



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ – UFC**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA – PPGB**  
**MESTRADO EM BIOTECNOLOGIA**

**ÉRICA LÍLIAN MOURA FIGUEIRA**

**SÍNTESE VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA COM EXTRATO AQUOSO  
DE FOLHAS DE *ANACARDIUM OCCIDENTALE*, CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-  
QUÍMICA E MORFOLÓGICA.**

**SOBRAL**

**2023**

ÉRICA LÍLIAN MOURA FIGUEIRA

SÍNTESE VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA COM EXTRATO AQUOSO DE FOLHAS DE *ANACARDIUM OCCIDENTALE*, CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MORFOLÓGICA.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, da Universidade Federal do Ceará - UFC/*Campus* Sobral, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Biotecnologia. Área de concentração: Biotecnologia. Linha de Pesquisa: Bioprospecção e Experimentação Molecular.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Pires dos Santos.

SOBRAL

2023



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

F1s

FIGUEIRA, ERICA LILIAN MOURA.

SÍNTESE VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA COM EXTRATO AQUOSO DE FOLHAS DE ANACARDIUM OCCIDENTALE, CARACTERIZAÇÃO FÍSICOQUÍMICA E MORFOLÓGICA. / ERICA LILIAN MOURA FIGUEIRA. – 2023.

78 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Sobral, Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Sobral, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Ricardo Pires dos Santos.

1. Biossíntese. 2. Extrato vegetal. 3. Infravermelho. 4. Nanotecnologia. I. Título.

CDD 660.6

---

A Deus, sabedoria suprema do Universo.

Ao meu querido e amado esposo, Ciro.

Aos meus amados filhos: Elvira e Luiz Neto,  
dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela sua infinita bondade, que me permitiu realizar esse sonho.

À CAPES, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

Ao meu orientador, Professor Dr. Ricardo Pires dos Santos, pelo empenho e dedicação nos momentos de aprendizagem e partilha.

Aos professores do Programa de Biotecnologia da Universidade Federal do Ceará, pelos ensinamentos e dedicação.

Aos colegas da turma de mestrado, pelos bons momentos que passamos juntos.

Especialmente à minha amada família, pela compreensão, pelo apoio, pelo incentivo, pela parceria. Meu esposo, Ciro, por todo incentivo, ajuda e carinho. Aos meus filhos pela ingênua compreensão, que mesmo sem saber da importância desse momento, apoiavam-me mesmo na dor da ausência. Amo todos vocês e serei eternamente grata.

“Todas as vitórias ocultam uma abdicação.”

Simone de Beauvoir

## RESUMO

A nanociência é uma área do conhecimento que estuda a manipulação dos materiais na escala atômica, molecular e macromolecular. Nanotecnologia é o setor que faz uso desses conhecimentos para desenvolver novos materiais e dispositivos. Um material é classificado como nanométrico se ele possuir pelo menos uma de suas dimensões situado na faixa entre 1 e 100 nanômetros (nm). Nessa faixa de tamanho os materiais adquirem propriedades físico-químicas diferentes. Biossíntese é o processo que utiliza organismos ou partes deles, em substituição dos reagentes químicos, sendo uma alternativa de baixo custo, segura ao ser humano e sustentável, já que minimiza os riscos de prejuízo ao meio ambiente na fabricação de biomateriais. O presente trabalho teve como objetivo sintetizar e caracterizar nanopartículas de prata utilizando o extrato aquoso de folhas sadias de *Anacardium occidentale* L. como agente redutor. Para a preparação do extrato, 10g de folhas recém coletadas (fragmentadas em pequenos pedaços) foram colocadas para infusão em 100mL de água ultrapura e mantidas sob agitação por 10 minutos a temperatura ambiente e posteriormente filtrada. Uma alíquota de 10 mL do extrato das folhas foi adicionada em 30 mL de solução de nitrato de prata e mantida sob agitação por 10 minutos, a 50°C. Observou-se mudança na coloração, solução translúcida para amarelo-escuro nos primeiros oito minutos, indicando o início da formação das nanopartículas. A solução foi centrifugada várias vezes para purificação das nanopartículas de prata. A caracterização físico-química das nanopartículas deu-se por métodos espectrométricos na região ultravioleta-visível, onde a solução apresentou um pico de absorção de 428 nm, indicando a formação de nanopartículas de prata e, na região do infravermelho que indicou a imobilização de biomoléculas do extrato nas nanopartículas. Os resultados da espectroscopia por infravermelho sugerem que substâncias presentes no extrato atuaram como agentes redutor e estabilizante. Análises topográficas por microscopia de força atômica (AFM) mostraram que as nanopartículas apresentaram um formato esférico, com tamanho médio de 87 nm de diâmetro. A síntese de nanopartículas de prata mediada por extrato vegetal pode substituir alguns métodos físico-químicos usados atualmente para a produção de nanopartículas. Diante disso, o *A. occidentale* é uma excelente alternativa para a síntese de nanopartículas de prata, ambientalmente aceitável e excelente candidato a várias aplicações biomédicas.

**Palavras-chave:** biossíntese; extrato vegetal; infravermelho; nanotecnologia.

## ABSTRACT

Nanoscience is an area of knowledge that studies the manipulation of materials at the atomic, molecular, and macromolecular scale. Nanotechnology is the sector that uses this knowledge to develop new materials and devices. A material is classified as nanometric if it has at least one of its dimensions located in the range between 1 and 100 nanometers (nm). In this size range, materials acquire different physicochemical properties. Biosynthesis is the process that uses organisms or parts of them, replacing chemical reagents, being a low-cost alternative, safe for humans and sustainable, since it minimizes the risks of damage to the environment in the manufacture of biomaterials. The present work aimed to synthesize and characterize silver nanoparticles using the aqueous extract of healthy leaves of *Anacardium occidentale* L. as a reducing agent. For the preparation of the extract, 10g of freshly collected leaves (fragmented into small pieces) were placed for infusion in 100 mL of ultrapure water and kept under agitation for 10 minutes at room temperature and subsequently filtered. A 10 mL aliquot of leaf extract was added to 30 mL of silver nitrate solution and kept under stirring for 10 minutes at 50°C. A change in color was observed, from a translucent solution to a dark yellow in the first eight minutes, indicating the beginning of the formation of nanoparticles. The solution was centrifuged several times to purify the silver nanoparticles. The physical-chemical characterization of the nanoparticles was carried out by spectrometric methods in the ultraviolet-visible region, where the solution presented an absorption peak of 428 nm, indicating the formation of silver nanoparticles and, in the infrared region, which indicated the immobilization of biomolecules of the extract on the nanoparticles. The results of infrared spectroscopy suggest that substances present in the extract acted as reducing and stabilizing agents. Topographic analysis by atomic force microscopy (AFM) showed that the nanoparticles had a spheroidal shape, with an average size of 87 nm in diameter. Plant extract-mediated synthesis of silver nanoparticles can replace some physicochemical methods currently used to produce nanoparticles. Therefore, *A. occidentale* is an excellent alternative for the synthesis of silver nanoparticles, environmentally acceptable and an excellent candidate for several biomedical applications.

**Keywords:** Silver nanoparticles; *Anacardium occidentale*; biosynthesis; plant extract; infrared; nanotechnology.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Tipos de nanopartículas .....	18
Figura 2- Abordagens de nanofabricação top-down e bottom-up .....	20
Figura 3- Mecanismo do fenômeno de amadurecimento de Ostwald .....	20
Figura 4- Desenho esquemático dos tipos de estabilização de NP's .....	21
Figura 5- Mecanismo de formação de nanopartículas metálicas em solução.....	22
Figura 6- Etapas da síntese verde de nanopartículas de prata. ....	25
Figura 7- Aspecto geral da árvore de <i>A. occidentale</i> .....	31
Figura 8- Demonstração de funcionamento de um espectrofotômetro.....	34
Figura 9- Características físico-químicas das AgNPs: (a) solução de AgNP; (b) espectro característico de absorção UV-Vis de AgNPs.....	35
Figura 10- Instrumentação de um espectrofotômetro FTIR. ....	36
Figura 11- Representação do mecanismo de funcionamento do AFM.....	38
Figura 12- Esquema das forças de interação entre a ponta e a amostra .....	39
Figura 13- Solução de AgNO <sub>3</sub> (5,9x10 <sup>-4</sup> M). ....	43
Figura 14- Esquema do processo de purificação empregado neste trabalho .....	44
Figura 15- Mudança na coloração da solução de prata, indicando a formação das AgNPs .....	47
Figura 16- Espectro de absorção UV-Vis das AgNPs recém-sintetizadas com $\lambda_{\text{máx}}$ de 428nm .....	50
Figura 17- Espectro obtido por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier das folhas de <i>A. occidentale</i> .....	52
Figura 18- Região do espectro FTIR correspondente a assinatura molecular, das bandas correspondentes .....	53
Figura 19- Fitorredução e estabilização de AgNPs pelas biomoléculas do extrato.....	54
Figura 20- Micrografia das AgNPs depositadas em superfície de mica (5,0 x 5,0 $\mu\text{m}$ ).....	55
Figura 21- Micrografia das AgNPs depositadas em superfície de mica (2,0 x 2,0 $\mu\text{m}$ ).....	55
Figura 22- Histogramas e imagem de AFM e de distribuição de classes de tamanhos do diâmetro médio das AgNPs .....	57
Figura 23- Imagem de AFM referente à informação de viscoelasticidade das AgNPs .....	58
Figura 24- Imagem das AgNPs do filme de NP. Varredura feita em 5,0 x 5,0 $\mu\text{m}$ .....	59
Figura 25- Imagem das AgNPs do filme de NP. Varredura feita em 2,0 x 2,0 $\mu\text{m}$ .....	59
Figura 26- Imagem das AgNPs do filme de NP. Varredura feita em 1,0x1,0 $\mu\text{m}$ .....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Plantas utilizadas na síntese de nanopartículas de prata .....	27
Tabela 2- Biossíntese de nanopartículas a partir de extrato de folhas vegetais. ....	29
Tabela 3- Propriedades biológicas de fitocompostos do <i>A. occidentale</i> .....	32



## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

Abs	Absorbância
AFM	Microscópio de Força Atômica
AgNPs	Nanopartículas de prata
DLS	Espalhamento de luz dinâmico
DRX	Difração por raio-x
EDX	Espectroscopia por Energia Dispersiva de raios X
FTIR	Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier
IR	Infravermelho (do inglês <i>Infrared</i> )
LEMSS	Laboratório de Engenharia de Materiais e Simulação de Sobral
MET	Microscopia eletrônica de transmissão
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
NP's	Nanopartículas
pH	Potencial hidrogeniônico
T	Transmitância
UFC	Universidade Federal do Ceará
UV-Vis	Espectrofotometria na região do ultravioleta-visível

## LISTA DE SÍMBOLOS

nm	Nanômetro
$\mu\text{m}$	Micrômetro
$\lambda$	Comprimento de onda
$\text{cm}^{-1}$	Centímetro recíproco (número de onda)
%	Porcentagem
$\text{Ag}^{+3}$	Átomo de prata oxidado
$\text{Ag}^0$	Átomo de prata reduzido
mL	Mililitro
mg	Miligramas
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
M	Molar
2D	Dois dimensões
3D	Três dimensões

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Nanopartículas .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2 Nanopartículas de prata (AgNPs) .....</b>	<b>21</b>
<b>2.3 Síntese de Nanopartículas de Prata (AgNPs) .....</b>	<b>23</b>
<b>2.4 Síntese verde.....</b>	<b>25</b>
<b>2.5 Planta de interesse: <i>Anacardium occidentale L.</i> .....</b>	<b>30</b>
<b>2.6 Caracterização das AgNPs.....</b>	<b>33</b>
<b>2.6.1 Espectroscopia UV-Vis.....</b>	<b>33</b>
<b>2.6.2 Espectroscopia no infravermelho (IR).....</b>	<b>35</b>
<b>2.6.3 Microscopia de Força Atômica.....</b>	<b>37</b>
<b>3 OBJETIVOS .....</b>	<b>40</b>
<b>3.1 Objetivo geral.....</b>	<b>40</b>
<b>3.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>40</b>
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>41</b>
<b>4.1 Materiais (reagentes e equipamentos) .....</b>	<b>41</b>
<b>4.2 Métodos .....</b>	<b>42</b>
<b>4.2.1 Coleta das folhas .....</b>	<b>42</b>
<b>4.2.2 Obtenção do extrato vegetal aquoso .....</b>	<b>42</b>
<b>4.2.3 Procedimento experimental .....</b>	<b>42</b>
<b>4.2.3.1 Solução de trabalho de <math>AgNO_3</math>.....</b>	<b>43</b>
<b>4.2.3.2 Síntese verde de nanopartículas de prata (AgNPs).....</b>	<b>43</b>
<b>4.2.3.3 Purificação da solução coloidal de AgNPs .....</b>	<b>43</b>
<b>4.3 Caracterização das AgNPs.....</b>	<b>44</b>
<b>4.3.1 Microscopia de Força Atômica (AFM).....</b>	<b>45</b>

4.3.2 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier .....	45
4.3.3 Espectroscopia de UV-Vis.....	45
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>47</b>
5.1 Síntese verde de nanopartículas de prata (AgNPs) .....	47
5.2 Espectroscopia de absorção no UV-Vis .....	49
5.3 Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) .....	51
5.4 Análises de microscopia de força atômica (AFM) .....	55
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>62</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>63</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A nanociência é uma área do conhecimento que estuda a manipulação dos materiais na escala atômica, molecular e macromolecular. Nanotecnologia é o setor que faz uso desses conhecimentos para desenvolver novos materiais e dispositivos (BASU *et al.*, 2018). A palavra nano origina-se do grego e é um prefixo utilizado no sistema métrico para designar um fator de  $10^{-9}$ , representando a bilionésima parte do metro. Um material é classificado como nanométrico se ele possuir pelo menos uma de suas dimensões situado na faixa entre 1 e 100 nanômetros (nm) (McGILLICUDDY *et al.*, 2017). Nessa faixa de tamanho os materiais adquirem propriedades físico-químicas novas quando comparados aos seus equivalentes macro estruturados, sendo convencionalmente designados de nanopartículas, assim melhorando sua eficiência, quando tem um aumento na relação área superficial/volume (MOGHIMI; HUNTER; MURRAY, 2005).

A nanotecnologia é uma ciência multidisciplinar, envolvendo várias áreas do conhecimento, desde as tecnologias da informação ao campo das ciências médicas e promovendo novas oportunidades para aplicação de resoluções de problemas cotidianos (ZHANG *et al.*, 2016). Logo, conhecer e entender os mecanismos físico-químicos das nanopartículas e como elas podem interagir com os sistemas vivos, pode auxiliar no enfrentamento de problemas de saúde, especialmente os causados por microrganismos.

A prata ocupa um lugar de destaque na série de metais que são usados como agentes antimicrobianos desde a antiguidade. Os antigos gregos e romanos já utilizavam a prata para preservar alimentos e água potável, bem como para tratar feridas e infecções. Durante a Idade Média, a nobreza europeia utilizava utensílios de prata para evitar a contaminação de alimentos e bebidas. No século XIX, os médicos começaram a utilizar soluções de prata para tratar infecções e feridas (PRESS; JOLY; ERTL, 2019). Nos últimos anos, a prata tem recebido grande atenção como agente antimicrobiano em diversas aplicações, incluindo curativos, implantes médicos, utensílios domésticos e têxteis. A prata atua contra uma ampla gama de bactérias, fungos e vírus, e sua eficácia foi comprovada em estudos *in vitro* e *in vivo*.

Um estudo realizado por Lara *et al.* (2019) avaliou a eficácia de uma solução de prata em curativos para o tratamento de feridas crônicas em pacientes diabéticos. Os resultados mostraram uma significativa redução no número de bactérias presentes nas feridas tratadas com a solução de prata, em comparação com as feridas tratadas com curativos convencionais.

Outro estudo, conduzido por Monteiro *et al.* (2018), investigou o efeito da adição de nanopartículas de prata em tecidos para a confecção de roupas hospitalares. Os resultados mostraram que os tecidos contendo as nanopartículas de prata apresentaram uma redução significativa na contagem de bactérias, em comparação com os tecidos convencionais.

As nanopartículas de prata (AgNPs), devido sua eficácia antimicrobiana de amplo espectro (PRESS; JOLY; ERTL, 2019), demonstram também excelentes propriedades bactericida e bacteriostática contra vários tipos de bactérias (SIDDIQI e HUSEN, 2016). Atualmente, os efeitos antibacterianos das nanopartículas de prata têm sido utilizados para controlar o crescimento bacteriano em uma variedade de aplicações, incluindo trabalho odontológico, aplicações cirúrgicas, tratamento de feridas, queimaduras e dispositivos biomédicos. É sabido que os íons de prata e os compostos à base de prata são altamente tóxicos para os microrganismos e a introdução de nanopartículas de prata nas células bacterianas, podem induzir muitas alterações estruturais e morfológicas, o que pode levar à morte celular (IRAVANI *et al.*, 2014).

Sabe-se que as nanopartículas recém-sintetizadas se apresentam como estruturas instáveis e altamente reativas, podendo formar aglomerados e precipitar. Por isso, torna-se necessário a utilização de um agente estabilizante para evitar a precipitação destas partículas e, assim, prolongar sua vida útil (GARCIA, 2011).

Elas podem ser sintetizadas por via química ou física. A primeira técnica são métodos que utilizam reações químicas, são mais simples e possibilitam um maior controle sobre o processo, utilizam precursores moleculares ou atômicos para a obtenção das nanopartículas desejadas (XU *et al.*, 2019). Já nos processos físicos há manipulação do material em escala macro e ocorre quebra das partículas até a escala nanométrica (GORUP, 2014). Entretanto, estas abordagens de síntese são consideradas caras e nocivas à saúde e ao meio ambiente, uma vez que utilizam solventes orgânicos tóxicos e produzem resíduos perigosos, limitando seu uso no campo farmacêutico e clínico (CAUERHFF; CASTRO, 2013).

Uma alternativa é a síntese verde, também chamada de biossíntese, que é um método de produção de bionanomateriais onde se utiliza organismos ou partes deles (biomoléculas, células, tecidos ou órgãos), como substituintes de reagentes físico-químicos, apresentando-se como uma opção economicamente viável e ambientalmente sustentável (IRAVANI, 2011). A biossíntese de nanopartículas vem recebendo considerável atenção no campo da produção de materiais devido à crescente necessidade de criar tecnologias ambientalmente seguras e reduzir o uso ou geração de substâncias perigosas para a saúde humana e o meio ambiente. Esta alternativa fornece uma entrada fácil e conveniente para a produção de múltiplas plataformas de nanopartículas, especialmente as metálicas, como prata (Ag), ouro (Au), platina (Pt) e paládio

(Pd), que foram sintetizadas por diferentes métodos, incluindo bactérias, fungos e plantas (MAKAROV *et al.*, 2014).

Uma vantagem importante desta metodologia em relação à abordagem química tradicional é que os vegetais sintetizam metabólitos que reduzem os íons metálicos e aderem à superfície das nanopartículas, conferindo-lhes propriedades distintas como boa estabilidade, grande rendimento e baixo custo. A fitossíntese, síntese de NPs mediada por plantas, acontece por uma ação conjunta de biomoléculas como aminoácidos, proteínas, polissacarídeos, flavonoides, ácido tânico e terpenoides (SINGH, TIWARI, & TIWARI, 2017). Essa utilização de extrato de plantas para a síntese de nanopartículas é um campo pouco explorado e está ganhando muita atenção por parte dos pesquisadores (MITTAL *et al.*, 2013).

No presente trabalho optou-se por usar as folhas do *Anacardium occidentale* L. como material para obtenção de um extrato aquoso vegetal para a síntese verde de nanopartículas. A escolha do vegetal foi motivada pelos vários relatos na literatura sobre as atividades antimicrobianas, anti-inflamatória e antioxidante (CHAVES, 2010). Disserta também, propriedades antifúngicas e antibacterianas (KOZUBEK *et al.*, 2001). Portanto, além da ampla distribuição geográfica no Nordeste e importância social e econômica para a região, a escolha do cajueiro como objeto de estudo deste trabalho levou em consideração, principalmente, a atividade antimicrobiana de insumos de suas estruturas, como as folhas, bem como sua aplicabilidade para a síntese de nanopartículas, ambos já bem descritos pela literatura (SHENY *et al.*, 2011).

O estudo teve o interesse particular na produção e funcionalização das nanopartículas de prata com biomoléculas presentes no extrato aquoso das folhas adultas, sadias, da espécie vegetal *Anacardium occidentale* L. conhecida popularmente como cajueiro. A biossíntese da nanopartículas de prata utilizando a síntese verde, com o uso de extratos de plantas, é capaz de transformar o íon de prata em prata metálica, resultando na formação de nanopartículas sem formação de resíduos tóxicos e exibindo um processo mais eficiente (DE FREITAS, 2019).

Após a síntese e purificação, obteve-se uma solução com apenas as nanopartículas estabilizadas e com boa homogeneidade. Foram utilizados para a caracterização as técnicas de espectrometria UV-Vis, espectrofotometria FTIR, e Microscopia de Força Atômica (AFM), obteve-se uma solução com apenas as NP's estabilizadas e com boa dispersividade.

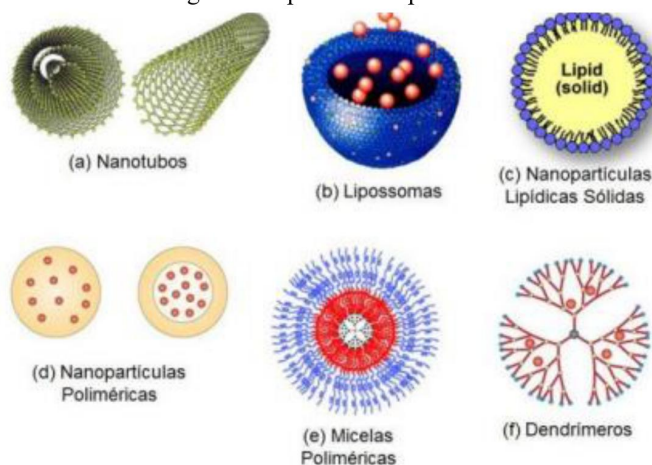
## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Nanopartículas

As Nanociências e a Nanotecnologia usam conceitos tanto da Física Clássica, como da Física Quântica, para auxiliar na compreensão do comportamento de átomos e moléculas que passam a ser manipulados para formar novos materiais, muitas vezes mais resistentes e duráveis (KULKARNI e KADAM, 2015). Compostos esses que apresentam propriedades diferentes de quando trabalhados em escala macroscópica. No momento em que os átomos e moléculas são manipulados, podemos reduzir os desperdícios na sua produção, excluindo impurezas e imperfeições (ROUKES, 2008). É por isso que a Nanociência, está sendo definida como a possibilidade de manipular objetos em escala nanométrica, mais precisamente, trabalha-se com frações correspondentes à bilionésima parte do metro.

De acordo com a Comissão Europeia (CE), uma nanopartícula é uma estrutura com tamanho entre 1 e 100 nanômetros em pelo menos uma dimensão externa, ou seja, diâmetro, comprimento, largura ou espessura (Comissão Europeia, 2011). O uso consensual de que qualquer material que esteja na faixa compreendida entre 0,1 a 100 nm é considerado uma nanopartícula (EUSTIS e EL-SAYED, 2006). Existe uma variedade de tipos desses materiais, oferecendo uma gama de possibilidade de compreensão dos fenômenos físico-químicos que são completamente diferentes devido à grande relação superfície/volume (THURMAN, 2007). Uma alta reatividade dos materiais em escala atômica favorece uma nova dimensão das aplicações de tais materiais. Os tipos de NP's podem ser melhor compreendidos conforme a ilustração abaixo.

Figura 1- Tipos de nanopartículas



Fonte: Fernandes (2019).



As nanopartículas podem ser classificadas em inorgânicas e orgânicas (HORN e RIEGER, 2001). As nanopartículas metálicas de prata, objeto de interesse do presente trabalho, que são um tipo de NP inorgânica, serão detalhadas mais adiante. A seguir, segue uma breve explicação sobre cada tipo de NP's descritas na Figura 1.

As nanopartículas poliméricas, devido sua superfície ser facilmente modificada por meios químicos, possibilitando a incorporação de drogas, de compostos de imageamento para ressonância magnética, anticorpos para reconhecimento de forma específica de células cancerosas, exibem um potencial para atuar como agentes carreadores de fármacos (FRÉCHET, 2011).

As nanopartículas lipídicas sólidas (NLS), também chamadas de nanoesferas lipídicas sólidas, exibem um *range* entre 50 e 1000 nm. São produzidas utilizando vários tipos de lipídios ácidos saturados, com misturas de glicerídeos e/ou ceras, que são passivadas por surfactantes compatíveis aniônicos ou catiônicos (WONG, 2007).

Os lipossomas são pequenas bolsas formadas por duas camadas de membranas fosfolipídicas na porção externa. Sua natureza anfipática, fácil funcionalização, e biocompatibilidade viabiliza a utilização dessas nanopartículas como carregadores de fármacos em terapias químicas (CHAN, 2009).

Os pontos quânticos (PQs) são nanocristais de materiais semicondutores que emitem fótons quando excitados por uma fonte de luz como um laser (AZZAZY, 2006). Os *quantum dots*, como também são conhecidos, possuem um espectro de excitação, que vai do ultravioleta ao vermelho, com boa estabilidade (YEH, 2005). Os PQs podem ser utilizados como marcadores de vírus e células cancerosas, com certas modificações na superfície, para diminuir sua hidrofobicidade (GUO, 2005).

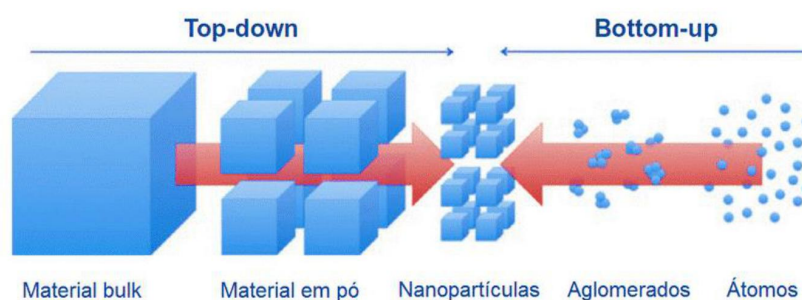
Nanotubos de carbono (NC) são configurações hexagonais de carbono que formam pequenos cilindros. Eles possuem um diâmetro de poucos angstroms a 100 nm e podem ter vários centímetros de comprimento (DAI, 2001). A variedade de aplicações dos NC altera de acordo com o propósito, assim, a necessidade de controlar as morfologias apropriadas para sua utilização, que vai desde a eletrônica a biológica (HERBST *et al.*, 2004).

Já os dendrímeros são macromoléculas estruturais poliméricas, agrupadas em um núcleo com ramificações. Podem ser utilizados como sensores eletrônicos até utilizados como veículos de fármacos. Outra característica destas moléculas ramificadas é sua capacidade de armazenar cargas, podendo se configurar como baterias moleculares (RONCONI, 2008).

Para a produção de compostos nanoestruturados existem duas metodologias empregadas: *top-down* e *bottom-up* (Figura 2). A *top-down* (de cima para baixo), se baseia na

desconstrução de estruturas maiores, utilizando técnicas de fabricação para cortar, moer e moldar materiais até atingir a nanoescala (DEBNATH e MITRA, 2018). A segunda é pelo método *bottom-up* (de baixo para cima), explora as propriedades químicas de moléculas/átomos individuais para fazer com que estes se organizem e formem uma estrutura em nanoescala (LOOS, 2014).

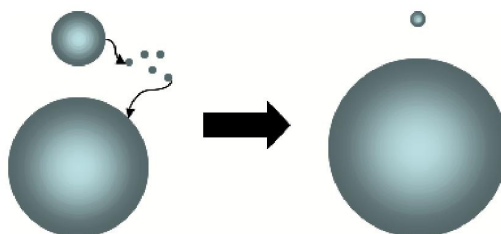
Figura 2- Abordagens de nanofabricação *top-down* e *bottom-up*



Fonte: Adaptado de Vásquez (2015).

As NP's, após serem produzidas apresentam uma alta reatividade, devido à grande relação superfície/volume, assim apresentando uma necessidade de estabilização e proteção para que elas não se agreguem, evitando a formação de estruturas aglomeradas, aumentando o tamanho e formando precipitados com uma pequena vida útil (PROENÇA *et al.*, 2013). Quando não estabilizadas, elas geralmente passam por um procedimento conhecido como amadurecimento de Ostwald (Figura 3), indo para um estado mais energeticamente favorável, formando grandes blocos (LAMER e DINEGAR, 1950). Para que ocorra a estabilização das NP's é necessário realizar alterações eletrostáticas e/ou estéricas que evitem a formação do *bulk* (MAITY & AGRAWAL, 2016).

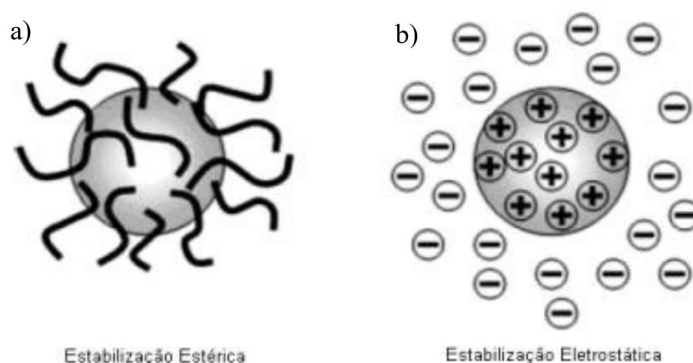
Figura 3- Mecanismo do fenômeno de amadurecimento de Ostwald



Fonte: adaptado de Leng e Zhang (2017).

A criação de revestimentos superficiais nas estruturas, impossibilitam fisicamente a agregação, que é conhecida como estabilização estérica. Já o revestimento com cargas elétricas que se repulsem, é a estabilização eletrostática (HANG, 2009), como mostra a ilustração abaixo da Figura 4.

Figura 4- Desenho esquemático dos tipos de estabilização de NP's



Mecanismo de estabilização: a) estabilização estérica e (b) estabilização eletrostática.  
 Fonte: Adaptada de Almeida (2008).

Atualmente, muitos compostos químicos são utilizados na fabricação das NP's, atuando tanto como agentes redutores como estabilizadores, gerando resíduos, muitas vezes, tóxicos (CHU *et al.*, 2005), criando um problema ambiental. Contudo, a expansão do conhecimento em nanociência e nanotecnologias é importante para o desenvolvimento de uma sociedade científica mais próxima do cotidiano da população em geral, promovendo uma melhora na qualidade de vida. Uma solução para o problema ambiental gerado pela utilização de compostos químicos na fabricação de nanopartículas é a busca de novas metodologias de síntese ambientalmente amigáveis (HOSSAIN, SAHA e UDDIN, 2017). Essas metodologias devem visar a redução da geração de resíduos tóxicos e o uso de agentes redutores e estabilizadores menos prejudiciais ao meio ambiente.

Entre as possíveis soluções estão o uso de plantas e seus extratos na síntese de nanopartículas, a utilização de métodos de síntese por via úmida, que minimizam a geração de resíduos, e o emprego de técnicas de síntese em fase gasosa, que podem ser mais limpas e eficientes. Assim, a expansão do conhecimento em nanociência e nanotecnologia deve estar alinhada com a busca por soluções que considerem o impacto ambiental e a melhoria da qualidade de vida da população em geral.

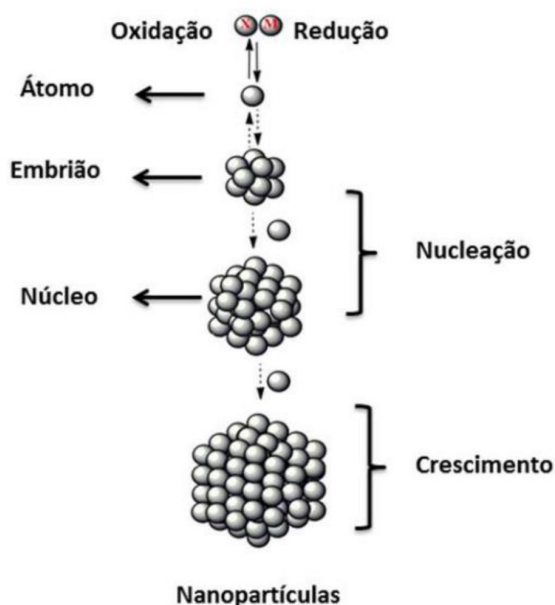
## 2.2 Nanopartículas de prata (AgNPs)

As nanopartículas de prata vêm ganhando cada vez mais espaço em todo o mundo, devido sua atividade bactericida da que já vem sendo longamente discutido no mundo científico pois, as nanopartículas de prata inibem o crescimento de microrganismos (SHARMA *et al.*, 2009). No entanto, a prata da forma nano desempenha uma atividade antimicrobiana mais

elevada em comparação com a sua contraparte macroscópica (DANKOVICH & GRAY, 2011). Além disso, as nanopartículas de prata demonstraram possuir melhores propriedades antioxidantes e anticancerígenas e têm o potencial de serem desenvolvidas como novos agentes terapêuticos (DE FREITAS, 2019).

As AgNPs podem ser encontradas em diferentes formatos. A configuração esférica é termodinamicamente mais estável devido a sua alta relação superfície/volume. Entretanto novos métodos estão sendo desenvolvidos para a obtenção de nanopartículas não esféricas, como cubos, nanofios, nanobarras, pirâmides e em até forma de flores (SADEGHI e GHOLAMHOSEINPOOR, 2015) No geral, a síntese de nanopartículas em uma solução se dá em dois passos: nucleação e crescimento (Figura 5). A obtenção desses diferentes formatos se dá pela alteração termodinâmica e cinética de cada um desses estágios, podendo resultar em propriedades totalmente novas (RATNER, 2013).

Figura 5- Mecanismo de formação de nanopartículas metálicas em solução



Fonte: Adaptado de Silveira (2016).

Uma variedade de metodologias químicas e físicas são utilizadas para a síntese de nanopartículas de prata e suas propriedades, como tamanho, forma e fases, estão intrinsecamente relacionadas aos seus métodos de síntese (DE FREITAS, 2019).

Os métodos químicos, muitas vezes, envolvem agentes e subprodutos tóxicos. Dentre eles, citamos as técnicas de redução, técnicas eletroquímicas, pirólise e assistidos por irradiação

(KULKARNI *et al.*, 2012). Já os métodos físicos, não envolvem produtos tóxicos, são mais rápido, entretanto exigem uma grande demanda de energia, como ablação a laser, moagem de bolas e deposição física de vapor (SOUZA; SOUZA; FRANCHI, 2019).

A síntese de nanopartículas que é ambientalmente sustentável e com boa relação custo-benefício é quando se utiliza fontes naturais, assim se exclui a necessidade de empregar produtos químicos tóxicos como agentes redutores (DE FREITAS, 2019). A síntese verde de nanopartículas de prata pode ser realizada usando vários tipos de plantas e outros materiais biológicos, dependendo do objetivo da aplicação. Por exemplo, a síntese de nanopartículas de prata usando extratos de chá verde ou *Aloe vera* foram relatados na literatura como tendo atividade antibacteriana e antifúngica, enquanto extratos de alga marinha podem ser usados para produzir nanopartículas de prata com propriedades anticâncer (SHAMAILA *et al.*, 2016).

### 2.3 Síntese de Nanopartículas de Prata (AgNPs)

A síntese de nanopartículas de prata é um campo de pesquisa em constante evolução que tem recebido muita atenção devido às suas propriedades únicas, como alta condutividade elétrica, atividade antibacteriana, fotoluminescência, entre outras (AKBARZADEH *et al.*, 2012). As nanopartículas de prata têm sido utilizadas em diversas áreas, incluindo biomedicina, eletrônica, têxtil e cosméticos (KUMAR, *et al.*, 2018). A síntese de nanopartículas de prata pode ser realizada por diferentes métodos, tais como síntese química, física e síntese biológica. Cada um desses métodos tem suas vantagens e desvantagens e pode ser escolhido de acordo com a aplicação desejada.

A síntese química de nanopartículas de prata é a técnica mais comumente utilizada. Neste método, um agente redutor é utilizado para reduzir os íons de prata a nanopartículas de prata. O agente redutor mais comum é o borohidreto de sódio, que é adicionado a uma solução de nitrato de prata em água (RAJESHKUMAR *et al.*, 2017). As nanopartículas de prata são formadas por meio de um processo de nucleação e crescimento (YEHIA *et al.*, 2020). Esse método tem como ponto de partida os componentes básicos, como átomos e moléculas, e que passam por um crescimento até chegar ao material nanométrico, que é a abordagem *bottom-up*, de baixo para cima, através da deposição lenta e controlada de átomos sob uma superfície regular. O problema encontrado nessa síntese por reação química, reside no fato de controlar o tamanho das partículas e cessar o crescimento delas (GARCIA, 2011).

O método mais utilizado para a síntese de nanopartículas de prata emprega a abordagem *bottom-up*, sendo realizado pela redução química de íons prata ( $\text{Ag}^+$ ), o que promove a

formação de átomos de prata ( $\text{Ag}^0$ ), seguido pela aglomeração de partículas que em solução aquosa geralmente produz prata coloidal (CASANOVA, 2010). Uma das desvantagens da síntese química é que ela pode gerar resíduos tóxicos e perigosos para o meio ambiente. Além disso, a síntese química pode produzir nanopartículas de prata com tamanhos e formas variáveis, o que pode afetar suas propriedades físicas e químicas (NOGUEIRA, *et al.*, 2019).

A síntese física de nanopartículas de prata envolve a evaporação de um metal em uma atmosfera inerte, como o argônio. A prata evaporada é então condensada em um substrato, formando nanopartículas de prata (ZHANG, *et al.*, 2016). Este método é amplamente utilizado na produção de filmes finos de prata para aplicações eletrônicas. Para obtenção de nanopartículas de prata pela abordagem *top-down*, consiste em cobrir o material metálico com uma fina camada de um polímero, que ao sofrer incidência de luz se tornará insolúvel em algumas regiões da amostra (LARA *et al.*, 2017). Dependendo do arranjo óptico utilizado, o tamanho do material desejado pode ser projetado na amostra coberta pela resina polimérica sensível a luz, detalhes pequenos como 100 nm podem ser obtidos usando-se a luz ultravioleta. Para obter o material final, a amostra é exposta a uma solução ácida que retira o excesso de material polimérico que não foi exposto à luz (GARCIA, 2011).

Uma das vantagens da síntese física é que ela pode produzir nanopartículas de prata altamente puras e cristalinas. No entanto, este método é menos utilizado para a produção de nanopartículas de prata em grande escala, devido à sua baixa eficiência e alto custo (SRIVASTAVA, *et al.*, 2019).

A síntese biológica de nanopartículas de prata utiliza materiais biológicos, como plantas, bactérias, fungos, entre outros, como fonte de redução e estabilização das nanopartículas (SINGH *et al.*, 2016). Este método é considerado uma abordagem verde e sustentável, pois não utiliza produtos químicos tóxicos (ZHU *et al.*, 2021). A síntese biológica de nanopartículas de prata pode ser realizada usando diferentes tipos de plantas, como *Aloe vera*, chá verde, folhas de *Eucalyptus*, entre outros (THAKKAR *et al.*, 2010). A redução dos íons de prata é feita pela ação dos compostos biológicos presentes nas plantas, como flavonoides, taninos e ácidos orgânicos. Além disso, bactérias e fungos também podem ser usados na síntese biológica de nanopartículas de prata. Esses organismos são capazes de produzir enzimas que podem reduzir os íons de prata em nanopartículas (RAI *et al.*, 2014).

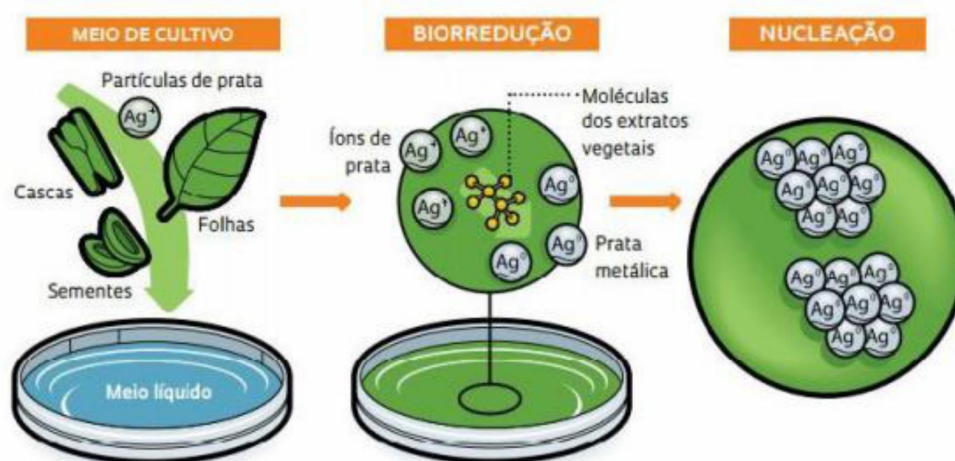
A síntese biológica tem várias vantagens em relação aos métodos químicos e físicos. Ela é uma abordagem verde e sustentável, não produz resíduos tóxicos, é de baixo custo e pode produzir nanopartículas de prata altamente puras e estáveis. Além disso, a síntese biológica pode produzir nanopartículas de prata com tamanhos e formas bem definidos, o que é



importante para a otimização das propriedades (AKBARZADEH *et al.*, 2012). A síntese verde pode ser feita substituindo estes redutores por extratos de plantas ou pela realização em meio microbiológico, como ilustrado na Figura 6.

Os agentes de redução de extratos vegetais envolvidos incluem metabólitos hidrossolúveis de plantas (como alcaloides, compostos fenólicos, terpenoides), enzimas, proteínas, aminoácidos, polissacarídeos, flavonoides, ácido cítrico, grupos funcionais (álcoois, aldeídos e amins), compostos heterocíclicos e ácido tânico, podendo ser encontrados em talos, folhas, sementes ou mistura destes (KUMAR *et al.*, 2018). A vantagem deste método em relação à redução química tradicional é que as plantas produzem biomoléculas funcionais que reduzem os íons metálicos, e aderem à superfície dessas o que lhes confere proteção e estabilidade em dispersões, além de alto rendimento e baixo custo de produção (GARCIA, 2011).

Figura 6- Etapas da síntese verde de nanopartículas de prata



Representação da síntese de AgNP empregando extrato de plantas. Fonte: Adaptado de Silva (2014).

## 2.4 Síntese verde

As elevadas preocupações com a natureza, assim como o desenvolvimento sustentável e os impactos ambientais causados pela exploração e produção de novas tecnologias para a sociedade, tem estimulado um crescente número de pesquisas objetivando o aperfeiçoamento de técnicas de produção menos danosas ao ambiente (FIGUEIRA, 2018).

Para a produção de nanopartículas de prata, muitos dos métodos químicos e físicos são caros e são usados para estruturar substâncias tóxicas e perigosas que podem ter riscos

ambientais e biológicos potenciais e devem ser evitados em aplicações médicas. Portanto, etapas ambientalmente e economicamente compatíveis são necessárias para a preparação dessas nanopartículas (DE FREITAS, 2019).

Segundo explica Iravani (2011) a síntese de AgNPs por meio de abordagens biológicas envolve a utilização de extratos de plantas, microrganismos e outros agentes biológicos para reduzir e estabilizar as partículas de prata. Esses extratos contêm compostos orgânicos, como alcaloides, flavonoides, terpenos e ácidos fenólicos, que podem atuar como agentes redutores e estabilizadores das partículas.

A redução das AgNPs ocorre por meio da doação de elétrons pelos compostos orgânicos presentes no extrato biológico. Esses elétrons são transferidos para os íons de prata, reduzindo-os a átomos de prata e levando à formação das nanopartículas (MUDE, MULABA-BAFUBIANDI, MISHRA, 2012). A estabilização das partículas ocorre por meio da adsorção dos compostos orgânicos na superfície das partículas, que impedem a agregação das partículas. Assim a produção de nanopartículas a partir de plantas vem ganhando importância nos últimos anos devido à sua natureza livre de solventes e menor toxicidade. Além disso, sua produção é mais rápida, o que também é rentável (DE FREITAS, 2019) e as NP's produzidas por essas rotas, exibem uma boa biocompatibilidade.

A síntese verde de AgNPs pode ser realizada em diferentes condições, como temperatura, pH, concentração de reagentes e tempo de reação. Esses fatores podem influenciar a morfologia e o tamanho das partículas sintetizadas, bem como suas propriedades físicas e químicas (BARUAH e DUTTA, 2012).

Nesse processo, proteínas e outras biomoléculas, atuam na proteção e promovem a estabilidade das nanopartículas produzidas. Porém, questões importantes precisam ser investigadas, como quais proteínas atuam na formação e estabilização e como ocorre de fato o mecanismo de formação das nanopartículas (FIGUEIRA, 2018).

No entanto, em geral, essas partículas apresentam um tamanho médio na faixa de 5 a 100 nanômetros, dependendo da fonte biológica utilizada (HAVERKAMP & MARSHALL, 2012). Além disso, as AgNPs sintetizadas por meio de abordagens verdes geralmente apresentam uma distribuição de tamanho de partícula mais estreita e uma forma mais uniforme em comparação com as AgNPs sintetizadas por meio de técnicas convencionais (SAHU *et al.*, 2014).

Outra característica importante das AgNPs sintetizadas por meio de abordagens verdes é a presença de compostos orgânicos na superfície das partículas. Esses compostos podem afetar as propriedades químicas das partículas, como a estabilidade em diferentes condições



ambientais e a sua capacidade de interagir com outras moléculas, como proteínas e ácidos nucleicos (SHARMA, YNGARD, LIN, 2009).

No que concerne à parte da planta utilizada para a realização da síntese verde de NP's, o extrato proveniente das folhas é a escolha mais comum na literatura, como *Pelargonium graveolen* (SHANKAR, *et al.*, 2003), *Aloe vera* (ANJUM *et al.*, 2016), *Cinnamomum camphora* (HUANG *et al.*, 2007), *Opuntia ficus* (GADE *et al.*, 2010), *Camellia sinensis* (LOO, *et al.*, 2012), *Hibiscus rosa sinensis* (PHILIP, 2010), *Allium cepa* (SAXENA, *et al.*, 2010).

A síntese de nanopartículas de prata através do uso de extratos de plantas tem se tornado cada vez mais popular devido à sua eficiência ecológica e econômica. Nesse contexto, a Tabela 1 apresentada traz exemplos de plantas que foram utilizadas para a síntese de nanopartículas de prata, juntamente com as partes da planta que foram empregadas.

Tabela 1- Plantas utilizadas na síntese de nanopartículas de prata

<b>Planta</b>	<b>Parte da planta utilizada</b>	<b>Referência</b>
<i>Aloe vera</i>	Folhas	Padil, Černík, 2015
<i>Azadirachta indica</i>	Folhas	Durán-Álvarez <i>et al.</i> , 2018
<i>Cinnamomum camphora</i>	Folhas	Y. Zhang <i>et al.</i> , 2017
<i>Citrus limon</i>	Casca	Rajamanickam <i>et al.</i> , 2018
<i>Curcuma longa</i>	Rizomas	Basavegowda <i>et al.</i> , 2014
<i>Moringa oleifera</i>	Folhas	John <i>et al.</i> , 2016
<i>Ocimum sanctum</i>	Folhas	Suresh <i>et al.</i> , 2015
<i>Piper nigrum</i>	Frutos	Nadzirah <i>et al.</i> , 2015
<i>Psidium guajava</i>	Folhas	Oliveira <i>et al.</i> , 2017
<i>Trigonella foenum-graecum</i>	Sementes	Gawali <i>et al.</i> 2014

Fonte: Elaborada pelo autor (2023).

Um ponto importante de se observar, no que se refere à síntese verde, utilizando extratos de plantas, é que, estruturas diferentes da planta (caule, folhas, raízes, frutos etc.), apresentam concentrações de compostos fitoquímicos diferentes, variando de acordo com fatores ambientais (como umidade, temperatura, luminosidade, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> etc.) e com o estresse ao qual a planta possa estar submetida. Nesse sentido, Kumar e Yadav (2009), sugerem uma combinação dos compostos químicos e as partes da planta selecionada, podem interferir na eficiência do extrato na síntese das nanopartículas.

Segundo Freitas (2019) os métodos de síntese de NP baseados em plantas envolvem a mistura de um extrato vegetal natural com uma solução aquosa de sal metálico. Produtos naturais como, compostos bioativos, alcaloides, fenóis, taninos, terpenoides, aminoácidos e proteínas, são responsáveis pela redução de íons Ag em AgNPs. Ou seja, estes elementos

funcionam como agentes redutores, reagindo com o metal iônico e reduzindo o seu número de oxidação (NOX) para zero. Em seguida, os íons metálicos se agregam e formam as nanopartículas metálicas. Para evitarem que se agreguem, em algumas situações, os biocompostos podem formar uma camada estabilizante em torno das nanopartículas.

A escolha de extratos provenientes das folhas é a via mais comum e uma das mais relatadas na literatura para a síntese de nanopartículas. Porém, dependendo da parte da planta utilizada para fazer o extrato, pode-se alterar algumas características da reação em si e das nanopartículas formadas. A comparação da composição de extratos de folhas e de sementes de jamelão (*Syzygium cumini*) na produção de nanopartículas de prata, teve como resultado nanopartículas esféricas com diâmetros diferentes, fato atribuído a quantidade de polifenóis dos extratos (KUMAR *et al.*, 2010), sugerindo que diferenças nas propriedades das nanopartículas, dependem da parte da planta utilizada.

Importante destacar que, outros fatores importantes, alteram o processo de reação química, como o tipo de solvente utilizado (KUMAR *et al.*, 2010), estágio de desenvolvimento da planta (NABIKHAN *et al.*, 2010), condições ambientais da planta, tipo de extrato utilizado (seco ou fresco) (FAROOQUI, 2010), concentração dos reagentes, pH, temperatura (AKHTAR *et al.*, 2013).

O tipo de solvente utilizado, determina os tipos de compostos que estarão presentes. Já foram testadas diferentes sínteses de AgNPs com a variação nos solventes utilizados para a preparação dos extratos (hexano, clorofórmio, acetato de etila, butanol e água) e observou-se que a fração aquosa apresentou os resultados mais satisfatórios, prevenindo a extração da maioria dos lipídeos (KUMAR *et al.*, 2010).

Outro fator, são as alterações do extrato, que de acordo com fatores externos, como o estágio de desenvolvimento ou a condição da planta, também podem influenciar na síntese das AgNPs. De acordo com a condição das folhas utilizadas no preparo do extrato da planta *Clerodendrum inerme*, onde verificou-se que extratos provenientes de folhas frescas apresentaram o maior rendimento na formação de AgNPs avaliada pelos máximos de absorvância, do que aquele obtido por folhas secas ao sol ou secas em forno (FAROOQUI *et al.*, 2010).

Quanto ao estágio de desenvolvimento da planta, sofre influência no perfil fitoquímico. A planta *Sesuvium portulacastrum L.*, o uso do extrato das folhas do broto foi mais eficiente na síntese de AgNPs do que o uso da folha adulta (NABIKHAN *et al.*, 2010).

Outras variações das características de nanopartículas obtidas por diferentes extratos,

pode-se variar as condições da síntese, como o tempo de reação, a concentração dos reagentes, a temperatura e o pH. A alteração dessas condições pode levar à síntese de NPs com características morfológicas distintas (AKHTAR *et al.*, 2013).

A prata é o metal de escolha para a síntese verde de nanopartículas no presente trabalho, a partir de extratos de vegetais utilizando folhas de *Anacardium occidentale*. Porém, outros metais são utilizados na fabricação de nanopartículas, como ouro, a platina e paládio. Para contextualização e formação de uma visão mais abrangente dos elementos pertinentes à síntese verde com extratos de partes de plantas, optou-se pela elaboração de uma tabela com o levantamento bibliográfico, que compreende importantes dados de alguns estudos realizados até o momento. Assim, a Tabela 2, ilustra bem o assunto já explorado por outros autores, após uma rápida revisão de literatura, sobre a síntese de nanopartículas seja de ouro e/ou de prata, utilizando extratos feitos a partir de folhas de plantas.

Tabela 2- Biossíntese de nanopartículas a partir de extrato de folhas vegetais

PLANTA	TAMANHO DAS NP's (nm)	FORMA	AGENTES REDUTORES	REFERÊNCIA
<i>Anacardium occidentale</i>	3 a 15	esférica	poliálcoois	Sheny <i>et al.</i> , 2011
<i>Azadirachta indica</i>	5 a 35	esférica	açúcares e terpenoides	Shankar <i>et al.</i> , 2004
<i>Aloe vera</i>	19 a 40	esférica	---	Chandran <i>et al.</i> , 2006
<i>Chenopodium album</i>	12	esférica	ácido oxálico	Dwivedi e Gopal, 2011
<i>Eucalyptus hybrida</i>	5 a 150	cúbica	flavonoides e terpenoides	Dubey <i>et al.</i> , 2009
<i>Prosopis juliflora</i>	35 a 60	triangular, pentagonal e hexagonal	flavonoides e terpenoides	Raja <i>et al.</i> , 2012
<i>Solanum torvum</i>	14	esférica	carboxilatos	Govindaraju <i>et al.</i> , 2010
<i>Ocimum canum</i>	95	elíptico e esférico	polifenóis	Jayaseelan e Rahuman, 2012
<i>Syzygium cumini</i>	29	esférico	polifenóis	Kumar, <i>et al.</i> , 2010)
<i>Sesuvium portulacastrum</i>	5 a 20	esférico	proteínas e terpenoides	Nabikhan <i>et al.</i> , 2010

Fonte: Adaptado de Albernaz (2014).

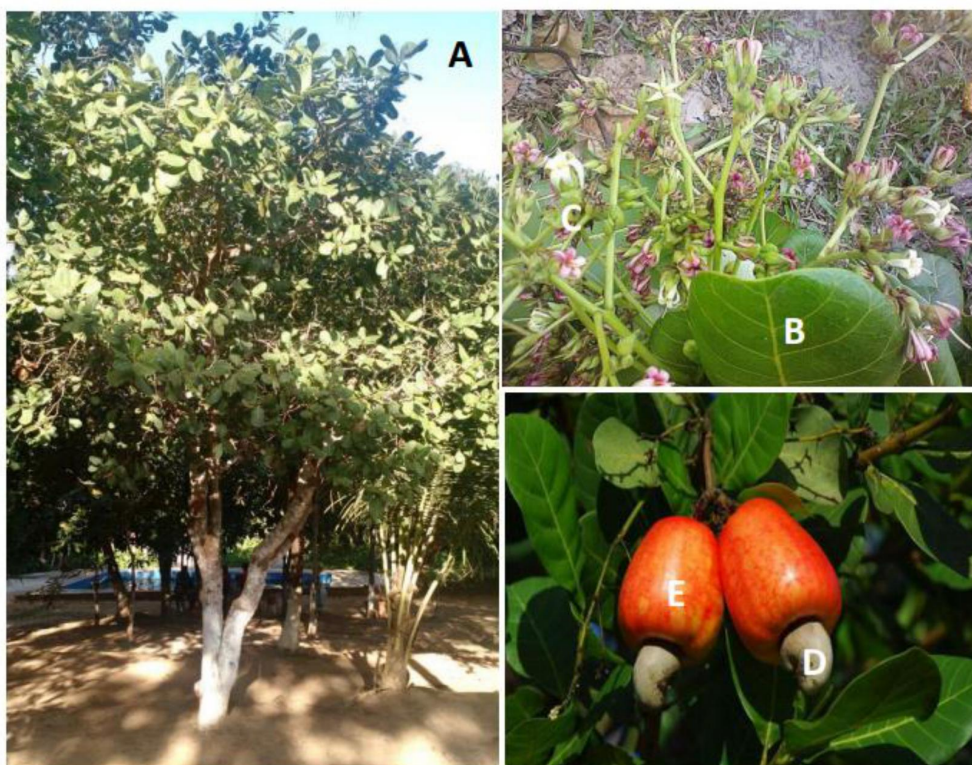
## 2.5 Planta de interesse: *Anacardium occidentale* L.

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.), pertence ao gênero *Anacardium* da família *Anacardiaceae*. Há cerca de 600 espécies descritas, com dois centros vegetativos: um na Malásia e outro na América Andina. Estendem-se da zona quente até ambas as zonas temperadas. No Brasil conhecem-se aproximadamente 40 espécies (ALBERNAZ, 2014).

A escolha do *Anacardium occidentale* como fonte vegetal para a síntese de nanopartículas não foi feita aleatoriamente. A literatura menciona suas atividades antimicrobianas (SILVA *et al.*, 2007; LIMA *et al.*, 2006; SOUZA *et al.*, 2006 e TRABULSI FILHO, 2013), anti-inflamatórias (DAVIS *et al.*, 2007; VANDERLINDE *et al.*, 2009; RUNNIE *et al.*, 2004) e antioxidantes (BROINIZI, 2007, 2008; NOVOA, 2007; CHAVES, 2010). A relevância biológica do *A. occidentale* é atribuída às suas diversas propriedades como alimento e medicamento, as quais são amplamente utilizadas pela população (AGOSTINI-COSTA *et al.*, 2004; SANCHO *et al.*, 2007). Segundo dados etnobotânicos, a casca do caule do *A. occidentale* é empregada para tratar enfermidades gástricas e inflamatórias, enquanto as folhas são utilizadas no tratamento de hipertensão, asma, diabetes, bronquites e distúrbios intestinais. Além disso, em regiões endêmicas, há relatos populares do uso da planta no tratamento de leishmanioses (DARE *et al.*, 2011; FRANÇA, 1996; RODRIGUES, 2007; SOKENG *et al.*, 2007).

Além disso, foram levados em consideração estudos prévios que relatam a aplicabilidade de partes do cajueiro na síntese de nanopartículas (SHENY *et al.*, 2011). A escolha do cajueiro como objeto de estudo se deve principalmente à sua ampla disponibilidade geográfica no Nordeste e à sua importância social, econômica para a região.

A cajucultura é uma das principais atividades agrícolas do Nordeste brasileiro, liderada pelos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte na produção de castanha, que é um importante produto de exportação, gerando renda para a população rural. O cajueiro (Figura 7) é uma planta típica de clima tropical, perene, de crescimento contínuo e pode alcançar até 20 metros de altura (SANTOS, 2007). Ele é encontrado em vários países, incluindo Índia, Brasil, Moçambique e Tanzânia (PERTINARI e TARSITANO, 2002).

Figura 7- Aspecto geral da árvore de *A. occidentale*

(A). Aspectos das folhas (B), flores (C), fruto (D) e pseudofruto (E).  
Fonte: Disponível em [cerratinga.org.br](http://cerratinga.org.br)

Não se pode negar a importância da cultura do caju para o avanço das pesquisas e possíveis resoluções de problemas, especialmente relacionados à saúde. Para o Nordeste brasileiro, região considerada pobre no país, a cajucultura representa uma das maiores fontes desses compostos fenólicos que estimulam a economia, gerando emprego e renda.

A aparência exótica do cajueiro é atribuída ao seu pedúnculo floral, conhecido como caju, o qual possui um colorido gradativo que varia do vermelho ao amarelo. É uma parte da árvore de alto valor nutricional, com elevado teor de vitamina C. Apesar disso, há um aproveitamento pouco expressivo dessa matéria-prima disponível. A castanha do caju, que é a verdadeira fruta do cajueiro, é amplamente consumida pelos consumidores, sendo a principal matéria-prima para a produção de compostos fenólicos utilizados na indústria automotiva, juntamente com o líquido da casca da castanha. Além de sua utilização industrial, a amêndoa e o líquido da casca da castanha possuem atividades medicinais, como antissépticas, vesicantes e vermífugas. (SANTOS, 2007).

O caju apresenta uma ampla gama de nutrientes em sua composição, incluindo carboidratos, taninos, sais minerais, vitaminas e ácidos orgânicos, além de compostos



específicos em cada parte da fruta, como ácido anacárdico, cardol, anacardol, taninos, flavonoides, ácido gálico, ácido siríngico, galocatequina, epicatequina, beta-sitosterol, proteínas, minerais, esteroides, triterpenóides, tocoferóis, carotenoides e fibras. *A. occidentale* L. possui onze classes distintas de metabólitos secundários, sendo os taninos os principais responsáveis pelas ações farmacológicas, conforme Melo (2002). A população utiliza o cajueiro como remédio, especialmente como anti-inflamatório e contra disenteria, e estudos relatam propriedades antifúngicas, antibacterianas e antitumorais, segundo Kozubek e colaboradores (2001). Diversos compostos químicos foram identificados nas diferentes partes do *A. occidentale*. Na casca, foi encontrado taninos, alcaloides, triterpenos, flavonoides e antraquinonas (LIMA *et al.*, 2006). Já nas folhas, além dos compostos presentes na casca, foram detectados também fenóis, flavonas, flavonóis, xantonas, chalconas, auronas, flavononóis e catequinas (SANTOS *et al.*, 2011). No pseudofruto e no fruto, foram isolados compostos fenólicos, ácidos anacárdicos, cardanóis, cardóis e fitosteróis (PARAMASHIVAPPA *et al.*, 2001). No pedúnculo, a presença de antocianidinas, taninos condensados e ácidos anacárdicos foi detectada (AGOSTINI-COSTA *et al.*, 2004). De acordo com Kubo e colaboradores (2006), há uma alta concentração de ácidos anacárdicos nas folhas, os quais possuem ação antioxidante, mas também podem ser tóxicos e irritantes.

A composição química e a qualidade nutricional do cajueiro podem ser afetadas por diversos fatores, como o solo, a safra, a maturação e as condições climáticas, como afirmado por Pinheiro (2019). Melo e sua equipe (2002) concordam que a colheita pode causar alterações bioquímicas nos frutos. Nesse contexto, o presente estudo propõe a utilização das biomoléculas presentes no extrato das folhas do cajueiro como compostos moleculares para serem conjugados com nanopartículas de prata em aplicações biomédicas. Outras moléculas presentes no cajueiro estão sumarizadas na Tabela 3.

Tabela 3- Propriedades biológicas de fitocompostos do *A. occidentale*

<b>Composto</b>	<b>Propriedade biológica</b>	<b>Referência bibliográfica</b>
<b>Anacardicóis</b>	Antibacteriano	Singh <i>et al.</i> , 2014
	Antifúngico	Lima <i>et al.</i> , 2017
	Antitumoral	Lima <i>et al.</i> , 2017
<b>Cardanóis</b>	Antibacteriano	Singh <i>et al.</i> , 2014
	Antifúngico	Lima <i>et al.</i> , 2017

	Antitumoral	Lima <i>et al.</i> , 2017
<b>Ácido ascórbico</b>	Antioxidante	Vallilo <i>et al.</i> , 2017
	Fortalecimento do sistema imunológico	Sousa <i>et al.</i> , 2017
<b>Compostos fenólicos</b>	Antioxidante	Vallilo <i>et al.</i> , 2017
<b>Líquido da castanha</b>	Anti-inflamatório	Singh <i>et al.</i> , 2014
	Redução do risco de doenças crônicas	Pereira <i>et al.</i> , 2017
	Utilização no tratamento de doenças inflamatórias	Sousa <i>et al.</i> , 2017

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Este conjunto de dados mostra um importante conjunto de efeitos biológicos de extratos e compostos isolados das partes aéreas de *A. occidentale*, indicando que há nas partes aéreas do cajueiro compostos passíveis de utilização na geração de nanopartículas de prata como agentes redutores e estabilizadores.

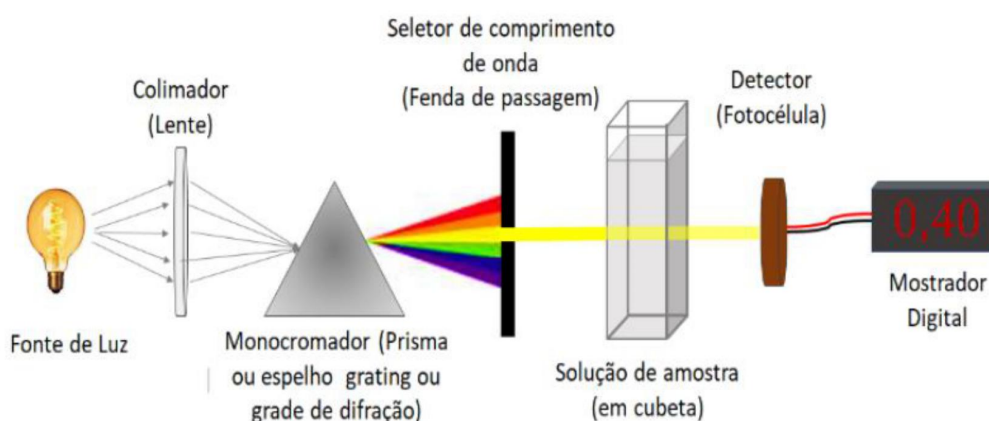
## 2.6 Caracterização das AgNPs

### 2.6.1 Espectroscopia UV-Vis

A espectrofotometria UV-Vis (radiação ultravioleta e luz visível) é uma técnica que permite investigar as propriedades eletrônicas das nanopartículas e é utilizada para caracterização de nanopartículas (SADEGHI *et al.*, 2015). A radiação ultravioleta e luz visível são ondas eletromagnéticas que apresentam comprimento de onda de ~180 a ~780nm que promove a excitação dos elétrons das partículas. É um método simples e bastante utilizado na rotina laboratorial para confirmar o processo de formação de AgNPs em uma dispersão, devido ao fenômeno da ressonância plasmônica de superfície (CHAUDHURI e PARIA, 2012). A absorção depende do diâmetro médio das NP's, possuindo intensidade maior quando as NP's possuem o raio em torno de 20 nm (GEORGIEV *et al.*, 2013). A espectroscopia de UV-vis baseia-se na absorção da radiação na região do ultravioleta e do visível medindo a quantidade de luz absorvida pela amostra. Assim, um feixe de luz no comprimento de onda desejado incide na amostra, que a absorve, fazendo a quantificação através da detecção da quantidade de luz absorvida de acordo com a Lei de Lambert-Beer ( $A = abc$ , onde  $a$  é a constante de proporcionalidade chamada de absorvidade,  $b$  é a distância da luz percorrida na cubeta e

frequentemente em centímetros e  $c$  é a concentração em gramas por litro) conforme esquematizado na Figura 8.

Figura 8- Demonstração de funcionamento de um espectrofotômetro



Fonte: Adaptada de Rosa *et al.* (2019).

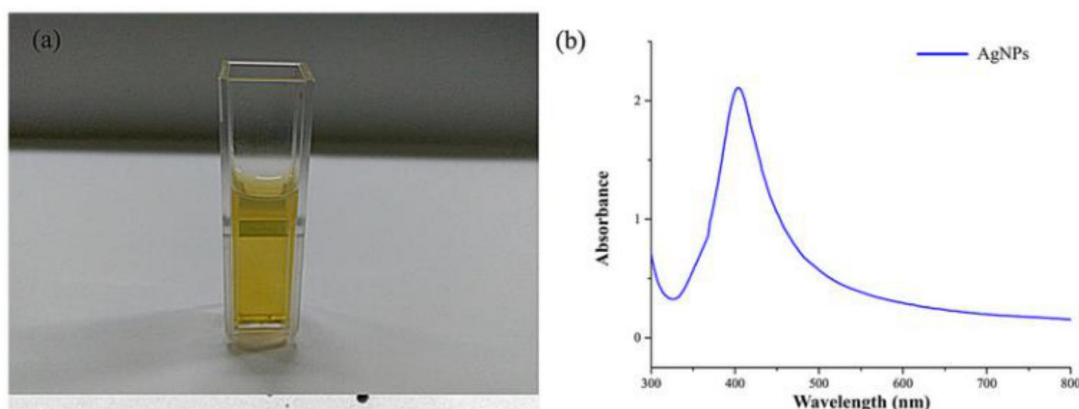
Quando se expõe soluções à radiação dentro dessa faixa de frequência, é possível obter um espectro com valores de comprimento de onda, no qual é registrada a intensidade de radiação transmitida ou absorvida. Os resultados são apresentados em forma de absorvância ( $A = \log I_0/I$ , onde  $I_0$  é a luz incidente e  $I$  é a luz transmitida) ou transmitância ( $T = I/I_0$ ), e o comprimento de onda ( $\lambda$ ) onde ocorre a máxima absorção ( $\lambda_{max.}$ ) corresponde ao valor característico da amostra. A lei de Lambert-Beer ( $A = \epsilon \times l \times c$ ) estabelece que a absorção ( $A$ ) é diretamente proporcional à concentração da amostra ( $c$ ) e à distância percorrida ( $l$ ); e o coeficiente de extinção molar ( $\epsilon$ ), de uma substância, permite comparar diferentes compostos. É importante que os solventes utilizados não absorvam luz para não interferir nos resultados (FERREIRA, 2011).

Quando a radiação de frequência específica atinge as soluções, é gerado um espectro com valores de comprimento de onda que registram a intensidade de radiação absorvida ou transmitida. Esse processo cria um *plasmon* de superfície nas nanopartículas de prata, gerando um dipolo elétrico induzido pelo campo elétrico criado pela absorção eletromagnética (PI-TARKE *et al.*, 2005). A teoria de Mie descreve a interação entre partículas esféricas de pequenas dimensões, incluindo a intensidade e largura da banda (JAIN *et al.*, 2007). O espectro é influenciado por diversos fatores, como o tamanho e a forma das partículas, o solvente utilizado e os estabilizantes presentes (MYROSHNYCHENKO *et al.*, 2008). A partir dos espectros



obtidos, como exemplificado na Figura 9, pode-se obter parâmetros importantes, como o valor da absorbância máxima e o comprimento de onda no máximo de absorção. Esses dados fornecem informações sobre as soluções coloidais, como o tamanho e formato das nanopartículas de ouro, a dispersão e o estado de agregação das partículas (FUENTES-GARCÍA. *et al.*, 2021).

Figura 9- Características físico-químicas das AgNPs: (a) solução de AgNP; (b) espectro característico de absorção UV-Vis de AgNPs



Fonte: Adaptado de Pernas-Pleite *et al.* (2022).

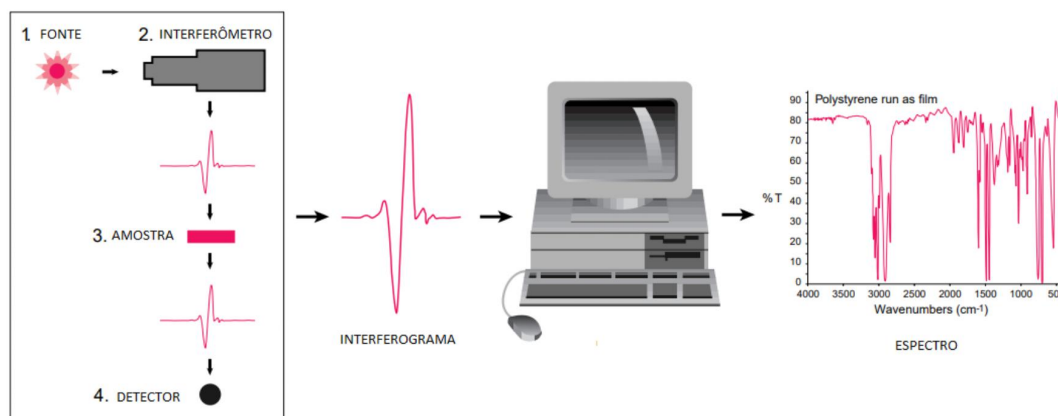
### 2.6.2 Espectroscopia no infravermelho (IR)

A espectroscopia de infravermelho estuda a vibração dos átomos da molécula quando recebe uma radiação. O espectro de infravermelho obtém-se geralmente pela passagem da radiação de infravermelho através da amostra e pela determinação da radiação incidente absorvida a uma determinada energia. A energia de cada pico num espectro de absorção corresponde à frequência de vibração de parte da molécula da amostra. Para que uma molécula apresente absorção infravermelho deve possuir características específicas: a molécula precisa que o momento dipolar sofra uma variação durante a vibração (LEITE, 2008).

A espectroscopia FTIR, *Fourier Transform InfraRed* (Transformada de Fourier Infravermelho), é o método de espectroscopia infravermelho mais utilizado. A elevada sensibilidade e resolução, como a rapidez de registo apresentam-se como as grandes vantagens do FTIR, sendo as desvantagens lideradas pela complexidade dos instrumentos e seu elevado custo. Este método é baseado na interferência da radiação entre dois feixes resultando um interferograma. Um interferograma é o registo do sinal produzido pela combinação das múltiplas frequências possíveis de obter com a transformada de Fourier. A conversão do interferograma para espectro é conseguida pelo tratamento matemático com transformadas de

Fourier, o esquema desta técnica está representado na Figura 10.

Figura 10- Instrumentação de um espectrofotômetro FTIR



Fonte: Adaptado de Thermo Nicolet Corporation (2001).

A região do IR é uma faixa no espectro eletromagnético que vai logo após o visível,  $7,8 \times 10^{-7}$  m, até aproximadamente  $10^{-4}$  m, entretanto, a porção mediana ( $2,5 \times 10^{-6}$  m a  $2,5 \times 10^{-5}$  m) é a mais amplamente utilizada em análises químicas (SANTOS, 2007). O número de onda é correspondente ao comprimento de onda em centímetros e, sua unidade é dada em  $\text{cm}^{-1}$ . A região utilizável do infravermelho é a partir de 4000 até  $400 \text{ cm}^{-1}$ . As moléculas exibem uma certa quantidade de energia em sua estrutura. Quando se irradia IR, provoca o estiramento e contrações de suas ligações, ou ocorre uma movimentação dos átomos para trás e para frente, entre outras vibrações moleculares. As vibrações moleculares são classificadas em deformações axiais ou estiramentos e deformações angulares. Nos estiramentos ocorre alteração na distância entre os núcleos dos átomos, isto é, a distância é maior ou menor alternadamente. Nas deformações angulares ocorre uma alteração no ângulo da ligação com o grupo de átomos (MARIN, 2013).

A energia presente em uma molécula é mensurável, ou seja, a molécula é capaz de se esticar ou deformar somente em uma frequência específica e um determinado nível de energia. Essa vibração é resultado da absorção de energia da radiação eletromagnética, que aumenta a amplitude da vibração. A partir da relação entre cada tipo de movimento molecular e a frequência de energia absorvida, é possível obter um perfil da molécula medindo seu espectro na região do infravermelho. Ao analisar o padrão de movimento, pode-se determinar os grupos químicos funcionais presentes em cada molécula (SANTOS, 2007).

Os grupos funcionais apresentam bandas de absorção no infravermelho que são bem

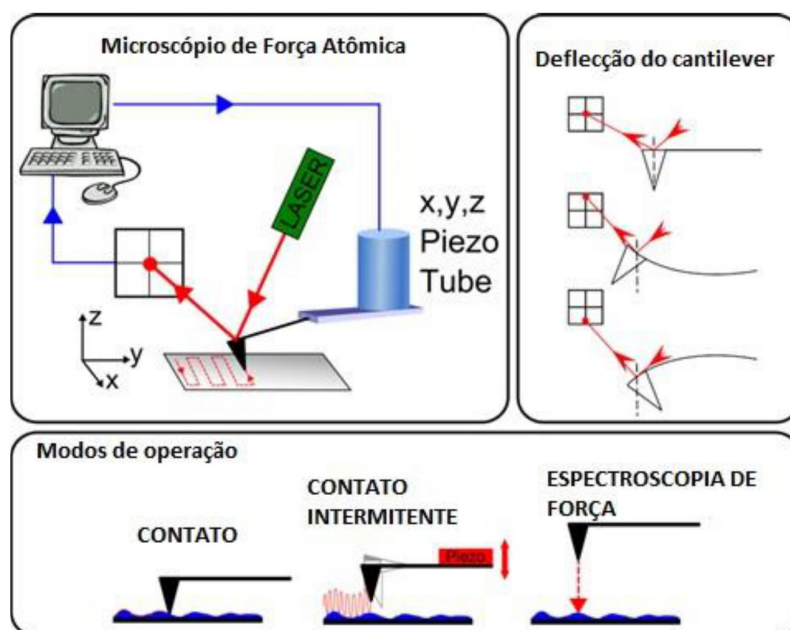
distintas, criando uma assinatura molecular de vibração que não varia entre compostos diferentes. Por meio da identificação das absorções dos grupos funcionais característicos, é possível descobrir a estrutura e composição das moléculas, utilizando o espectro no infravermelho para determinar possíveis alterações na superfície das AgNPs (DE LA PEÑA, RODRÍGUEZ-LÓPEZ e PALACIOS-GÓMEZ, 2012). Essas alterações podem ser resultado de mudanças nas ligações com os grupos funcionais presentes nos compostos vegetais.

Dessa forma, a análise do espectro infravermelho é uma ferramenta importante para a caracterização de moléculas orgânicas, permitindo a identificação de grupos funcionais específicos e a determinação da composição química de um material (SHARMA, 2021). No caso das AgNPs, as mudanças na superfície podem ser monitoradas ao longo do tempo e em diferentes condições, auxiliando na compreensão dos mecanismos envolvidos nas interações com compostos vegetais e no potencial aplicação dessas nanopartículas em diversas áreas, como na biotecnologia e medicina (PILENI, 2000). Portanto, o estudo da vibração molecular e sua relação com o espectro infravermelho é fundamental para a compreensão das propriedades dos materiais e para o desenvolvimento de novas tecnologias. (SUHAIMI e AYOUB, 2017).

### ***2.6.3 Microscopia de Força Atômica***

Com o Microscópio de Força Atômico (AFM), inventado em 1986 por Binnig e colaboradores, é possível obter imagens de átomos individuais seja em superfícies condutoras ou em meio isolante. AFM é utilizado na análise da superfície de particulados sólidos, com dimensões nanométricas. O mecanismo de funcionamento consiste em uma haste flexível (*cantilever*) e sensível à pequenas forças, com uma ponta (sonda) muito fina que se desloca de forma padronizada de rastreamento sobre a superfície da amostra. A força que age entre a alavanca e a superfície da amostra causa pequenas deflexões da haste, que são detectadas um feixe de laser. (SANTOS, 2007). Ao passar a ponta (*tip*) por diferentes regiões da amostra, é revelada algumas características como forma, relevo, rigidez, rugosidade da superfície, como ilustra a Figura 11.

Figura 11- Representação do mecanismo de funcionamento do AFM



Fonte: Adaptado de Zhu (2009).

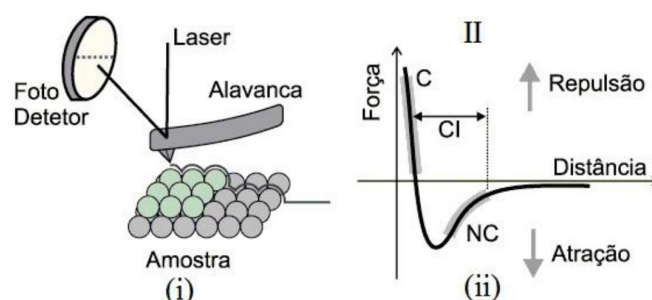
Neste trabalho, a técnica de AFM será utilizada na análise da morfologia e rugosidade das nanopartículas de prata individuais como as dopadas com compostos fitoquímicos. A técnica consiste em varrer a superfície da amostra com uma ponta de prova, registrando as forças de atração e repulsão sofrida pela *tip*, devido o contato com a superfície. A movimentação da ponta, ou a amostra, depende do modelo, é feita por um tubo piezelétrico. O laser é refletido do *cantilever* para um sensor, dividido em quadrantes, que detecta o movimento da sonda. A força constante aplicada à ponta é controlada pelo mecanismo de saída do fotodiodo (sensor). O controle dos movimentos é feito por um cristal piezelétrico tubular que guia a amostra nas direções x, y e z. O sinal do fotodiodo é realimentado ao transdutor piezelétrico da amostra, fazendo a amostra se movimentar para cima e para baixo, mantendo uma força constante entre a ponta e a amostra (BASELT *et al.*, 1993).

As imagens obtidas são geradas basicamente a partir de dois modos de operação, que estão intimamente relacionadas com a distância entre a amostra e a sonda, durante a varredura: modo contato e não-contato. A sonda, ao se aproximar da superfície da amostra, surgem forças de interação sonda - amostra fazendo a haste defletir. Conforme a sonda vai se aproximando da superfície, forças atrativas atuam entre a sonda e amostra, especialmente as forças de Van der Waals. Quando a distância chega a um intervalo inter-atômico ( $d \sim 0,5 \text{ nm}$ ) grandes forças eletrostáticas repulsivas passam a atuar entre os elétrons das camadas de valência da amostra e



da sonda, tendo como resultado forças repulsivas. Neste ponto, pode-se afirmar que a sonda está em contato com a amostra (NEVES, 1998). Podemos observar com mais clareza as afirmações acima a partir da Figura 12.

Figura 12- Esquema das forças de interação entre a ponta e a amostra



(i) O fotodetector capta a deflexão da alavanca durante a varredura através da mudança na reflexão do laser incidente; (ii) Gráfico representativo mostrando a dependência da força de interação sonda-amostra em função da separação entre elas. Fonte: Adaptado de Neves (1998).

O modo de operação sem contato garante que a amostra não seja danificada, pois não há contato físico, mas isso resulta em perda de resolução das imagens. O modo de varredura por contato, por sua vez, apresenta como principal desvantagem a possibilidade de causar danos à amostra devido à força aplicada pela ponta à superfície, resultando em imagens distorcidas e de baixa qualidade. Isso se torna um problema relevante quando se trata de amostras biológicas, como células e biomoléculas. Para solucionar essa questão, a técnica de contato intermitente (*tapping mode*) foi desenvolvida, em que a ponta entra em contato com a amostra em curtos intervalos de tempo, permitindo a obtenção de imagens de alta resolução. Nessa técnica, a alavanca vibra em uma frequência determinada, sob uma força constante e amplitude monitorada. O *tapping mode* combina as vantagens dos dois modos de operação, permitindo o contato físico entre a sonda e a amostra e a obtenção de imagens de alta resolução. É importante destacar que as forças utilizadas no método AFM são independentes da condutividade da amostra, o que permite trabalhar tanto com amostras condutoras quanto isolantes (SANTOS, 2007).

Em síntese, para a caracterização de nanopartículas de prata, dopadas ou não com biomoléculas do extrato, pode fornecer a topografia, morfologia e determinar a altura e o diâmetro das AgNPs.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Sintetizar e caracterizar nanopartículas de prata utilizando o extrato aquoso de folhas de *Anacardium occidentale* como agente redutor.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Desenvolver e aperfeiçoar métodos de biossíntese de nanopartículas de prata utilizando o extrato aquoso das folhas de *A. occidentale*;
- Purificar as nanopartículas pela técnica da centrifugação;
- Caracterizar as nanopartículas formadas quanto ao tamanho e forma, usando Espectroscopia UV-Vis, Microscopia de Força Atômica e disponibilidade de grupamentos químicos utilizando Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier;

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Engenharia de Materiais e Simulação de Sobral – LEMSS, *Campus* Mucambinho, UFC. Os equipamentos, materiais e reagentes utilizados durante a execução desse projeto encontram-se listados a seguir. A maneira pela qual foram preparadas as soluções será descrito posteriormente.

### 4.1 Materiais (reagentes e equipamentos)

- Nitrato de prata P.A. ( $\text{AgNO}_3$ );
- Água ultrapura;
- Água destilada;
- Vidrarias de laboratório;
- Álcool 70%;
- Papel Filtro qualitativo (Whatman nº 1)
- Placas de petri;
- Tubos de ensaios;
- Microtubos tipo Eppendorf de 2 mL;
- Lamínulas de vidro circular (13 mm de diâmetro);
- Lamínulas de mica;
- Solução salina fisiológica;
- Dessecador de vidro;
- Agitador magnético;
- Barras magnéticas (tamanhos variados);
- Micropipetas monocanais de volume variável (0,1 a 2  $\mu\text{L}$ ; 0,5 a 10  $\mu\text{L}$ ; 20 a 200  $\mu\text{L}$  e 100 a 1000  $\mu\text{L}$ );
- Estufa;
- Centrífuga de bancada;
- Balança analítica (precisão de 0,0001 g);
- Espectrofotômetro UV-Vis;
- Microscópio de Força Atômica;
- Espectrofotômetro de Infravermelho com Transformada de Fourier – FTIR;
- Espectrofotômetro de Absorção Atômica.

## **4.2 Métodos**

### ***4.2.1 Coleta das folhas***

As folhas de *Anacardium occidentale* foram coletadas no estado de Ceará, município de Sobral, no *campus* da Faculdade de Medicina da Universidade Federal do Ceará, no mês de novembro de 2022 às 9h da manhã. As amostras foram identificadas com a colaboração do botânico Prof. Dr. Hermes Cassiano de Oliveira da Universidade Estadual do Piauí – UESPI. As folhas foram lavadas com água destilada, seguida por cinco ciclos de lavagem e enxague com água ultrapura. Após secagem a temperatura ambiente, as folhas foram trituradas em pequenos pedaços (aproximadamente de 10 x 10 mm), com o auxílio de uma tesoura previamente esterilizada. O material foi pesado (10 g), separados e preparo das amostras foram realizados imediatamente após a colheita.

### ***4.2.2 Obtenção do extrato vegetal aquoso***

Inicialmente pesou-se em balança analítica (Bell Engineering, Itália) 10 g das folhas trituradas que adicionadas a 100 mL de água ultrapura e mantidos por agitação (modelo Q221MAG, Quimis, Brasil) durante 10 minutos em temperatura ambiente, então realizada filtração simples em papel filtro (Whatman n.1) com auxílio de um funil de vidro preso no suporte universal. O volume resultante do filtrado foi de 85 mL sendo considerado 100%. O extrato resultante consistiu em um líquido semitransparente claro, utilizado na rota de síntese verde de nanopartículas de prata. O filtrado foi usado como agente redutor e estabilizador.

### ***4.2.3 Procedimento experimental***

Todos os protocolos de pesagem de reagentes foram feitos em ambiente climatizado, tarando-se a balança antes de cada medição e utilizando luvas e espátulas. Todas as soluções aquosas foram utilizadas água ultrapura. Todas as vidrarias, assim como as barras magnéticas, foram devidamente limpas com água régia ( $\text{HNO}_3+3\text{HCl}$ ) e enxaguadas com água destilada para remoção de qualquer resíduo orgânico. Para evitar possíveis efeitos relacionados ao armazenamento, as soluções foram preparadas nas datas de uso nos respectivos experimentos.



#### 4.2.3.1 Solução de trabalho de $\text{AgNO}_3$

Inicialmente 0,010 g de  $\text{AgNO}_3$  foi dissolvido em 100 mL de solução com  $\text{H}_2\text{O}$  ultrapura em um Erlenmeyer de 200mL, sob agitação em um agitador magnético a temperatura ambiente. Como resultado, obteve-se uma solução esbranquiçada de  $\text{AgNO}_3$  ( $5,9 \times 10^{-4}\text{M}$ ). Essa concentração solução foi padronizada durante a síntese verde, pois apresentou um melhor rendimento.

Figura 13- Solução de  $\text{AgNO}_3$  ( $5,9 \times 10^{-4}\text{M}$ )



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

#### 4.2.3.2 Síntese verde de nanopartículas de prata ( $\text{AgNPs}$ )

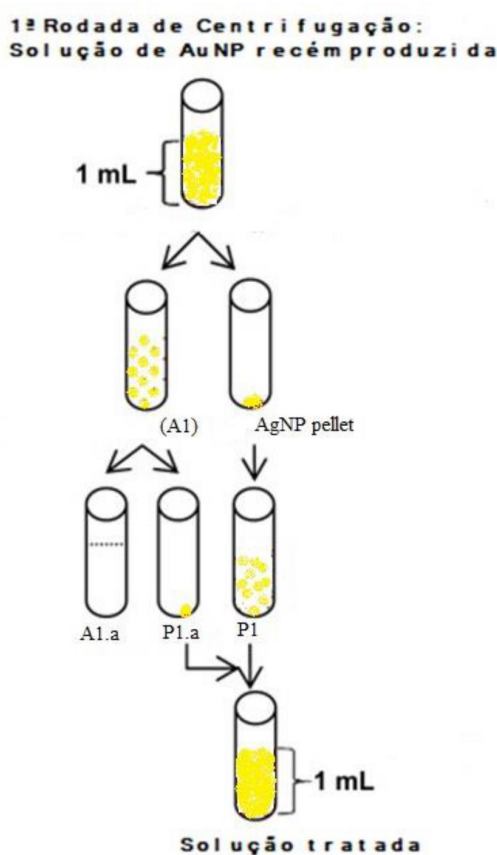
A metodologia empregada segue uma adaptação do protocolo descrito por Shen y colaboradores (2011). Inicialmente, 30 ml de  $\text{AgNO}_3$  ( $5,9 \times 10^{-4}\text{M}$ ) foram colocadas em um Erlenmeyer de 50 mL em um agitador magnético com aquecimento. Após cinco minutos de aquecimento, foi adicionado 10mL do extrato aquoso das folhas e mantidas sob agitação constante por 10 minutos. A mudança de coloração (amarelo escuro) ocorreu oito minutos após a adição do extrato. A solução obtida foi filtrada com auxílio de filtros de seringas ( $0,22 \mu\text{m}$  Kasvi, Alemanha) para remover substâncias na solução com tamanhos superiores a 220 nm e armazenadas ( $-4^\circ\text{C}$ ).

#### 4.2.3.3 Purificação da solução coloidal de $\text{AgNPs}$

1mL da solução de  $\text{AgNP}$  foi centrifugada (modelo 5810R, Eppendorf, Alemanha) a 8000g por 20 min a  $4^\circ\text{C}$ . O sobrenadante (A1) foi retirado e novamente centrifugado na mesma programação inicial. O pellet de  $\text{AgNP}$  foi ressuspenso em 1mL de água ultrapura e misturado

com o pellet resultante (A1.a) da segunda centrifugação do sobrenadante, ilustrado na Figura 14. O resultado é uma solução de coloração mais concentrada que a inicial. A obtenção do pellet de AgNP foi para posterior caracterização dos grupos funcionais presentes nas AgNPs por FTIR e visualização das nanopartículas por microscopia.

Figura 14- Esquema do processo de purificação empregado neste trabalho



Fonte: Adaptado de Figueira (2018).

### 4.3 Caracterização das AgNPs

Para a caracterização das AgNPs sintetizadas nesse trabalho utilizou-se a técnica de UV-Vis (Espectrofotômetro JASCO V-630), Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (Bruker Alpha) e Microscopia de Força Atômica (Shimadzu SPM-9700). Todos os equipamentos estão disponíveis no Laboratório de Engenharia de Materiais e Simulação de Sobral (LEMSS) da Universidade Federal do Ceará, *Campus Mucambinho*, Sobral - CE.

Amostras das soluções de AgNPs foram analisadas por Espectroscopia UV-Vis para confirmação da formação das nanopartículas em um gráfico de absorção bem característico para

prata. As AgNPs também foram analisadas por Espectroscopia no infravermelho para se obter o perfil molecular dos possíveis fitocompostos que atuaram como biorredutores e estabilizadores do íon metálico e identificação do(s) composto(s) majoritário(s) do extrato. Foram obtidas imagens das nanopartículas por microscopia de força atômica e realizado estudos quanto a morfologia das AgNPs, tamanho, histograma, rugosidade, com os recursos tecnológicos disponíveis do AFM.

#### ***4.3.1 Microscopia de Força Atômica (AFM)***

O modelo utilizado foi o SPM-9700 (Shimadzu, Japão), um dos principais recursos utilizado na técnica de microscopia para caracterização das AgNPs. Para cada operação, utilizou-se 1  $\mu\text{L}$  da solução depositada na superfície de lâminas de mica e deixadas secar a temperatura ambiente por 40min. O modo de operação para se obter o perfil topográfico das imagens foi realizado no modo dinâmico para diminuir possíveis interações laterais entre as partículas e a ponteira. A ponteira utilizada apresentava hastes de constante elástica média igual a 0.15 N/m, com sondas de  $\text{Si}_3\text{N}_4$  de raio médio de curvatura inferior a 10 nm e as varreduras realizadas com 0,700Hz de frequência. Foram realizadas varreduras de 5x5, 2,5x2,5, 1x1  $\mu\text{m}$ , 500x500 e 200x200 nm, bem no centro das amostras. O processamento das imagens foi realizado no próprio *software* do equipamento (SPM Manager 3.0, Shimadzu).

#### ***4.3.2 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier***

As amostras foram colocadas diretamente no equipamento Bruker FT-IR Alpha para as análises. As análises foram realizadas em AgNPs (pellet seco) sintetizadas e purificadas com o objetivo de determinar os grupamentos químicos e identificar os possíveis metabólitos envolvidos na biorredução dos íons  $\text{Ag}^+$  e pelo capeamento das AgNPs. Também foi realizado uma investigação do perfil dos compostos químicos nas folhas secas e trituradas do *A. occidentale*. Os gráficos foram plotados utilizando o programa Origin8Pro®.

#### ***4.3.3 Espectroscopia de UV-Vis***

Os espectros de absorção das soluções de AgNPs foram obtidos utilizando cubetas de quartzo com 1 cm de caminho ótico com um intervalo de comprimento de onda de 300 a 700nm, operado com 1nm de resolução e água ultrapura como branco. Também foram realizados espectros da solução de  $\text{AgNO}_3$  e do extrato aquoso das folhas do cajueiro apenas para efeitos

comparativos. O equipamento utilizado foi um espectrofotômetro JASCO V-630 equipado com lâmpadas do tipo tungstênio-halogênio e deutério. Os gráficos foram plotados utilizando o programa Origin8Pro®.

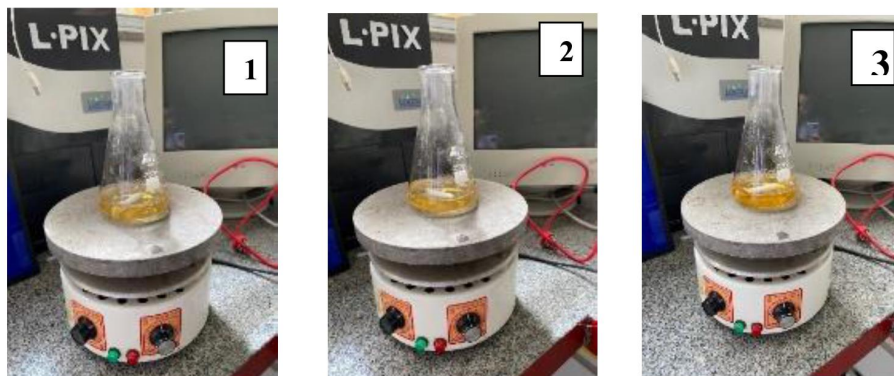
## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Síntese verde de nanopartículas de prata (AgNPs)

As nanopartículas (AgNPs) foram formadas a partir do nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ) acrescidos de extrato aquoso das folhas de cajueiro (*Anacardium occidentale*) como agente redutor e estabilizador. A estabilização das nanopartículas se atribui a presença de substâncias bioativas presentes no extrato aquoso, como por exemplo os flavonoides que impossibilitam a interação e conseqüentemente a agregação entre elas (VIANA *et al*, 2022).

A síntese das AgNPs foi realizada em uma única etapa a partir da mistura da solução de prata ( $5,9 \times 10^{-4} \text{M}$ ) com o extrato na concentração de 25% (v/v), sob aquecimento e agitação, para isso a síntese foi realizada em um agitador magnético com aquecimento. Segundo Rao e Tang (2017), o aumento da concentração de  $\text{AgNO}_3$  aumenta a intensidade da banda plasmônica até um determinado ponto, onde há uma tendência à formação de nanopartículas com grande dispersão de tamanho, aumentando a largura da banda plasmônica.

Figura 15- Mudança na coloração da solução de prata, indicando a formação das AgNPs



1 / 2- Solução de prata ( $5,9 \times 10^{-4} \text{M}$ ) início da redução; 3- Solução coloidal de AgNPs.  
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

De acordo com Sankar (2007), a temperatura da síntese é um dos fatores que interferem na velocidade de formação de AgNPs, atuando diretamente nas características dos nanoparticulados. Quando a síntese verde é realizada em temperatura mais alta a nucleação ocorre mais rapidamente, os pequenos núcleos de formação adquirem maior energia cinética, aumentando a taxa de colisão entre eles. Esse evento deve ser realizado por pouco tempo, pois pode ocasionar aglomeração e, portanto, aumentando do tamanho das AgNPs obtidas. O trabalho de Ping e colaboradores (2018) mostra que a elevação da temperatura favorece a nucleação e o crescimento das nanopartículas, sendo evidenciado pelo aumento da intensidade

da banda plasmônica, e deslocamento para comprimentos de onda inferiores.

O aumento na intensidade da banda plasmônica se deve à formação de novas nanopartículas com o decorrer do tempo, sugerindo uma cinética lenta de reação entre os íons  $\text{Ag}^+$  e os fitocompostos presentes no extrato. O deslocamento do  $\lambda$  máx para região de menores comprimentos de onda indica a redução do tamanho das nanopartículas, causado por agregação das partículas previamente formadas (VELGOSOVÁ; MRAŽÍKOVÁ; MARCINČÁKOVÁ, 2016). O melhor fator é obtido quando a absorvância é elevada ( $A_{\text{máx}}$ ), o que indica uma grande concentração de nanopartículas; o  $\lambda_{\text{máx}}$  é baixo, correspondendo a AgNPs de diâmetro pequeno; e a largura a meia altura (FWHM) é reduzida, devido a uma baixa dispersão de diâmetro de partículas (ELIAS *et al.*, 2014).

Contudo, compostos orgânicos que atuam como estabilizantes de partículas podem impedir essa aglomeração e permitir a obtenção de AgNPs de menor diâmetro. Inicialmente, foi realizada a síntese de AgNPs à temperatura de 50°C com duração de 10 minutos.

Após a síntese, uma análise de pH foi realizada e teve como resultado o valor de 7,24. Esse parâmetro não foi avaliado, pois já é muito bem esclarecido que a mudança do pH do meio reacional interfere na concentração e tamanho das nanopartículas assim como a concentração do extrato (FIGUEIRA, 2018). Como pode ser constatado por Velgosová, Mražíková e Marcinčáková (2016) o aumento do pH provoca um estreitamento gradual da banda plasmônica das AgNPs, com aumento de sua intensidade e o alargamento e perda de simetria da banda plasmônica indica aumento de tamanho, perda de uniformidade e/ou perda de distribuição homogênea das partículas, levando à agregação e precipitação das partículas.

Depois de adicionado o extrato na solução que continha os íons de  $\text{Ag}^{+3}$ , os átomos de prata oxidados iniciaram o processo de aglomeração e formação das primeiras nanopartículas (nucleação). Segundo Mesquita (2016), os grupamentos hidroxila presentes nos fitocompostos da solução do extrato seriam os responsáveis pela redução dos íons  $\text{Ag}^+$  a  $\text{Ag}^0$ , e a sua disponibilidade é diretamente afetada pelas alterações de pH do meio reacional.

O processo de formação e estabilização das nanopartículas, a partir da adição do extrato da folha do cajueiro se deu em fases de transição observado pela mudança de coloração, indicando a formação das nanopartículas de prata. A solução adquiriu uma cor amarela, observada nas AgNPs, que é resultante da absorção da radiação eletromagnética em ressonância com os *plasmons* de superfície. Essa cor amarela indica o tamanho e ausência de aglomeração das AgNPs, característica da solução padrão, e que em alguns minutos, muda para uma coloração mais turva, e em seguida para uma coloração com tom de escura, como pode ser verificado na Figura 15, tudo isso em menos de 10 minutos, sob agitação. Esta mesma relação



foi relatada por Ali e colaboradores (2015) e Kathiravan e colaboradores (2015) ao visualizarem mudança na coloração dos meios reacionais de biossíntese de AgNPs utilizando extratos aquosos das folhas de *Eucalyptus globulus* e *Croton sparsiflorus morong*, respectivamente. Nesses meios, as transformações de cor também ocorreram de amarelo claro (início) para amarelo escuro (final), conforme foi evidenciado no presente estudo com extratos aquosos das folhas de *A. occidentale*.

A formação das AgNPs pode ser evidenciada apenas na mudança da coloração, já que a solução resultante apresentou uma coloração amarelada, que corresponde à banda plasmônica de nanopartículas na faixa de 410-480 nm que são características de AgNPs (MODY et al. 2010).

Os resultados obtidos são semelhantes com diversos autores que afirmam ser possível produzir extratos com atividades redutoras e estabilizadoras, apenas com a utilização do processo hidroalcolico dispensando, dessa forma, o uso de solventes mais tóxicos e consequentes nocivos ao meio ambiente e os seres vivos (ÁLVAREZ et al., 2017). A abordagem pelo método de síntese verde além de ser um processo rápido e econômico não requer produtos tóxicos e ainda é compatível com produtos biomédicos de aplicação farmacêutica (BRUNIERA et al., 2020).

## 5.2 Espectroscopia de absorção no UV-Vis

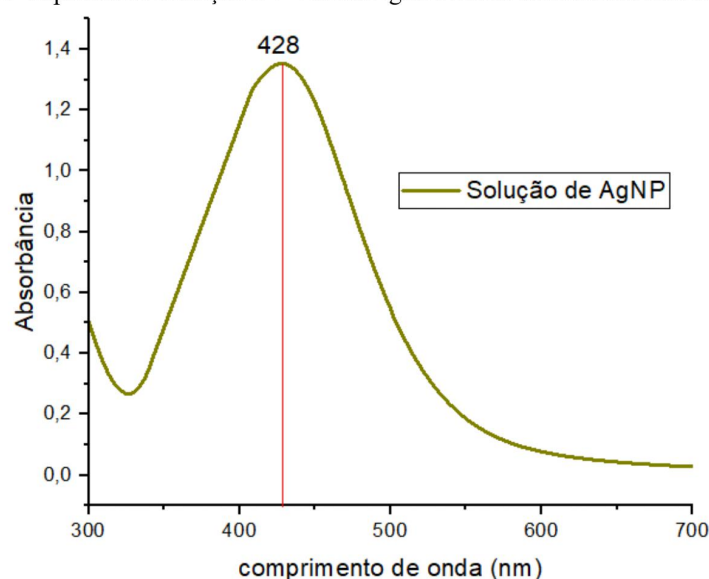
Após a inspeção visual da formação de AgNPs pelo extrato aquoso das folhas do cajueiro, a suspensão coloidal de AgNPs foi submetida a análise de espectroscopia no UV-Vis para determinar a banda de absorção de ressonância plasmônica de superfície (SPR). O resultado desse estudo está demonstrado na Figura 16, a suspensão coloidal AgNPs exibe uma intensa banda de absorção de SPR entre 350 nm e 500 nm com comprimento de onda (valor  $\lambda$  máx.) centrado em 428 nm. Esse máximo na absorbância está relacionado também à mudança visível da mistura reacional contendo as AgNPs, que passou de uma coloração da solução translúcida para amarelo após a reação (GUZMÁN et al., 2008; ŠILEIKAITĖ et al., 2006; SUI et al., 2006).

A análise espectroscópica de absorção na faixa ultravioleta-visível consiste em um método simples e bastante utilizado na determinação da formação de AgNPs em uma dispersão, devido à ressonância plasmônica de superfície dessas nanopartículas (CHAUDHURI e PARIA, 2012). Esse pico de absorção depende do diâmetro médio das nanopartículas, possuindo intensidade maior quando as nanopartículas possuem o raio em torno de 20 nm (GEORGIEV et al.,

2013). De acordo com o que foi inicialmente discutido na Seção 5.1, o aumento na intensidade da banda plasmônica se deve à formação de novas nanopartículas com o decorrer do tempo, sugerindo uma cinética lenta de reação entre os íons  $\text{Ag}^+$  e os agentes químicos presentes no extrato. O deslocamento do  $\lambda_{\text{máx}}$  para região de menores comprimentos de onda indica a redução do tamanho das nanopartículas, causado por agregação das partículas previamente formadas (VELGOSOVÁ; MRAŽÍKOVÁ; MARCINČÁKOVÁ, 2016). Chidambaram e colaboradores em 2014 e Baghizadeh e colaboradores em 2015 também utilizaram uma infusão de *Calendula officinalis* e obtiveram AgNPs que tiveram absorção máxima no comprimento de onda entre 440 e 460 nm.

A concentração final de  $\text{AgNO}_3$  de  $5,9 \times 10^{-4}$  M foi escolhida pois a redução metálica ocorre de forma a favorecer o esgotamento dos cátions  $\text{Ag}^+$  livres em solução e a conversão deles à  $\text{Ag}^0$ , levando à formação das AgNPs (SHENY et. al, 2011).

Figura 16- Espectro de absorção UV-Vis das AgNPs recém-sintetizadas com  $\lambda_{\text{máx}}$  de 428nm



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A curva de absorbância da amostra de AgNPs (entre os comprimentos de onda de 400 nm e 500 nm) com um pico em 428 nm, indica que AgNPs foram formadas nessa condição. O pico máximo e único de absorção na faixa superfície de ressonância plasmônica (SPR) em 428nm indica que houve formação de AgNPs com tamanho aproximado de 20nm e formato esférico (Rani *et al.*, 2020) e que o valor de absorbância indica o número de nanopartículas presentes na solução, ou seja, quanto maior a absorção óptica maior será a quantidade de nanopartículas presentes na solução. He et al. (2001) demonstram que a faixa entre 400 e 450 nm



sendo aquela em que se evidencia a presença desse metal. O aumento da densidade ótica (DO) nesta região também foi observado por outros autores que sintetizaram nanopartículas de prata contendo extratos ricos em polissacarídeos sulfatados (EL-RAFIE, EL-RAFIE & ZAHRAN, 2013; NEGREIROS, 2015) ou fucanas (LEUNG, WONG E XIE, 2010). Loo *et al.*, (2012) mostraram que usando *Camellia sinensis* como agente redutor o pico foi obtido em 436nm, enquanto Vilchis-Nestor *et al.*, (2008) também utilizando *C. sinensis* o pico foi em 430nm. Sharma e colaboradores (2009), mostraram que picos que variam de 380 a 400nm apresentam coloração amarelo ouro e são partículas menores, enquanto Albernaz (2014) concluiu que a coloração que varia de marrom avermelhado a marrom escuro depende do tamanho das AgNPs.

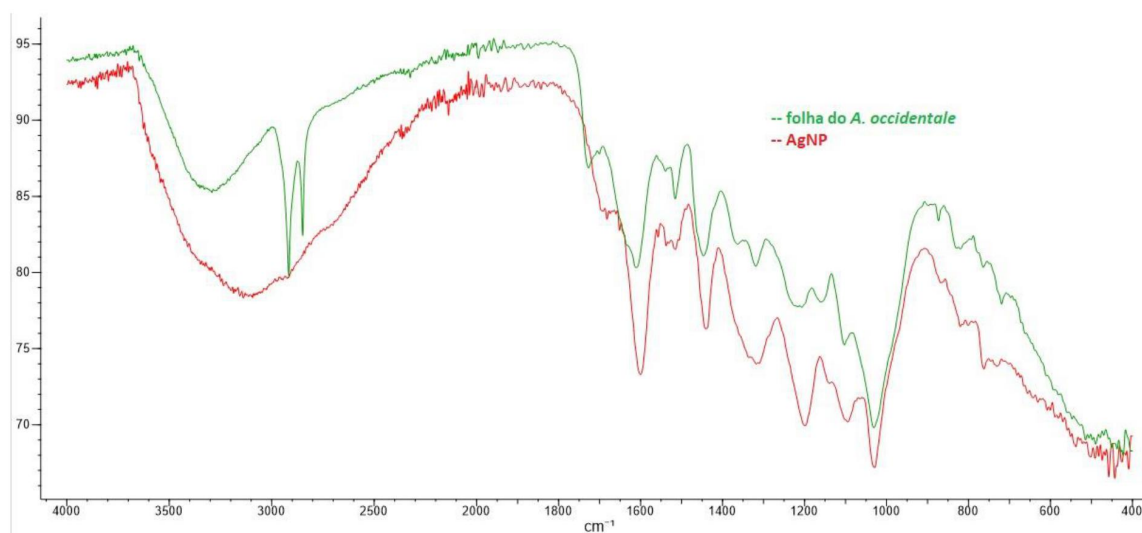
Veerasamy e colaboradores (2011) avaliaram a formação de AgNPs por síntese verde com diferentes concentrações finais de nitrato de prata, onde a concentração de 1mM foi que apresentou melhor desempenho dentre outras (0,25; 0,5; 0,75; 2 e 5 mM) segundo as máximas medidas verificadas no UV-Vis. Mas essa concentração depende obviamente de outras variáveis, como a planta escolhida, temperatura, pH entre outros fatores.

### **5.3 Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)**

Medidas de Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) foram realizadas no LEMSS (UFC, *Campus Mucambinho*) em amostras secas das folhas de *A. occidentade* e das AgNPs sintetizadas, com o intuito de determinar os grupamentos químicos e identificar os possíveis compostos responsáveis pela biorredução dos íons Ag<sup>+</sup> e pelo capeamento das AgNPs. Foi realizada a análise de FTIR-ATR nas folhas desidratadas e nas AgNPs desidratadas, utilizando um espectrofotômetro modelo FT-IR Alpha da BRUKER, na faixa de 400 – 4000 cm<sup>-1</sup> e resolução 0,8 cm<sup>-1</sup>, com um total de 40 *scans*. Não houve qual quer tratamento adicional nas amostras. Com a espectroscopia na região do infravermelho é possível relacionar grupos funcionais dos constituintes químicos de compostos orgânicos, como extrato de plantas; no entanto, outras técnicas de análise são importantes para confirmar a presença do composto investigado (CHIDAMBARAM *et al.*, 2014).

O extrato de folhas do cajueiro possivelmente apresenta muitas biomoléculas capazes de promover a síntese verde, estes podem ser fenóis e ácidos fenólicos alcaloides, antraquinonas, taninos, flavonoides, catequinas, flavononas, esteroides, triterpenoides e saponinas (DA COSTA *et. al.*, 2021). As Figuras 17 e 18 apresentam os resultados das medidas por FTIR realizados.

Figura 17- Espectro obtido por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier das folhas de *A. occidentale*

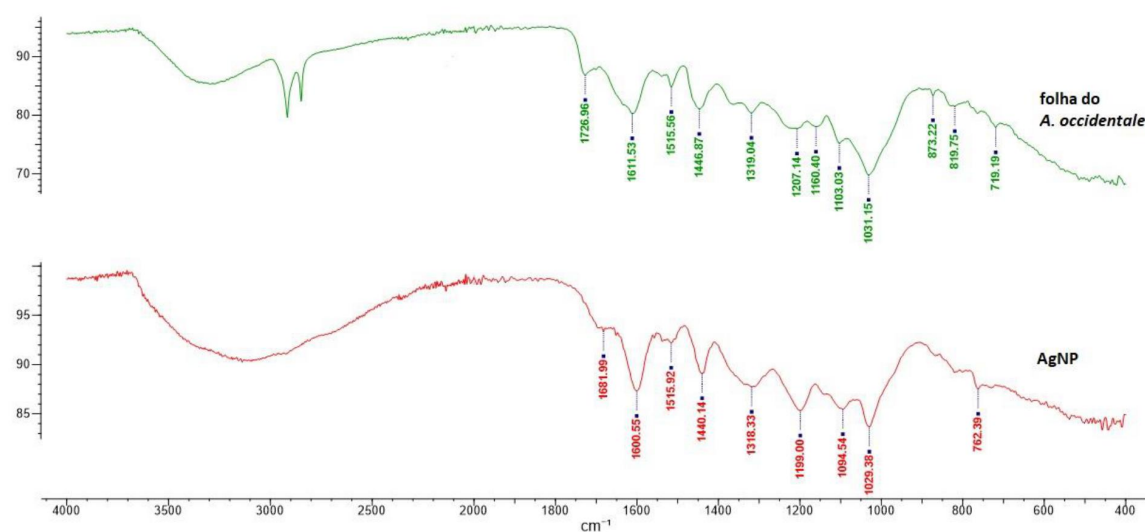


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A imagem anterior representa o espectro sobreposto de FTIR do pó de folhas secas e das AgNPs. O espectro das AgNP e o das folhas do cajueiro apresentaram praticamente o mesmo perfil. Os deslocamentos dos números de onda também estão relacionados com a formação das AgNPs e com alteração dos estados vibracionais das moléculas, demonstrando que os metabólicos secundários (compostos fenólicos, terpenos e alcaloides) do extrato utilizado reduziram a prata e ficaram aderidos nas estruturas.

Nota-se que a banda larga a 3600 a 3750 $\text{cm}^{-1}$  é característica do grupo funcional hidróxi, presente em água, álcoois e compostos fenólicos. Observa-se grande semelhança entre as duas amostras. O aumento da transmitância do grupo funcional O-H nos espectros da AgNPs indica o envolvimento dos O-H livres no processo de redução. Assim como demonstrado por Anand e colaboradores (2015), a presença de diferentes grupos funcionais na superfície da AgNPs ou a possível encapsulação das biomoléculas estão envolvidas na estabilização e aglomeração das AgNPs. A formação das AgNPs resulta nas mudanças das estruturas moleculares e interação com os íons prata. Esses resultados demonstram que os componentes do extrato ficaram aderidos nas AgNPs produzidas. A Figura 18 detalha uma sobreposição dos dois espectros obtidos. Percebe-se uma grande similaridade entre os dois gráficos, especialmente na região de 1890 a 820  $\text{cm}^{-1}$ .

Figura 18- Região do espectro FTIR correspondente a assinatura molecular, das bandas correspondentes



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O pico mais intenso ocorreu em  $1031\text{ cm}^{-1}$  (banda amida primária). A banda a  $1611\text{ cm}^{-1}$  devido à banda amida primária mostrou uma mudança para  $1600\text{ cm}^{-1}$  no espectro IR de AgNPs sugerindo proteínas como molécula de ligação (AHMAD *et al.*, 2011 e PHILIP *et al.*, 2012).

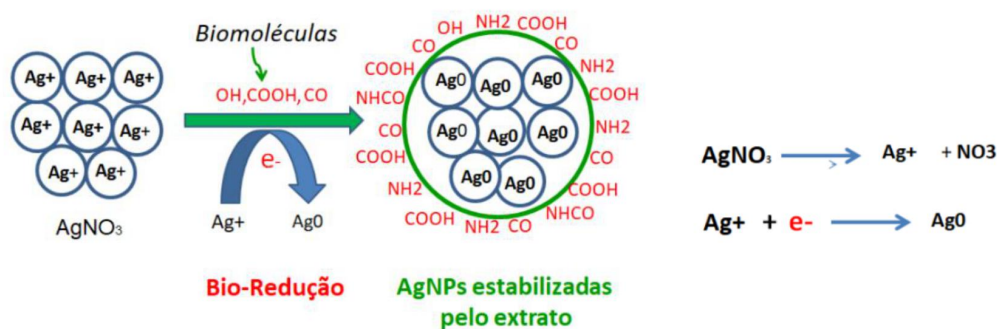
A folha de caju é rica em vários compostos secundários, incluindo taninos, terpenoides, alcaloides, flavonóis, fenóis e glicosídeos (RIBEIRO, 2016). Além disso, estudos relatam a presença de ácido gálico, ácido anacárdico, anacardol, ácido hidroxilbenzoico, ácido caprílico, ácido gadoleico, ácido láurico, leucina, leucocianetos, ocimeno, limoneno, cariofileno e alfa-cadineno no caju (SATHISHKUMAR, 2009 e OFUSORI *et al.*, 2008). A intensidade das bandas em  $1726\text{ cm}^{-1}$  (decorrente do estiramento C=O de ácido carboxílico),  $1611\text{ cm}^{-1}$  (característica de amida primária) e  $1515\text{ cm}^{-1}$  (atribuída a amida secundária), mostrou-se reduzida no espectro das AgNPs, indicando a presença de proteínas como agentes redutores de prata.

O espectro de FTIR das AgNPs apresenta bandas características de vibrações de C–O–C e C–OH a  $1029\text{ cm}^{-1}$ , vibrações de dobramento C–OH a  $1440\text{ cm}^{-1}$ , vibrações de deformação antissimétrica de amida primária de proteínas a  $1600\text{ cm}^{-1}$ . Além disso, foram detectados picos a  $1515\text{ cm}^{-1}$  devido a vibrações de estiramento de –C–C– em anéis aromáticos e a  $3100\text{ cm}^{-1}$  devido às vibrações de alongamento –OH (SINGH e SRIVASTAVA, 2010). Os dados indicam a presença de proteínas, polifenóis e aminas aromáticas em conjunto com as AgNPs (SHENY *et al.*, 2012). A vibração de estiramento C–N das aminas alifáticas, que aparece na banda de  $1031\text{ cm}^{-1}$  no espectro da folha, foi deslocada para  $1029\text{ cm}^{-1}$  na presença das

nanopartículas de prata, enquanto a vibração de estiramento C-N das aminas aromáticas, que aparece na banda de 1319  $\text{cm}^{-1}$ , foi deslocada para 1318  $\text{cm}^{-1}$ . Estes resultados sugerem que as proteínas atuaram como agentes redutores do  $\text{AgNO}_3$  e do ácido gálico, enquanto as aminas alifáticas estavam presentes como agentes estabilizadores das AgNPs. As duas amostras apresentaram bandas principais de intensidade similar que variaram entre 1611-1600, 1515, 1446-1440, 1319-1318, 1207-1199, 1103-1094 e 103-1029  $\text{cm}^{-1}$ . Ambos os espectros apresentam grande similaridade entre si, especialmente na região correspondente à assinatura molecular. Assim, a região entre 1820 e 890  $\text{cm}^{-1}$  foi enfatizada nos espectros. Foi observada uma banda com exata correspondência de comprimento de onda em ambas as amostras a 1515  $\text{cm}^{-1}$

Com base nos resultados obtidos na análise de FTIR um esquema hipotético simplificado envolvendo a fitorredução e estabilização de AgNPs pelas moléculas bioativas do extrato aquoso do cajueiro é proposto na Figura 19. Nesta hipótese proposta, os biocompostos do extrato estariam atuando como agentes oxidantes sendo oxidado pelo  $\text{AgNO}_3$  e conseqüentemente resultando na formação de AgNPs. Compostos fenólicos contendo cetonas e hidroxilas podem se ligar aos íons metálicos e reduzir o  $\text{AgNO}_3$ , as proteínas podem interagir com as AgNPs e vir a recobri-las.

Figura 19- Fitorredução e estabilização de AgNPs pelas biomoléculas do extrato



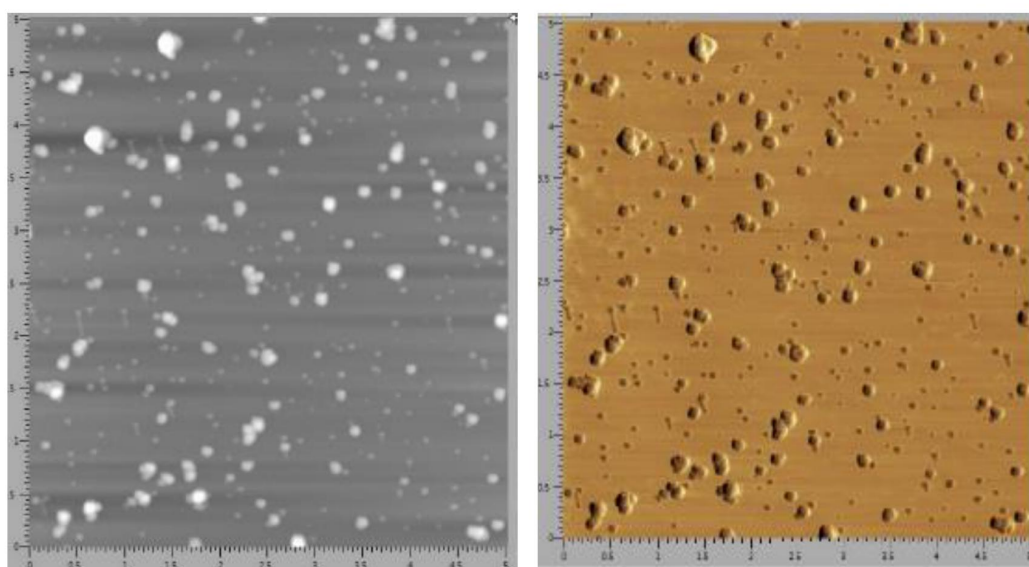
Fonte: Adaptado de Scuro (2021).



#### 5.4 Análises de microscopia de força atômica (AFM)

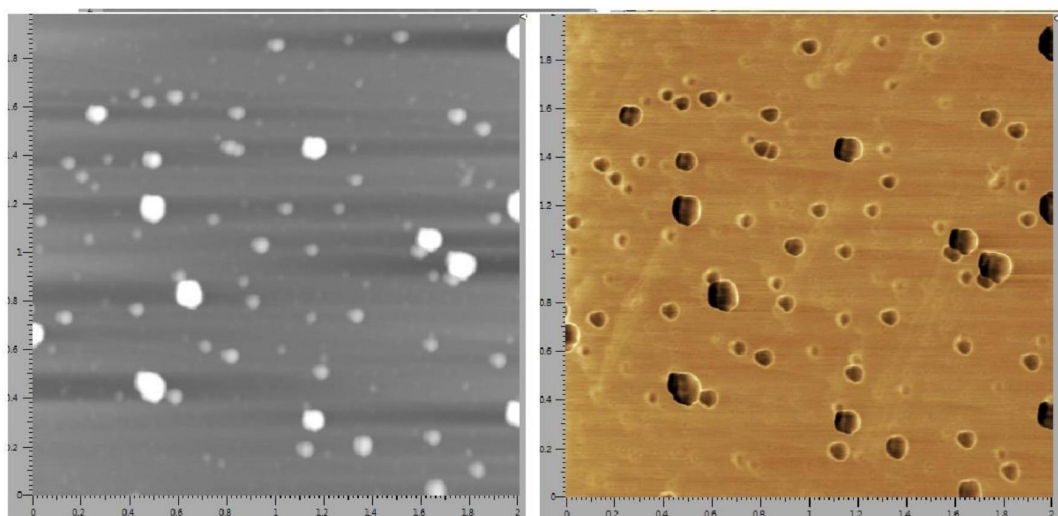
O formato e o diâmetro das AgNPs foram avaliados também por AFM. As Figuras 20 e 21 exibem as nanopartículas de prata obtidas por aplicação de  $\sim 1\mu\text{L}$  de solução na superfície de mica e secas durante 30 minutos. Após esse tempo, a amostra foi analisada com o feixe de laser do aparelho focado na região central. Todas as imagens subsequentes exibirão a topografia no lado esquerdo e a fase no lado direito.

Figura 20- Micrografia das AuNPs depositadas em superfície de mica ( $5,0 \times 5,0 \mu\text{m}$ )



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 21- Micrografia das AuNPs depositadas em superfície de mica ( $2,0 \times 2,0 \mu\text{m}$ )



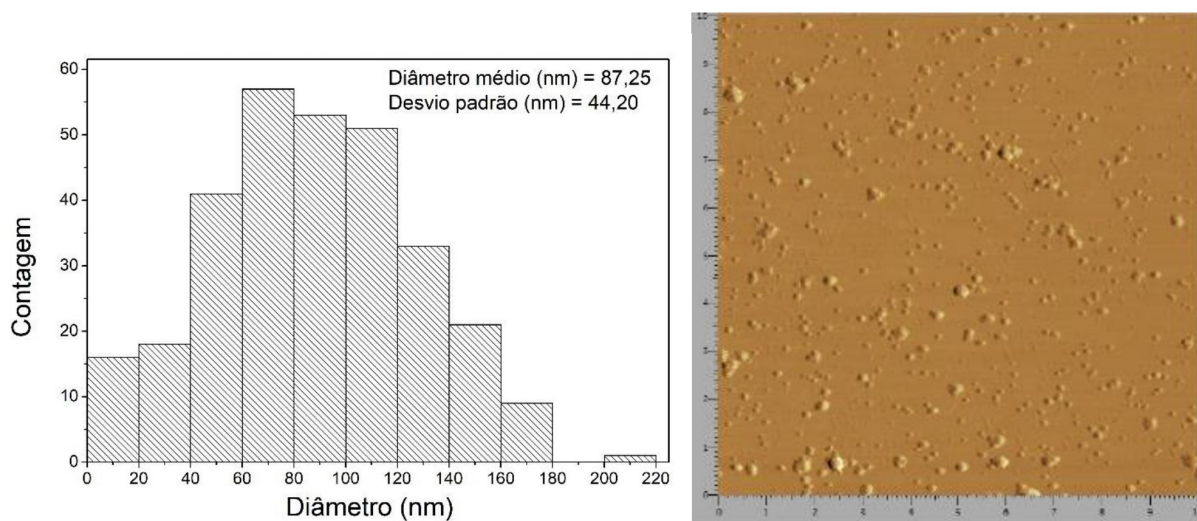
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Na imagem da Figura 21 é possível observar uma boa dispersão entre as AgNPs. As nanopartículas menores exibem o contorno esférico, e as maiores mostram-se com o aspecto esférico mais irregular. As nanopartículas aparecem depositadas na lamínula de mica e exibem boa dispersão, porém com evidência de alguns agregados. Velgosová, Mražíková e Marcinčáková (2016) também visualizaram a presença de precipitados após a síntese de AgNPs, e atribuíram esse comportamento à rápida aglomeração de nanopartículas ou ao seu tamanho, causada por uma perda pontual na estabilização proporcionada pela solução do extrato. Gaddam e colaboradores (2014), Ethiraj e colaboradores (2016), e Kumar e colaboradores (2015) verificaram por AFM as formas esféricas de AgNPs sintetizadas com extratos das folhas de *Cassia alata*, *Alstonia scholaris* e *Morinda tinctoria*, respectivamente. O estudo de Singh *et al.*, (2010), utilizando o extrato das folhas de *Argemone mexicana*, obteve um tamanho médio de 20 nm. Já o trabalho de Khalil *et al.*, (2014), usando o extrato da folha de *Olea europaea* L, produziu AgNP com tamanho médio de 51nm.

É possível observar que os diâmetros variaram de 20 nm a 180 nm (Figura 22). Karuppiah e Rajmohan (2013) obtiveram nanopartículas por biorredução, a partir do extrato aquoso de *Ixora coccinea*, com características similares às encontradas neste trabalho. No entanto, sabe-se que o crescimento das nanopartículas pode ser causado por velocidades distintas de crescimento em suas facetas, que é influenciado pelo potencial de superfície de cada partícula. A presença de estabilizadores na superfície da nanopartícula pode afetar o crescimento das facetas com estruturas morfológicas diferentes, levando ao empilhamento das partículas, como demonstrado na figura anterior, conforme relatado por Lee *et al.* em 2011.

Análises estatísticas foram realizadas com base nos gráficos abaixo, para se obter dados da distribuição do diâmetro das NPs. O gráfico mostrado na Figura 22 exibe o histograma com a distribuição das amostras com diâmetro da partícula de 87,25 nm, desvio padrão de 44,2 nm.

Figura 22- Histogramas e imagem de AFM e de distribuição de classes de tamanhos do diâmetro médio das AgNPs



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

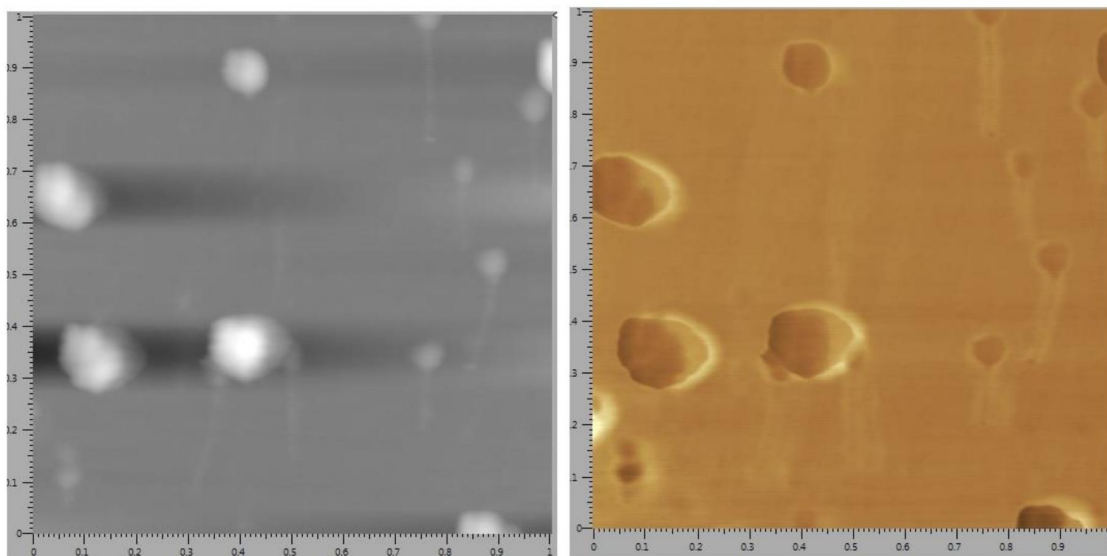
Desse modo, foi verificado que as AgNPs apresentaram formatos esféricos, com a presença de poucos aglomerados e com diâmetro médio de 87,25 nm. Alguns autores têm relatado a obtenção de nanopartículas de prata com tamanhos na faixa de 10-30 nm usando plantas como a *Cinnamomum camphora* e a *Ocimum tenuiflorum*. Por exemplo, em um estudo publicado por Song *et al.* em 2014, foi relatado que as nanopartículas de prata obtidas a partir de extratos de *C. camphora* apresentaram tamanhos na faixa de 10-20 nm. Em outro estudo publicado por Roy *et al.* em 2012, foi relatado que as nanopartículas de prata obtidas a partir de extratos de *O. tenuiflorum* apresentaram tamanhos na faixa de 10-30 nm. Em um estudo publicado por Gurunathan *et al.* em 2009, foi relatado que as nanopartículas de prata obtidas a partir de extratos de *Rosmarinus officinalis* apresentaram tamanhos na faixa de 50-70 nm. Utilizando extrato da folha de *Cassia auriculata*, Kumar e colaboradores (2010) obtiveram nanopartículas esféricas e triangulares (15-25nm) em temperatura ambiente e em 10 minutos.

Sob outra ótica, diferenças de viscoelasticidade na composição das AgNPs foram verificadas pelas imagens de fase, em que a porção interna se mostrou diferente em relação à superfície, situação ilustrada pela Figura 22, o que possibilita sugerir que biomoléculas do extrato possam estar recobrando os núcleos metálicos e conseqüentemente contribuindo para a estabilidade dessas AgNPs. Essa mesma situação foi também discutida por Kumar e colaboradores (2012) ao utilizarem AFM para caracterizar AgNPs produzidas utilizando extratos aquosos de *Terminalia chebula*. Eles observaram uma delgada camada capeando os

núcleos das AgNPs, conferindo uma cobertura que seria composta por substâncias orgânicas presentes no extrato que estariam atuando na estabilização das AgNPs.

A imagem da Figura 23 mostra algumas AgNPs. É possível observar um bom contorno das bordas, mostrando que a sonda estava operando em perfeitas configurações de operação.

Figura 23- Imagem de AFM referente à informação de viscoelasticidade das AgNPs



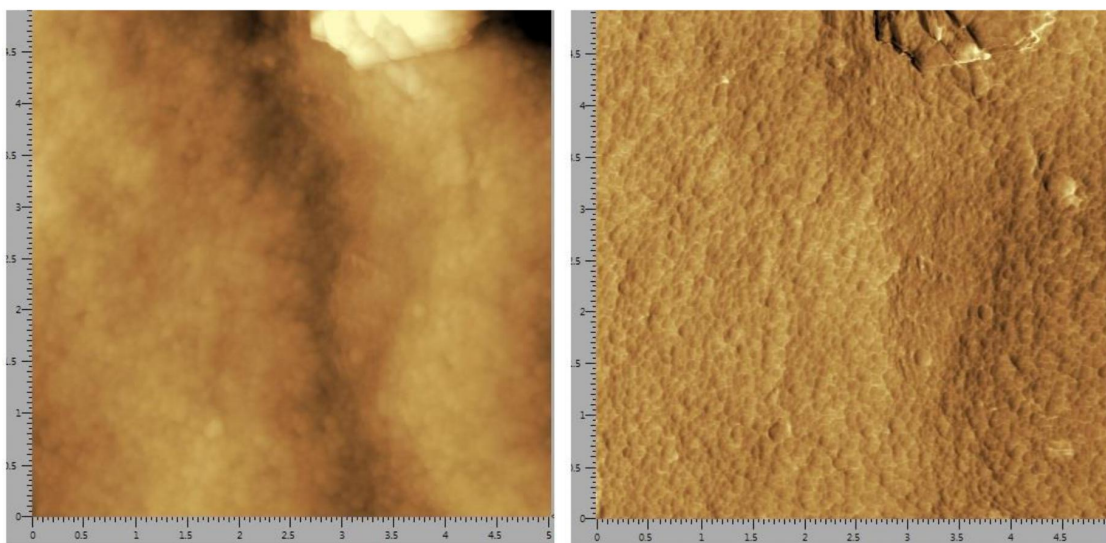
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Na imagem direita da figura acima, percebe-se uma nítida diferença de tonalidade de cor. Apresenta um rugosidade distinta, sugerindo ser materiais com composição química diferente. Observa-se poucas variações nas imagens, provavelmente devido a uma incorporação de biomoléculas na superfície da nanoestrutura.

As imagens a seguir foram obtidas do *pellet* de AgNP seco resultante da centrifugação e secagem. As Figuras 24 e 25 foram obtidas com varredura do *scanner* 5 x 5  $\mu\text{m}$  e 2,0 x 2,0  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

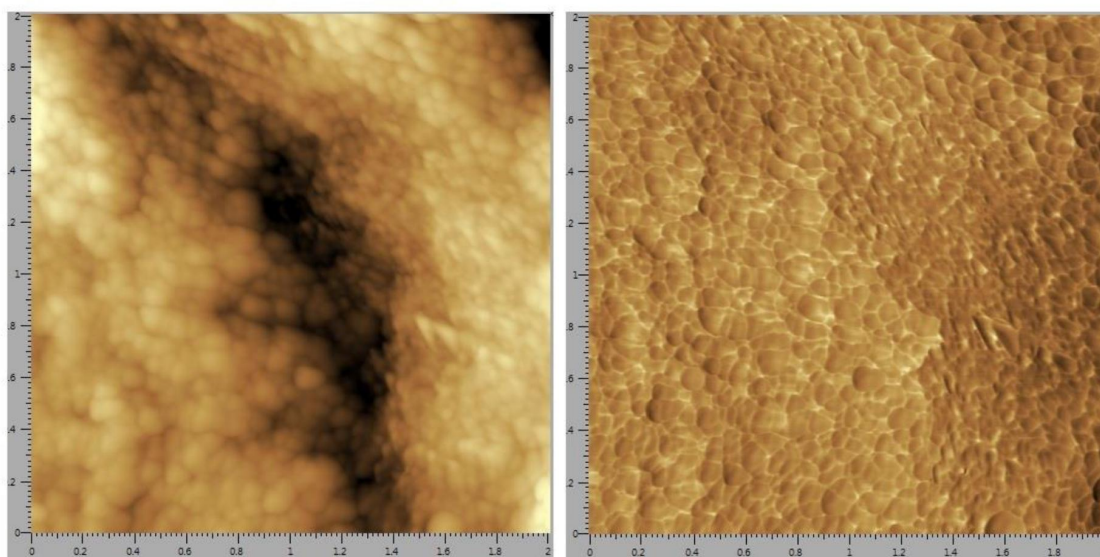


Figura 24- Imagem das AgNPs do filme de NP. Varredura feita em 5,0 x 5,0  $\mu\text{m}$



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 25- Imagem das AgNPs do filme de NP. Varredura feita em 2,0 x 2,0  $\mu\text{m}$



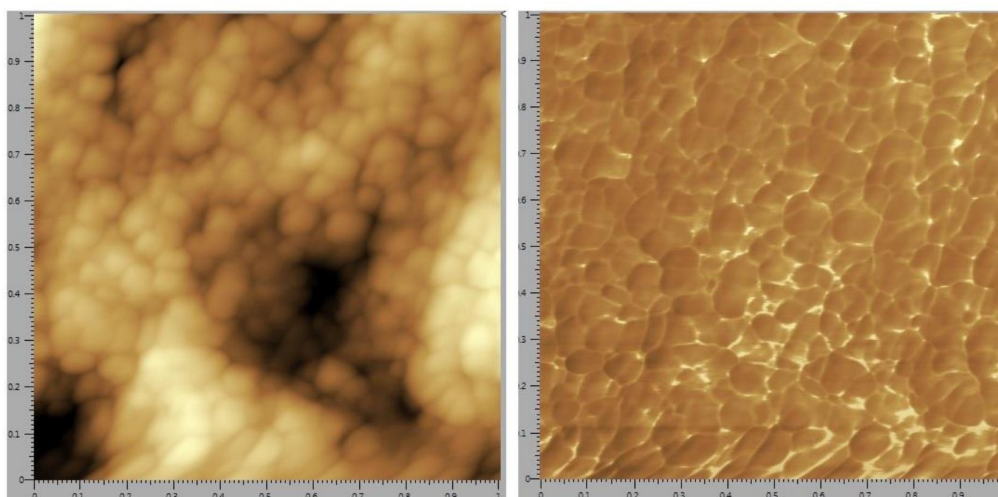
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Nas imagens acima, observa-se que as AgNPs estão agrupadas, mas sem formar agregados, exceto no canto superior da Figura 24, que parece um artefato de ruído do equipamento, quando comparadas como em algumas imagens obtidas por deposição da solução coloidal. Estes agrupamentos que vemos são as nanopartículas em si. Estas diferenças dos filmes multicamadas podem ser atribuídas devido as propriedades de superfície intrínsecas de cada sistema.

Na escala observada, é possível notar que as nanopartículas apresentam diversas formas, como esféricas, triangulares, bastonetes, entre outras. Em relação a esse último aspecto, é interessante ressaltar que os resultados obtidos por meio de AFM indicaram uma distribuição relativamente homogênea em algumas regiões da camada de AgNPs, o que pode ser atribuído à interação dos fitoquímicos com as nanopartículas na escala investigada. De acordo com a literatura, a manipulação das AgNPs em superfícies como a mica pode ser influenciada pelas características morfológicas da partícula e pelo tipo de ponta utilizada, uma vez que diferentes tipos de movimento das partículas podem causar perda de energia e desgaste nas superfícies de contato. Além disso, o tipo de molécula que envolve a NP também pode influenciar o movimento e trajetória, conforme relatado por DARWICH *et al.* em 2011. No caso específico do filme de AgNPs sem deposição em uma superfície lisa, como vidro ou mica, não foi encontrada dificuldade para obtenção das imagens.

Na Figura 26 podemos observar a morfologia das nanopartículas com uma área de varredura de  $1,0 \times 1,0 \mu\text{m}$ . Na imagem da esquerda, observamos a topografia do nanomaterial, com algumas alturas e depressões, devido não ser uma camada uniforme. A imagem de fase, revela contornos bastante definidos, podendo distinguir NPs de diversos formatos agrupados. Essa variedade de formatos observados pode ser atribuída a natureza intrínseca do material, e algumas, devido a energia livre de Gibbs, tendem a ir para o estado energético mais energeticamente favorável.

Figura 26- Imagem das AgNPs do filme de NP. Varredura feita em  $1,0 \times 1,0 \mu\text{m}$



Fonte: Elaborada pelo autor (2023).

Na imagem de fase notamos a presença de algumas NPs com formato triangular. Se observarmos com mais atenção, nota-se a presença de NP com uma discreta morfologia de um pentagrama, outras com a configuração de *nanorods* (nanobastões). Estas formas são conhecidas como anisotrópicas e sua banda plasmônica tende a ser deslocada para direita no espectro UV-Vis, que não foi verificado com muita intensidade em nossos resultados, podendo-se concluir que essas NPs são de presença discretas nos resultados. Entretanto essas formas distintas só apareceram com mais evidência nas imagens realizadas diretamente na superfície do *pellet* da solução coloidal centrifugada.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível obter nanopartículas de prata por síntese verde sob agitação e aquecimento, a partir de  $\text{AgNO}_3$  utilizando extrato aquoso das folhas do cajueiro (*Anacardium occidentale*) como agente redutor e estabilizador. A concentração e a quantidade do extrato utilizado foram capazes de reduzir o sal metálico originando nanopartículas esféricas de tamanhos variados.

Na análise de UV-Vis, foram observados picos de absorbância de 428 nm para as soluções recém-sintetizadas que caracteriza a formação de AgNPs.

Os compostos fitoquímicos presentes no extrato aquoso das folhas do cajueiro foram responsáveis pela biorredução e possível capeamento das AgNPs, resultando em sua estabilidade, como mostrado nos espectros por infravermelho (FTIR), onde sugere que compostos de cadeia aromática, bem como polifenóis ou carboidratos, presentes com maior intensidade nas AgNPs, foram responsáveis pela formação das nanopartículas.

As imagens obtidas por AFM confirmaram a presença das AgNPs. Sua morfologia foi determinada, nanopartículas esféricas. Apresentaram um tamanho médio de 87 nm.

Nanopartículas de prata são importantes para várias tecnologias, especialmente no campo da biomedicina. O aperfeiçoamento de métodos com grande rendimento e de baixo custo para a síntese de nanopartículas e que seja ecologicamente viável, tanto para a saúde humana e ambiental, é um relevante desafio, pois as atuais metodologias para a produção utilizam compostos químicos, muitas vezes tóxicos, e processos de uso intensivo de energia e alto custo.

Nesse sentido, o *A. occidentale* é uma boa alternativa para a produção de nanopartículas de prata e faz parte do cenário da química verde, que é ambientalmente aceitável, e excelente candidata a várias aplicações biomédicas.

## REFERÊNCIAS

- AGOSTINI-COSTA, T. S. *et al.* Anacardic acid content in cashew apples from *Anacardium microcarpum* and eight clones of *Anacardium occidentale* from Northeastern Brazil. **Ciência Rural**, v. 34, n. 4, p. 1075-1080, 2004.
- AHMAD, A. *et al.* Extracellular biosynthesis of silver nanoparticles using the fungus *Fusarium oxysporum*. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 28, n. 4, p. 313-318, 2003
- AKBARZADEH, A.; SAMIEI, M.; DAVARAN, S. Magnetic nanoparticles: preparation, physical properties, and applications in biomedicine. **Nanoscale research letters**, v. 7, p. 1-13, 2012.
- AKHTAR, M. S.; PANWAR, J.; YUN, Y.-S. Biogenic synthesis of metallic nanoparticles by plant extracts. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 1, n. 6, p. 591-602, 2013.
- ALBERNAZ, Vanessa Lima. **Síntese verde de nanopartículas de prata com extrato aquoso de folhas de *Brosimum gaudichaudii*, caracterização físicoquímica, morfológica e suas aplicações no desenvolvimento de um nanobiossensor eletroquímico**. 2014. 121 f.. Dissertação (Mestrado em Nanociência e Nanobiotecnologia) — Universidade de Brasília, Brasília, 2014.
- ALI, K. *et al.* Microwave accelerated green synthesis of stable silver nanoparticles with *Eucalyptus globulus* leaf extract and their antibacterial and antibiofilm activity on clinical isolates. **PLoS one**, v. 10, n. 7, p. e0131178, 2015.
- ALMEIDA, Michelly Patrícia Santana. **Síntese e caracterização de nanopartículas de maguemita recobertas com sílica funcionalizada com grupos amina**. 2008. 82 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto de Química, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2008.
- ÁLVAREZ, A. *et al.* Microwave pretreatment to improve extraction efficiency and polyphenol extract richness from grape pomace. Effect on antioxidant bioactivity. **Food and Bioproducts Processing**, v.106, p. 162–170, 2017.
- ANAND, K., *et al.* Surface chemistry mediates cellular uptake of nanoparticles: implications for intracellular delivery of drug cargos. **Current drug metabolism**, v. 16, n. 6, p. 484-494, 2015.
- ANJUM, S. *et al.* Development of novel wound care systems based on nanosilver nanohydrogels of polymethacrylic acid with Aloe vera and curcumin. **Materials Science and Engineering: C**, v. 64, p. 157-166, 2016.
- AZZAZY, H. M.; MANSOUR, M. M.; KAZMIERCZAK, S. C. Nanodiagnostics: a new frontier for clinical laboratory medicine. **Clinical chemistry**, v. 52, n. 7, p. 1238-1246, 2006.
- BAGHIZADEH, A. *et al.* Green synthesis of silver nanoparticles using seed extract of *Calendula officinalis* in liquid phase. **Journal of Molecular Liquids**. v. 207. p. 159-163, 2015.



BARUAH, S.; DUTTA, J. Nanotechnology applications in pollution sensing and degradation: a review. **Environmental Science and Technology**, v. 46, p. 3060-3074, 2012.

BASAVEGOWDA, N. *et al.* Green synthesis of silver nanoparticles using *Curcuma longa* extract and their antibacterial activity. **International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**, v. 6, n. 8, p. 114-117, 2014.

BASELT, D. R. *et al.* Digital signal processor control of scanned probe microscopes. **Review of scientific instruments**, v. 64, n. 7, p. 1874-1882, 1993.

BASU, S.; SAMANTA, H.S.; GANGULY, J. Green synthesis and swelling behavior of Ag-nanocomposite semi-IPN hydrogels and their drug delivery using *Dolichos biflorus* Linn. **Soft Mater**, v. 16, n. 1, p. 7–19, 2018.

BROINIZI, P. R. B. *et al.* Evaluation of the antioxidant activity of phenolic compounds naturally contained in by-products of the cashew apple (*Anacardium occidentale* L.). **Food Science and Technology (Campinas)**, v. 27, n. 4, p. 902-908, 2007.

BRUNIERA, J. F. B. *et al.* Green synthesis, characterization and antimicrobial evaluation of silver nanoparticles for an intracanal dressing. **Brazilian Dental Journal**, v. 31, n. 5, p. 485–492, 2020.

CASANOVA, Monise Cristina Ribeiro. **Síntese, caracterização e estudo da estabilidade de nanopartículas estabilizadas com polieletrólitos e tióis**. 2010. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

CAUERHFF, A.; CASTRO, G. R. Bionanoparticles, a green nanochemistry approach. **Electronic Journal of Biotechnology**, v. 16, n. 3, 2013.

CHAN, J. M. *et al.* PLGA–lecithin–PEG core–shell nanoparticles for controlled drug delivery. **Biomaterials**, v. 30, n. 8, p. 1627-1634, 2009.

CHANDRAN, S. P. *et al.* Synthesis of gold nanotriangles and silver nanoparticles using *Aloe vera* plant extract. **Biotechnology progress**, v. 22, n. 2, p. 577-583, 2006.

CHAUDHURI, R. G.; PARIA, S. Core/shell nanoparticles: classes, properties, synthesis mechanisms, characterization, and applications. **Chemical Reviews**, v. 112, n. 4, p. 2373-433, 2012.

CHAVES, M. H. *et al.* Total phenolics, antioxidant activity and chemical constituents from extracts of *Anacardium occidentale* L., Anacardiaceae. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 20, n. 1, p. 106-112, 2010.

CHIDAMBARAM J.; SARITHA, K.; MAHESWARI, R.; MUZAMMIL, M. S. Efficacy of Green Synthesis of Silver Nanoparticles using Flowers of *Calendula officinalis*. **Chemical Science Transactions**. v. 3 n. 2, p. 773-777, 2014.

CHU, S.-Z. *et al.* Fabrication of ideally ordered nanoporous alumina films and integrated alumina nanotubule arrays by high-field anodization. **Advanced materials**, v. 17, n. 17, p. 2115-2119, 2005.

Comissão Europeia. **Recommendation on the definition of nanomaterial**. 2011. Disponível em: [https://ec.europa.eu/environment/chemicals/nanotech/faq/what-is-a-nanomaterial\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/chemicals/nanotech/faq/what-is-a-nanomaterial_en.htm). Acesso em: 18 nov. 2022.

DA COSTA, N. B. *et al.* Obtenção do perfil químico de extratos das folhas do cajueiro (*Anacardium occidentale*) a partir de diferentes solventes. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, p. e40110817473-e40110817473, 2021.

DAI, L.; MAU, A. W. Controlled synthesis and modification of carbon nanotubes and C60: carbon nanostructures for advanced polymeric composite materials. **Advanced Materials**, v. 13, n. 12-13, p. 899-913, 2001.

DANKOVICH, T. A.; GRAY, D. G. Bactericidal paper impregnated with silver nanoparticles for point-of-use water treatment. **Environmental Science & Technology**, v. 45, p. 1992-1998, 2011.

DARE, B. J. *et al.* Evaluation of in vitro antiplasmodial activity of crude extracts of *Azadirachta indica*, *Carica papaya* and *Parquetina nigrescens*. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 18, p. 3698-3703, 2011.

DARWICH, S.; WATSON, S.; JONES, S. W.; CROWTHER, H.; MARTIN, R. A.; DUNCAN, R.; JONES, A. T. Enhanced cell transfection using nanoparticles bearing poly(ethyleneimine) and chondroitin sulfate as cationic and anionic moieties. **Journal of Controlled Release**, v. 149, n. 2, p. 159-167, 2011.

DAVIS L, S. W. *et al.* The effects of high walnut and cashew nut diets on the antioxidant status of subjects with metabolic syndrome. **European Journal of Nutrition**, v. 46, n. 3, p. 155-164, 2007.

DE FREITAS, Isabel. **Síntese verde para obtenção de nanopartículas de prata a partir de extratos naturais**. 2019. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

DE LA PEÑA, J. L. Rodríguez-López, e R. G. Palacios-Gómez. "Applications of Infrared Spectroscopy in Biochemistry, Biology, and Medicine." *Infrared Spectroscopy - Materials Science*, **Engineering and Technology**. IntechOpen, 2012.

DE SOUZA, T. A. J.; SOUZA, L. R. R.; FRANCHI, L. P. Silver nanoparticles: An integrated view of green synthesis methods, transformation in the environment, and toxicity. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 171, p. 691-700, 2019.

DEBNATH, S.; MITRA, S. Top-down and bottom-up approaches in the synthesis of metallic nanoparticles: a comprehensive review. **Arabian Journal of Chemistry**, [S.l.], v. 11, n. 8, p. 1165-1188, 2018.

DUBEY, M.; BHADAURIA, S.; KUSHWAH, B. S. Green synthesis of nanosilver particles from extract of *Eucalyptus hibrida* (safeda) leaf. **Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures**, v. 4, n. 3, p. 537-543, 2009.

DURÁN-ÁLVAREZ, A. *et al.* Green synthesis of silver nanoparticles using *Azadirachta indica* textract and their antibacterial activity. **Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology**, v. 9, n. 2, 2018.

DWIVEDI, A. D.; GOPAL, K. Plant-mediated biosynthesis of silver and gold nanoparticles. **Journal of Biomedicine and Nanotechnology**, v. 7, n. 1, p. 163-164, 2011.

EL-RAFIE, M. H.; EL-RAFIE, S. M.; ZAHRAN, M. K. Novel eco-friendly approach for synthesis of silver nanoparticles using seaweed (*Cystoseira trinodis*) extract. **Journal of Nanostructure in Chemistry**, 3(1), 69-76, 2013.

ELIAS, S. T. *et al.* Enhanced biogenic synthesis of silver nanoparticles using Punica granatum peel and their application in the degradation of azo dyes. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 138, p. 342-351, 2014.

ETHIRAJ, A. S. *et al.* Biosynthesis of silver nanoparticles using Alstonia scholaris leaf extract and their antimicrobial activity. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 32, p. 67-72, 2016.

EUSTIS, S.; EL-SAYED, M. A. Why gold nanoparticles are more precious than pretty gold: Noble metal surface plasmon resonance and its enhancement of the radiative and nonradiative properties of nanocrystals of different shapes. **Chemical Society Reviews**, v. 35, n. 3, p. 209-217, 2006.

FAROOQUI, M. A. *et al.* Extraction of silver nanoparticles from the leaf extracts of *Clerodendrum inerme*. **Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures**, v. 5, n. 1, p. 43-49, 2010.

FERNANDES, Rodrigo Sinato. NANOQUÍMICA E NANOMATERIAIS. Propriedades de nanocompostos e principais aplicações da medicina. **Olimpíada de Química – OQSP**, São Paulo, p. 1-5, jan. 2019.

FERREIRA, Virgínia Clara Teixeira. **Polímeros condutores e monocamadas auto-montadas na concepção de novas arquiteturas contendo nanopartículas metálicas: preparação, caracterização e desempenho para electrocatálise e biosensores**. 2011. 221f. Tese (Doutorado em Química) – Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal, 2011.

FIGUEIRA, Ciro Siqueira. **Biossíntese e caracterização de nanopartículas de ouro produzidas com extrato aquoso de folhas de *Anacardium occidentale* L.** 2018. 49 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Federal do Ceará – UFC/Campus Sobral, Sobral, 2018.

FRANÇA, F. *et al.* Evaluation of the effect of *Azadirachta indica* A. Juss. (Meliaceae) against *Leishmania amazonensis* in vitro. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 76, n. 1, p. 5-10, 1996.



FRÉCHET, J. M. J. Dendrimers and supramolecular chemistry. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 99, n. 8, p. 4782-4787, 2011.

FREITAS, D. G. **Nanopartículas: Preparação, Propriedades e Aplicações em Biotecnologia e Nanomedicina**. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2019.

FUENTES-GARCÍA, J. A. *et al.* Effect of ultrasonic irradiation power on sonochemical synthesis of gold nanoparticles. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 70, p. 105274, 2021.

FUJITA, G. T. BDRA-26-Caju, intenso caju. **Revista Terra da Gente**. Janeiro 2008.

GADDAM, S. A. *et al.* Biogenic synthesis, characterization and antimicrobial activity of silver nanoparticles using aqueous extract of *Mahonia leschenaultii* and *Solanum trilobatum* leaves. **Journal of Nanoscience and Technology**, v. 1, n. 2, p. 105-109, 2015.

GADE, A. *et al.* Biofabrication of silver nanoparticles by *Opuntia ficus-indica*: in vitro antibacterial activity and study of the mechanism involved in the synthesis. **Current Nanoscience**, v. 6, n. 4, p. 370-375, 2010.

GARCIA, Marcus Vinicius Dias. **Síntese, caracterização e estabilização de nanopartículas de prata para aplicações bactericidas em têxteis**. 2011. 86f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

GAWALI, S. B. *et al.* Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Trigonella foenum-graecum* Seed Extract and Their Characterization. **Journal of Cluster Science**, v. 30, n. 5, p. 1185-1194, 2019.

GEORGIEV, P. *et al.* Implementing atomic force microscopy (AFM) for studying kinetics of gold nanoparticle's growth. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 434, p. 154-163, 2013.

GORUP, Luiz Fernando. **Hybrid materials obtained in the adsorption of metal nanoparticles on surface of micellar fungi by effect biotemplate**. 2014. 85 f. Tese (Doutorado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

GOVINDARAJU, K. *et al.* Biogenic silver nanoparticles by *Solanum torvum* and their promising antimicrobial activity. **Journal of Biopesticides**, v. 3, n. 1, p. 394-399, 2010.

GUO, P.; WEI, C. Quantum dots for robust and simple assays using single particles in nanodevices. **Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine**, v. 1, n. 2, p. 122-124, 2005.

GURUNATHAN, S.; KALISHWARALAL, K.; VENSKUMAR, M. R.; ROBERTO, A. J.; BARNABAS, G. Multi-functional properties of a few noble metal nanoparticles synthesized using plant extract. **Nanoscale Research Letters**, v. 4, n. 7, p. 1351-1361, 2009.

GUZMÁN, F.; GONZÁLEZ, C.; BARBOSA, S., HERRERA, L.; GODÍNEZ, L. A. Synthesis and characterization of Ag nanoparticles, produced in a continuous-flow tubular microreactor using polyol reduction. **Journal of nanoparticle research**, v. 10, n. 5, p. 823-829, 2008.

- HANG, J. *et al.* Electrostatic and electrosteric stabilization of aqueous suspensions of barite nanoparticles. **Powder Technology**, v. 192, n. 2, p. 166-170, 2009.
- HAVERKAMP, R. G.; MARSHALL, A. T. The mechanism of metal nanoparticle formation in plants: limits on accumulation. **Journal of Nanoparticle Research**, v. 14, p. 902, 2012.
- HE, H.; ZHANG, S.; PENG, J.; WANG, X. Optical properties of silver nanoparticles. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 244, n. 2, p. 418-421, 2001.
- HERBST, M. H.; MACÊDO, Maria I. F.; ROCCO, A. M. Tecnologia dos nanotubos de carbono: tendências e perspectivas de uma área multidisciplinar. **Química Nova**, v. 27, n. 6, p. 986-992, 2004.
- HORN, D.; RIEGER, J. Organic nanoparticles in the aqueous phase—theory, experiment, and use. **Angewandte Chemie International Edition**, v. 40, n. 23, p. 4330-4361, 2001.
- HOSSAIN, M. A.; SAHA, S.; UDDIN, M. S. A review on green synthesis of silver nanoparticles and their applications. **Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences**, v. 10, n. 1, p. 423-434, 2017.
- HUANG, J. *et al.* Biosynthesis of silver and gold nanoparticles by novel sundried *Cinnamomum camphora* leaf. **Nanotechnology**, v. 18, n. 10, p. 105104, 2007.
- IRAVANI, S. *et al.* Synthesis of silver nanoparticles: chemical, physical and biological methods. **Research in pharmaceutical sciences**, v. 9, n. 6, p. 385, 2014.
- IRAVANI, S. Green synthesis of metal nanoparticles using plants. **Green Chemistry**, v. 13, n. 10, p. 2638-2650, 2011.
- JAIN, P. K.; HUANG, X.; EL-SAYED, I. H.; EL-SAYED, M. A. Noble metals on the nanoscale: optical and photothermal properties and some applications in imaging, sensing, biology, and medicine. **Accounts of Chemical Research**, v. 41, n. 12, p. 1578-1586, 2008.
- JAYASEELAN, C.; RAHUMAN, A. A. Acaricidal efficacy of synthesized silver nanoparticles using aqueous leaf extract of *Ocimum canum* against *Hyalomma anatolicum* and *Hyalomma marginatum isaaci* (Acari: Ixodidae). **Parasitology Research**, v. 111, n. 3, p. 1369-1378, 2012.
- JOHN, P. J. *et al.* Green synthesis of silver nanoparticles using *Moringa oleifera* leaf extract and their antibacterial activity. **Journal of Microbiology and Biotechnology Research**, v. 6, n. 4, p. 14-21, 2016.
- KARUPPIAH, M.; RAJMOHAN, R. Green synthesis of silver nanoparticles using *Ixora coccinea* leaves extract. **Materials Letters**, v. 97, p. 141-143, 2013.
- KATHIRAVAN, D.; SINGH, R. P.; MISRA, K. Biosynthesis of silver nanoparticles using *Croton sparsiflorus* morong leaf extract and their antibacterial activity. **Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology**, v. 6, n. 4, p. 045011, 2015.

- KHALIL, M. M. H. *et al.* Green synthesis of silver nanoparticles using olive leaf extract and its antibacterial activity. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 7, n. 6, p. 1131-1139, 2014.
- KOZUBEK, A. *et al.* Natural amphiphilic phenols as bioactive compounds. **Cellular and Molecular Biology Letters**, v. 6, n. 2A, p. 351-355, 2001.
- KUBO, I. *et al.* Antioxidant activity of anacardic acids. **Food Chemistry**, v. 99, n. 3, p. 555-562, 2006.
- KULKARNI, A. P. *et al.* Phytofabrication of silver nanoparticles from a novel plant source and its application. **Int J Biol Pharm Res**, v. 3, n. 3, p. 417-21, 2012.
- KULKARNI, S. K.; KADAM, S. S. **Nanotechnology: Principles and Applications**. 3 ed. New York: Springer, 2015. 428 p.
- 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.
- KUMAR, V.; YADAV, S. C.; YADAV, S. K. *Syzygium cumini* leaf and seed extract mediated biosynthesis of silver nanoparticles and their characterization. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 85, n. 10, p. 1301-1309, 2010.
- KUMAR, V.; SINGH, D. P.; RAWAT, M. S. M.; GUPTA, R. Green synthesis of silver nanoparticles using *Andrographis paniculata* extract and their antibacterial activity. **International Journal of Nanomaterials and Biostructures**, v. 2, n. 2, p. 1-7, 2012.
- KUMAR, V.; CHATTERJEE, S.; NAHAR, P.; MISRA, S. K. Nanoparticles in modern medicine: state of the art and future challenges. **International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research**, v. 6, n. 6, p. 2242-2252, 2015
- KUMAR, V.; SINGH, D. P.; RAWAT, M. S. M.; GUPTA, R. Nanoparticles: an insight into preparation, characterization and drug delivery applications. **Drug Delivery**, v. 25, n. 1, p. 1425-1440, 2018.
- LAMER, V. K.; DINEGAR, R. H. Theory, production and mechanism of formation of mono-dispersed hydrosols. **Journal of the American Chemical Society**, v. 72, n. 11, p. 4847-4854, 1950.
- LARA, Everaldo Batista de; SOUZA, Luiza Teixeira; CUNHA, Otávio Ruan da; MAIA, Thayna Karoliny da; BELEGANTE, Thaynara Laurentino. **Síntese verde e caracterização de nanopartículas de prata utilizando extratos de plantas**. 2017. 26 f. Projeto de Iniciação Científica Integrada (PIC-QUÍMI) - Curso de Curso Técnico em Química Integrado Ao Ensino Médio, Instituto Federal Catarinense – *Campus* Araquari, Araquari, 2017.
- LARA, H. H. *et al.* Bactericidal effect of silver nanoparticles against multidrug-resistant bacteria. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 35, n. 3, p. 46, 2019.
- LEE, S.; KIM, D.; KIM, S.; LEE, D. Facet-selective adsorption of polyelectrolytes on silver nanocrystals. **Journal of the American Chemical Society**, v. 133, n. 3, p. 667-673, 2011.

LEITE, Joana Gonçalves. **Aplicação das Técnicas de Espectroscopia FTIR e de Micro Espectroscopia Confocal Raman à Preservação do Patrimônio**. 2008. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2008.

LENG, Y.; ZHANG, J. Ostwald ripening: A review. **Journal of Materials Science**, v. 52, n. 21, p. 12365-12381, 2017.

LEUNG, A. Y.; WONG, A. S.; XIE, Y. A silver lining of seaweed: excessive intake of seaweed impairs the growth of adolescent rats but offers protection against iodine-and ovariectomy-induced bone loss in adult rats. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 58, n. 14, p. 8196-8204, 2010.

LIMA, M. A. S. *et al.* Compostos secundários presentes na casca de *Brosimum gaudichaudii* Trécul. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 718-721, 2006.

LIMA, M. A. S. *et al.* *Anacardium occidentale* L. (Anacardiaceae): a phytochemical and pharmacological review. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 27, n. 5, p. 743-763, 2017.

LOO, Y. Y.; CHIENG, B. W.; NAN, N. L. G.; YUSOF, F.; AHMAD, R.; ABDULLAH, M. O. Green synthesis of silver nanoparticles using *Camellia sinensis* and its antimicrobial properties. **Journal of Nanomaterials**, v. 2012, p. 1-8, 2012.

LOOS, M. R. **Nanociência e nanotecnologia: Compósitos Termofixos Reforçados com Nanotubos de Carbono**. 1 ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2014, 300 p.

MAITY, D.; AGRAWAL, D. C. Synthesis of nanoparticles by sol-gel method: top-down and bottom-up approaches. In: **Proceedings of the 3rd Annual International Conference on Materials Science and Engineering (ICMSE2016)**, Singapore, 29-31 August 2016. CRC Press, p. 27-32, 2016.

MAKAROV, V. V. *et al.* "Green" nanotechnologies: synthesis of metal nanoparticles using plants. **Acta Naturae (англоязычная версия)**, v. 6, n. 1 (20), 2014.

MARIN, Eder Prodossimo. **Espectroscopia de infravermelho e suas aplicações**. 2013. 73 f. Monografia (Bacharelado em Física) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2013.

MCGILLICUDDY, E. *et al.* Silver nanoparticles in the environment: sources, detection and ecotoxicology. **Science of the Total Environment**, v. 575, p. 231-246, 2017.

MELO, Arquimedes Fernandes Monteiro. **Estudo galênico de formas plásticas (gel e creme) do extrato bruto de *Anacardium occidentale* L.** 2002. 105f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, 2002.

MESQUITA, R. B. de. **Nanopartículas de prata (AgNPs) biossintetizadas por extratos vegetais e suas propriedades antimicrobianas**. 2016. 70 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", São José do Rio Preto, 2016.

- MITTAL, A. K.; CHISTI, Y.; BANERJEE, U. C. Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts. **Biotechnology advances**, v. 31, n. 2, p. 346-356, 2013.
- MODY, V.V. *et al.* Ecofriendly green synthesis of silver nanoparticles from tea waste and their antimicrobial efficacy. **Adv. Powder Technol.**, v. 22, p. 162-168, 2011.
- MOGHIMI, S. M.; HUNTER, A. C.; MURRAY, J. C. Nanomedicine: current status and future prospects. **The FASEB journal**, v. 19, n. 3, p. 311-330, 2005.
- MONTEIRO, D. R. *et al.* The growing importance of materials that prevent microbial adhesion: antimicrobial effect of medical devices containing silver. **International Journal of Antimicrobial Agents**, v. 52, n.6, p.753–765, 2018.
- MORTON, Julia Frances *et al.* **Fruits of warm climates**. JF Morton, 1987.
- MUDE, N.; MULABA-BAFUBIANDI, A. F.; MISHRA, A. K.; Sonochemical synthesis of silver nanoparticles using the leaf extract from *Annona muricata*. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 19, p. 29-37, 2012.
- MYROSHNYCHENKO, V. *et al.*, Modelling the optical response of gold nanoparticles. **Chemical Society Reviews**, v. 37, n. 9, p.1792-1805, 2008.
- NABIKHAN, A. *et al.* Synthesis of antimicrobial silver nanoparticles by callus and leaf extracts from saltmarsh plant, *Sesuvium portulacastrum* L. **Colloids and surfaces B: Biointerfaces**, v. 79, n. 2, p. 488-493, 2010.
- NADZIRAH, N. M. H. *et al.* Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Piper nigrum* Extract and Their Antibacterial Activity. **Advanced Materials Research**, v. 1123, p. 113-118, 2015.
- NAGARAJAN, S.; ARUMUGAM, V. R.; RAJA, S.; PRABHU, N. M.; MAHALINGAM, S. Synthesis of silver nanoparticles using *Carica papaya* leaf extract and its antibacterial activity. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 7, n. 6, p. 1131-1139, dez. 2014.
- NEGREIROS, A. O. A. **Desenvolvimento e caracterização de nanocápsulas contendo alcaloides de *Psychotria* spp. e avaliação da atividade antimalárica in vitro**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.
- NEVES, B. R. A.; VILELA, J. M. C.; ANDRADE, M. S. Scanning probe microscopy: an introduction. **Cerâmica**, v. 44, n. 290, p. 212-219, 1998.
- NOGUEIRA, A. F. *et al.* Silver nanoparticles: A brief review of cytotoxicity and genotoxicity of chemically and biogenically synthesized nanoparticles. **Journal of Applied Toxicology**, v. 39, n. 8, p. 1112-1125, 2019.
- NOVOA, A. J. V. *et al.* Avaliação da atividade antioxidante dos compostos fenólicos naturalmente presentes em subprodutos do pseudofruto de caju (*Anacardium occidentale* L.). **Ciênc. Tecnol. Aliment**, v. 27, n. 4, p. 902-908, 2007.

- OFUSORI, D. A. *et al.* Chemical composition of cashew (*Anacardium occidentale*) nut oil. **African Journal of Biotechnology**, v. 7, n. 18, p. 3236-3238, 2008.
- OLIVEIRA, P. R. C. *et al.* Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Psidium guajava* Extract and Their Antibacterial Activity. **Materials Science and Engineering: C**, v. 77, p. 1044-1050, 2017.
- PADIL, N.; ČERNÍK, M. S. Green Synthesis of Copper and Silver Nanoparticles Using Ascorbic Acid and Chitosan for Antimicrobial Applications. **Materials Science and Engineering: C**, v. 53, p. 282-288, 2015.
- PARAMASHIVAPPA, R. *et al.* Novel method for isolation of major phenolic constituents from cashew (*Anacardium occidentale* L.) nut shell liquid. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, n. 5, p. 2548-2551, 2001.
- PEREIRA, L. F. R. *et al.* Health benefits of cashew (*Anacardium occidentale* L.). **Advances in Food and Nutrition Research**, v. 81, p. 63-78, 2017.
- PERNAS-PLEITE, C. *et al.* Green extracellular synthesis of silver nanoparticles by *Pseudomonas alloputida*, their growth and biofilm-formation inhibitory activities and synergic behavior with three classical antibiotics. **Molecules**, v. 27, n. 21, p. 7589, 2022.
- PETINARI, R. A.; TARSITANO, M. A. A. Cashew (*Anacardium occidentale* L.) commercialization in northwest of São Paulo state. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 3, p. 697-699, 2002.
- PHILIP, D. Green synthesis of gold and silver nanoparticles using Hibiscus rosa sinensis. **Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures**, v. 42, n. 5, p. 1417-1424, 2010.
- PHILIP, D. *et al.* Biosynthesis of Au, Ag and Au–Ag nanoparticles using edible mushroom extract. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 93, p. 374-381, 2012.
- PILENI, M. P. Nanoparticles and the future of materials science. **Pure and Applied Chemistry**, v. 72, n. 7, p. 1373-1382, 2000.
- PING, R. *et al.* Green synthesis of silver nanoparticles using Ganoderma neo-japonicum Imazeki: a potential cytotoxic agent against breast cancer cells. **International Journal of Nanomedicine**, v. 13, p. 495–509, 2018.
- PINHEIRO, Analia Maria. **Desenvolvimento de néctares mistos à base de caju (*Anacardium occidentale* L) e açaí (*Euterpe oleracea* Mart.)**. 2008. 75 f.: Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.
- PITARKE, J. M.; PÉREZ-JIMÉNEZ, A. J.; ECHENIQUE, P. M. Theory of surface plasmons and surface-plasmon polaritons. **Reports on Progress in Physics**, v. 70, n. 1, p. 1-87, 2005.
- PRESS, N. J.; JOLY, E.; ERTL, P. Natural product drug delivery: A special challenge? **Progress in medicinal chemistry**, v. 58, p. 157-187, 2019.

- PROENÇA, M. P. *et al.* Exchange bias, training effect, and bimodal distribution of blocking temperatures in electrodeposited core-shell nanotubes. **Phys. Rev. B**, v. 87, n. 13, p. 1-7, 2013.
- RAI, M. *et al.* Mycogenic metal nanoparticles: progress and applications. **Biotechnology Letters**, v. 36, n. 5, p. 871-882, 2014.
- RAJA, K.; SARAVANAKUMAR, A.; VIJAYAKUMAR, R. Efficient synthesis of silver nanoparticles from *Prosopis juliflora* leaf extract and its antimicrobial activity using sewage. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 97, p. 490-494, 2012.
- RAJAMANICKAM, N.; RAVICHANDRAN, K.; THIYAGARAJAN, P.; CHITRA, K. Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Lemon Extract and Its Application for Antimicrobial Activity. **BioNanoScience**, v. 8, n. 1, p. 13-20, 2018.
- RAJESHKUMAR, S. *et al.* Green synthesis of silver nanoparticles using *Borassus flabellifer* water extract and their anti-bacterial activity. **Materials Science and Engineering:C**, v. 70, p. 939-944, 2017.
- RAO, Y.; TANG, R. A facile green method for the synthesis of silver nanoparticles with controllable sizes using aqueous extract of *Terminalia catappa* leaf. **Applied Nanoscience**, v. 7, n. 1-2, p. 29-35, 2017.
- RATNER, M. A brief history of molecular electronics. **Nature nanotechnology**, v. 8, n. 6, p. 378-381, 2013.
- RIBEIRO, Nara Calaça. **Caracterização química e de atividade biológica de *Anacardium microcarpum* Ducke e *Anacardium occidentale* L. (ANACARDIACEAE) no estado do Piauí, Brasil.** 2016. 64 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Federal do Piauí, Parnaíba, 2016.
- RODRIGUES, I. A. *et al.* Plantas medicinais de uso popular no tratamento de doenças dermatológicas na cidade de João Pessoa - PB. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 17, n. 1, p. 92-101, 2007.
- RONCONI, C. M. Dendrímeros: uma nova classe de polímeros para aplicações biomédicas. **Química Nova**, v. 31, n. 4, p. 954-959, 2008.
- ROSA, C. L. *et al.* Construção de espectrofotômetro visível para fins didáticos. **Journal of Exact Science**, v. 21, n. 1, p. 20-25, 2019.
- ROUKES, M. L. Nanoelectromechanical systems. **Physics today**, v. 61, n. 7, p. 28-34, 2008.
- ROY, K.; SARKER, D.; CHATTERJEE, A.; YUSUF, M.; ALI, M. Chemical and biological studies on a medicinal plant *Ocimum tenuiflorum* Linn. **Advanced Pharmaceutical Bulletin**, v. 2, n. 1, p. 37-40, 2012.



RUNNIE, I. *et al.* Vasorelaxation induced by common edible tropical plant extracts in isolated rat aorta and mesenteric vascular bed. **Journal of ethnopharmacology**, v. 92, n. 2, p. 311-316, 2004.

SADEGHI, B.; GHOLAMHOSEINPOOR, F. A Study on Stability and Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Ziziphora tenuior* (Zt) Extract at Room Temperature. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 134, p. 310-315, 2015.

SADEGHI, B.; MOHAMMADZADEH, M.; BABAKHANI, B. Green synthesis of gold nanoparticles using *Stevia rebaudiana* leaf extracts: characterization and their stability. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 148, p. 101-106, 2015.

SAHU, N. *et al.* Biosynthesis of silver nanoparticles using fungi and their antibacterial activity. **Journal of Biomedical Nanotechnology**, v. 10, p. 118-126, 2014.

SANCHO, R.; CALZADA, F.; ARANDA, E. *et al.* Hypotensive, vasorelaxant and renal blood flow effects of the methanol extract from *Anacardium occidentale* Linn. (Anacardiaceae) in rats. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 109, n. 3, p. 462-467, 2007.

SARKAR, A.; KAPOOR, S.; MUKHERJEE, T. Preparation, characterization, and surface modification of silver nanoparticles in formamide. **The Journal of Physical Chemistry B**, v. 109, n. 16, p. 7698-7704, 2005.

SANKAR, R.; MANIKANDAN, B.; MALARVIZHI, G. C.; FATHIMA, T. Bio-reduction of silver ions into nanoparticles using plant extracts and their antimicrobial activities: a review. **Journal of Pharmaceutical Sciences and Research**, v. 9, n. 3, p. 207-214, 2017.

SANTOS, Ricardo Pires dos. **Aproveitamento de resíduos e microscopia de força atômica em materiais biológicos**. 2007. 309 f. Tese (Doutorado) - Curso de Física, Departamento de Física, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

SANTOS, A. O. *et al.* Estudo fitoquímico de folhas de *Anacardium occidentale* L. (Anacardiaceae). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 21, n. 2, p. 304-308, 2011.

SATHISHKUMAR, T. *et al.* Phytochemical analysis and in vitro antioxidant activity of *Anacardium occidentale* Linn. **International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research**, v. 1, n. 8, p. 357-363, 2010.

SAXENA, A.; TRIPATHI, R. M.; SINGH, R. P. Biological synthesis of silver nanoparticles by using onion (*Allium cepa*) extract and their antibacterial activity. **Dig J Nanomater Bios**, v. 5, n. 2, p. 427-432, 2010.

SCURO, Valeska Marcolin **Síntese fito-assistida de nanopartículas de prata utilizando extrato folhar de capim-Annoni (*Eragrostis plana* Nees) e sua aplicação para redução catalítica de corantes tóxicos**. 2021. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais)- Universidade Federal do Pampa, Rio Grande do Sul, 2021.

SHAMAILA, S. *et al.*, Advancements in nanoparticle fabrication by hazard free eco-friendly green routes. **Applied materialstoday**, v. 5, p. 150-199, 2016.

SHANKAR, S. S. *et al.* Bioreduction of chloroaurate ions by geranium leaves and its endophytic fungus yields gold nanoparticles of different shapes. **Journal of Materials Chemistry**, v. 13, n. 7, p. 1822-1826, 2003.

SHARMA, V. K.; YNGARD, R. A.; LIN, Y. Silver nanoparticles: green synthesis and their antimicrobial activities. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 145, p. 83-96, 2009.

SHARMA, Y. C. **Infrared Spectroscopy: Basic Principles and Applications**. Wiley Analytical Science, 2021.

SHENY, D. S.; MATHEW, J.; PHILIP, D. Phytosynthesis of Au, Ag and Au–Ag bimetallic nanoparticles using aqueous extract and dried leaf of *Anacardium occidentale*. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 79, n. 1, p. 254-262, 2011.

SIDDIQI, K. S.; HUSEN, A. Fabrication of metal nanoparticles from fungi and metal salts: scope and application. **Nanoscale research letters**, v. 11, n. 1, p. 98, 2016.

ŠILEIKAITĖ, A. *et al.* Characterization of silver nanoparticles synthesized by chemical reduction method. **Materials Science**, v. 12, n. 3, p.257-261, 2006.

SILVA, J. G. da *et al.* Antimicrobial activity of the hydroalcoholic extract of *Anacardium occidentale* Linn. against multi-drug resistant strains of *Staphylococcus aureus*. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 17, n. 4, p. 572-577, 2007.

SILVA, L. P. Nanopartículas verdes: Plantas do cerrado são usadas na produção de nanossistemas para controle de patógenos e pragas da agricultura, entre outras aplicações. **Pesquisa FAPESP**, São Paulo (SP), edição 223, 70-73p, 2014.

SILVEIRA, Marco Antônio. **Desenvolvimento de um novo método para a síntese de nanopartículas de níquel**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

SINGH, P.; SRIVASTAVA, V. Contribution of plant materials in green synthesis of nanoparticles: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 8, n. 4, p. 325-342, 2010.

SINGH, A. K. *et al.* Biosynthesis of gold and silver nanoparticles by natural precursor clove and their functionalization with amine group. **Journal of Nanoparticle Research**, v. 12, p. 1667-1675, 2010.

SINGH, H. B. *et al.* Chemistry, antioxidant and antimicrobial potential of cashew (*Anacardium occidentale*) nut shell liquid. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 4, p. 721-727, 2014.

SINGH, P.; KIM, Y. J.; ZHANG, D.; YANG, D. C. Biological synthesis of nanoparticles from plants and microorganisms. **Trends in Biotechnology**, v. 34, n. 7, p. 588-599, 2016.

SINGH, V.; TIWARI, M.; TIWARI, V. Phytosynthesis of nanoparticles: concept, controversy and application. **Journal of Nanostructure in Chemistry**, v. 7, n. 3, p. 213-222, 2017.

SOKENG, S. D. *et al.* The ethnobotany of the Limbe Botanic Garden (Cameroon) with

- special reference to its wild medicinal plant resources. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 1, n. 2, p. 022-029, 2007.
- SONG, J. Y.; KIM, B. S. Rapid biological synthesis of silver nanoparticles using plant leaf extracts. **Bioprocess Biosyst Eng**, v. 37, n. 9, p. 1749-1752, 2014.
- SOUSA, D. L. *et al.* Cashew apple juice as a source of bioactive compounds for the development of functional foods. **Food Research International**, v. 97, p. 137-145, 2017.
- SOUZA, A. A. T.; MARIA DO SOCORRO, V.; HIGINO, J. S. Atividade antimicrobiana in vitro do extrato de *Anacardium occidentale* L. sobre espécies de Streptococcus. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 16, n. 2, p. 202-205, 2006.
- SRIVASTAVA, G.; CHOPRA, S.; VERMA, A.; SHRIVASTAVA, S.; SINGH, M. Production and characterization of silver nanoparticles using vegetable waste: A novel approach towards waste utilization. **Journal of Cleaner Production**, v. 232, p. 1228-1237, 2019.
- SUHAIMI, A. S.; AYOUB, M. R. Surface modification of silver nanoparticles for biomedical applications. **Beilstein Journal of Nanotechnology**, [S.l.], v. 8, p. 1495-1512, 2017.
- SUI, Y. *et al.* Preparation of silver nanoparticles by chemical reduction method. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 289, n. 1-3, p. 55-59, 2006.
- SURESH, S. S. *et al.* Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Ocimum sanctum* Leaf Extract and Its Antibacterial Activity. **Journal of Nanomedicine Research**, v. 2, n. 2, p. 1-5, 2015.
- THAKKAR, K. N. *et al.* Biological synthesis of metallic nanoparticles. **Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine**, v. 6, n. 2, p. 257-262, 2010.
- THURMAN, J. J. Introduction to nanoparticles. In: THURMAN, J. J. (Ed.). **Introduction to Nanoscience**. New York: Springer, p. 43-69, 2007.
- TRABULSI FILHO, F. A. *et al.* Estudo de padronização de extratos de *Anacardium occidentale* L. na pesquisa e desenvolvimento de fitoterápicos giardicidas. **Cadernos de Pesquisa**, 2013.
- VALLILO, M. I. *et al.* Chemical composition and biological activities of cashew tree (*Anacardium occidentale* L.) products. **Journal of Food Science and Technology**, v. 54, n. 2, p. 214-225, 2017.
- VANDERLINDE, F. A. *et al.* Evaluation of the antinociceptive and anti-inflammatory effects of the acetone extract from *Anacardium occidentale* L. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 45, n. 3, p. 437-442, 2009.
- VÁZQUEZ, M. **Magnetic Nano-and Microwires**, vol. 1. Woodhead & Elsevier, 2015.
- VEERASAMY, R. XAVIER, T. F. M.; ANBALAGAN, N.; SHANMUGAM, A.; KATHE, A. A.; GUNASEKARAN, P. Biosynthesis of silver nanoparticles using mangosteen leaf extract and evaluation of their antimicrobial activities. **Journal of Saudi Chemical Society**, v. 15, n.

2, p. 113-120, 2011.

VELGOSOVÁ, O.; MRAŽÍKOVÁ, A.; MARCINČÁKOVÁ, R. Influence of pH on green synthesis of Ag nanoparticles. **Materials letters**, v. 180, p. 336-339, 2016.

VIANA, F. A. C. *et al.* Biossíntese de nanopartículas de prata utilizando extrato aquoso de plantas medicinais: uma revisão. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 3, p. 17940-17956, 2022.

VILCHIS-NESTOR, A. R. *et al.* Solventless synthesis and optical properties of Au and Ag nanoparticles using *Camellia sinensis* extract. **Materials Letters**, v. 62, n. 17-18, p. 3103-3105, 2008.

WONG, Ho Lun *et al.* Chemotherapy with anticancer drugs encapsulated in solid lipid nanoparticles. **Advanced drug delivery reviews**, v. 59, n. 6, p. 491-504, 2007.

XU, W. *et al.* Size-controlled synthesis of silver nanoparticles via a high energy ball milling process and investigation of their antibacterial activity. **Journal of Materials Science**, v. 54, n. 6, p. 4976-4988, 2019.

YEH, H.; HO, Y.; WANG, T. Quantum dot-mediated biosensing assays for specific nucleic acid detection. **Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine**, v. 1, n. 2, p. 115-121, 2005.

YEHIA, R. S. *et al.* Green synthesis of silver nanoparticles using plant extracts and their applications: A review. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 273, p. 102037, 2020.

ZHANG, X. *et al.* The preparation and biomedical applications of functionalized graphene oxide. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 105, p. 275-292, 2016.

ZHANG, Y. *et al.* Green Synthesis of AgNPs Using *Cinnamomum camphora* Leaf Extract and Their Antimicrobial Activity. **RSC Advances**, v. 7, p. 26194-26201, 2017.

ZHU, Cheng. **Cellular and Molecular Biomechanics Laboratory**. 2009.

ZHU, H. *et al.* Green synthesis of silver nanoparticles using plant extracts and their biocompatibility and biomedical applications. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 306, p. 1-24, 2021.