Calliandra dysantha*: caracterização e avaliação da atividade antimicrobiana

Monografia apresentada ao Instituto de Biotecnologia da Universidade Federal de Uberlândia como requisito final para a obtenção do título de Bacharel em Biotecnologia.

Banca Examinadora:

Dra. Claudilene Ribeiro Chaves – Universidade Federal de Uberlândia (IBTEC)

Presidente

Dra. Terezinha Aparecida Teixeira – Universidade Federal de Uberlândia (IBTEC)

Membro

Dr. Guilherme Ramos Oliveira e Freitas – Universidade Federal de Uberlândia (IBTEC)

Membro

Os membros da Comissão Examinadora acima assinaram a Ata de Defesa que se encontra no Sistema Eletrônico de Informações (SEI) da Universidade Federal de Uberlândia.

Patos de Minas - MG, 26 de Julho de 2026.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me capacitar e fortalecer.

Ao meu pai, por ser o alicerce que me permitiu buscar meus próprios caminhos, apoiando cada decisão minha e sendo meu porto seguro nos momentos de incerteza.

À minha mãe, mulher forte que sempre torceu por mim e se esforçou para que nada me faltasse. Seu exemplo de força foi o que me ensinou a nunca desistir, mesmo diante dos obstáculos desta jornada.

À minha família, por todo o apoio e incentivo, mas em especial à minha avó Sônia, meu avô Valdivino, minha tia Rosana e minha prima Júlia, por serem colo, cuidado e refúgio nos momentos difíceis.

Aos meus amigos, Giovanna, Isabella, Rafael, Cristal e Thayná, pela amizade, pelo companheirismo e pelos momentos compartilhados, que tornaram essa trajetória mais leve e especial.

Aos professores Dr. Guilherme, Dra. Terezinha, Dr. Gilvan, Dr. Marcos e Dra. Daiane, por contribuírem para o desenvolvimento desta pesquisa e para a elaboração deste trabalho.

A todos os professores da UFU, por todo o conhecimento compartilhado ao longo da minha jornada acadêmica.

À minha orientadora, Prof. Dra. Claudilene, pela orientação, paciência e incentivo. Sua dedicação, confiança e ensinamentos foram fundamentais.

À minha coorientadora, Me. Carla, pelos conhecimentos compartilhados, pela disposição em ajudar e pela alegria de sempre.

Às minhas queridas Cilesia e Luciana, pelo apoio, acolhimento e amizade.

À minha amiga Chris, por tornar esta fase leve e me permitir apreciar o caminho.

A todos vocês, que de perto ou de longe fizeram parte dessa caminhada, o meu mais sincero e carinhoso obrigado.

RESUMO

A resistência de bactérias e fungos aos antimicrobianos convencionais representa um dos principais desafios da saúde pública, impulsionando a busca por novas estratégias terapêuticas. Nesse contexto, abordagens baseadas em nanotecnologia e no uso de moléculas bioativas de plantas do Cerrado tem contribuído para o desenvolvimento de materiais funcionais com potencial biomédico. A biossíntese de nanopartículas de prata (AgNPs) destaca-se como uma alternativa promissora e sustentável, uma vez que compostos bioativos presentes nos extratos vegetais atuam simultaneamente como agentes redutores e estabilizantes, minimizando o uso de reagentes potencialmente tóxicos. Assim, esse estudo teve como objetivo sintetizar AgNPs utilizando extratos metanólicos de folhas, flores, caules e raízes de *Calliandra dysantha*, caracterizar as NPs obtidas e avaliar sua atividade antimicrobiana contra *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Talaromyces sp.* e *Rhodotorula mucilaginosa*. A biossíntese foi realizada em meio aquoso utilizando nitrato de prata como precursor sob aquecimento e agitação constante. As NPs foram caracterizadas por espectroscopia de absorção no ultravioleta-vísivel (UV-Vis), espalhamento dinâmico de luz (DLS) e análise de potencial zeta. Análises do potencial antioxidante foram realizadas pelos métodos DPPH, ABTS e poder redutor utilizando os extratos de flores e folhas. A atividade antimicrobiana das amostras obtidas foi avaliada pelo método de difusão em ágar. A formação das AgNPs foi confirmada pela presença de uma banda de ressonância plasmônica de superfície entre 430 e 450 nm, com maior intensidade de absorção para os extratos de flores e folhas. As análises por DLS revelaram diâmetros hidrodinâmicos médios de 24,86 e 39,65 nm para as AgNPs sintetizadas com extratos de flores e folhas, respectivamente, com baixos índices de polidispersidade e valores de potencial zeta de $-23,3$ mV e -24 mV, indicando estabilidade coloidal moderada. Nos ensaios de difusão em disco, não foram observados halos de inibição tanto para as AgNPs quanto para os extratos vegetais frente aos microrganismos avaliados, sugerindo a necessidade de otimização das condições de síntese e das concentrações das amostras, bem como a aplicação de métodos quantitativos para avaliação da atividade antimicrobiana. Conclui-se que a *C. dysantha* apresenta potencial para a síntese verde de AgNPs com características físico-químicas condizentes com as descritas na literatura, sendo uma fonte promissora de biomoléculas com propriedades antioxidantes para o desenvolvimento sustentável de nanomateriais aplicáveis à nanobiotecnologia.

Palavras-chaves: Atividade antimicrobiana. Biossíntese. *Calliandra dysantha*. Nanopartícula de prata.

ABSTRACT

*The resistance of bacteria and fungi to conventional antimicrobial agents represents one of the major challenges in public health, driving the search for new therapeutic strategies. In this context, approaches based on nanotechnology and the use of bioactive molecules derived from Cerrado plants have contributed to the development of functional materials with biomedical potential. The green biosynthesis of silver nanoparticles (AgNPs) has emerged as a promising and sustainable alternative, as bioactive compounds present in plant extracts act simultaneously as reducing and stabilizing agents, minimizing the use of potentially toxic reagents. Therefore, this study aimed to synthesize AgNPs using methanolic extracts from leaves, flowers, stems, and roots of *Calliandra dysantha*, characterize the obtained nanoparticles, and evaluate their antimicrobial activity against *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Talaromyces* sp., and *Rhodotorula mucilaginosa*. The biosynthesis was performed in an aqueous medium using silver nitrate as a precursor under constant heating and stirring. The AgNPs were characterized by ultraviolet-visible absorption spectroscopy (UV-Vis), dynamic light scattering (DLS), and zeta potential analysis. Analyses of antioxidant potential were performed using the DPPH, ABTS, and ferric reducing power assays with the flower and leaf extracts. The antimicrobial activity was evaluated using the disk diffusion method. The formation of AgNPs was confirmed by the presence of a localized surface plasmon resonance (LSPR) band between 430 and 450 nm, with higher synthesis efficiency observed for flower and leaf extracts. DLS analyses revealed mean hydrodynamic diameters of 24.86 nm and 39.65 nm for AgNPs synthesized using flower and leaf extracts, respectively, with low polydispersity indices and zeta potential values of -23.3 mV and -24.0 mV, indicating moderate colloidal stability. In disk diffusion assays, no inhibition halos were observed for either AgNPs or plant extracts against the evaluated microorganisms, suggesting the need for optimization of synthesis conditions and sample concentrations, as well as the application of quantitative methods for antimicrobial activity assessment. It is concluded that *C. dysantha* has potential for the green synthesis of AgNPs with physicochemical characteristics consistent with those described in the literature, representing a promising source of biomolecules with antioxidant properties for the sustainable development of nanomaterials with possible applications in nanobiotechnology.*

Keywords: Antimicrobial activity. Biosynthesis. *Calliandra dysantha*. Silver nanoparticle.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática da Ressonância plasmônica de superfície localizada (LSPR) em nanopartículas metálicas, evidenciando a oscilação coletiva dos elétrons livres induzida pela incidência de radiação eletromagnética	9
Figura 2 - Diferentes métodos de síntese de nanopartículas	10
Figura 3 - <i>Calliandra dysantha</i>	11
Figura 4 - Comparação entre a parede celular de bactérias Gram-positivas e Gram-negativas	13
Figura 5 - Comparação morfológica entre fungos filamentosos e fungos leveduriformes	14
Figura 6 - Espectroscopia de absorção UV-Vis dos extratos de <i>Calliandra dysantha</i>	22
Figura 7 - Espectroscopia de absorção UV-Vis dos extratos de flores e folhas de <i>Calliandra dysantha</i> (concentrações em µg/mL).....	23
Figura 8 - Espectroscopia de absorção UV-Vis dos extratos de caule e raiz de <i>Calliandra dysantha</i> (concentrações em µg/mL).....	24
Figura 9 - Formação de AgNPs	25
Figura 10 - Potencial zeta de AgNPs obtidas com extratos de flor (A) e folha (B) de <i>Calliandra dysantha</i>	26
Figura 11 - Diâmetro hidrodinâmico e índice de polidispersão de AgNPs obtidas com extratos de flores (A) e folhas (B) de <i>Calliandra dysantha</i>	27
Figura 12 - Atividade antioxidante dos extratos de flores e folhas de <i>Calliandra dysantha</i> , utilizando o método de DPPH. Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas, para comparar a concentração entre os extratos, e minúscula para comparar a concentração dentro de cada extrato não diferem significativamente ao nível 5% de probabilidade, de acordo com o teste de Scott-Knott.....	29
Figura 13 - Atividade antioxidante dos extratos de flores e folhas de <i>Calliandra dysantha</i> , utilizando o método de ABTS. Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas, para comparar a concentração entre os extratos, e minúscula para comparar a concentração dentro de cada extrato não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, de acordo com o teste de Scott-Knott	30
Figura 14 - Atividade antioxidante dos extratos de flores e folhas de <i>Calliandra dysantha</i> , utilizando o método de Poder Redutor. Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas, para comparar a concentração entre os extratos, e minúscula para a comparar a concentração dentro de cada extrato não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, de acordo com o teste de Scott-Knott.....	31
Figura 15 - Ensaio de disco de difusão sobre cepa bacteriana de <i>S. aureus</i> , (A) AgNPs e extratos de flores e (B) AgNPs e extratos de folhas	32
Figura 16 - Ensaio de disco de difusão sobre cepa bacteriana de <i>E. coli</i> , (A) AgNPs e extratos de flores e (B) AgNPs e extratos de folhas.....	32
Figura 17 - Ensaios de disco de difusão sobre a cepa fúngica de <i>R. mucilaginosa</i> , (A) AgNPs e extratos de flores e (B) AgNPs e extratos de folhas	33
Figura 18 - Ensaios de disco de difusão sobre a cepa fúngica de <i>Talaromyces</i> sp., (A) AgNPs e extratos de flores e (B) AgNPs e extratos de folhas	34

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo geral	15
2.2 Objetivos específicos	15
3 MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1 Coleta do Material Vegetal	15
3.2 Extratos metanólicos de <i>Calliandra dysantha</i>	15
3.3 Perfil antioxidante dos extratos vegetais de flores e folhas de <i>C. dysantha</i>	16
3.3.1 Método do sequestro dos radicais livres DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil)	16
3.3.2 Método do sequestro dos radicais livres ABTS (2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico))	17
3.3.3 Poder redutor	17
3.3.4 Análises estatísticas	18
3.4 Síntese de Nanopartículas de prata	18
3.5 Preparo das amostras para ensaios microbiológicos	18
3.6 Caracterização das nanopartículas	19
3.6.1 Espectroscopia de absorção no UV-Visível	19
3.6.2 Espalhamento Dinâmico de Luz (DLS)	19
3.6.3 Potencial Zeta	19
3.7 Cepas microbianas, condições de crescimento e cultivo	20
3.8 Ensaios de disco de difusão	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1 Biossíntese de nanopartículas de prata	21
4.2 Caracterização das nanopartículas de prata	25
4.2.1 Potencial zeta	25
4.2.2 Espalhamento Dinâmico de Luz (DLS)	26
4.3 Perfil antioxidante dos extratos vegetais de flores e folhas de <i>C. dysantha</i>	28
4.4 Teste de Atividade Antimicrobiana por difusão em disco	31
5 CONCLUSÃO	35
REFERÊNCIAS	37

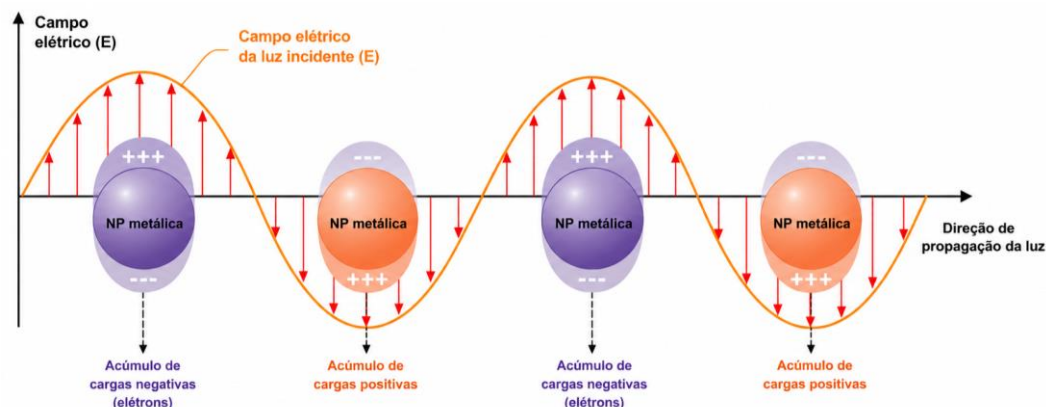
1 INTRODUÇÃO

A nanotecnologia é uma área multidisciplinar da ciência e da tecnologia dedicada ao estudo, manipulação e aplicação de materiais em escala nanométrica, geralmente compreendida entre 1 e 100 nanômetros. Nessa escala, os materiais podem apresentar propriedades físicas, químicas, ópticas, elétricas e biológicas distintas daquelas observadas em suas formas macroscópicas, devido ao aumento da área superficial e aos efeitos quânticos associados às dimensões reduzidas (Altammar, 2023; Paras et al., 2022). Essas características têm impulsionado o desenvolvimento de novos materiais e tecnologias com aplicações em diversos setores, incluindo eletrônica, energia, agricultura, meio ambiente e saúde (Haleem et al., 2023; Hossain et al., 2023; Mgadi et al., 2024).

Entre os nanomateriais mais estudados destacam-se as nanopartículas metálicas, especialmente as nanopartículas de prata (AgNPs), ouro (AuNPs) e óxidos metálicos (Pasparakis, 2022). Esses materiais apresentam propriedades únicas que os tornam promissores para aplicações em diagnóstico, tratamento de doenças, desenvolvimento de sensores e controle microbiológico.

As nanopartículas metálicas (NPMs) têm sido amplamente estudadas e utilizadas devido às suas propriedades físico-químicas diferenciadas, decorrentes principalmente de suas dimensões nanométricas. Essas propriedades distinguem-se daquelas observadas nos materiais em escala macroscópica e são influenciadas por fatores como tamanho, distribuição de tamanho, morfologia, composição química, revestimento superficial e capacidade de liberação de íons (Zhang et al., 2016). Entre essas características, destacam-se as propriedades ópticas associadas ao fenômeno da ressonância plasmônica de superfície localizada (*Localized Surface Plasmon Resonance* - *LSPR*) (Figura 1). Esse fenômeno ocorre quando a radiação eletromagnética incide sobre as nanopartículas (NPs), fazendo com que o campo elétrico oscilante da luz induza a oscilação coletiva dos elétrons livres presentes em sua superfície (Grasseschi; Santos, 2020; Mcoyi et al., 2025). Nas NPMs, essa interação resulta em intensas bandas de absorção na região do ultravioleta-visível (UV-Vis), característica amplamente utilizada para monitorar sua formação e estabilidade (Corrêa, 2015).

Figura 1 - Representação esquemática da Ressonância plasmônica de superfície localizada (LSPR) em nanopartículas metálicas, evidenciando a oscilação coletiva dos elétrons livres induzida pela incidência de radiação eletromagnética



Fonte: Adaptado de Mcoyi com auxílio da ferramenta de IA ChatGPT (2025).

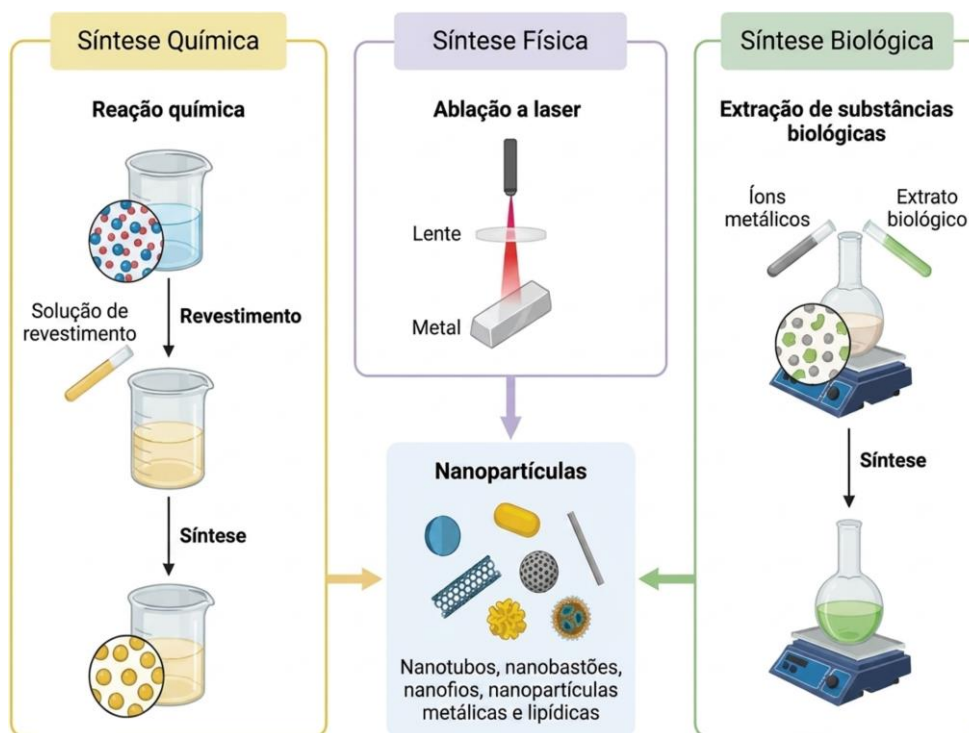
As NPMs apresentam estrutura cristalina e podem assumir diferentes morfologias, como esférica, cúbica, octaédrica e em bastão. Essas características estruturais influenciam diretamente suas propriedades físico-químicas, incluindo estabilidade, reatividade química, propriedades ópticas e interações com sistemas biológicos (Devi et al., 2022).

Os métodos de síntese de NPMs são geralmente classificados em duas abordagens principais: *top-down* e *bottom-up*. Na abordagem *top-down*, materiais em escala macroscópica são reduzidos a dimensões nanométricas por técnicas como fresagem mecânica, ablação a laser e pulverização catódica. Na abordagem *bottom-up*, as NPs são formadas a partir da agregação controlada de átomos ou moléculas, por processos como decomposição química, automontagem molecular e biossíntese (Burlec et al., 2023).

Dentro dessas abordagens, os métodos de síntese podem ser físicos, químicos ou biológicos (Figura 2). Os métodos físicos, apresentam a vantagem de minimizar a contaminação das NPs por solventes e reagentes químicos; entretanto, geralmente demandam elevado consumo energético e equipamentos de alto custo, especialmente em processos que envolvem altas temperaturas e pressões. Por outro lado, os métodos químicos possibilitam a obtenção de NPs com elevada pureza, boa estabilidade e controle das características morfológicas. Contudo, a utilização de agentes redutores e estabilizantes químicos pode resultar na geração de resíduos tóxicos e em potenciais impactos ambientais (Altammar, 2023). Diferentemente, na síntese biológica ou síntese verde, destaca-se como uma alternativa sustentável, econômica e ambientalmente amigável. Nesse método, organismos vivos ou seus metabólitos (bactérias, fungos, algas e extratos vegetais) atuam como agentes redutores e

estabilizantes, promovendo a formação de NPs, sem a necessidade de reagentes químicos agressivos (Burlec et al., 2023). Além de reduzir os impactos ambientais, esse método pode aumentar a biocompatibilidade dos nanomateriais, ampliando seu potencial de aplicação em áreas como biomedicina, agricultura, farmacêutica e biotecnologia (Osman et al., 2024; Srinivasan; Rana, 2024).

Figura 2 - Diferentes métodos de síntese de nanopartículas



Fonte: Adaptado de Srinivasan com auxílio da ferramenta de IA ChatGPT (2024).

Nesse contexto, a síntese verde de AgNPs tem recebido crescente atenção devido às suas propriedades físico-químicas e biocompatibilidade. Devido a utilização de extratos vegetais, fungos e bactérias como agentes redutores e estabilizantes, o método incorpora compostos bioativos naturais ao processo. Como resultado, amplia-se o potencial de aplicação das NPs oferecendo uma alternativa mais sustentável e ambientalmente amigável em comparação aos métodos convencionais (Huston et al., 2021; Jain et al., 2021).

Apesar de suas vantagens, a utilização de extratos vegetais pode apresentar limitações, uma vez que fatores como pH, temperatura, concentração dos reagentes e composição fitoquímica influenciam diretamente a cinética de formação, o tamanho, a morfologia e a estabilidade das partículas formadas (Khan et al., 2022). Ainda assim, alguns estudos demonstram que AgNPs sintetizadas com extratos vegetais podem apresentar melhor

desempenho antimicrobiano em comparação aos métodos de síntese tradicionais (Barabadi et al., 2021; Tran et al., 2022). Dessa forma, a prospecção de espécies vegetais com potencial para a biossíntese de NPs metálicas torna-se uma estratégia promissora para o desenvolvimento de nanomateriais sustentáveis com aplicações biotecnológicas, farmacêuticas e microbiológicas (Riaz et al., 2020).

Entre essas espécies, destaca-se a *Calliandra dysantha* Benth., pertencente à família Fabaceae (Figura 3). Estudos fitoquímicos dessa planta revelam a presença de compostos fenólicos, flavonoides e outros metabólitos secundários com propriedades antioxidantes e antibacterianas, o que a torna um potencial agente redutor e estabilizante para a síntese verde de AgNPs (Patil; Kim, 2017; Chan et al., 2014; Vaidehi, 2022).

No entanto, apesar de seu potencial biotecnológico, ainda não existem estudos que investigam a aplicação da *Calliandra dysantha* na síntese verde de AgNPs, sendo este, até onde se sabe, o primeiro estudo a explorar essa aplicação, e, também, são escassos, os estudos voltados para a avaliação de sua atividade antimicrobiana. Dessa forma, a escolha de *C. dysantha* para este estudo justifica-se pela riqueza de seus compostos bioativos e pelo potencial de desenvolvimento de estratégias inovadoras e sustentáveis na interface entre nanotecnologia, biotecnologia e microbiologia.

Figura 3 - *Calliandra dysantha*



Fonte: próprio autor.

Além do potencial para a síntese sustentável de nanomateriais, as AgNPs destacam-se por sua expressiva atividade antimicrobiana (Bruna et al., 2021). Devido às suas dimensões nanométricas, as AgNPs podem interagir diretamente com a membrana celular bacteriana,

aderindo-se à sua superfície, penetrando na célula e acumulando-se no ambiente intracelular. Essa interação pode comprometer a integridade da membrana, promovendo o extravasamento do conteúdo intracelular e, conseqüentemente, a morte celular. Após sua internalização, as AgNPs também podem interagir com grupos fosfato e enxofre presentes em proteínas intracelulares e no DNA, além de interferirem na atividade enzimática e induzirem a formação de espécies reativas de oxigênio (ROS - do inglês *Reactive Oxygen Species*). Esses processos desencadeiam alterações metabólicas e danos celulares que podem levar à ativação de vias associadas à morte celular (Bruna et al., 2021; Swolana; Wojtyczka, 2022).

A atividade antimicrobiana das AgNPs está intimamente ligada à sua capacidade de liberar íons Ag^+ . Essas espécies altamente reativas e com carga positiva podem interagir com diversos componentes celulares bacterianos, promovendo alterações estruturais e funcionais que comprometem a sobrevivência microbiana (Durán et al., 2019; Karatas et al., 2026).

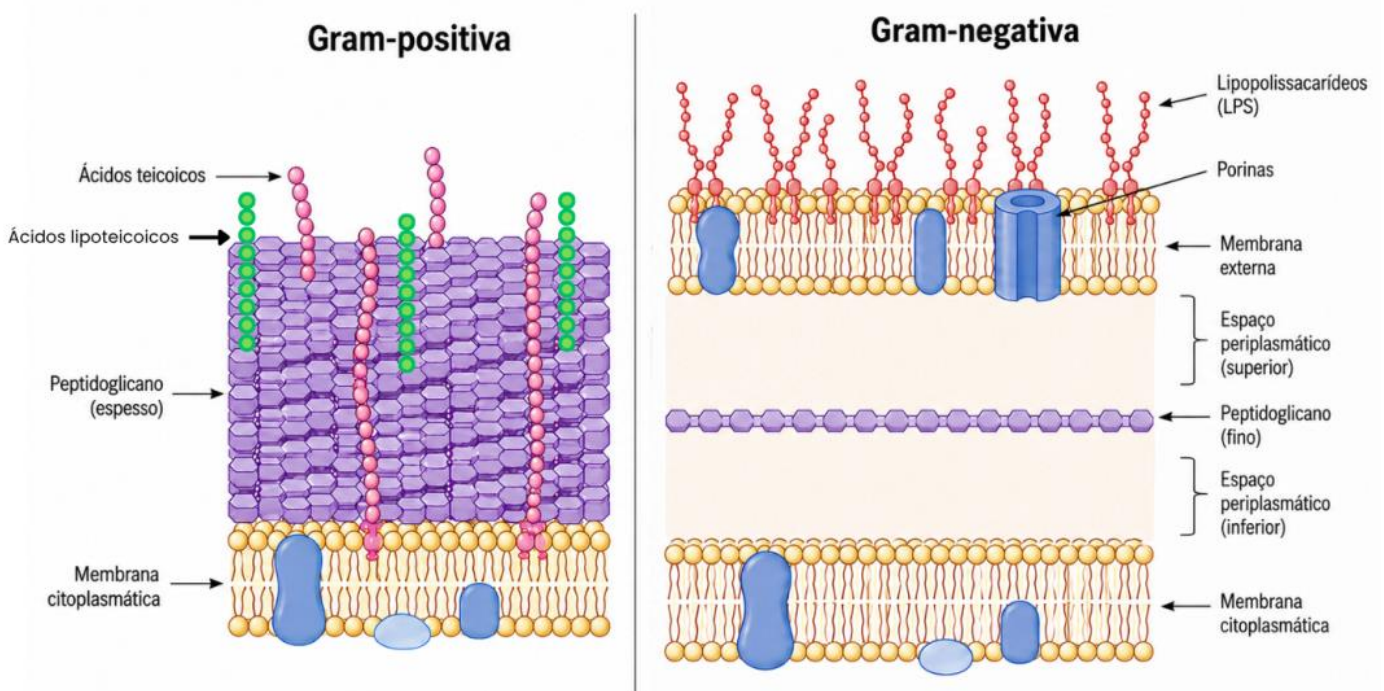
Considerando a riqueza fitoquímica de *Calliandra dysantha* e o potencial biológico das AgNPs, a utilização dessa espécie do Cerrado como agente redutor e estabilizante na síntese de AgNPs representa uma estratégia promissora para a obtenção de nanomateriais com propriedades antimicrobianas aprimoradas. A associação entre os compostos bioativos presentes no extrato vegetal e as propriedades intrínsecas das AgNPs pode favorecer o desenvolvimento de sistemas nanoestruturados mais eficientes para o combate a microrganismos patogênicos (Chan et al., 2014; Vaidehi, 2022).

A eficácia antimicrobiana de um nanomaterial não pode ser considerada uniforme frente a diferentes grupos microbianos, uma vez que a composição e a estrutura celular desses organismos influenciam sua susceptibilidade a agentes externos. Dessa forma, a avaliação da atividade das AgNPs biossintetizadas frente a microrganismos representativos de diferentes classes taxonômicas, como bactérias Gram-positivas e Gram-negativas, além de fungos leveduriformes e filamentosos, permite estimar o espectro de ação do nanomaterial, contribuindo para a compreensão de seu potencial biotecnológico no controle de microrganismos de alta relevância clínica e ambiental.

Entre as bactérias, a distinção entre Gram-positivas e Gram-negativas está diretamente relacionada à composição da parede celular (Figura 4), fator que impacta a permeabilidade e, conseqüentemente, a interação com as AgNPs. Bactérias Gram-positivas, como *Staphylococcus aureus*, possuem uma parede celular espessa, composta predominantemente por peptidoglicano, enquanto as bactérias Gram-negativas, como *Escherichia coli*, apresentam uma parede celular mais fina, revestida externamente por lipopolissacarídeos. O *S. aureus* destaca-se como um dos principais patógenos associados a infecções humanas, apresentando

uma ampla variedade de fatores de virulência e elevada capacidade de resistência aos antimicrobianos convencionais (Cheung; Bae; Otto, 2021; Ahmad-Mansour et al., 2021). De forma semelhante, a *E. coli* está entre os patógenos Gram-negativos mais frequentemente associados a infecções humanas e contaminações ambientais, sendo amplamente utilizada como microrganismo-modelo em ensaios de susceptibilidade antimicrobiana devido à sua relevância clínica e à emergência de cepas multirresistentes (Naidoo; Zishiri, 2025). A inclusão desses dois grupos bacterianos permite a avaliação dos mecanismos de ação das AgNPs considerando as diferenças estruturais da parede celular bacteriana e suas possíveis implicações na interação nanopartícula-célula.

Figura 4 - Comparação entre a parede celular de bactérias Gram-positivas e Gram-negativas



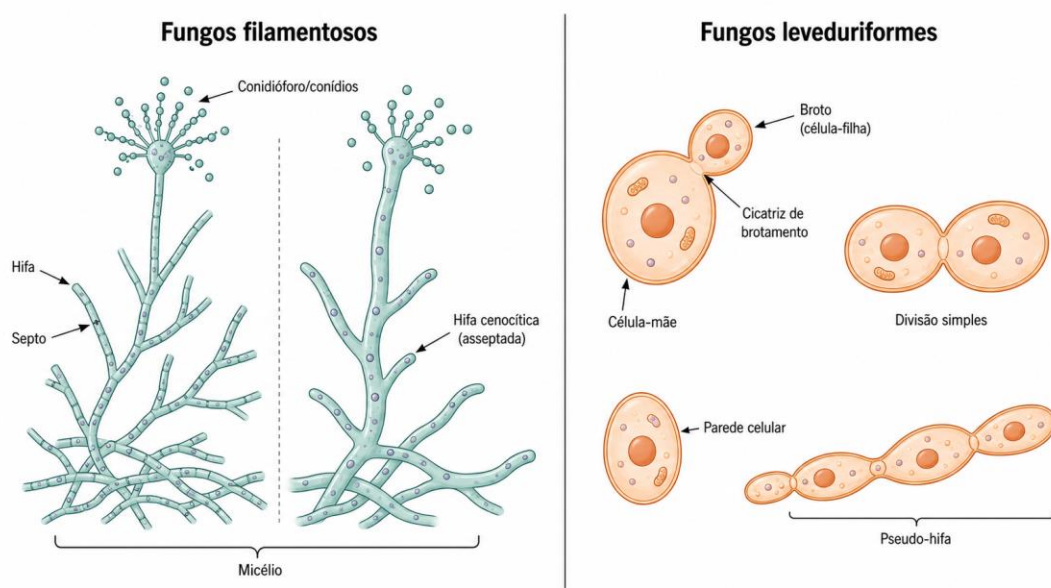
Fonte: Elaborada pela autora com auxílio da ferramenta de IA ChatGPT (2026).

Além do espectro antibacteriano, a avaliação da atividade antifúngica das AgNPs amplia o potencial de aplicações biotecnológicas do nanomaterial, especialmente diante do aumento global de infecções fúngicas associadas a fungos leveduriformes e filamentosos oportunistas. A espécie *Rhodotorula mucilaginosa* é uma levedura reconhecida como um patógeno oportunista, associada principalmente a infecções em pacientes imunocomprometidos, além de apresentar resistência a diversos antifúngicos convencionais (Ioannou; Vamvoukaki; Samonis, 2019). Já o gênero *Talaromyces* agrupa fungos

filamentosos amplamente distribuídos no ambiente, incluindo espécies com grande relevância clínica, como *Talaromyces marneffe*, agente etiológico da talaromicose, uma micose sistêmica associada a elevadas taxas de mortalidade (Wang; Han; Chen, 2023).

A inclusão de representantes leveduriformes e filamentosos (Figura 5) no estudo microbiológico, permite avaliar a atuação das AgNPs em estruturas fúngicas morfológicamente distintas, contribuindo para uma caracterização mais abrangente de seu potencial antimicrobiano.

Figura 5 - Comparação morfológica entre fungos filamentosos e fungos leveduriformes



Fonte: Elaborada pela autora com auxílio da ferramenta de IA ChatGPT (2026).

Nesse contexto, o presente trabalho propõe a biossíntese e a caracterização de AgNPs utilizando extratos de *C. dyantha*, bem como a avaliação de sua atividade antimicrobiana frente a bactérias e fungos de interesse microbiológico. Espera-se que os resultados contribuam para a valorização da biodiversidade do Cerrado e para o desenvolvimento de alternativas sustentáveis voltadas ao controle de microrganismos de relevância clínica, em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, especialmente ao ODS 3 (Saúde e Bem-estar), ao propor uma alternativa nanotecnológica com potencial antimicrobiano, ao ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), pela utilização de uma abordagem baseada em química verde, ao ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), pelo desenvolvimento de estratégias inovadoras em nanobiotecnologia, e ao ODS 15 (Vida Terrestre), pela valorização sustentável da biodiversidade do Cerrado.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Produzir, caracterizar e avaliar a atividade antimicrobiana de nanopartículas de prata (AgNPs) obtidas por síntese verde a partir de extratos vegetais de *Calliandra dysantha* frente a *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Rhodotorula mucilaginosa* e *Talaromyces* sp.

2.2 Objetivos específicos

- Preparar extratos metanólicos de *C. dysantha*.
- Avaliar o perfil antioxidante dos extratos vegetais de *C. dysantha*.
- Realizar a síntese verde de AgNPs, utilizando extratos vegetais como agentes redutores e estabilizantes.
- Caracterizar as AgNPs obtidas por espectroscopia de absorção na região do ultravioleta-visível (UV-Vis), determinar o potencial zeta e analisar a distribuição de tamanho de partículas por espalhamento dinâmico de luz (DLS).
- Avaliar a influência dos extratos metanólicos de *C. dysantha* na formação de AgNPs.
- Analisar o potencial antimicrobiano das AgNPs frente às espécies *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Rhodotorula mucilaginosa*, *Talaromyces* sp.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Coleta do Material Vegetal

Amostras de diferentes partes da planta *C. dysantha* foram coletadas na zona rural do município de Coromandel, Minas Gerais, Brasil. As amostras foram devidamente lavadas e submetidas a extração em metanol para obtenção de extratos das folhas, flores, caules e raízes, seguindo o protocolo de Silva (2018).

3.2 Extratos metanólicos de *Calliandra dysantha*

Os diferentes órgãos da planta (folhas, flores, caules e raízes) foram coletados, separados, higienizados e liofilizados por 48 h. Em seguida, o material seco foi triturado em

moinho de facas até a obtenção de um pó fino e homogêneo. Para o processo de extração, foi utilizado metanol (CH_3OH , grau de pureza de 99%) como solvente, empregando-se a proporção de 1:10 (m/v), ou seja, volume de solvente correspondente a dez vezes a massa (em gramas) do pó de cada órgão vegetal.

As misturas contendo o pó vegetal e solvente foram transferidas para frascos tipo Erlenmeyer, devidamente vedados e protegidos da luz com papel alumínio, e mantidos à temperatura ambiente por 72 h, sob agitação periódica (a cada 24 h). Ao final desse período, as misturas foram filtradas em papel de filtro, sendo a fase líquida armazenada em frascos âmbar, enquanto o resíduo sólido submetido a extrações sucessivas com metanol. Esse processo foi repetido por cinco ciclos, visando à extração exaustiva dos metabólitos bioativos presentes no material vegetal.

As frações líquidas obtidas foram reunidas e concentradas por evaporação sob pressão reduzida em evaporador rotativo, a 55 °C, até a remoção do solvente. O extrato bruto resultante foi submetido à secagem complementar, quando necessário, para remoção de possíveis resíduos de solvente. Por fim, os extratos obtidos a partir de cada órgão vegetal foram acondicionados em tubos tipo Falcon, protegidos da luz e armazenados em ultrafreezer a -80 °C até a realização das análises.

3.3 Perfil antioxidante dos extratos vegetais de flores e folhas de *C. dysantha*

3.3.1 Método do sequestro dos radicais livres DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil)

A avaliação da atividade antioxidante pelo método do sequestro dos radicais livres DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) foi realizada de acordo com as metodologias descritas por Lopes-Lutz *et al.*, (2008), com algumas modificações. Uma solução etanólica de DPPH foi preparada na concentração de 40 $\mu\text{g/mL}$. Para a avaliação, 1,8 mL da solução de DPPH foram adicionados em tubos de ensaio, seguidos da adição de 0,2 mL de cada diluição dos extratos da flor e folha de *Calliandra dysantha* e das AuNPs (125; 62,5; 31,25 e 15,625 $\mu\text{g/mL}$).

Em paralelo, o controle negativo foi preparado utilizando 0,2 mL de água destilada e 1,8 mL do DPPH. Após 60 minutos, leituras foram realizadas em espectrofotômetro T70+ UV/VIS Spectrometer, no comprimento de onda de 517 nm. A atividade antioxidante foi calculada utilizando a Equação (1), sendo A_{Amo} = Absorbância do DPPH com a amostra e A_{CN} = Absorbância do controle negativo.

$$AA\% = [(A_{CN} - A_{Amo}) / A_{CN}] \times 100 \quad (1)$$

3.3.2 Método do sequestro dos radicais livres ABTS (2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico))

A formação do cátion radical ABTS ((2,2-azinobis-[3-etil-benzotiazolin-6-ácido sulfônico]) foi realizada de acordo com o método descrito por Antunes *et al.*, (2010). Para o ensaio, 50 µL da diluição dos extratos da flor e folha de *C. dysantha* (125; 62,5; 31,25; 15,625 e 7,81 µg/mL) foram adicionados a 950 µL da solução do radical ABTS•+. A absorbância foi monitorada por espectrofotometria a 734 nm, após 6 minutos da reação. Uma amostra contendo a mesma quantidade de etanol e a solução do radical ABTS•+ foi utilizada como controle negativo. A porcentagem de inibição do radical ABTS•+ pelas amostras foi calculada de acordo com a Equação (2), sendo A_{CN} = Absorbância do controle negativo e A_{Am} = Absorbância da amostra.

$$\% \text{ Inibição radical} = [(A_{CN} - A_{Am}) / A_{CN}] * 100 \quad (2)$$

3.3.3 Poder redutor

O poder redutor das amostras foi avaliado seguindo o protocolo descrito por Oyaizu *et al.*, (1986), com pequenas modificações. Em tubos de ensaio, foram adicionadas alíquotas de 50 µL das diferentes concentrações dos extratos das flores e folhas de *C. dysantha* nas concentrações de 125, 62,5, 31,25, 15,625 e 7,81 µg/mL. Em seguida, foram adicionados 500 µL de solução tampão fosfato, pH 7,4, e 500 µL de solução aquosa de ferricianeto de potássio a 1%.

Após 20 minutos de incubação a 50 °C em banho-maria, foram adicionados 500 µL de ácido tricloroacético a 10%, 1,5 mL de água destilada e 300 µL da solução de cloreto férrico. Em seguida foi realizada a leitura da absorbância a 700 nm no espectrofotômetro UV-340G (Gehaka).

Os valores foram comparados com uma curva padrão com diferentes concentrações de BHT (butil-hidroxitolueno) correspondentes a 2000, 1000, 500, 250, 125, 62,5, 31,25 e 15,625 µg/mL. Os resultados foram expressos em miligramas equivalentes de BHT por grama de amostra.

3.3.4 Análises estatísticas

Os resultados das atividades antioxidantes dos extratos de flores e folhas obtidos pelos métodos DPPH, ABTS e poder redutor, foram submetidos à análise de variância (ANOVA – Analysis of Variance), e teste de F, a fim de verificar a existência de diferenças significativas entre as concentrações avaliadas. As médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$). A ANOVA, o teste de F e o teste de médias foram realizados utilizando o programa Sisvar. Os gráficos e as demais análises descritivas dos dados foram elaborados utilizando o software GraphPad Prism, versão 5.01.

3.4 Síntese de Nanopartículas de prata

Para a síntese das AgNPs, foram preparados apenas os extratos de flores e folhas de *C. dysantha*, na concentração de 2,5 mg/mL. Para isso, 5 mg de cada extrato foram solubilizados em 2 mL de água destilada e deionizada e submetidos à sonicação em banho ultrassônico por 50 min.

Após a solubilização dos extratos, foi preparada uma solução estoque de nitrato de prata (AgNO_3) na concentração de 1 mM. Para isso, 8,5 mg de AgNO_3 foram dissolvidos em água destilada e deionizada e a solução foi transferida para um balão volumétrico de 50 mL, cujo volume foi completado com água destilada e deionizada.

Para a síntese das AgNPs, foram preparadas seis condições reacionais, cada uma com volume final de 10 mL, mantendo-se fixo o volume de solução de AgNO_3 (1mM; 1 mL) e variando-se o volume de extrato vegetal adicionado (125, 250, 500, 1000, 1500 e 2000 μL). As misturas foram mantidas em chapa de aquecimento a 80°C, sob agitação constante, por 10 minutos. As concentrações finais dos extratos vegetais nas reações corresponderam a 31,25; 62,5; 125; 250; 375 e 500 $\mu\text{g/mL}$, respectivamente.

3.5 Preparo das amostras para ensaios microbiológicos

Após a síntese, as amostras de AgNPs biossintetizadas foram congeladas por 48 horas e, em seguida, submetidas ao processo de liofilização por 48h, utilizando o equipamento L108 (Liotop), disponibilizado pela empresa Agrocere. Esse procedimento teve como objetivo concentrar as amostras para utilização nos ensaios de disco em difusão.

Ao término da liofilização, o material obtido foi ressuspenso em 500 µL de uma solução composta por água destilada e deionizada e dimetilsulfóxido (DMSO), na proporção de 1:1 (v/v). Uma solução contendo água destilada e deionizada e DMSO, na mesma proporção, foi utilizada como controle negativo nos ensaios microbiológicos.

3.6 Caracterização das nanopartículas

3.6.1 Espectroscopia de absorção no UV-Visível

A caracterização por espectroscopia de absorção UV-Visível foi realizada através de varredura na faixa de 200 a 700 nm, no leitor de microplacas (Thermo Fisher Varioskan LUX), no Laboratório Multiusuário da UFU, Patos de Minas.

3.6.2 Espalhamento Dinâmico de Luz (DLS)

Medidas de espalhamento dinâmico de luz (DLS) foram realizadas para determinar o diâmetro hidrodinâmico das AgNPs, levando a informações sobre a distribuição de tamanho das partículas em suspensão, utilizando o equipamento Litesizer 500, da Anton Paar no Centro de Tecnologia em Nanomateriais e Grafeno (CTNano), Belo Horizonte. Essa análise ocorre através de um feixe de laser incide na amostra líquida de AgNPs e mede a flutuação da intensidade da luz espalhada pelo tempo. Essas variações são analisadas por um correlator, que converte o tempo de difusão em tamanho de partícula através da equação de Stokes-Einstein.

3.6.3 Potencial Zeta

O Potencial Zeta foi avaliado para obter informações sobre a estabilidade coloidal das AgNPs. Segundo a literatura, quando o valor do potencial zeta é superior a +25 mV, em módulo, maior é a estabilidade da NPs, ou seja, menor a tendência de agregação. A técnica é realizada por eletroforese Doppler a laser (ELS), na qual o deslocamento de frequência da luz espalhada (efeito Doppler) pelas partículas é analisado para determinar a velocidade (mobilidade eletroforética) e calcular o potencial.

As amostras foram submetidas utilizando uma cubeta Omega de policarbonato com eletrodos embutidos, a medições de carga elétrica superficial em suspensão aquosa, utilizando o equipamento Litesizer 500 Anton Paar do CTNano, Belo Horizonte.

3.7 Cepas microbianas, condições de crescimento e cultivo

Os experimentos foram realizados utilizando as cepas bacterianas padrão *S. aureus* ATCC 25923 e *E. coli* ATCC 25922, fornecidas pelo Laboratório de Microbiologia do IBTEC/UFU, Campus Patos de Minas. Os microrganismos foram mantidos em freezer, na presença de glicerol a 20%, e recuperados com o auxílio de uma alça de platina, sendo posteriormente inoculados em placas contendo meio Ágar Triptona de Soja (TSA, Tryptic Soy Agar) (PRODIMOL) e incubados por 24 h a 37 °C. Após o crescimento bacteriano, a pureza das culturas foi verificada pelo método de coloração de Gram, e colônias isoladas foram selecionadas para os ensaios experimentais.

Os isolados fúngicos *Talaromyces* sp e *Rhodotorula mucilaginosa*, utilizados na avaliação da atividade antifúngica das AgNPs, foram fornecidos pelos Laboratórios de Microscopia (LAMIC) e de Bioquímica e de Biologia Molecular (LBBM) do IBTEC/UFU, campus Patos de Minas. Os isolados foram mantidos em tubos de ensaio contendo meio sólido Batata Dextrose Ágar (BDA) (PRODIMOL), dispostos em posição inclinada, recobertos com solução de glicerol 30% esterilizada e armazenada a 4°C. Os isolados são testados ou recuperados em placas de Petri, contendo meio sólido BDA e incubados nas condições adequadas para cada microrganismo. A manutenção das culturas foi realizada por meio de repiques periódicos, a cada 21 dias. Após o crescimento, as placas foram armazenadas a 4°C, conforme protocolo adotado pelo LBBM da UFU.

3.8 Ensaios de disco de difusão

O potencial antimicrobiano das AgNPs e dos extratos vegetais foi avaliado pelo método de disco de difusão em ágar, com adaptações específicas para ensaios com bactérias e com fungos.

Para ensaios bacterianos, uma pequena amostra de colônias isoladas de cada uma das cepas (*S. aureus* ATCC 25923 e *E. coli* ATCC 25922) crescidas anteriormente em ágar TSA (PRODIMOL), foi diluída em tubos contendo solução salina estéril 0,9% até atingir turbidez equivalente ao padrão 0,5 da escala de McFarland (aproximadamente $1,5 \times 10^8$ UFC/mL). A

suspensão bacteriana foi espalhada sobre placas de Petri contendo meio PRODIMOL[®], com auxílio de swab estéril, preparando-se uma placa para os extratos de flores e outra para os extratos de folhas, para cada microrganismo.

Os discos de papel filtro estéreis foram embebidos por imersão nas amostras (extratos vegetais isolado e AgNPs) e, em seguida distribuídos sobre cada placa, em triplicata, da seguinte forma: três discos contendo extrato vegetal, três disco contendo AgNPs, um disco contendo o controle positivo (eritromicina para *S. aureus* e ampicilina para *E. coli*) e um disco contendo o controle negativo (solução de água destilada e deionizada e DMSO). As placas foram incubadas em estufa bacteriológica a 37°C por 24h.

Para os ensaios antifúngicos, uma pequena amostra de cada isolado (*Talaromyces* sp. e *Rhodotorula mucilaginosa*) foi coletada por raspagem, com auxílio de uma espátula estéril, e suspensa em solução salina estéril. A concentração da suspensão foi determinada por contagem celular na Câmara de Neubauer, resultando em $4,67 \times 10^7$ células/mL para *Talaromyces* sp. e $1,53 \times 10^8$ células/mL para *Rhodotorula mucilaginosa*. A suspensão fúngica foi igualmente espalhada sobre placas de Petri contendo meio BDA, utilizando swab estéril, preparando-se uma placa para os extratos de flores e outra para os extratos de folhas, para cada isolado fúngico.

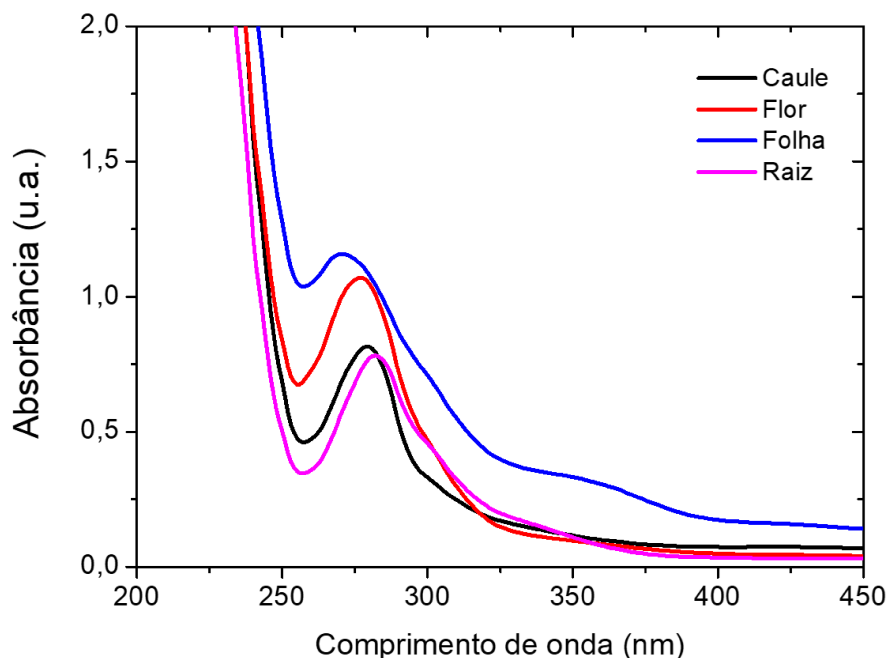
Os discos foram embebidos por imersão nas amostras e distribuídos sobre cada placa, seguindo o mesmo delineamento experimental adotado para os ensaios bacterianos, diferindo apenas quanto ao controle positivo, para o qual foi utilizada anfotericina B. As placas foram incubadas a 26°C por 72 h.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Biossíntese de nanopartículas de prata

Os espectros de absorção dos extratos metanólicos de *C. dysantha*, obtidos a partir dos diferentes órgãos da planta (folha, flor, caule e raiz), foram observados na faixa de 200 a 450 nm, conforme apresentado na Figura 6. Observa-se que todos os extratos apresentaram elevada absorbância na região ultravioleta, com bandas próximas a 270 nm, característicos de presença de compostos orgânicos, como fenólicos e flavonoides (Mizzi et al., 2020). Entre os extratos analisados, diferenças na intensidade da absorbância foram detectadas, indicando variações na composição química entre os diferentes órgãos da planta.

Figura 6 - Espectroscopia de absorção UV-Vis dos extratos de *Calliandra dysantha*



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

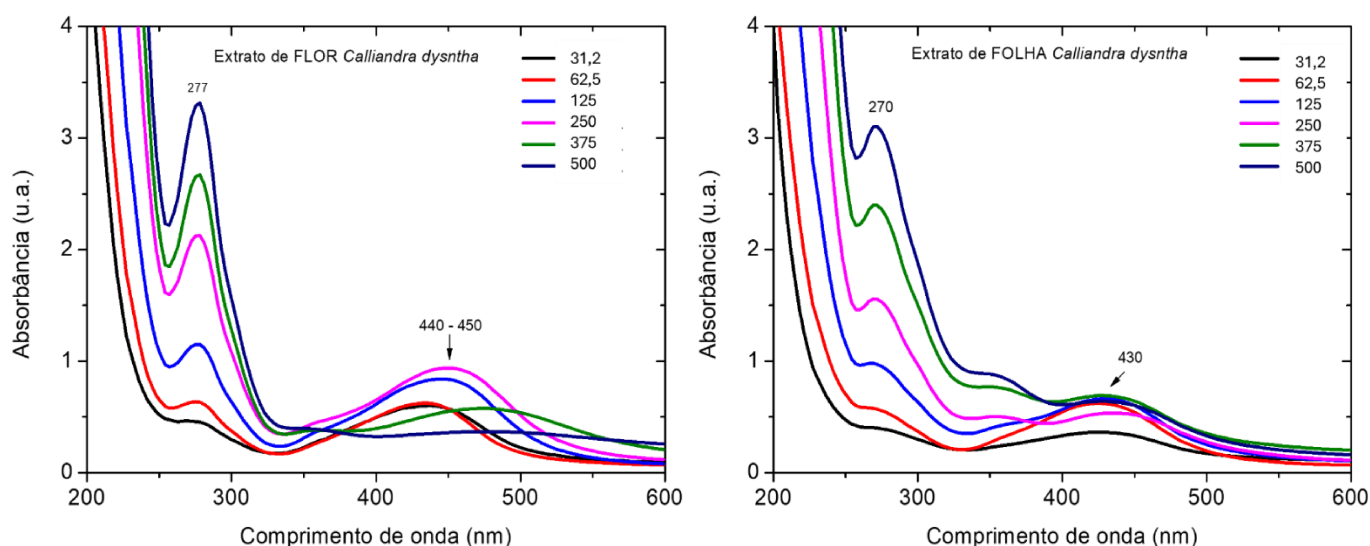
Após a caracterização dos extratos isolados por espectroscopia de absorção no UV-Vis., foram realizadas as etapas de biossíntese e caracterização das NPs. Para isso, os extratos dos diferentes órgãos da *C. dysantha* (caule, raiz, flor e folha) foram adicionados às soluções contendo nitrato de prata.

Os espectros de absorção das amostras sintetizadas com o extrato de flores e folhas de *C. dysantha* apresentaram duas regiões de absorção distintas (Figura 7). A primeira banda de absorção, centrada em aproximadamente 270 nm, está relacionada à presença de compostos fitoquímicos nos extratos vegetais, responsáveis pela absorção nessa região do espectro ultravioleta (Elmehalawy et al., 2025). Observa-se, ainda, que a intensidade dessa banda aumenta de acordo com o aumento da concentração dos extratos, evidenciando uma maior concentração desses metabólitos no meio reacional.

A segunda banda de absorção, localizada entre 430 e 450 nm, é característica da LSPR das AgNPs, confirmando a redução dos íons Ag^+ a prata metálica (Ag^0) e, consequentemente, a formação das AgNPs. A presença dessa banda em todas as amostras indica que os extratos de flores e folhas foram capazes de atuar simultaneamente como agentes redutores e estabilizantes durante a síntese. Entretanto, para as concentrações de 375 e 500 $\mu\text{g/mL}$ dos extratos de flores, observou-se um deslocamento da banda de absorção para comprimentos de onda mais elevados, sugerindo a formação de agregados das NPs. Esse comportamento pode

estar relacionado à saturação da superfície das NPs pelos compostos orgânicos do extrato, o que pode promover interações interpartículas e alterar suas propriedades ópticas.

Figura 7 - Espectroscopia de absorção UV-Vis dos extratos de flores e folhas de *Calliandra dysantha* (concentrações em $\mu\text{g/mL}$)

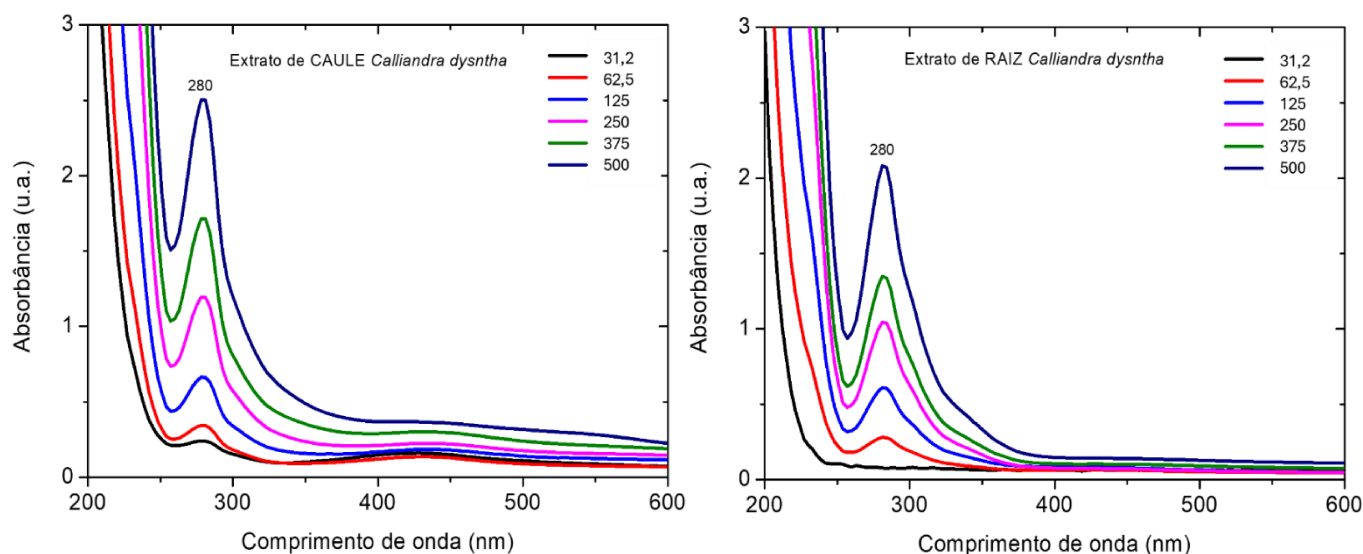


Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Nos espectros das AgNPs obtidas com os extratos de folhas, observa-se a presença de bandas de absorção adicionais na região entre 300 e 400 nm, as quais podem estar relacionadas à presença de diferentes compostos fitoquímicos. Além disso, a posição da banda plasmônica permaneceu praticamente constante em torno de 430 nm, sem deslocamentos significativos para comprimentos de onda mais elevados. Esse comportamento sugere que o aumento da concentração do extrato não promoveu alterações expressivas no tamanho médio, na morfologia ou no estado de agregação das AgNPs.

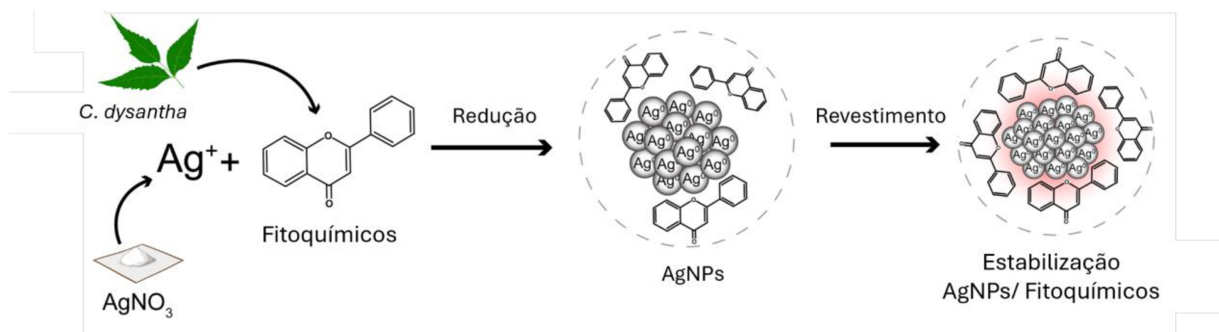
Em contraste com os espectros obtidos para os extratos de flores e folhas, os ensaios realizados com os extratos de caule e raiz não se mostraram promissores para a formação de AgNPs (Figura 8). Os resultados sugerem que a síntese utilizando esses extratos requer a otimização das condições experimentais, incluindo variações na concentração dos extratos e do precursor metálico, bem como ajustes no pH, na temperatura e na avaliação da necessidade do emprego de outros agentes redutores e estabilizantes.

Figura 8 - Espectroscopia de absorção UV-Vis dos extratos de caule e raiz de *Calliandra dysantha* (concentrações em $\mu\text{g/mL}$)



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

A formação de AgNPs observada neste estudo é atribuída à ação dos fitoquímicos presentes nos extratos de flores e folhas, os quais atuam simultaneamente como agentes redutores e estabilizantes durante o processo de síntese (Figura 9). O processo de síntese verde de AgNPs envolve as etapas de redução de íons metálicos, nucleação, crescimento e a estabilização das NPs recém-formadas, sendo essas etapas governadas pelas propriedades redox e pelos grupos funcionais dos fitoquímicos (como polifenóis, flavonóides, taninos, proteínas e polissacarídeos), que atuam sinergicamente como agentes redutores, de recobrimento e estabilizantes (Hanna, et al., 2025). As biomoléculas ricas em grupos hidroxila e carbonila, especialmente compostos fenólicos e flavonoides, sofrem oxidação ao transferir elétrons para os íons Ag^+ , promovendo sua redução a Ag^0 . Após a redução, os átomos Ag^0 se agregam formando pequenos núcleos, que atuam como sementes para o crescimento das NPs (Dube E., 2026).

Figura 9 - Formação de AgNPs

Fonte: Adaptado de Lina com auxílio da ferramenta de IA ChatGPT (2025).

A etapa de estabilização é igualmente crítica, uma vez que as NPs recém-formadas possuem alta energia superficial e são inerentemente instáveis, exigindo o recobrimento por biomoléculas que se adsorvem à superfície das NPs, formando uma camada protetora. Compostos como terpenoides, taninos, saponinas, alcaloides e proteínas, atuam no recobrimento das NPs, conferindo-lhes estabilidade coloidal por meio de impedimento estérico e/ou estabilização eletrostática, o que reduz a agregação e favorece a manutenção da dispersão coloidal (Dube E., 2026).

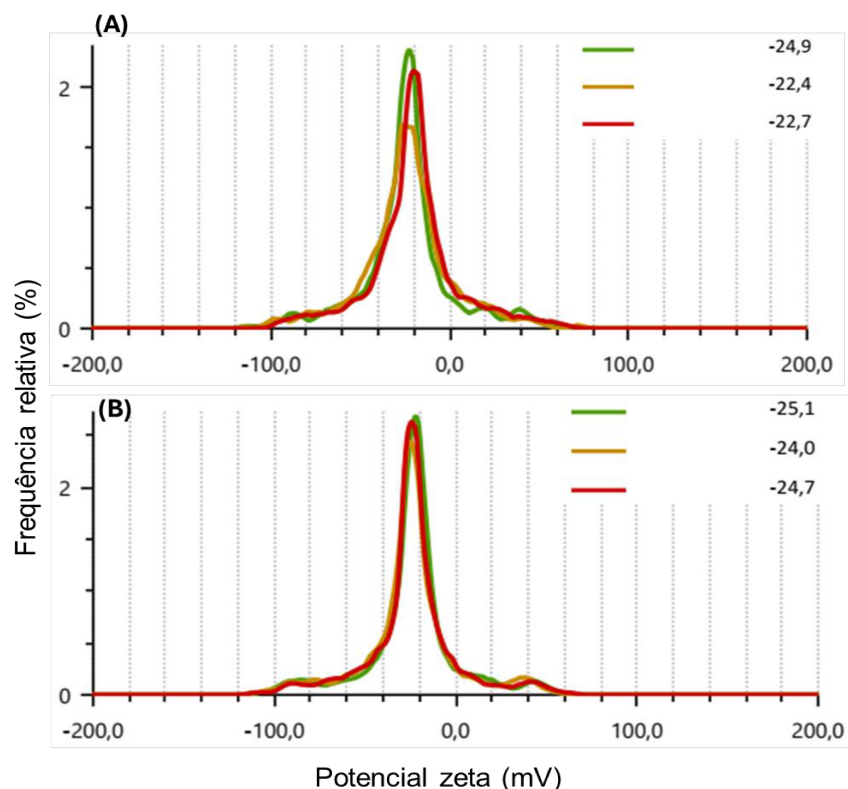
Esses resultados demonstram que a metodologia proposta constitui uma alternativa promissora para reduzir o uso de produtos químicos potencialmente perigosos, empregando compostos bioativos de extratos vegetais como agentes redutores e estabilizantes. Além disso, a utilização de extratos obtidos de diferentes órgãos vegetais, como folhas, flores, caules e raízes, evidencia o potencial e a versatilidade da rota de síntese verde adotada neste estudo. No entanto, os resultados obtidos indicam que a eficiência da síntese depende da composição fitoquímica de cada órgão vegetal, uma vez que apenas os extratos de flores e folhas promoveram a formação eficiente de AgNPs nas condições experimentais avaliadas.

4.2 Caracterização das nanopartículas de prata

4.2.1 Potencial zeta

O potencial zeta é um importante indicador da carga superficial, da estabilidade coloidal e da tendência à agregação de NPs em suspensão. No presente estudo, as AgNPs obtidas com extratos de flores apresentaram potencial zeta de $-23,3 \pm 1,4$ m, enquanto as AgNPs obtidas com extratos de folhas apresentaram $-24,6 \pm 0,6$ mV (Figura 10).

Figura 10 - Potencial zeta de AgNPs obtidas com extratos de flor (A) e folha (B) de *Calliandra dysantha*



Fonte: próprio autor.

Os valores obtidos para as AgNPs de *C. dysantha* estão próximos aos relatados em outros estudos sobre síntese verde de AgNPs. Maheswari et. al. (2023) obtiveram valores de potencial zeta de - 23,1 mV para AgNPs sintetizadas a partir de extrato foliar de *Neolamarkia cadamba*. Similarmente, Khan et. al. (2025) reportaram um potencial zeta de -21,4 para AgNPs obtidas a partir do extrato foliar de *Withania coagulans*, classificando, dessa forma, o sistema como relativamente estável. De modo geral, valores de potencial zeta acima de ± 30 mV (em módulo) são considerados indicativos de sistemas coloidais estáveis, enquanto valores menores, como os obtidos neste estudo, indicam estabilidade moderada, na qual as forças repulsivas entre as partículas ainda são suficientes para retardar, mas não impedir completamente, o processo de aglomeração (Dube E., 2026).

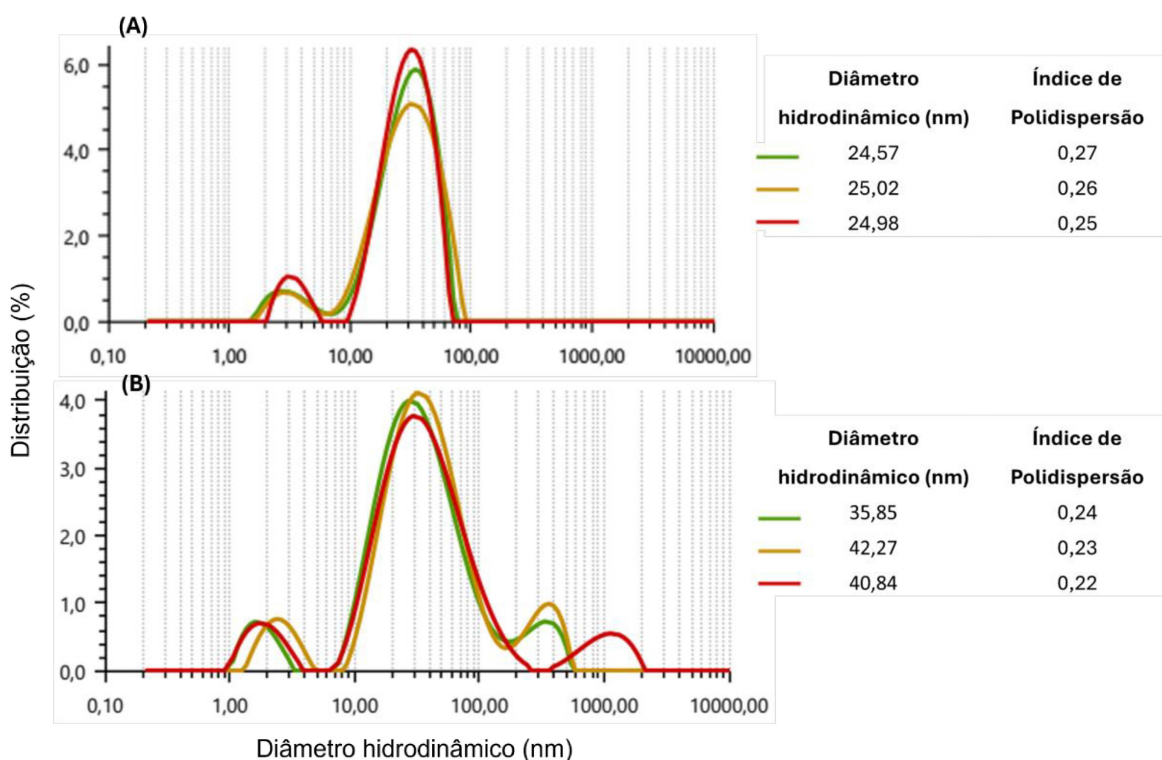
4.2.2 Espalhamento Dinâmico de Luz (DLS)

O Espalhamento Dinâmico de Luz (DLS) foi utilizado para caracterizar o diâmetro hidrodinâmico médio e o índice de polidispersão (PDI) das AgNPs em suspensão. A técnica

baseia-se na análise das flutuações da luz espalhada pelas NPs em movimento browniano, permitindo estimar a distribuição de tamanho e a homogeneidade da suspensão. O PDI é utilizado para avaliar essa distribuição, sendo que valores próximos a zero, indicam sistemas com distribuição de tamanho mais homogênea (Bhattacharjee, S. 2016).

Os resultados obtidos por DLS demonstraram que as AgNPs sintetizadas com extratos de flores apresentaram diâmetro hidrodinâmico médio de 24,86 nm e PDI de 0,26, enquanto as obtidas com extratos de folhas apresentaram diâmetro hidrodinâmico médio de 39,65nm e PDI de 0,23 (Figura 11). Ambas as amostras apresentaram valores de PDI inferiores a 0,3 indicando uma distribuição de tamanho relativamente homogênea e baixa polidispersão, de acordo com Bhattacharjee (2016). Os valores obtidos refletem o comportamento hidrodinâmico das NPs em suspensão aquosa, considerando o núcleo metálico, a camada de solvatação e os compostos orgânicos adsorvidos à sua superfície. Dessa forma, o DLS fornece uma estimativa do diâmetro hidrodinâmico e da distribuição de tamanho das NPs em suspensão coloidal, e não apenas do núcleo metálico.

Figura 11 - Diâmetro hidrodinâmico e índice de polidispersão de AgNPs obtidas com extratos de flores (A) e folhas (B) de *Calliandra dysantha*



Fonte: próprio autor.

Observaram-se, ainda, em ambas as amostras, a presença de populações secundárias representadas por baixas porcentagens de distribuição de tamanho. Ambos os extratos apresentaram partículas menores que 10 nm, enquanto as AgNPs sintetizadas com extratos de folhas também apresentaram partículas com diâmetros superiores a 100 nm. Como o DLS não permite identificar a natureza das partículas detectadas, tais populações podem corresponder tanto a agregados de NPs quanto a fragmentos residuais do extrato vegetal não completamente solubilizados ou removidos na etapa de preparo, uma vez que extratos brutos podem conter material particulado em suspensão.

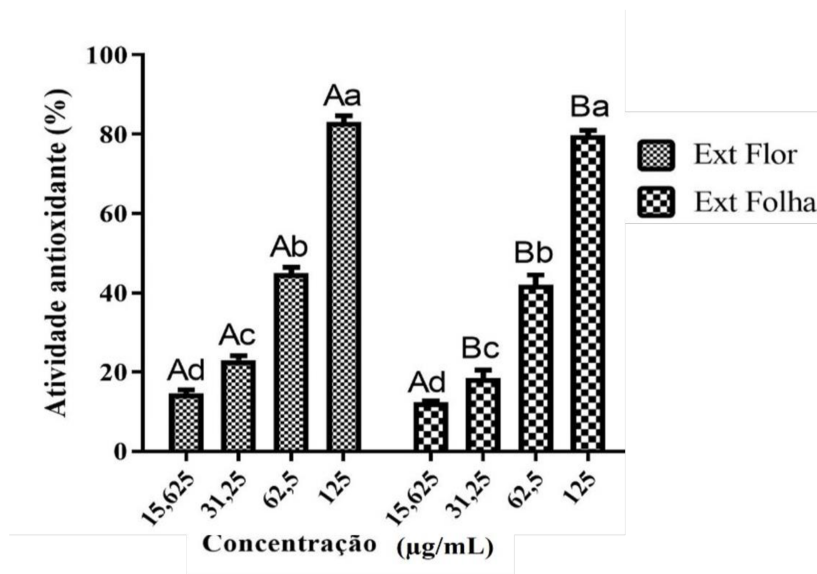
4.3 Perfil antioxidante dos extratos vegetais de flores e folhas de *C. dysantha*

A atividade antioxidante foi avaliada pelo método do DPPH, que promoveu a mudança da coloração violeta para amarela e a diminuição da absorbância em 517 nm. Como essa redução da absorbância é proporcional à capacidade de sequestro de radicais livres da amostra, o ensaio é amplamente utilizado para determinar a atividade antioxidante de diferentes compostos.

A Figura 12 apresenta a avaliação da atividade antioxidante dos extratos de flores e folhas de *C. dysantha*, utilizando o método DPPH. Os resultados demonstraram que ambos os extratos apresentaram atividade antioxidante, com comportamento dependente da concentração. As maiores porcentagens de sequestro do radical DPPH foram observadas na concentração de 125 µg/mL.

Ao comparar os extratos, verificou-se que o extrato de flores apresentou maior atividade antioxidante (84,9%) em relação ao extrato de folhas (81,5%), na concentração de 125 µg/mL, padrão que se manteve nas demais concentrações avaliadas. Os resultados sugerem que os extratos de *C. dysantha* apresentam atividade antioxidante, provavelmente em ocorrência da presença de compostos fenólicos, flavonoides e outros metabólitos secundários capazes de doar elétrons ou átomos de hidrogênio para a neutralização de radicais livres.

Figura 12 - Atividade antioxidante dos extratos de flores e folhas de *Calliandra dysantha*, utilizando o método de DPPH. Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas, para comparar a concentração entre os extratos, e minúscula para comparar a concentração dentro de cada extrato não diferem significativamente ao nível 5% de probabilidade, de acordo com o teste de Scott-Knott



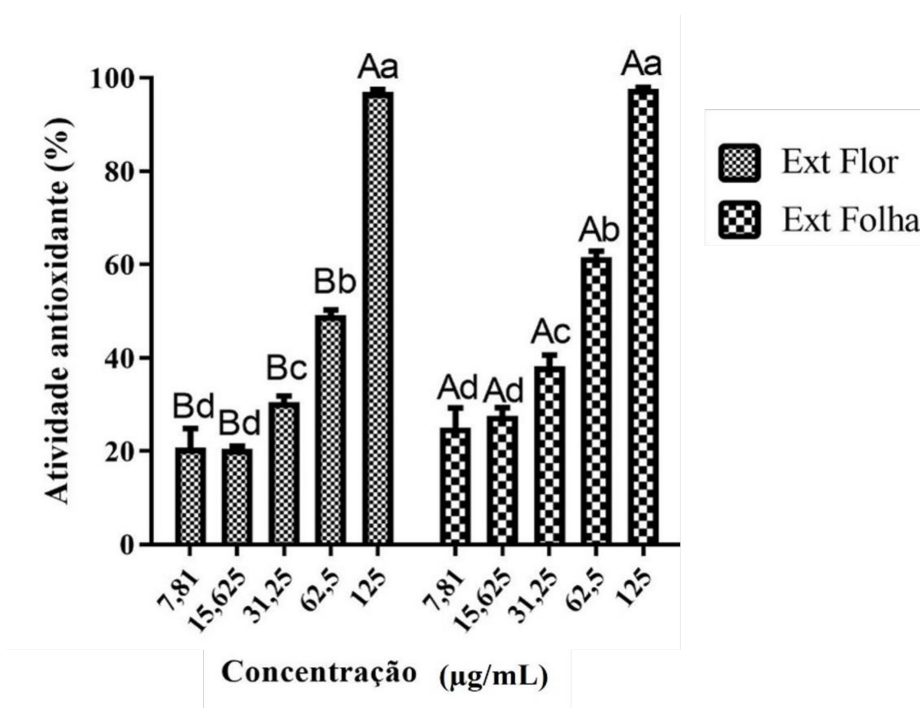
Fonte: próprio autor.

Resultados semelhantes de atividade antioxidante têm sido reportados para outras espécies do gênero *Calliandra* e para extratos empregados na síntese verde de AgNPs, reforçando o papel de compostos fenólicos e flavonoides nessa atividade. Silva et al. (2016) associaram a atividade antioxidante de *Calliandra umbellifera* a seu elevado teor de flavonoides. Gomes e Mayworm (2017) observaram atividade sequestradora do radical DPPH em *Calliandra inaequilatera*. Adaramoye et al. (2015) relataram atividade antioxidante dose-dependente em *Calliandra portoricensis*, padrão semelhante ao observado neste estudo. Esse comportamento também aparece em trabalhos de síntese verde de AgNPs. Mohanta et al. (2017) atribuíram a atividade antioxidante de AgNPs de *Erythrina suberosa*, espécie da mesma família botânica de *C. dysantha* (Fabaceae), aos flavonoides e compostos fenólicos do extrato, também responsáveis pela bioedução da prata. James et al. (2025) obtiveram 78,57% de sequestro do DPPH para AgNPs de *Boerhavia diffusa*, valor próximo aos observados aqui (84,9% na flor e 81,5% na folha, a 125 µg/mL). Esses achados sustentam que o perfil fitoquímico de *C. dysantha* é compatível com o de espécies já validadas como agentes redutores na síntese verde de nanopartículas metálicas.

A atividade antioxidante dos extratos também foi avaliada pelo método ABTS, que determina a capacidade de compostos antioxidantes em neutralizar o radical catiônico ABTS^{•+} por meio da redução da absorbância em 734 nm (Wei et al., 2015).

A Figura 13 apresenta a atividade antioxidante, determinada pelo método ABTS, dos extratos de flores e folhas de *C. dysantha*. Ambos os extratos apresentaram elevada atividade antioxidante, com valores superiores a 90% na concentração de 125 µg/mL.

Figura 13 - Atividade antioxidante dos extratos de flores e folhas de *Calliandra dysantha*, utilizando o método de ABTS. Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas, para comparar a concentração entre os extratos, e minúscula para comparar a concentração dentro de cada extrato não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, de acordo com o teste de Scott-Knott

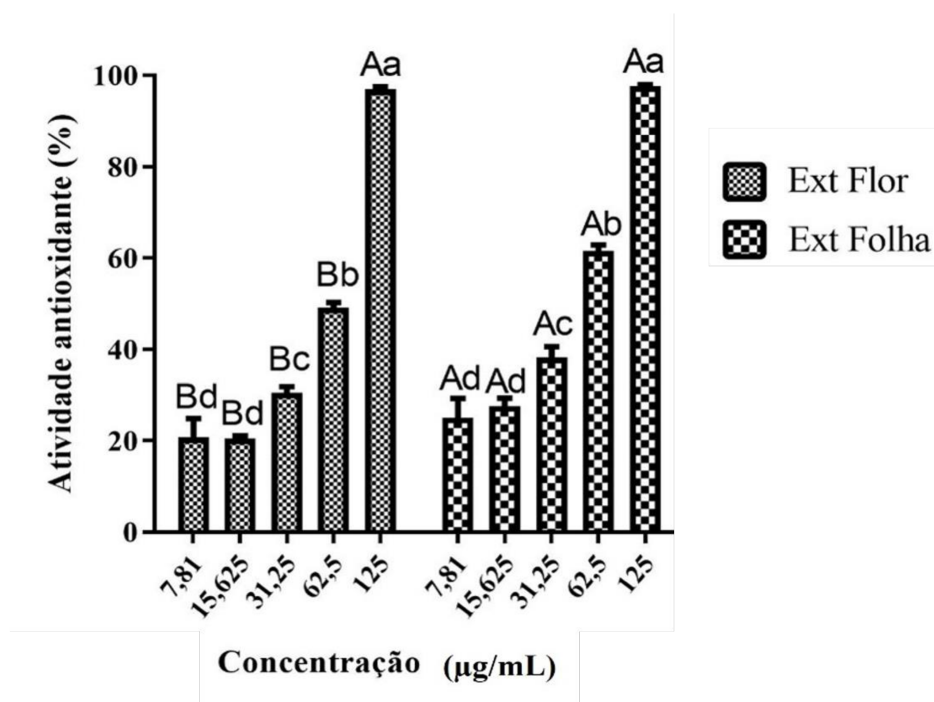


Fonte: próprio autor.

A atividade antioxidante também foi avaliada pelo ensaio de Poder Redutor, que determina a capacidade dos compostos antioxidantes de reduzir íons férricos (Fe^{3+}) a íons ferrosos (Fe^{2+}), sendo a atividade estimada pela intensidade da absorbância do complexo formado. Assim, valores mais altos de absorbância mostram maior potencial de redução.

A Figura 14 apresenta os resultados do ensaio de Poder Redutor dos extratos de flores e folhas de *C. dysantha*.

Figura 14 - Atividade antioxidante dos extratos de flores e folhas de *Calliandra dysantha*, utilizando o método de Poder Redutor. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, para comparar a concentração entre os extratos, e minúscula para a comparar a concentração dentro de cada extrato não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, de acordo com o teste de Scott-Knott



Fonte: próprio autor.

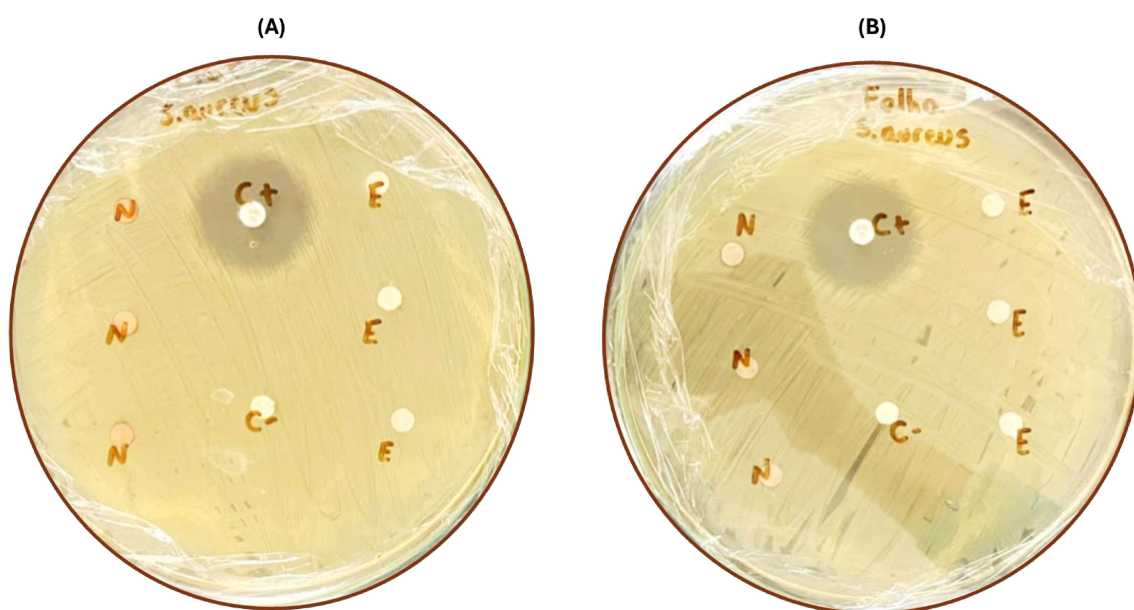
Os resultados do ensaio de poder redutor demonstraram um comportamento dependente da concentração para os extratos de flor e folha de *C. dysantha*. Em ambos os extratos, a atividade antioxidante aumentou progressivamente com a elevação da concentração, alcançando aproximadamente 96–98% na concentração de 125 µg/mL, sendo a folha a que apresenta maior atividade antioxidante nesse teste. Esses resultados indicam que o aumento da concentração dos compostos fenólicos e flavonoides eleva a capacidade dos extratos de doar elétrons e reduzir íons férricos (Fe^{3+}) a ferrosos (Fe^{2+}), refletindo seu elevado potencial antioxidante.

4.4 Teste de Atividade Antimicrobiana por difusão em disco

Nos ensaios bacterianos, observou-se a formação de halos de inibição apenas nos discos contendo os controles positivos (eritromicina para *S. aureus* e ampicilina para *E. coli*), tanto nos ensaios realizados com as amostras sintetizadas a partir dos extratos de flores quanto aos obtidos com extratos de folhas. Em contrapartida, não foram observados halos de inibição

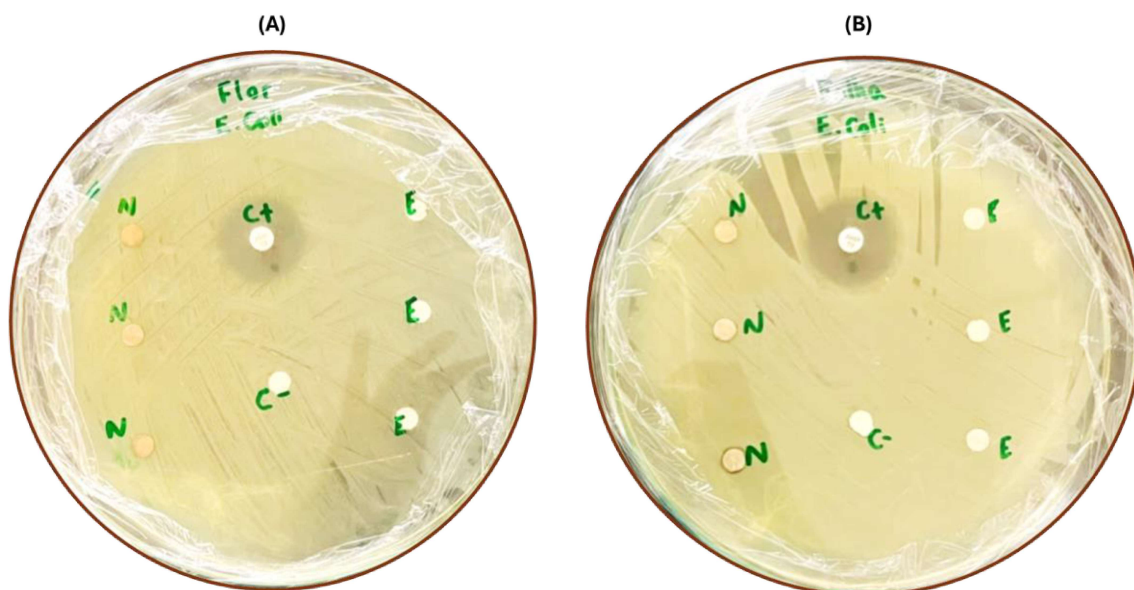
nos discos contendo as AgNPs, os extratos vegetais isolados ou o controle negativo, para nenhuma das combinações avaliadas (Figura 15 e 16).

Figura 15 - Ensaio de disco de difusão sobre cepa bacteriana de *S. aureus*, (A) AgNPs e extratos de flores e (B) AgNPs e extratos de folhas



Fonte: próprio autor.

Figura 16 - Ensaio de disco de difusão sobre cepa bacteriana de *E. coli*, (A) AgNPs e extratos de flores e (B) AgNPs e extratos de folhas

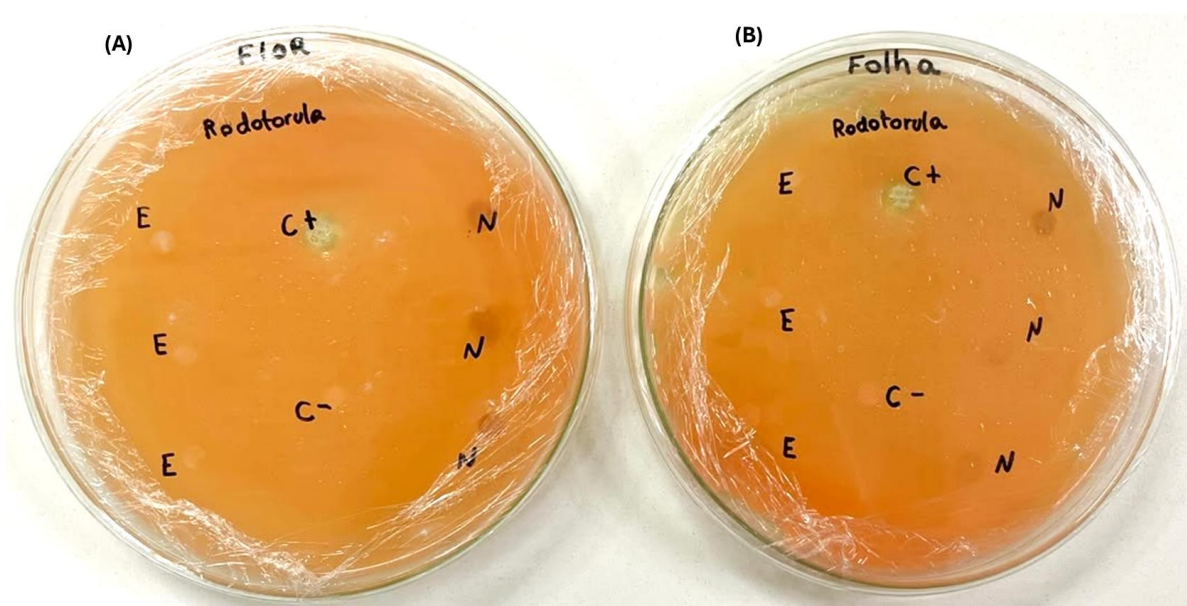


Fonte: próprio autor.

Esses resultados sugerem que os extratos vegetais e as AgNPs não apresentaram atividade antimicrobiana detectável pelo método de difusão em disco, na concentração avaliada (500 $\mu\text{g/mL}$), indicando a necessidade de alteração das condições relacionadas à concentração das amostras.

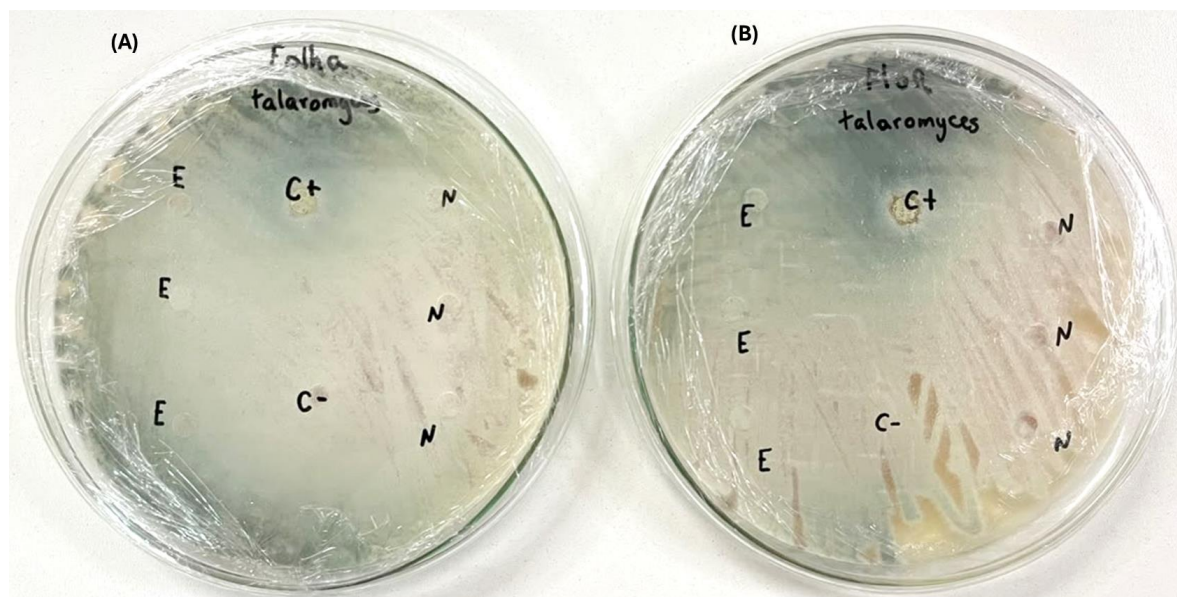
Nos ensaios fúngicos, o controle positivo (anfotericina B) apresentou halos de inibição de pequeno diâmetro frente aos isolados de *Talaromyces* sp. e *Rhodotorula mucilaginosa* (Figura 17 e 18) e, de forma semelhante ao observados nos ensaios bacterianos, não foram observados halos de inibição nos discos contendo as AgNPs ou os extratos vegetais isolados, indicando ausência de atividade antifúngica detectável nas condições experimentais avaliadas.

Figura 17 - Ensaios de disco de difusão sobre a cepa fúngica de *R. mucilaginosa*, (A) AgNPs e extratos de flores e (B) AgNPs e extratos de folhas



Fonte: próprio autor.

Figura 18 - Ensaio de disco de difusão sobre a cepa fúngica de *Talaromyces* sp., (A) AgNPs e extratos de flores e (B) AgNPs e extratos de folhas



Fonte: próprio autor.

Em todos os ensaios, o controle negativo (água destilada e deionizada e DMSO, na proporção 1:1) não apresentou halos de inibição, confirmando a ausência de interferência desses solventes nos resultados.

A ausência de halos de inibição observada para as AgNPs biossintetizadas com extratos de *C. dysantha* pode estar relacionada, entre outros fatores, à limitação de concentração imposta pelo próprio processo de síntese. Enquanto Brasil (2017), ao avaliar a atividade antimicrobiana dos extratos metanólicos totais e das frações de *C. dysantha*, testou concentrações entre 12,5 e 500 mg/mL e identificou atividade antimicrobiana contra Gram-positivas a partir de 12,5 mg/mL, no presente estudo a concentração máxima empregada foi de apenas 0,5 mg/mL, aproximadamente 1000 vezes inferior à maior concentração utilizada pela autora e 25 vezes inferior à menor concentração considerada ativa. Essa discrepância sugere que a atividade antimicrobiana dos compostos fitoquímicos de *C. dysantha* é dependente da concentração e que a incorporação desses compostos ao processo de biossíntese das AgNPs, no qual atuam como agentes redutores e estabilizantes, pode ter resultado em uma quantidade insuficiente de princípios ativos disponíveis por volume insuficiente para promover atividade antimicrobiana detectável pelo método de difusão em disco.

A ausência de atividade antimicrobiana detectável pelo método de difusão em disco pode estar relacionada, ainda, a limitações da própria técnica para a avaliação de nanomateriais. Kourmouli et al. (2018) demonstraram que a capacidade das NPMs de formar halos de inibição nesse método depende da sua difusão no meio de cultura sólido, a qual pode ser limitada, especialmente quando a liberação de íons Ag^+ , considerada um dos principais mecanismos responsáveis pela atividade antimicrobiana das AgNPs, ocorre em taxa insuficiente para gerar um gradiente de concentração detectável em ágar. Outros fatores experimentais também podem ter contribuído para o resultado observado, como a concentração final das AgNPs após o processo de liofilização e ressuspensão, a possível influência do DMSO na disponibilidade das NPs e dos compostos bioativos, bem como a estabilidade coloidal moderada evidenciada pelos valores de potencial zeta, a qual pode favorecer processos de agregação e reduzir a fração de NPs livres capazes de difundir pelo meio. Dessa forma, sugere-se que estudos futuros complementem a avaliação da atividade antimicrobiana das AgNPs biossintetizadas por meio da utilização de métodos quantitativos, como a determinação da concentração inibitória mínima (CIM) em meio líquido, os quais são considerados mais adequados para a avaliação da atividade antimicrobiana de NPMs por dependerem menos da difusão em meio sólido.

5 CONCLUSÃO

Esse trabalho mostrou que extratos metanólicos de flores e folhas de *C. dysantha* demonstraram potencial para a biossíntese de AgNPs. A espectroscopia de absorção na região do UV-Vis confirmou a formação de AgNPs pela presença da banda de ressonância plasmônica de superfície localizada entre 430 e 450 nm, enquanto os extratos de caule e raiz não apresentaram indícios de formação dessas NPs, nas condições experimentais avaliadas.

As análises por espalhamento dinâmico de luz (DLS) evidenciaram diâmetros hidrodinâmicos médios inferiores a 40 nm e baixos índices de polidispersidade, indicando suspensões relativamente homogêneas. Os valores de potencial zeta próximos de -25 mV indicaram estabilidade coloidal moderada, compatível com AgNPs obtidas por rotas de síntese verde.

Os ensaios de DPPH, ABTS e de poder redutor dos extratos de flores e folhas demonstraram elevada capacidade antioxidante, confirmando a presença de compostos

bioativos com elevado potencial redutor, capazes de atuar tanto na neutralização de radicais livres quanto na redução e estabilização de íons metálicos durante a biossíntese de AgNPs.

Os resultados obtidos sugerem que os compostos bioativos presentes nos extratos vegetais atuaram simultaneamente como agentes redutores e estabilizantes durante o processo de biossíntese, evidenciando o potencial de *C. dysantha* como fonte de biomoléculas para o desenvolvimento sustentável de nanomateriais.

Nos ensaios de atividade antimicrobiana, não foram observados halos de inibição frente a *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Talaromyces* sp. e *Rhodotorula mucilaginosa* pelo método de difusão em disco. Esse resultado pode estar relacionado à baixa concentração de AgNPs obtidas, às limitações de difusão das NPs em meio sólido e às características coloidais da suspensão, indicando a necessidade de otimização das condições de síntese e das concentrações testadas.

Dessa forma, conclui-se que a *C. dysantha* apresenta elevado potencial para a biossíntese de AgNPs com características físico-químicas compatíveis com aquelas descritas na literatura, utilizando uma rota de síntese verde baseada em extratos vegetais. Entretanto, estudos futuros deverão otimizar os parâmetros de síntese e ampliar a avaliação das aplicações biológicas dessas NPs, empregando métodos quantitativos como a determinação da concentração inibitória mínima (CIM), além de investigações sobre os mecanismos de ação e sobre o potencial de aplicação em outras áreas da biotecnologia.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, R. et al. Silver nanoparticles: synthesis, structure, properties and applications. **Nanomaterials**, Basel, v. 14, n. 17, p. 1425, 31 ago. 2024. DOI: 10.3390/nano14171425. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11397261/>. Acesso em: 21 jul. 2026.
- ADARAMOYE, O. et al. Antioxidant, antiangiogenic and antiproliferative activities of root methanol extract of *Calliandra portoricensis* in human prostate cancer cells. **Journal of Integrative Medicine**, v. 13, n. 3, p. 185-193, 2015.
- AGUNU, Abdulkarim et al. Analgesic activity of the roots and leaves extracts of *Calliandra portoricensis*. **Fitoterapia**, v. 76, p. 442-445, 2005. DOI: 10.1016/j.fitote.2005.03.008.
- AHMAD-MANSOUR, N. et al. Staphylococcus aureus toxins: an update on their pathogenic properties and potential treatments. **Toxins**, v. 13, n. 10, p. 677, 23 set. 2021. DOI: 10.3390/toxins13100677.
- AHMAD, N.; SHARMA, S. Green synthesis of silver nanoparticles using extracts of *Ananas comosus*. **Green and Sustainable Chemistry**, [S. l.], v. 2, n. 4, p. 141-147, nov. 2012. DOI: 10.4236/gsc.2012.24020.
- AHMED, S. et al. A review on plants extract mediated synthesis of silver nanoparticles for antimicrobial applications: a green expertise. **Journal of Advanced Research**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 17-28, jan. 2016. DOI: 10.1016/j.jare.2015.02.007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090123215000314>. Acesso em: 21 jul. 2026.
- ALI, A. et al. Review on recent progress in magnetic nanoparticles: synthesis, characterization, and diverse applications. **Frontiers in Chemistry**, [s. l.], v. 9, p. 629054, 2021. DOI: 10.3389/fchem.2021.629054. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fchem.2021.629054/full>. Acesso em: 21 jul. 2026.
- ALTAMMAR, K. A. A review on nanoparticles: characteristics, synthesis, applications, and challenges. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, p. 1155622, 2023. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1155622.
- ANTUNES, M. D. C. et al. Effects of postharvest application of 1-MCP and postcutting dip treatment on the quality and nutritional properties of fresh-cut kiwifruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 10, p. 6173-6181, maio 2010. DOI: 10.1021/jf904540m.
- BARABADI, Hamed et al. Green synthesis, characterization, antibacterial and biofilm inhibitory activity of silver nanoparticles compared to commercial silver nanoparticles. **Inorganic Chemistry Communications**, v. 129, p. 108647, 2021. DOI: 10.1016/j.inoche.2021.108647.
- BASHEER, M. A. et al. Mycosynthesis of silver nanoparticles using marine fungi and their antimicrobial activity against pathogenic microorganisms. **Journal of Genetic Engineering and Biotechnology**, v. 21, n. 1, p. 127, 21 nov. 2023. DOI: 10.1186/s43141-023-00572-z.

BOCATE, K. P. et al. Antifungal activity of silver nanoparticles and simvastatin against toxigenic species of *Aspergillus*. **International Journal of Food Microbiology**, v. 291, p. 79-86, 16 fev. 2019. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2018.11.012.

BORAH, Rituraj et al. Plasmonic resonance of gold and silver nanoparticle arrays in the Kretschmann configuration (attenuated total reflectance) versus direct incidence. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 15738, 21 set. 2022. DOI: 10.1038/s41598-022-20117-7. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36130995/>. Acesso em: 21 jul. 2026.

BRASIL, M. C. O. A. **Atividade antimicrobiana do extrato metanólico total e frações de *Calliandra dysantha* Benth.** 2017. 31 p. Monografia (Bacharelado em Biotecnologia) – Instituto de Genética e Bioquímica, Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2017.

BRUNA, T. et al. Silver nanoparticles and their antibacterial applications. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 13, p. 7202, 4 jul. 2021. DOI: 10.3390/ijms22137202.

BURLEC, A. F. et al. Current overview of metal nanoparticles' synthesis, characterization, and biomedical applications, with a focus on silver and gold nanoparticles. **Pharmaceuticals**, v. 16, n. 10, p. 1410, 2023. DOI: 10.3390/ph16101410.

CARMONA, Erico R. et al. Green synthesis of silver nanoparticles by using leaf extracts from the endemic *Buddleja globosa* hope. **Green Chemistry Letters and Reviews**, [S. l.], v. 10, n. 4, p. 250-256, ago. 2017. DOI: 10.1080/17518253.2017.1360400.

CHAN, Elaine Wan Ling et al. Galloylated flavonol rhamnosides from the leaves of *Calliandra tergemina* with antibacterial activity against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA). **Phytochemistry**, [S. l.], v. 107, p. 148-154, nov. 2014. DOI: 10.1016/j.phytochem.2014.07.028.

CHAND, Kishore et al. Green synthesis characterization and antimicrobial activity against *Staphylococcus aureus* of silver nanoparticles using extracts of neem, onion and tomato. **RSC Advances**, v. 9, n. 30, p. 17002-17015, 2019. DOI: 10.1039/c9ra01407a.

CHEUNG, G. Y. C.; BAE, J. S.; OTTO, M. Pathogenicity and virulence of *Staphylococcus aureus*. **Virulence**, v. 12, n. 1, p. 547-569, 1 dez. 2021. DOI: 10.1080/21505594.2021.1878688.

CORRÊA, Nivea Fernanda. **Estudo das propriedades ópticas de coloides de nanopartículas de prata dispersas em BMLBF4.** 2015. 61 f. Tese (Doutorado em Materiais) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2015. Disponível em: <http://repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/1970/1/>. Acesso em: 21 jul. 2026.

DAKAL, T. C. et al. Mechanistic basis of antimicrobial actions of silver nanoparticles. **Frontiers in Microbiology**, v. 7, p. 1831, 16 nov. 2016. DOI: 10.3389/fmicb.2016.01831.

DUBE, Edith. From plant metabolites to functional nanomaterials: advances in phytochemical-mediated silver nanoparticle synthesis and applications. **Micro**, v. 6, n. 2, p. 40, 2026. DOI: 10.3390/micro6020040.

DURÁN, Nelson et al. Nanotoxicologia de nanopartículas de prata: toxicidade em animais e humanos. **Química Nova**, São Paulo, v. 42, n. 2, p. 206-218, fev. 2019. DOI: 10.21577/0100-4042.20170318. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/qn/a/QPWBMKm9whgD7c8jFYBscHJ/>. Acesso em: 21 jul. 2026.

ELMEHALAWY, N. G. et al. Eco-friendly synthesis of silver nanoparticles: multifaceted antioxidant, antidiabetic, anticancer, and antimicrobial activities. **Scientific Reports**, v. 15, p. 37349, 2025. DOI: 10.1038/s41598-025-22154-4.

E SILVA, V. N. M. **Atividade antimicrobiana e concentração inibitória mínima de extratos metanólicos totais de Calliandra dysantha Benth. (Fabacea)**. 2018. 30 p. Monografia (Bacharelado em Biotecnologia) – Instituto de Biotecnologia, Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2018.

FABIANO, B.; REVERBERI, A. P.; VARBANOV, P. S. Safety opportunities for the synthesis of metal nanoparticles and short-cut approach to workplace risk evaluation. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 209, p. 297-308, 1 fev. 2019. DOI:

10.1016/j.jclepro.2018.10.161. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618331780>. Acesso em: 21 jul. 2026.

GOMES, G. S.; MAYWORM, M. A. S. Avaliação do potencial antioxidante de extratos de *Calliandra inaequilatera* Rusby (Mimosoideae-Fabaceae). In: CONGRESSO NACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 17., 2017, São Paulo. **Anais do 17º Conic-Semesp**. São Paulo: Centro Universitário Ítalo Brasileiro – UNIÍTALO, 2017. v. 5.

GRASSESCHI, D.; SANTOS, D. P. Nanomateriais plasmônicos: parte I. Fundamentos da espectroscopia de nanopartículas e sua relação com o efeito SERS. **Química Nova**, v. 43, n. 10, p. 1463-1481, dez. 2020. DOI: 10.21577/0100-4042.20170621.

HALEEM, Abid et al. Applications of nanotechnology in medical field: a brief review. **Global Health Journal**, v. 7, n. 2, p. 70-77, 2023. DOI: 10.1016/j.glohj.2023.02.008.

HAMOUDA, R. A. et al. Antifungal activities of biogenic silver nanoparticles mediated by marine algae: in vitro and in vivo insights of coating tomato fruit to protect against *Penicillium italicum* blue mold. **Marine Drugs**, v. 22, n. 5, p. 225, 16 maio 2024. DOI: 10.3390/md22050225.

HANNA, Demiana H. et al. Plant-derived nanoparticles: green synthesis, factors, and bioactivities. **Next Materials**, v. 9, p. 101275, 2025. DOI: 10.1016/j.nxmate.2025.101275.

HOSSAIN, Nayem et al. Advances and significances of nanoparticles in semiconductor applications: a review. **Results in Engineering**, v. 19, p. 101347, 2023. DOI: 10.1016/j.rineng.2023.101347.

HUSTON, M. et al. Green synthesis of nanomaterials. **Nanomaterials**, v. 11, n. 8, p. 2130, 21 ago. 2021. DOI: 10.3390/nano11082130.

IDREES, M. et al. *Staphylococcus aureus* biofilm: morphology, genetics, pathogenesis and treatment strategies. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 14, p. 7602, 16 jul. 2021. DOI: 10.3390/ijerph18147602.

IOANNOU, P.; VAMVOUKAKI, R.; SAMONIS, G. Rhodotorula species infections in humans: a systematic review. **Mycoses**, v. 62, n. 2, p. 90-100, 2019. DOI: 10.1111/myc.12856.

JAIN, A. S. et al. Bionanofactories for green synthesis of silver nanoparticles: toward antimicrobial applications. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 21, p. 11993, 5 nov. 2021. DOI: 10.3390/ijms222111993.

JAMES, J. M. et al. Green synthesis of silver nanoparticles using Boerhavia diffusa plant and the potential of its antioxidant and anticancer efficacy. **Pharmacological Research - Natural Products**, v. 6, p. 100142, 2025.

JIAN, Yunqing et al. Toxicity and action mechanisms of silver nanoparticles against the mycotoxin-producing fungus Fusarium graminearum. **Journal of Advanced Research**, v. 38, p. 1-12, 2022. DOI: 10.1016/j.jare.2021.09.006.

KARATAŞ, H. et al. Silver nanoparticles in antibacterial research: mechanisms, applications, and emerging perspectives. **International Journal of Molecular Sciences**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 927, 16 jan. 2026. DOI: 10.3390/ijms27020927. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12842579/>. Acesso em: 21 jul. 2026.

KELLY, K. Lance et al. The optical properties of metal nanoparticles: the influence of size, shape, and dielectric environment. **The Journal of Physical Chemistry B**, [s. l.], v. 107, n. 3, p. 668-677, 1 jan. 2003. DOI: 10.1021/jp026731y.

KHAN, A. et al. Withania coagulans-mediated green synthesis of silver nanoparticles: characterization and assessment of their phytochemical, antioxidant, toxicity, and antimicrobial activities. **BMC Plant Biology**, v. 25, n. 1, p. 574, 2 maio 2025. DOI: 10.1186/s12870-025-06533-7.

KHAN, F. et al. Green nanotechnology: plant-mediated nanoparticle synthesis and application. **Nanomaterials**, v. 12, n. 4, p. 673, 17 fev. 2022. DOI: 10.3390/nano12040673.

KOURMOULI, A. et al. Can disc diffusion susceptibility tests assess the antimicrobial activity of engineered nanoparticles? **Journal of Nanoparticle Research**, v. 20, n. 3, p. 62, 2018. DOI: 10.1007/s11051-018-4152-3.

KUMAR, V.; YADAV, S. K. Plant-mediated synthesis of silver and gold nanoparticles and their applications. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 84, n. 2, p. 151-157, 2009. DOI: 10.1002/jctb.2023.

LAZAR, V. Quorum sensing in biofilms: how to destroy the bacterial citadels or their cohesion/power? **Anaerobe**, 2011. DOI: 10.1016/j.anaerobe.2011.03.023.

LEÓN-BUITIMEA, Angel et al. Nanomaterial-based antifungal therapies to combat fungal diseases aspergillosis, coccidioidomycosis, mucormycosis, and candidiasis. **Pathogens**, v. 10, n. 10, p. 1303, 12 out. 2021. DOI: 10.3390/pathogens10101303.

LI, H. et al. Characteristics of metallic nanoparticles (especially silver nanoparticles) as anti-biofilm agents. **Antibiotics**, v. 13, n. 9, p. 819, 28 ago. 2024. DOI: 10.3390/antibiotics13090819.

LINA, Jakia Mustary et al. Green-synthesized silver nanoparticles for improved heat stress resilience and germination in potato seeds. **RSC Advances**, v. 15, n. 47, p. 39975-39987, 2025. DOI: 10.1039/d5ra04571a.

LOPES-LUTZ, D. et al. Screening of chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of Artemisia essential oils. **Phytochemistry**, v. 69, n. 8, p. 1732-1738, maio 2008. DOI: 10.1016/j.phytochem.2008.02.014.

MACEDO, Erenildo Ferreira de et al. Interaction between nanoparticles, membranes, and proteins: a surface plasmon resonance study. **International Journal of Molecular Sciences**, [s. l.], v. 24, n. 1, p. 591, 29 dez. 2022. DOI: 10.3390/ijms24010591. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9820549/>. Acesso em: 21 jul. 2026.

MAHESWARI, J. et al. Green synthesis, characterization and biological activities of silver nanoparticles synthesized from Neolamarkia cadamba. **ADMET and DMPK**, v. 11, n. 4, p. 573-585, 1 jul. 2023. DOI: 10.5599/admet.1793.

MALLIKARJUNA, K. et al. Green synthesis of silver nanoparticles using Ocimum leaf extract and their characterization. **Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 181-186, jan./mar. 2011.

MCOYI, M. P. et al. Developments in localized surface plasmon resonance. **Plasmonics**, v. 20, p. 5481-5520, 2025. DOI: 10.1007/s11468-024-02620-x.

MGADI, K. et al. Nanoparticle applications in agriculture: overview and response of plant-associated microorganisms. **Frontiers in Microbiology**, v. 15, p. 1354440, 6 mar. 2024. DOI: 10.3389/fmicb.2024.1354440.

MIZZI, L. et al. HPLC analysis of phenolic compounds and flavonoids with overlapping peaks. **Food Technology and Biotechnology**, [s. l.], v. 58, n. 1, p. 12-19, mar. 2020. DOI: 10.17113/ftb.58.01.20.6395. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32684783/>. Acesso em: 21 jul. 2026.

MOHANTA, Y. K. et al. Antimicrobial, antioxidant and cytotoxic activity of silver nanoparticles synthesized by leaf extract of Erythrina suberosa (Roxb.). **Frontiers in Molecular Biosciences**, v. 4, p. 14, 2017.

MOODLEY, Jerushka S. et al. Green synthesis of silver nanoparticles from Moringa oleifera leaf extracts and its antimicrobial potential. **Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 015011, mar. 2018. DOI: 10.1088/2043-6254/aaabb2.

NAIDOO, N.; ZISHIRI, O. T. Presence, pathogenicity, antibiotic resistance, and virulence factors of Escherichia coli: a review. **Bacteria**, v. 4, n. 1, p. 16, 2025. DOI: 10.3390/bacteria4010016.

NGUYEN, H. H. et al. Surface plasmon resonance: a versatile technique for biosensor applications. **Sensors**, Basel, v. 15, n. 5, p. 10481-10510, 5 maio 2015. DOI: 10.3390/s150510481. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4481982/>. Acesso em: 21 jul. 2026.

OSMAN, A. I. et al. Synthesis of green nanoparticles for energy, biomedical, environmental, agricultural, and food applications: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 22, p. 841-887, 2024. DOI: 10.1007/s10311-023-01682-3.

PARAS et al. A review on low-dimensional nanomaterials: nanofabrication, characterization and applications. **Nanomaterials**, Basel, v. 13, n. 1, p. 160, 2022. DOI: 10.3390/nano13010160.

PASPARAKIS, G. Recent developments in the use of gold and silver nanoparticles in biomedicine. **WIREs Nanomedicine and Nanobiotechnology**, v. 14, n. 5, p. e1817, 2022. DOI: 10.1002/wnan.1817.

PATIL, M. P.; KIM, G.-H. Green biosynthesis of silver nanoparticles using *Calliandra haematocephala* leaf extract, their antibacterial activity and hydrogen peroxide sensing capability. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 10, n. 7, p. 1090-1096, out. 2017. DOI: 10.1016/j.arabjc.2015.06.023.

RIAZ, Muhammad et al. Characterization and evaluation of antioxidant, antimicrobial and dye reduction potential of biosynthesized silver nanoparticles. **Green Processing and Synthesis**, v. 9, n. 1, p. 693-708, 2020. DOI: 10.1515/gps-2020-0064.

RIBEIRO, L. G. et al. Antifungal activity of mycogenic silver nanoparticles on clinical yeasts and phytopathogens. **Antibiotics**, Basel, v. 12, n. 1, p. 91, 5 jan. 2023. DOI: 10.3390/antibiotics12010091.

SILVA, B. G. B. **Efeito de extratos metanólicos de *Calliandra dysantha* Benth. (Fabacea) sobre o biofilme de *Staphylococcus aureus***. 2019. 32 p. Monografia (Bacharelado em Biotecnologia) – Instituto de Biotecnologia, Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2019.

SILVA et al. Antinociceptive and antioxidant activity of *Calliandra umbellifera* Benth. **African Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v. 10, n. 42, p. 892-899, 2016.

SIZAR, O.; LESLIE, S. W.; UNAKAL, C. G. Gram-positive bacteria. In: STATPEARLS [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2026-. Atualizado em 30 maio 2023. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470553/>. Acesso em: 21 jul. 2026.

SLAVIN, Y. N.; BACH, H. Mechanisms of antifungal properties of metal nanoparticles. **Nanomaterials**, v. 12, n. 24, p. 4470, 16 dez. 2022. DOI: 10.3390/nano12244470.

SRINIVASAN, L. V.; RANA, S. S. A critical review of various synthesis methods of nanoparticles and their applications in biomedical, regenerative medicine, food packaging, and environment. **Discover Applied Sciences**, v. 6, p. 371, 2024. DOI: 10.1007/s42452-024-06040-8.

SWOLANA, D.; WOJTYCZKA, R. D. Activity of silver nanoparticles against *Staphylococcus* spp. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 8, p. 4298, 13 abr. 2022. DOI: 10.3390/ijms23084298.

TRAN, T. V. et al. Green synthesis of ZrO₂ nanoparticles and nanocomposites for biomedical and environmental applications: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 20, n. 2, p. 1309-1331, 2022. DOI: 10.1007/s10311-021-01367-9.

VAIDEHI, B. N. B. Green synthesis of silver nanoparticles using flower extract of *Calliandra haematocephala*: screening of antibacterial and antioxidant activities. **International Journal of Green Pharmacy**, v. 16, n. 1, 2022. DOI: 10.22377/ijgp.v16i1.3222.

WANG, F.; HAN, R.; CHEN, S. An overlooked and underrated endemic mycosis: talaromycosis and the pathogenic fungus *Talaromyces marneffei*. **Clinical Microbiology Reviews**, v. 36, n. 1, e00051-22, 2023. DOI: 10.1128/cmr.00051-22.

WEI, S. et al. Comparison of chemical compositions and antioxidant activities of condensed tannins from different parts of *Calliandra haematocephala*. **Journal of Wood Chemistry and Technology**, v. 35, n. 3, p. 193-206, maio 2015. DOI: 10.1080/02773813.2014.919596.

XU, Yan et al. In vitro antifungal activity of silver nanoparticles against ocular pathogenic filamentous fungi. **Journal of Ocular Pharmacology and Therapeutics**, v. 29, n. 2, p. 270-274, 14 fev. 2013. DOI: 10.1089/jop.2012.0155.

XUE, Baiji et al. Biosynthesis of silver nanoparticles by the fungus *Arthroderma fulvum* and its antifungal activity against genera of *Candida*, *Aspergillus* and *Fusarium*. **International Journal of Nanomedicine**, v. 11, p. 1899-1906, 4 maio 2016. DOI: 10.2147/IJN.S98339.

ZHANG, X. F. et al. Silver nanoparticles: synthesis, characterization, properties, applications, and therapeutic approaches. **International Journal of Molecular Sciences**, [s. l.], v. 17, n. 9, p. 1534, 13 set. 2016. DOI: 10.3390/ijms17091534. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5037809/>. Acesso em: 21 jul. 2026.

ZHAO, A.; SUN, J.; LIU, Y. Understanding bacterial biofilms: from definition to treatment strategies. **Frontiers in Cellular and Infection Microbiology**, v. 13, p. 1137947, 6 abr. 2023. DOI: 10.3389/fcimb.2023.1137947.

ZHAO, Xixi et al. Fungal silver nanoparticles: synthesis, application and challenges. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 38, n. 6, p. 817-835, 2018. DOI: 10.1080/07388551.2017.1414141.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE BIOTECNOLOGIA (IBTEC)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA (PPGB)

DECLARAÇÃO DE USO DE FERRAMENTAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA)

Eu, Samilly Dias Mesquita, aluno(a) regularmente matriculado(a) no Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia (PPGB) da UFU sob o número de matrícula 42221BTC012, autor(a) da monografia intitulada **Biossíntese de nanopartículas de prata utilizando extratos metanólicos de *Calliandra dysantha*: caracterização e avaliação da atividade antimicrobiana**, declaro que **UTILIZEI** ferramentas de Inteligência Artificial conforme o detalhamento abaixo:

1. Escopo de Uso: Tradução e Adaptação de Imagens (Elementos Visuais)

- **Ferramenta e Versão:** ChatGPT 5.5.
- **Elementos Traduzidos:** Figura 1 – Representação esquemática da Ressonância Plasmônica de Superfície Localizada Figura 2 – Diferentes métodos de síntese de nanopartículas, Figura 12 – Formação de AgNPs.
- **Descrição do Uso:** A ferramenta de IA foi utilizada para processar imagens originais em língua estrangeira, realizar o reconhecimento óptico de caracteres (OCR) e traduzir os termos técnicos internos para a língua portuguesa. Toda a terminologia biotecnológica foi revisada e validada manualmente pelo autor.

2. Escopo de Uso: Geração/Criação de Elementos Visuais Originais

- **Ferramenta e Versão:** ChatGPT 5.5 e Canva.
- **Elementos Gerados:** Figura 4 – Comparação entre a parede celular de bactérias Gram-positivas e Gram-negativas, Figura 5 – Comparação morfológica entre fungos filamentosos e fungos leveduriformes.
- **Descrição do Uso:** A IA foi utilizada para gerar representações visuais inéditas a partir de comandos textuais (*prompts*) fornecidos pelo autor, servindo como suporte didático para a explicação dos mecanismos biológicos abordados na monografia.

Declaro estar ciente de que as ferramentas de IA não cumprem os requisitos para coautoria e que sou o único responsável pela precisão dos dados, referências bibliográficas e conclusões apresentadas neste documento. Declaro também que nenhuma das ferramentas alterou dados experimentais brutos ou simulou resultados laboratoriais. Assumo total responsabilidade ética e científica pelas imagens apresentadas.

Patos de Minas, 26 de julho de 2026.

 Documento assinado digitalmente
SAMILLY DIAS MESQUITA
Data: 10/08/2026 20:59:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do(a) Discente