



## Síntese verde de nanopartículas de prata mediada por extrato de folhas de *Bauhinia forficata*, caracterização e avaliação do efeito bactericida

*Green synthesis of silver nanoparticles mediated by Bauhinia forficata leaf extract, characterization and evaluation of bactericidal effect*

Leandro Josuel da Costa Santos<sup>1</sup>

 <https://orcid.org/0000-0001-6051-2540>  <http://lattes.cnpq.br/9893092460153384>

Janiel Costa da Silva<sup>2</sup>

 <https://orcid.org/0000-0002-0876-9311>  <http://lattes.cnpq.br/1851702131221035>

Girlene Soares de Figueirêdo<sup>3</sup>

 <https://orcid.org/0000-0002-6710-1549>  <http://lattes.cnpq.br/5095068399570934>

Vicente Galber Freitas Viana<sup>4</sup>

 <https://orcid.org/0000-0002-3863-6974>  <http://lattes.cnpq.br/9207482089741014>

Deuzuita dos Santos Freitas Viana<sup>5</sup>

 <https://orcid.org/0000-0002-1902-6505>  <http://lattes.cnpq.br/9427609782986371>

Sergio Marcelo Coelho Lustosa<sup>6</sup>

 <https://orcid.org/0000-0001-9980-0531>  <http://lattes.cnpq.br/7568480180816093>

### RESUMO

A nanotecnologia é uma área de constante expansão, incluindo estudos de nanopartículas de prata (AgNPs). Para sua obtenção envolvem processos químicos que podem gerar resíduos tóxicos. Esta pesquisa objetiva o uso de técnica sustentável da qual visa a utilização de extratos naturais como agentes redutores e estabilizadores, em substituição a reagentes químicos tóxicos. No estudo foi utilizado o extrato hidroalcoólico de *Bauhinia forficata* L. (BF) e nitrato de prata (AgNO<sub>3</sub>) como agente precursor. A caracterização foi realizada por Espectroscopia em Ultravioleta Visível (UV-Vis), influência do pH, difração de raios-X (DRX), análise

<sup>1</sup> Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina/PI – Brasil. E-mail: [leandrosantos.educ@gmail.com](mailto:leandrosantos.educ@gmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina/PI – Brasil. E-mail: [Janielcosta007@hotmail.com](mailto:Janielcosta007@hotmail.com)

<sup>3</sup> Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina/PI – Brasil. E-mail: [girlenesf@gmail.com](mailto:girlenesf@gmail.com)

<sup>4</sup> Instituto Federal do Piauí (IFPI), Teresina/PI – Brasil. E-mail: [galber@ifpi.edu.br](mailto:galber@ifpi.edu.br)

<sup>5</sup> Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Caxias/MA – Brasil. E-mail: [deuzuitasfv@gmail.com](mailto:deuzuitasfv@gmail.com)

<sup>6</sup> Universidade Estadual do Piauí (UESPI), Teresina/PI – Brasil. E-mail: [sergiomlustosa@gmail.com](mailto:sergiomlustosa@gmail.com)



estatística ANOVA e efeito bactericida em *Staphylococcus aureus* - ATCC25923 (*S. aureus*) e *Escherichia coli* - ATCC25922 (*E. coli*). Os espectros mostraram a formação de AgNPs na região característica e estabilidade considerável ao longo do tempo o difratograma revelou picos característicos da presença de nanopartículas nas amostras, e a atividade antibacteriana confirmada pela expressividade dos halos de inibição. A espécie *S. aureus* foi a cepa mais sensível às nanopartículas, se mostrando assim mostraram promissoras como agentes bactericidas sustentáveis.

**Palavras-chave:** Nanotecnologia; Nanopartícula; Bactericida; Síntese biológica.

## ABSTRACT

*Nanotechnology is an area of constant expansion, including studies of silver nanoparticles (AgNPs). To obtain them involve chemical processes that can generate toxic waste. This research aims at the use of sustainable technique that aims to use natural extracts as reducing agents and stabilizers, replacing toxic chemical reagents. In the study was used hydroalcoholic extract of *Bauhinia forficata* L. (BF) and silver nitrate (AgNO<sub>3</sub>) as precursor agent. The characterization was performed by Visible Ultraviolet Spectroscopy (UV-Vis), pH influence, X-ray diffraction (XRD), ANOVA statistical analysis and bactericidal effect on *Staphylococcus aureus* - ATCC25923 (*S. aureus*) and *Escherichia coli* - ATCC25922 (*E. coli*). The spectra showed the formation of AgNPs in the characteristic region and considerable stability over time the diffractometer revealed characteristic peaks of the presence of nanoparticles in the samples, and antibacterial activity confirmed by the expressiveness of the inhibition halos. The species *S. aureus* was the most sensitive strain to nanoparticles, thus showing promising as sustainable bactericidal agents.*

**Keywords:** Nanotechnology; Nanoparticle; Bactericide; Biological synthesis.

## 1. INTRODUÇÃO

A nanotecnologia faz parte de um grupo de pesquisa amplamente estudado. Estes estudos avaliam materiais com dimensões nanométricas, identificando suas propriedades físicas e químicas para uso em vários campos de pesquisa (Nguyen *et al.*, 2022). Pesquisas relatam que os nanomateriais tem tido um notável desempenho em inúmeras aplicações, como catálise (Astruc, 2020), tecnologia biomédica (Canaparo *et al.*, 2020), ciência ambiental (Anand *et al.*, 2020), anti-oxidação (Abdollahi *et al.*, 2021), embalagens de alimentos (Nikolic *et al.*, 2021), agricultura (Fatima; Hashim; Anees, 2021), tecnologia de detecção (Montes-García *et al.*, 2021) e outros. Entre os nanomateriais estão as nanopartículas de prata (AgNPs), que têm atraído atenção em vários campos devido às suas múltiplas propriedades, como excelente condutividade elétrica, capacidade antimicrobiana, catalítica (Min *et al.*, 2022) e propriedades curativas (Lara *et al.*, 2022).

Vários desses métodos podem ser usados para a formação de AgNPs, como radiação assistida por ultrassom (Manjamadha e Muthukumar, 2016), redução química (Khan *et al.*, 2011), explosão elétrica (Lerner *et al.*, 2016), coprecipitação (Dat *et al.*, 2020) e sol-gel (Kumar *et al.*, 2019). A técnica mais amplamente estudada para a síntese de AgNPs envolve a redução química do precursor de prata usando agentes redutores orgânicos e inorgânicos (por exemplo, reagente Tollens, borohidreto de sódio, citrato trissódico, polivinilpirrolidona e parafina) (Montazer *et al.*, 2012; Begun *et al.*, 2019; Das *et al.*, 2013; Zhang; Shi e Yang, 2014; Hu *et al.*, 2020). Os métodos de redução química oferecem algumas vantagens, como controle de tamanho e morfologia, mas também causam muitos problemas, como os potenciais efeitos nocivos ao meio ambiente (Gudikandula e Charya Maringanti, 2016; Naraginti e Li, 2017; Casagrande e De Lima, 2019).



Uma maneira efetiva de diminuir os efeitos nocivos do método químico é a síntese verde capaz de reduzir o sal metálico, por apresentar essas vantagens, esse tipo de síntese para AgNPs, tem atraído vasta atenção nos últimos anos (Iravani, 2011; Mukherjee and Patra, 2017; Plachtová *et al.*, 2018; Shah *et al.*, 2015; Singh *et al.*, 2018), tornando-se um método viável para transcender essas limitações, considerado ecologicamente correto, além de permitir o desenvolvimento de nanomateriais biocompatíveis com mínima ecotoxicidade, embora a expansão e melhoria da síntese verde ainda seja desafiadora (Ahamed *et al.*, 2011; Jenifer *et al.*, 2020). Esta técnica emprega geralmente caminhos metabólicos naturais nos microrganismos por meio do uso de extratos fotoquímicos ricos em polifenóis e flavonoides, para reduzir precursores metálicos tornando-os nano particulados (Djaoudene *et al.*, 2029; Ovais *et al.*, 2018).

Estudos recentes confirmam a aplicação de extratos de plantas para sintetizar nanopartículas usando folhas de *Azadirachta indica* (Shukla *et al.*, 2012), *Corylus avellana* (Korkmaz *et al.*, 2020), grãos de cacau, extrato de semente de uva (Ranoszek-Soliwoda *et al.*, 2019), *Prosopis juliflora*, *Skimmia lauréola*, *Avicennia marina*, *Origanum vulgare*, *Morinda citrifolia*, *Rosmarinus officinalis* e outros (Chung *et al.*, 2016). No entanto, nenhum estudo até o momento foi encontrado para o uso de *Bauhinia forficata* (BF) para síntese verde de AgNPs, o que delibera um importante interesse para seu uso, devido seus fitoquímicos. De acordo com Barbosa (2018), a participação de flavonoides já foi relatada em alguns estudos, sugerindo que a presença de hidroxilas nesses compostos libera átomos reativos de hidrogênio capazes de reduzir íons de prata em nanopartículas.

A partir do que foi mencionado anteriormente, o estudo em questão visa investigar a síntese de nanopartículas de prata (AgNPs) a partir do extrato hidroalcoólico das folhas de *Bauhinia forficata*, e o efeito antibacteriano, pois agrega uma vasta fonte de polifenóis e flavonóides, o que o torna um potencial candidato para obtenção de extrato qualificado para síntese de AgNPs sem a necessidade de inserção de reagentes químicos nocivos.

## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 2.1.1 Preparação do extrato vegetal

As folhas de *Bauhinia forficata* foram adquiridas em lojas de produtos naturais da capital do estado do Piauí, foram lavadas várias vezes com água destilada para remover as impurezas superficiais, após a lavagem foram secas à temperatura ambiente para remover a água de superfície. As folhas foram trituradas com auxílio de um liquidificador. Aproximadamente 40g de folhas secas de *Bauhinia forficata* triturada foram adicionadas a um béquer contendo 500 mL de solução hidroalcoólica. O recipiente foi selado e a mistura reservada no escuro durante 48h à temperatura ambiente; durante este período sucessivas agitações foram realizadas com o uso de um bastão de vidro. Em seguida, o sobrenadante foi filtrado usando papel de filtro qualitativo de 28 µm para remover o material particulado, o filtrado foi aquecido em banho-maria, sob agitação a uma temperatura de 60°C, até que o volume fosse reduzido em 50% e assim adquirir uma maior concentração das substâncias presentes no vegetal, dessa forma, uma solução com cor esverdeada escura foi adquirida, sendo subsequentemente armazenada entre 4-8 °C para uso posterior.



### 2.1.2 Desenvolvimento das AgNPs com extrato hidroalcoólico de *B. forficata*

Uma solução de nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ) foi preparada em uma concentração de 2 mmol/L como sugerido por Jain *et al.*, (2017) com algumas adaptações; neste caso específico, com o uso de água deionizada em vez de destilada. Um mililitro do extrato foi diluído para obter um volume na concentração de 0,5% v/v. Em seguida, a solução de  $\text{AgNO}_3$  foi misturada ao extrato na proporção de 1:1, a síntese ocorreu à temperatura ambiente e a mistura foi agitada constantemente em mesa agitadora da marca TECNAL-TE1400 em rotação de 230 rpm por 24h, e após esse tempo as amostras foram armazenadas com ausência de luz para a realização das análises posteriores.

### 2.1.3 Caracterização das nanopartículas

O processo de biossíntese de AgNPs foi observado levando-se em consideração parâmetros como tempo de agitação, mudança de coloração, influência do pH, espectrofotometria e análise bacteriológica. O efeito do tempo na formação das AgNPs foi analisado em intervalos de 0, 1, 2, 4, 6, 12, 24, 72 e 168 h na mistura. O pH neutro inicial da solução foi mantido, assim como as amostras ajustadas para pH 8 e 9 do extrato com o uso de solução alcalina de NaOH na concentração de 0,1 M. Em relação à coloração, verificou-se que haveria alteração na aparência inicial do extrato, com o passar do tempo da biossíntese de AgNPs. Os espectros UV-vis das misturas após a síntese da reação foram verificados na faixa de comprimentos de onda de 240-600 nm, obtidos em um espectrofotômetro UV-1800 (Shimadzu, Japão). Para verificar a formação, a estrutura cristalina (Da Silva *et al.*, 2025), a técnica de difração de raios X (DRX) foi empregada, foram analisadas em difratômetro de Raios-X da marca Panalytical, modelo Empyrean Série 2, equipado com tubo de cobalto com  $\lambda = 1,78$  nm e monocromador secundário para Co, tensão de 40 kV e corrente de 45 mA. As amostras foram analisadas no intervalo de ângulos de difração  $2\theta$  variando de 5 a  $90^\circ$  e velocidade  $2^\circ\text{C}/\text{min}-1$ . As amostras foram dispostas em cubetas de quartzo com 4 cm, acompanhando a evolução da síntese verde de a partir de  $\text{AgNO}_3$ , onde se esperava visualizar os picos indicativos de formação das nanopartículas, bactérias das *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli* foram utilizados para análise bacteriológica.

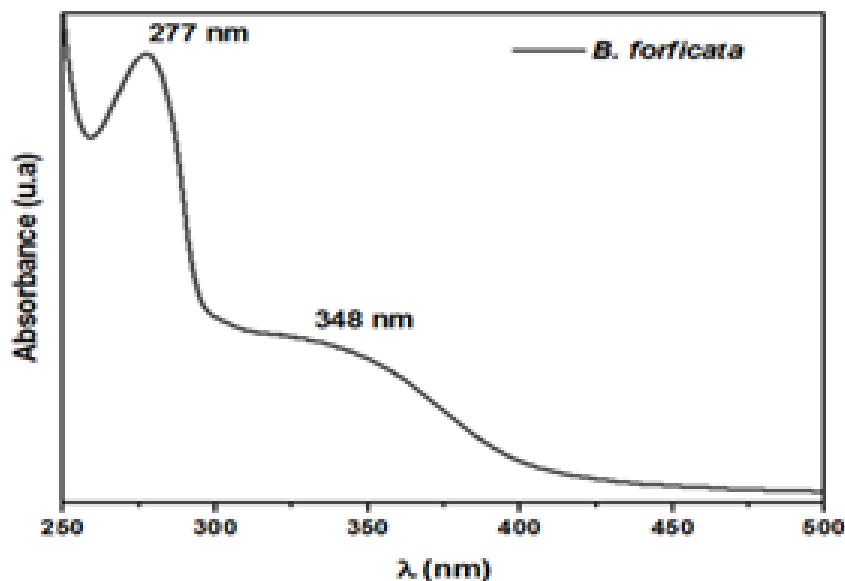
### 2.1.4 Análise estatística

Os dados experimentais foram confirmados por ANOVA, como os desvios padrão do valor médio. A significância estatística dos valores das alterações para grupos separados foi analisada por meio de análise multivariada.

## 3. RESULTADOS

### 3.1 OTIMIZAÇÃO DO EXTRATO PARA ANÁLISE

O espectro ultravioleta visível UV-vis para o extrato de *B. forficata* (Figura 1) apresentou bandas características de flavonoides, apresentando picos na região de 277 nm e 348 nm.

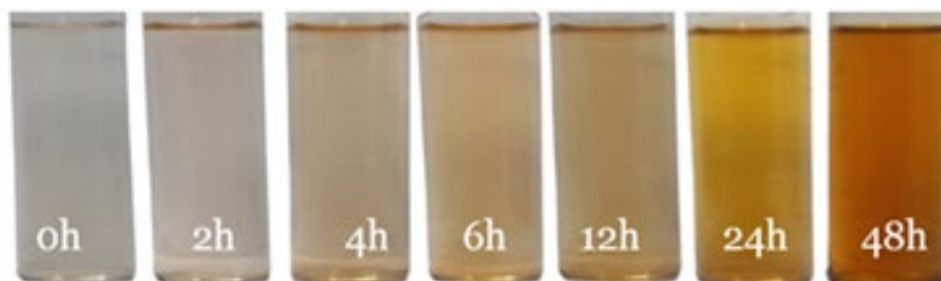
Figure 1. Extrato de *Bauhinia forficata* UV-vis expctrum.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Em um estudo desenvolvido por Macucci e colaboradores (2020), ao realizar a detecção de flavonoides de própolis por espectroscopia UV-Vis inferem que os picos característicos de flavonoides devem estar presentes em uma faixa de absorbância entre 250 a 350 nm. Diante disso, a região na banda de 277 nm no espectro foi a mais intensa permanecendo ao longo do processo de análise, mesmo após a síntese de AgNPs.

### 3.2 TEMPO DE AGITAÇÃO E MUDANÇA DA COLORAÇÃO

Neste caso específico, o tempo de agitação por 72h foi levado em consideração relacionando com a mudança no aspecto da cor, verificada do tempo zero até 72h após a adição de AgNO<sub>3</sub> no extrato, mostrando uma mudança na cor da solução do extrato (Figura 2) amarelo claro no tempo zero, intensificando-se ao longo do tempo para marrom escuro, indicando a formação de AgNPs.

Figura 2. Mudança da cor observada em para a síntese biológica de AgNPs a partir do extrato hidarlcólico de *Bauhinia forficata*.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A evidência de mudança de cor nesta análise está diretamente relacionada aos níveis de absorção de luz nas camadas superficiais dos materiais, suportadas por estruturas metálicas, com dimensões nano causadas pelo efeito de ressonância. Pesquisas relatam que a excitação da ressonância plasmônica de superfície (RPS) resultante da interação dos elétrons da superfície da nanopartícula

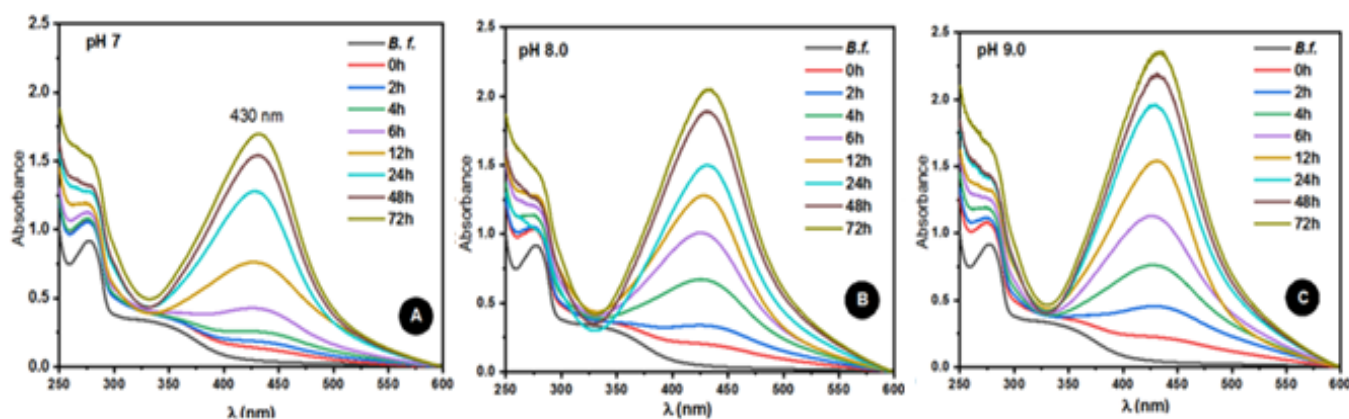


com a luz incidente, pode provocar a mudança de cor, que por sua vez caracteriza a formação de AgNPs, (Wel *et al.*, 2015; Biswas e Mulaba-Bafubiandi, 2016), onde a faixa pode prever várias características de nanopartículas formadas, tais como a forma, o tamanho do diâmetro, estado de superfície, estado da dispersão e a estabilidade (Ettadili *et al.*, 2023). Os resultados aqui identificados mostraram que em todas as amostras, a presença de uma banda em torno de 430 nm pode variar até 432 nm típica da vibração de ressonância plasmônica de AgNPs.

### 3.3 ANÁLISE ESPECTROFOTOMÉTRICA UV-VIS

A análise espectrofotométrica foi realizada com periodicidade (Figura 3) a fim de verificar a intensidade da nanopartícula formada e sua estabilidade ao longo do tempo. Os resultados demonstraram uma alta absorbância na região visível do espectro característico de AgNPs ao longo do tempo, esta característica torna-se ainda mais expressiva quando o pH foi elevado. No que diz respeito à estabilidade, pode-se observar a manutenção dessa característica por pelo menos 72 horas por não apresentar redução nas bandas, este tempo foi estendido por um período mais longo durante a pesquisa. Devido à intensidade da formação de AgNPs, foi impossibilitado assim a leitura visível pelo equipamento.

Figura 3 - Formação de AgNPs detectada a partir da análise de espectrofotometria UV-vis em pHs 7.0 (A), 8.0 (B) e 9.0 (C), respectivamente, levando em consideração diferentes tempos de reação à temperatura ambiente.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O espectro obtido neste estudo revela a absorção máxima em um comprimento de onda de 430 nm, consistente com outros estudos onde os picos da absorção foram observados para AgNPs, numa escala variando entre 400 nm a 530 nm (Abbasi *et al.*, 2016). Esses dados reafirmam a síntese de AgNPs observada na mudança de cor com o passar do tempo (Figura 2), corroborando com outros estudos que utilizaram espécies vegetais, apresentando máxima absorbância entre 410 nm e 446 nm (Biswas & Mulaba-Bafubiandi, 2016; Solanki *et al.*, 2017).

### 3.4 EFEITO DO pH

Dentre as AgNPs sintetizadas, três condições de pH foram determinadas à temperatura ambiente e investigadas por espectroscopia UV-Vis com os extratos nos pHs de 7,0, 8,0 e 9,0, em um tempo de



agitação monitorado por 24h. Os resultados observados mostraram uma forte influência do pH na formação de AgNPs, uma vez que observou-se uma maior absorção plasmônica nos extratos com AgNPs obtidos em pHs 8,0 e 9,0, aumentando o valor de absorbância à medida que esses valores de pH são alterados (Tabela 1) quando comparado com pH neutro nos tempos observados.

Tabela 1 - Influência do pH, Síntese de AgNPs intermediada pelo extrato hidroalcolólico de Bauhinia forficata

Time / Absorbance pH	0h	2h	4h	6h	12h	24h	48h	72h
7.0	0,138	0,185	0,256	0,426	0,761	1,276	1,539	1,048
8.0	0,202	0,337	0,668	1,002	1,276	1,498	1,882	2,000
9.0	0,225	0,454	0,761	1,123	1,539	1,954	2,186	2,354

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

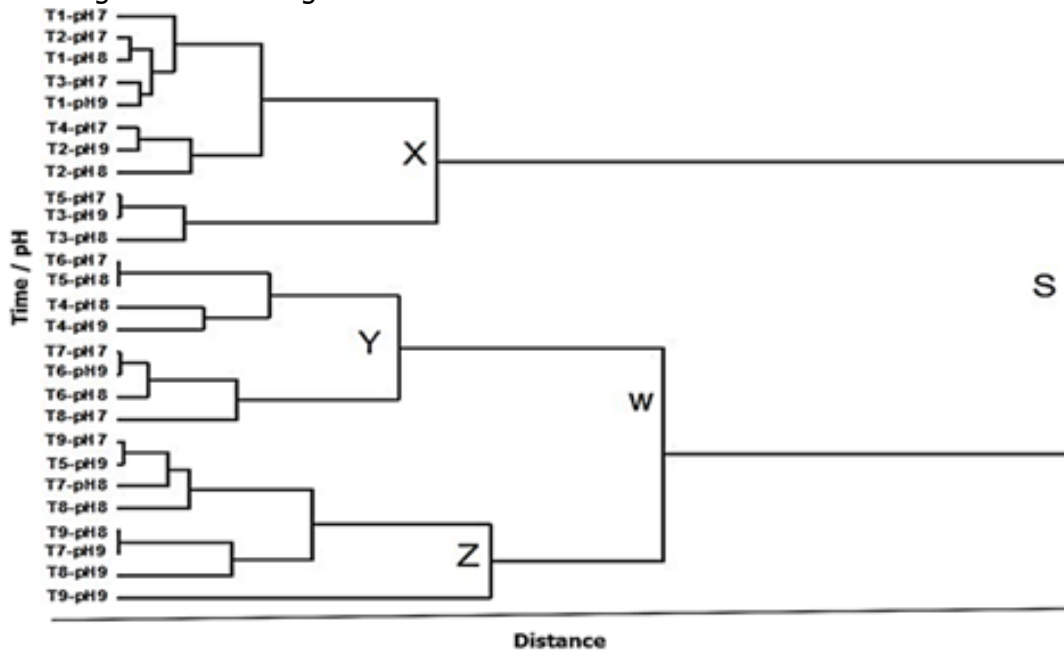
Esse efeito está de acordo com pesquisas recentes ao relatar a influência do pH na obtenção de AgNPs, onde nesses estudos foram utilizados extratos naturais identificando o mesmo comportamento de onda. O maior rendimento tende a ser observado quando esses extratos estão em níveis mais alcalinos (Rodrigues *et al.*, 2020) esse desempenho é justificado pela forte ionização dos grupos fenólicos presentes no extrato vegetal em meio básico, por outro lado em meio ácido a repulsão eletrostática de ânions em solução reduz a taxa de redução de nanopartículas (Charti *et al.*, 2021).

### 3.5 ESTATÍSTICA

Pela análise do dendrograma (Figura 4), encontra-se as mais altas similaridades nos pares (T1PH8 / T2PH7), (T1PH9 / T3PH7), (T2PH9 / T4PH7), (T5PH7 / T3PH9), (T6PH7 / T5PH8), (T7PH7 / T5PH9), (T9PH7 / T5PH9), (T9PH8 / T7PH9). Os colchetes X, Y e Z trazem grande diferença nas similaridades dos grupos, sendo que o colchete X é justificado quando se compara os valores de absorção, entre T1PH7 com T5PH7, T3PH8 ou T3PH9. O colchete Y é expresso pela comparação de valores das absorbâncias de T6PH7 ou seu similar com T8PH7. O colchete Z, mostra a comparação de T9PH9 com T9PH8 ou com seu similar. A diferença entre as similaridades dos colchetes Y e Z, identificada pelo colchete W é vista quando se compara os valores de T6PH7 ou seu similar com T9PH9. A maior diferença significativa entre os grupos está presente no colchete S, comparando-se os valores tabelados de T1PH7 com T9PH9.



Figura 4 - Dendrograma da análise multivariada das amostras estudadas.

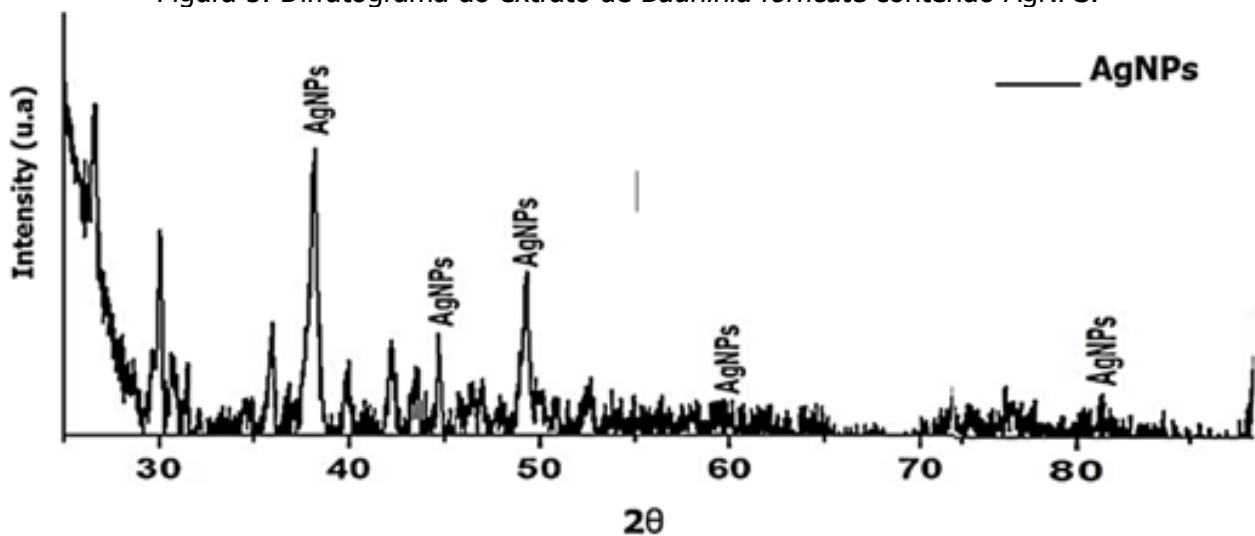


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

### 3.6 DIFRATOGRAMA DE RAIOS-X

De acordo com o difratograma de raios-X obtido a partir da reação entre AgN3 e extrato de *Bauhinia forficata*, do qual é representado (Figura 5), expõe o difratograma com picos característicos e posição de nanopartículas de prata. Pode ser observado nas regiões de aproximadamente 38,1, 44,2 60,8 e 81,6 no ângulo 2θ respectivamente, consistentes com o perfil de prata, ainda em concordância com outros trabalhos encontrados na literatura como os citados por Khanna e colaboradores (2005); Gupta; Jana & Meikap (2010).

Figura 5. Difratograma do extrato de *Bauhinia forficata* contendo AgNPs.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).





O resultado por difração de raios X comprova a eficácia de *Bauhinia forficata* na formação de AgNPs e que não causa a formação de outras fases cristalinas, o que pode reforçar a ideia de pureza dessas nanopartículas. A análise do difratograma também permitiu obter dados referentes ao tamanho médio do cristalito da amostra. Os dados foram extraídos utilizando a equação de Scherrer (Equação

$$1) \text{ dada por: } D = k\lambda/\beta \cos \theta \quad \text{Eq.1}$$

Onde D é o diâmetro médio da partícula, k é uma constante de Scherrer, que depende da forma das partículas,  $\lambda$  é o comprimento de onda da radiação eletromagnética usada,  $\theta$  é o ângulo de Bragg ou ângulo de difração, e  $\beta(2\theta)$  é a meia altura do pico de difração. O tamanho cristalino das amostras tratadas à temperatura ambiente após 72 horas permaneceu em tamanho médio de 44,35 nm.

### 3.7 ANÁLISE BACTERIRICIDA

A atividade antibactericida das AgNPs sintetizadas no extrato de *Bauhinia forficata* (BF) foi verificada contra uma espécie bacteriana gram-positiva (*Staphylococcus aureus* - ATCC25923) e uma espécie gram-negativa (*Escherichia coli* - ATCC25922) para amostras de extrato sem adição de  $\text{AgNO}_3$ , e com as AgNPs mediadas por BF em pH7, pH8 e pH9, chamados simplesmente de AM-1, AM-2, AM-3, AM-4, AM-5 respectivamente todos realizados em triplicata. A (Tabela 2) mostra os valores do tamanho dos halos de inibição do crescimento bacteriano na presença das amostras, (Figura 6) revelando visivelmente o efeito bactericida nas amostras testadas.

**Tabela 2** - Medidas dos halos de inibição (em milímetros) do crescimento microbiano com respectivo desvio padrão, na presença das AM-1, AM-2, AM-3, AM-4 e AM-5.

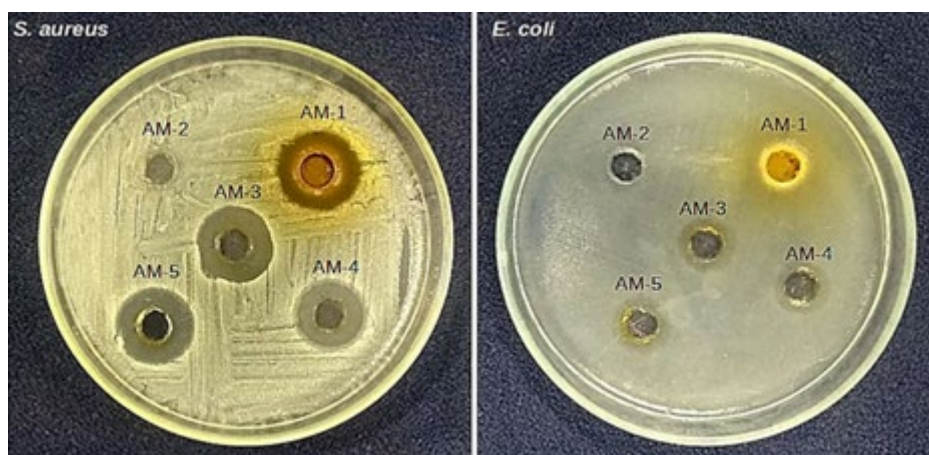
Samples	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Escherichia coli</i>
AM - 1	17,66 ± 1,15	0,00 ± 0,0
AM - 2	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
AM - 3	18,66 ± 0,57	10,33 ± 1,15
AM - 4	19,00 ± 1,00	10,66 ± 0,57
AM - 5	19,33 ± 0,57	11,66 ± 0,57

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O efeito antibacteriano nas amostras foi dependente da cepa das bactérias e da superfície química das AgNPs presentes ou não nos extratos. *Staphylococcus aureus* foi a cepa mais sensível às nanopartículas e o extrato puro sem AgNPs, destacando-se a amostra de AM-5 da qual a nanopartícula foi sintetizada a partir do extrato BF em pH 9.0. Estudos relatam a influência do pH na síntese de AgNPs, uma vez que o pH da solução é capaz de interferir diretamente em seu diâmetro médio, quantidade e melhor formação podendo atingir tamanhos aproximados de 90 nm em pH mais alcalino, certo que o pH afeta criticamente a cinética da nucleação destas nanopartículas (Guimarães; Amarante & Oliveira, 2021).



**Figura 5.** Teste de difusão em poços contendo soluções testes (AM-1, AM-2, AM-3, AM-4 e AM-5) contra *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Por outro lado, é notável a semelhança do efeito antibacteriano do extrato concentrado sem AgNPs contra *Staphylococcus aureus* em relação ao AM-3, AM-4 e AM-5, com exceção da amostra de AM-2 que apresentou diferença significativa entre o extrato quando este foi diluído para um percentual de 0,5% e não na presença de AgNPs. Apesar da similaridade do efeito do extrato concentrado sobre as cepas, a associação de BF e AgNPs apresentou melhores resultados inibitórios em todas as amostras. A atividade máxima é verificada quando há uma maior formação de nanopartículas ocasionada pelo extrato em pH 9,0 AM-5.

Uma redução subsequente do efeito é observada na presença de *E. coli*, atingindo aproximadamente 50% quando comparado ao mesmo efeito em *S. aureus*. Em estudos anteriores Brito e Taguari (2010) investigaram a sensibilidade antibacteriana de *E. coli*, mostrando que esta cepa pode apresentar alta resistência a inúmeros fármacos. Outro estudo, ao utilizar extratos hidroalcoólicos neste caso de eucalipto nas concentrações de 1 mg e 10 mg não identificou efeito contra *E. coli* (De Miranda e Rocha, 2022). Por outro lado, os resultados aqui apresentados demonstram a eficácia da síntese verde de AgNPs através do extrato de BF como agente antibacteriano contra as cepas aqui estudadas, *E. coli* e *S. aureus* impulsionando a importância do uso dessa síntese verde para fins de promoção da saúde em ambientes hospitalares por exemplo.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método apresentado para síntese verde nesta pesquisa demonstrou uma alternativa viável e eficiente para a formação de prata coloidal e estabilidade, sendo o processo influenciado pela alteração do pH do extrato e pela concentração de nitrato de prata, e principalmente a interação dos princípios ativos naturalmente contidos no extrato de *Bauhinia forficata*. Evidenciou ainda o efeito antibacteriano satisfatório das nanopartículas sintetizadas contra as cepas *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*, sem adição de agentes químicos nocivos. A análise estatística indica que a síntese e a estabilidade das nanopartículas podem ocorrer nas três situações experimentais testadas, mas a comparação das similaridades não obedece a uma característica monogênica, para tempos e valores de absorvâncias.



## 5. REFERÊNCIAS

- ABDOLLAHI, Z., ZARE, E. N., SALIMI, F., GOUDARZI, I., TAY, F. R., & MAKVANDI, P. Bioactive carboxymethyl starch-based hydrogels decorated with CuO nanoparticles: antioxidant and antimicrobial properties and accelerated wound healing in vivo. **International journal of molecular sciences**, 22(5), 2531, 2021.
- AHAMED, M., KHAN, M. M., SIDDIQUI, M. K. J., ALSALHI, M. S., & ALROKAYAN, S. A. Green synthesis, characterization and evaluation of biocompatibility of silver nanoparticles. **Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures**, 43(6), 1266-1271, 2011.
- ANAND, G. T., SUNDARAM, S. J., KANIMOZHI, K., NITHIYAVATHI, R., & KAVIYARASU, K. Microwave assisted green synthesis of CuO nanoparticles for environmental applications. **Materials Today: Proceedings**, 36, 427-434, 2021.
- ASTRUC, D. Introduction: nanoparticles in catalysis. *Chemical reviews*, 120(2), 461-463.
- BARBOSA, VALCILAINÉ TEIXEIRA BARBOSA. Síntese biogênica de nanopartículas de prata usando própolis vermelha de Alagoas. **Dissertação** (Mestrado). Universidade Federal de Alagoas, 2018.
- BEGUM, R., FAROOQI, Z. H., ABOO, A. H., AHMED, E., SHARIF, A., & XIAO, J. (2019). Reduction of nitroarenes catalyzed by microgel-stabilized silver nanoparticles. **Journal of hazardous materials**, 377, 399-408, 2019.
- BISWAS, S. & A. F. MULABA-BAFUBIANDI. Optimization of process variables for the biosynthesis of silver nanoparticles by *Aspergillus wentii* using statistical experimental design. **Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology** 7(4): 045005. 2016.
- BRITO, B.; TAGLIARI, K.C. Sensibilidade antimicrobiana de amostras de *Escherichia coli* isoladas de leitões com diarreia após o desmame. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 43, ed. 1, p. 133-137, 2010.
- Canaparo, R., Foglietta, F., Limongi, T., & Serpe, L. Biomedical applications of reactive oxygen species generation by metal nanoparticles. **Materials**, 14(1), 53, 2020.
- CASAGRANDE, M. G., & DE LIMA, R. Synthesis of Silver Nanoparticles Mediated by Fungi: A Review (2019). **Frontiers of Bioengineering & Biotechnology**, 7, 287, 2019.
- CHARTI, I., AZOUZI, A., BELGHITI, A., SAIR, S., ABBOUD, Y., & EL BOUARI, A. Ecofriendly synthesis of stabilized silver nanoparticles and the evaluation of their potential applications. **Current Research in Green and Sustainable Chemistry**, 4, 100102, 2021.
- CHUNG, I. M., PARK, I., SEUNG-HYUN, K., THIRUVENGADAM, M., & RAJAKUMAR, G. Plant-mediated synthesis of silver nanoparticles: their characteristic properties and therapeutic applications. **Nanoscale research letters**, 11(1), 1-14, 2016.
- DAS, MR., SARMA, RK., BORÁ, SC., KUMARI, R., SAIKIA, R., DESHMUKH, AB., SHELKE, MV., SENGUPTA, P., SZUNERITS, S., BOUKHERROUB, R. The synthesis of citrate-modified silver nanoparticles in an aqueous suspension of graphene oxide nanosheets and their antibacterial activity. **Colloids Surf. B Biointerfaces**, 2013.
- Da Silva, J. C., Santos, L. J. C, Lustosa, S. M. C., das Virgens Santana, M., Viana, V. G. F., & da Silva, D. A. AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA EXTRAÇÃO DO CAROTENOIDE NORBIXINA DE SEMENTES DE URUCUM (*Bixa orellana* L.) UTILIZANDO SOLUÇÃO ALCALINA POR DUAS ROTAS DE EXTRAÇÃO. **ARACÊ**, v. 7, n. 1, p. 2724-2740, 2025.



- DAT, N. M., LONG, P. N. B., NHI, D. C. U., MINH, N. N., NAM, H. M., PHONG, M. T., & HIEU, N. H. Synthesis of silver/reduced graphene oxide for antibacterial activity and catalytic reduction of organic dyes. **Synthetic Metals**, 260, 116260, 2020.
- DE MIRANDA, D. M., & ROCHA, M. P. Avaliação da atividade antibacteriana do extrato etanólico de folhas e cascas de Eucalyptus globulus Labill. frente à Escherichia coli e Staphylococcus aureus. **Brazilian Journal of Health and Pharmacy**, 4(1), 27-38, 2022.
- DJAOUDENE, O., LÓPEZ, V., CÁSEDAS, G., LES, F., SCHISANO, C., BEY, M. B., & TENORE, G. C. Phoenix dactylifera L. seeds: A by-product as a source of bioactive compounds with antioxidant and enzyme inhibitory properties. **Food & function**, 10(8), 4953-4965, 2019.
- ETTADILI, F. E., AZRIOUIL, M., CHHAIBI, B., OUATMANE, F. Z., ALAOU, O. T., LAGHRIB, F & MHAMMEDI, M. E. (2023). Green synthesis of silver nanoparticles using Phoenix dactylifera seed extract and their electrochemical activity in Ornidazole reduction. **Food Chemistry Advances**, 2, 100146. 2023.
- FATIMA, F., HASHIM, A., & ANEES, S. Efficacy of nanoparticles as nanofertilizer production: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, 28 (2), 1292-1303, 2021.
- GUDIKANDULA, K., & CHARYA MARINGANTI, S. Synthesis of silver nanoparticles by chemical and biological methods and their antimicrobial properties. **Journal of Experimental Nanoscience**, 11(9), 714-721. 2016.
- GUPTA, K., JANA, P. C., & MEIKAP, A. K. Optical and electrical transport properties of polyaniline-silver nanocomposite. **Synthetic Metals**, 160(13-14), 1566-1573, 2010.
- GUIMARÃES, M. L., AMARANTE, J. F., & OLIVEIRA, H. P. D. A importância dos óleos essenciais na síntese verde de nanopartículas metálicas. **Matéria** (Rio de Janeiro), 26, 2021.
- HU, D., OGAWA, K., KAJIYAMA, M., & ENOMAE, T. Characterization of self-assembled silver nanoparticle ink based on nanoemulsion method. **Royal Society open science**, 7(5), 200296, 2020.
- IRAVANI, S. Green synthesis of metal nanoparticles using plants. **Green Chemistry**, 13(10), 2638-2650, 2011.
- JAIN, S.; MEHATA, M.S. Medicinal Plant Leaf Extract and Pure Flavonoid Mediated Green Synthesis of Silver Nanoparticles and Their Enhanced Antibacterial Property. **Sci. Rep**, 7, 15867, 2017.
- JENIFER, A. A., MALAIKOZHUNDAN, B., VIJAYAKUMAR, S., ANJUGAM, M., ISWARYA, A., & VASEEHARAN, B. Green synthesis and characterization of silver nanoparticles (AgNPs) using leaf extract of Solanum nigrum and assessment of toxicity in vertebrate and invertebrate aquatic animals. **Journal of Cluster Science**, 31(5), 989-1002, 2020.
- KHAN, Z., AL-TABAITI, S.A, OBAID, AY., AL-YOUBI, A. O. Preparation and characterization of silver nanoparticles by chemical reduction method. **Colloids Surf B Biointerfaces**, 82 (2), pp. 513-517, 2011.
- KHANNA, P. K., SINGH, N., CHARAN, S., & VISWANATH, A. K. Synthesis of Ag/polyaniline nanocomposite via in situ photo-redox mechanism. **Materials Chemistry and Physics**, 92(1), 214-219, 2005.
- KORKMAZ, N., CEYLAN, Y., TASLIMI, P., KARADAĞ, A., BÜLBÜL, A. S., & ŞEN, F. (2020). Biogenic nano silver: Synthesis, characterization, antibacterial, antibiofilms, and enzymatic activity. **Advanced Powder Technology**, 31(7), 2942-2950, 2020.



KUMAR, K. A., JOHN, J., SOORAJ, T. R., RAJ, S. A., UNNIKRISHNAN, N. V., & SELVARAJ, N. B. (2019). Surface plasmon response of silver nanoparticles doped silica synthesised via sol-gel route. **Applied Surface Science**, 472, 40-45, 2019.

LARA, N., NETO, A. F., DA MOTA, A. J., DE SOUZA, A. E., BRITO, A. G., DA SILVA, A. C & RUIZ, Y. L. **Engenharia de Materiais: materializando o futuro**. Pimenta Cultural, 2022.

LERNER, M.I., PERVIKOV, A.V., GLAZKOVA, E.A., SVAROVSKAYA, N.V., LOZHKOMOEV, A. S., PSAKHIE, S.G. Structures of binary metallic nanoparticles produced by electrical explosion of two wires from immiscible elements. **Powder Technol.**, 288, pp. 371-378, 2016.

MANJAMADHA, V.P., MUTHUKUMAR, K. Ultrasound assisted green synthesis of silver nanoparticles using weed plant, Bioproc. **Biosyst. Eng.**, 39 (3), pp. 401-411, 2016.

MARCUCCI, M. C., DE MAGALHÃES OLIVEIRA, L. F. A., GONÇALVES, C. P., & DE CARVALHO, C. Espectroscopia UV-VIS e reação com o radical DPPH para a detecção de flavonoides e determinação do potencial antioxidante de extratos de própolis. **Revista Eletrônica de Ciências Exatas**, 1(1), 2020.

MIN, K. H., SHIN, J. W., KI, M. R., & PACK, S. P. Green synthesis of silver nanoparticles on biosilica diatomite: well-dispersed particle formation and reusability. **Process Biochemistry**, 2022.

MONTAZER, M., ALIMOHAMMADI, F., SHAMEI, A., & RAHIMI, M. K. (2012). In situ synthesis of nano silver on cotton using Tollens' reagent. **Carbohydrate Polymers**, 87(2), 1706-1712, 2012.

MONTES-GARCÍA, V., SQUILLACI, M. A., DIEZ-CASTELLNOU, M., ONG, Q. K., STELLACCI, F., & SAMORI, P. Chemical sensing with Au and Ag nanoparticles. **Chemical Society Reviews**, 50(2), 1269-1304, 2021.

MUKHERJEE, S., & PATRA, C. R. Biologically synthesized metal nanoparticles: recent advancement and future perspectives in cancer theranostics. **Future science OA**, 3(3), FSO203, 2017.

NARAGINTI, S., & LI, Y. Preliminary investigation of catalytic, antioxidant, anticancer and bactericidal activity of green synthesized silver and gold nanoparticles using *Actinidia deliciosa*. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, 170, 225-234, 2017.

NGUYEN, N. T. T., Nguyen, L. M., NGUYEN, T. T. T., Tran, U. P., NGUYEN, D. T. C., & VAN TRAN, T. A critical review on the bio-mediated green synthesis and multiple applications of magnesium oxide nanoparticles. **Chemosphere**, 13730, 2022.

NIKOLIC, MV, VASILJEVIC, ZZ, AUGER, S., & VIDIC, J. Nanopartículas de óxido metálico para embalagens seguras, ativas e inteligentes de alimentos. **Trends in Food Science & Technology**, 116, 655-668, 2021.

OVAIS, M., KHALIL, A. T., ISLAM, N. U., AHMAD, I., AYAZ, M., SARAVANAN, M & MUKHERJEE, S. Role of plant phytochemicals and microbial enzymes in biosynthesis of metallic nanoparticles. **Applied microbiology and biotechnology**, 102(16), 6799-6814, 2018.

PLACHTOVÁ, P., MEDRIKOVA, Z., ZBORIL, R., TUCEK, J., VARMA, R. S., & MARŠÁLEK, B. Iron and iron oxide nanoparticles synthesized with green tea extract: differences in ecotoxicological profile and ability to degrade malachite green. **ACS sustainable chemistry & engineering**, 6(7), 8679-8687, 2018.

RANOSZEK-SOLIWODA, K., TOMASZEWSKA, E., MAŁEK, K., CELICHOWSKI, G., ORLOWSKI, P., KRZYZOWSKA, M., & GROBELNY, J. The synthesis of monodisperse silver nanoparticles with plant extracts. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, 177, 19-24, 2019.



RODRIGUES, D., ROEHRS, R., SOARES, J. J., DOTTA FILHO, A. C., & DENARDIN, E. L. G. Obtenção de nanopartículas de prata através da síntese verde: caracterização com diferentes pH. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, 11(4), 2020.

SHAH, M., FAWCETT, D., SHARMA, S., TRIPATHY, S. K., & POINERN, G. E. J. Green synthesis of metallic nanoparticles via biological entities. **Materials**, 8(11), 7278-7308, 2015.

SHUKLA, V. K., YADAV, R. S., YADAV, P., & PANDEY, A. C. Green synthesis of nanosilver as a sensor for detection of hydrogen peroxide in water. **Journal of Hazardous Materials**, 213, 161-166, 2012.

SINGH, J., DUTTA, T., KIM, K. H., RAWAT, M., SAMDDAR, P., & KUMAR, P. 'Green' synthesis of metals and their oxide nanoparticles: applications for environmental remediation. **Journal of nanobiotechnology**, 16(1), 1-24, 2018.

SOLANKI, Shailesh *et al.* Challenges and possibilities in hydroponics: An Indian perspective. **Int. J. Adv. Res**, v. 5, n. 11, p. 177-182, 2017.

WEI, L., J. LU, A. PATEL, Z. S. CHEN & G. CHEN. Silver nanoparticles: synthesis, properties, and therapeutic applications. **Drug Discovery Today** 20(5): 595-601. 2015.

ZHANG, Y., SHI, R., & YANG, P. Synthesis of Ag nanoparticles with tunable sizes using N, N-dimethyl formamide. **Journal of Nanoscience and Nanotechnology**, 14(4), 3011-3016, 2014.

**Submissão: 02/05/2024**

**Aceito: 12/10/2025**