



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE
E BIOTECNOLOGIA - REDE BIONORTE**



**BIOSSÍNTESE DE NANOPARTICULAS DE PRATA PARA
TRATAMENTO DE COLMOS DE BAMBU DO GÊNERO *Guadua***

SEBASTIÃO FERNANDO FERREIRA LIMA

Rio Branco – AC

2024

SEBASTIÃO FERNANDO FERREIRA LIMA

**BIOSSÍNTESE DE NANOPARTICULAS DE PRATA PARA
TRATAMENTO DE COLMOS DE BAMBU DO GÊNERO *Guadua***

Tese de doutorado apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia - Rede BIONORTE, na Universidade Federal do Acre - UFAC, como requisito para a obtenção do Título de Doutor em Biodiversidade e Biotecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Anselmo Fortunato Ruiz Rodriguez

Co-orientador: Prof. Dr. Fernando Sérgio Escócio Drummond Viana de Faria

Rio Branco – AC

2024

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

- L732b Lima, Sebastião Fernando Ferreira, 1971 -
Biossíntese de nanopartículas de prata para tratamento de colmos de bambu do gênero *Guadua*; orientador: Prof. Dr. Anselmo Fortunato Ruiz Rodriguez e coorientador: Prof. Dr. Fernando Sérgio Escócio Drummond Viana de Faria. – 2024.
72 f.: il.; 30 cm.
- Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-Graduação em Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Rede BIONORTE, Rio Branco, 2024.
Inclui referências bibliográficas e anexos.
1. Síntese verde. 2. Biotecnologia. 3. Nanopartículas de prata. 4. *Guadua*. I. Rodriguez, Anselmo Fortunato Ruiz. (orientador). II. Faria, Fernando Sérgio Escócio Drummond Viana de. (coorientador). III. Título.

CDD: 660

Bibliotecário: Uéliton Nascimento Torres CRB-11º/1074.

SEBASTIÃO FERNANDO FERREIRA LIMA

**BIOSSÍNTESE DE NANOPARTICULAS DE PRATA PARA
TRATAMENTO DE COLMOS DE BAMBU DO GÊNERO *Guadua***

Tese de doutorado apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia - Rede BIONORTE, na Universidade Federal do Acre - UFAC, como requisito para a obtenção do Título de Doutor em Biodiversidade e Biotecnologia.

Aprovada em 24 de janeiro de 2024

Banca examinadora

Prof. Dr. Anselmo Fortunato Ruiz Rodriguez (Orientador)
Universidade Federal do Acre

Prof. Dr. Antônio Alves de Melo Filho
Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Moisés Barbosa de Souza
Universidade Federal do Acre

Prof. Dr. Luis Eduardo Maggi
Universidade Federal do Acre

Prof. Dr. Marcos Silveira
Universidade Federal do Acre

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO

Eu, SEBASTIÃO FERNANDO FERREIRA LIMA, (X) autorizo () não autorizo a publicação da versão final aprovada de minha Tese de Doutorado intitulada **“Biossíntese de nanopartículas de prata para tratamento de colmos de bambu do gênero *Guadua*”** no Portal do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia – Rede BIONORTE (PPG-BIONORTE), bem como no repositório de Teses da CAPES ou junto à biblioteca da Instituição Certificadora.

Local/Data: Rio Branco, AC de 24 de janeiro 2024

SEBASTIÃO FERNANDO FERREIRA LIMA

CPF: 339.675.982-68

RG: 171574 SSP-AC

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho em especial à minha amada esposa Raquel Yury Koyanagui Lima, às minhas filhas Sophia Akemi, Sarah Shie, e ao meu filho Pedro Lucas, por me apoiarem e fazer melhor meus dias ao longo deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço ao meu Deus e Pai pois sem ele nada seria e faria, ao meu orientador, Professor Doutor Anselmo F. Ruiz Rodriguez pela confiança em mim depositada para a execução deste trabalho e pelo encorajamento científico, ao meu Co-orientador Professor Doutor Fernando S. Escócio, pelos ensinamentos científicos e para a vida. Agradeço também, pela oportunidade de conclusão deste trabalho ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia - Rede Bionorte e à Universidade Federal do Acre-UFAC. Aos meus colegas, Katiúscia Shirota Imada e Marcelo Ramon da Silva Nunes do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia - Rede Bionorte pelas ajudas e estímulos durante o tempo em que estivemos, e por compartilharem com alegria o seu tempo acadêmico e científico.

LIMA, Sebastião Fernando Ferreira. **Biossíntese de nanopartículas de prata para tratamento de colmos de bambu do gênero *Guadua***. 2024 67f. Tese (Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia) – Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2024.

RESUMO

Bambu nativo do gênero *Guadua* é uma alternativa de desenvolvimento econômico e sustentável para o Estado do Acre. O presente estudo explorou a síntese verde de nanopartículas de prata (AgNPs) utilizando extratos de folhas e colmos da espécie de bambu *Guadua* sp. nov. como agentes redutores. A caracterização das AgNPs foi realizada por espectroscopia UV-visível, microscopia eletrônica de transmissão (MET) e espalhamento dinâmico de luz (DLS). Os resultados indicaram que os extratos de folhas preferencialmente formaram AgNPs esféricas de tamanho reduzido, enquanto os extratos de colmos resultaram em uma diversidade de formas e tamanhos. Ambos os extratos apresentaram potencial para a síntese de AgNPs, mas as partículas derivadas do extrato de folhas destacaram-se pela regularidade geométrica e menor tamanho, características fundamentais para aplicações em nanotecnologia. Além disso, os estudos de estabilidade revelaram que as AgNPs sintetizadas exibiram distribuição estreita de tamanhos, indicando uniformidade e monodispersão. A aplicação dessas nanopartículas em tratamentos antifúngicos demonstrou resultados promissores, com destaque para a inibição moderada de fungos como *Trichoderma*, *Lasiodiplodia*, *Mucor* e *Fusarium*. O emprego de métodos sustentáveis, como a síntese verde com extratos de bambu, evidenciou a viabilidade de produzir nanopartículas estáveis, sem impactos ambientais significativos. Este estudo não apenas contribui para o avanço da nanotecnologia verde, mas também destaca a promissora aplicação dessas AgNPs como agentes antifúngicos em potencial, abrindo caminho para aplicações sustentáveis em diversos campos.

Palavras-chave: Síntese verde; Biotecnologia; Nanopartículas de prata; *Guadua*.

LIMA, Sebastião Fernando Ferreira. **Biosynthesis of silver nanoparticles for the treatment of bamboo stems of the genus *Guadua*. 2024. 67f.** Thesis (Ph.D. in Biodiversity and Biotechnology) – Federal University of Acre, Rio Branco, 2024.

ABSTRACT

Native bamboo of the genus *Guadua* is an alternative for economic and sustainable development for the State of Acre. The present study explored the green synthesis of silver nanoparticles (AgNPs) using extracts from leaves and stems of the bamboo species *Guadua* sp. nov. as reducing agents. Characterization of the AgNPs was performed through UV-visible spectroscopy, transmission electron microscopy (TEM), and dynamic light scattering (DLS). The results indicated that leaf extracts predominantly formed spherical AgNPs of reduced size, whereas stem extracts resulted in a diversity of shapes and sizes. Both extracts showed potential for AgNP synthesis, but particles derived from leaf extracts stood out for their geometric regularity and smaller size—fundamental characteristics for nanotechnology applications. Furthermore, stability studies revealed that the synthesized AgNPs displayed a narrow size distribution, indicating uniformity and monodispersity. The application of these nanoparticles in antifungal treatments demonstrated promising results, particularly in the moderate inhibition of fungi such as *Trichoderma*, *Lasiodiplodia*, *Mucor*, and *Fusarium*. The use of sustainable methods, such as green synthesis with bamboo extracts, highlighted the feasibility of producing stable nanoparticles without significant environmental impacts. This study not only contributes to the advancement of green nanotechnology but also underscores the promising application of these AgNPs as potential antifungal agents, paving the way for sustainable applications in various fields.

Keywords: Green synthesis; Biotechnology; Silver nanoparticles; *Guadua*.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Espécie de bambu *Guadua* sp. nov. utilizada no presente estudo, coletada na Latitude 9°29'54.00"S e Longitude 67°42'16.19"O.....28
- Figura 2** – Colmos maduros de bambu *Guadua* sp. nov. com idade aproximada de 5 anos, cortados em seções de 4 (quatro) metros cada.....29
- Figura 3** – colmos de bambu *Guadua* sp. nov. cortados em tamanhos de 2 a 3 cm aproximadamente.....29
- Figura 4** - Folhas de bambu *Guadua* sp. nov. após secagem em estufa de circulação forçada na temperatura de 40C° durante sete dias.....30
- Figura 5** – Moinho de Rotor tipo Ciclone TE-651/2, utilizado para triturar a matéria seca de colmos e folhas de bambu *Guadua* sp. nov.....30
- Figura 6** – Matéria seca triturada de colmo de bambu *Guadua* sp. nov. para preparo dos extratos.....31
- Figura 7** – Matéria seca triturada de colmos de bambu *Guadua* sp. nov. submetido à temperatura de 72°C durante 5 minutos para obtenção do extrato.....31
- Figura 8** – Filtragem do extrato.....32
- Figura 9** – Aparelho liofilizador (Liofilizador L 101 da LIOTOP).....32
- Figura 10** – Extrato puro liofilizado de folhas de bambu *Guadua* sp. nov.....33
- Figura 11** – Solução contendo diferentes concentrações do extrato liofilizado de folhas de bambu *Guadua* sp. nov., em diferentes concentrações de Ag. A coloração marrom-escuro, revela a redução dos íons prata e formação das nanopartículas.....33
- Figura 12** - Amostras de bambu *Guadua* sp. nov. distribuídas no Parque Zoobotânico da UFAC no período de dezembro de 2022 a fevereiro de 2023.....37
- Figura 13** - Retirada dos fragmentos (A), lavagem dos fragmentos (B) e secagem dos fragmentos (C) de bambu *Guadua* sp. nov. para cultivos dos fungos.....37
- Figura 14** – Fragmentos de bambu *Guadua* sp. nov. semeados em placas de petri para cultivo dos fungos.....37
- Figura 15** – Presença de esporos de fungos nas placas de petri, após 3 dias (A), após 7 dias (B) e após 30 dias (C) da semeadura de fragmentos de bambu *Guadua* sp. nov.....38
- Figura 16** - Processo de isolamento e purificação dos fungos, para posterior

identificação.....	38
Figura 17 - Observação e identificação microscópica das estruturas de fungos cultivados a partir de fragmentos de colmos de <i>Guadua</i> sp. nov. (A) <i>Trichoderma</i> , (B) <i>Fusarium</i> , (C) <i>Mucor</i> e (D) <i>Lasiodiplodia</i>	39
Figura 18 - Solução com nanopartículas de prata (AgNPs) reduzidas a partir de 2,00 g.L ⁻¹ de extrato liofilizado de folhas de bambu <i>Guadua</i> sp. nov., nas concentrações de 100, 200, 300, 400 e 500 ppm de Ag.....	40
Figura 19 - Solução contendo nanopartículas de prata (AgNPs) em diferentes concentrações de Ag, após esterilização em autoclave a 121°C durante 20 minutos.....	41
Figura 20 – Técnica do disco-difusão, aplicada para controle de fungos a partir de fragmentos de colmos <i>Guadua</i> sp. nov.....	42
Figura 21 – Solução contendo diferentes concentrações do extrato liofilizado de folhas de bambu <i>Guadua</i> sp. nov., em diferentes concentrações de Ag. As figuras mostram o antes (A) e depois da síntese de nanopartículas de prata (AgNPs), expostas a temperatura e a luz ambiente (B).....	44
Figura 22 – Tamanho médio de nanopartículas de prata, resultantes da síntese verde, utilizando 2,0, 4,0, 6,0 e 8,0 g.L ⁻¹ do extrato de folhas de bambu <i>Guadua</i> sp. nov. como agente redutor, em diferentes concentrações de Ag.....	46
Figura 23 – Tamanho médio de nanopartículas de prata resultantes da síntese verde, utilizando 2,0, 4,0, 6,0 e 8,0 g.L ⁻¹ do extrato de folhas de bambu <i>Guadua</i> sp. nov. como agente redutor, em diferentes concentrações de Ag, determinado pela técnica de espalhamento dinâmico de luz (DLS).....	47
Figura 24 - Tamanho médio de nanopartículas de prata, resultantes da síntese verde, utilizando 2,0, 4,0, 6,0 e 8,0 g.L ⁻¹ do extrato de colmo de bambu <i>Guadua</i> sp. nov. como agente redutor, em diferentes concentrações de Ag.....	49
Figura 25 – Espectroscopia UV-Vis das nanopartículas de prata nas concentrações de 2,0, 4,0, 6,0 e 8,0 g.L ⁻¹ do extrato de folhas de bambu <i>Guadua</i> sp. nov. como agente redutor, em diferentes concentrações de Ag.....	50
Figura 26 – Espectroscopia UV-Vis das nanopartículas de prata nas concentrações de 2,0, 4,0, 6,0 e 8,0 g.L ⁻¹ do extrato de colmos de bambu <i>Guadua</i> sp. nov. como agente redutor, em diferentes concentrações de.....	51
Figura 27 - Microscopia eletrônica de Transmissão – MET da solução de nanopartículas de prata (AgNPs), reduzidas com extrato de folha e colmo de bambu, evidenciando seu tamanho e formato esférico.....	52
Figura 28 – Valor do potencial Zeta médio de -14,90 (mV), determinado pela técnica de espalhamento dinâmico de luz (DLS), em solução contendo 2,00 g.L ⁻¹ do extrato de folhas de bambu <i>Guadua</i> sp. nov. em diferentes concentrações de Ag.....	53
Figura 29 – Análise do tamanho das nanopartículas de prata (AgNPs) pela intensidade	

(porcentagem) presente na amostra, em diferentes concentrações de extrato de folhas de <i>Guadua</i> sp. nov. em solução de 100 ppm de Ag, determinado pela técnica de espalhamento dinâmico de luz (DLS).....	53
Figura 30 – Tamanhos médios das nanopartículas de prata (AgNPs) determinado pela técnica de espalhamento dinâmico de luz (DLS), em solução contendo 2,00 g.L ⁻¹ do extrato de folhas de bambu <i>Guadua</i> sp. nov. em diferentes concentrações de Ag.....	54
Figura 31 – Tamanhos médios das nanopartículas de prata (AgNPs) determinado pela técnica de espalhamento dinâmico de luz (DLS), em solução contendo 4,00 g.L ⁻¹ do extrato de colmo de bambu <i>Guadua</i> sp. nov. em diferentes concentrações de Ag.....	55
Figura 32 - Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) do extrato puro liofilizado de folhas de <i>Guadua</i> sp. nov.....	56
Figura 33 – Atividade antifúngica das nanopartículas de prata (AgNPs), no controle de <i>Trichoderma</i> , representada pela formação de halos, após 48 horas da aplicação, pela técnica disco-difusão.....	57
Figura 34 – Atividade antifúngica das nanopartículas de prata (AgNPs), no controle de <i>Fusarium</i> , representada pela formação de halos, após 48 horas da aplicação, pela técnica disco-difusão.....	57
Figura 35 – Atividade antifúngica das nanopartículas de prata (AgNPs), no controle de <i>Lasiodiplodia</i> , representada pela formação de halos, após 48 horas da aplicação, pela técnica disco-difusão.....	58
Figura 36 – Atividade antifúngica das nanopartículas de prata (AgNPs), no controle de <i>Fusarium</i> , representada pela formação de halos, após 48 horas da aplicação, pela técnica disco-difusão.....	58
Figura 37 – Atividades antifúngica de nanopartículas de prata (AgNPs) sintetizadas a partir de extratos de folhas de <i>Guadua</i> sp. nov., (F1) <i>Trichoderma</i> , (F2) <i>Lasiodiplodia</i> ., (F3) <i>Mucor</i> e (F4) <i>Fusarium</i> , na concentração C5 = 500 ppm.....	61

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Leituras do Diâmetro (nm) e da Polidispersividade (Pdl) das nanopartículas de prata resultantes da síntese verde do extrato de folhas de bambu *Guadua* sp. nov. como agente redutor, em diferentes concentrações de Ag, realizada pela técnica de Espalhamento Dinâmico de Luz – DLS utilizando o sistema zetasizer Nano ZS90.....45
- Tabela 2** - Leituras do Diâmetro (nm) e da Polidispersividade (Pdl) das nanopartículas de prata resultantes da síntese verde do extrato de colmo de bambu *Guadua* sp. nov. como agente redutor, em diferentes concentrações de Ag, realizadas pela técnica de Espalhamento Dinâmico de Luz – DLS utilizando o sistema zetasizer Nano ZS90.....48
- Tabela 3** - Resumo da análise de variância da aplicação das nanopartículas de prata (AgNPs) sintetizadas a partir de extrato de folhas de *Guadua* sp. nov.59
- Tabela 4** – Médias dos tamanhos dos halos formados após 24, 48 e 72 horas com aplicação de nanopartículas de prata (AgNPs) sintetizadas a partir de extrato de folhas de *Guadua* sp. nov.....60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Abs	Absorbância
AgNPs	Nanopartículas de prata
AgNO ₃	Nitrato de prata
Ag ⁺	Íon de prata
Ag	Átomo de prata ou prata metálica
CBM	Concentração Bactericida Mínima
CIM	Concentração Inibitória Mínima
DLS	Espalhamento Dinâmico de Luz (Dynamic Light Scattering)
FTIR	Infravermelho com Transformada de Fourier (Fourier Transform Infrared)
FWHM	Largura Total à Meia Altura (Full width at half maximum)
MET	Microscopia Eletrônica de Transmissão
NPs	Nanopartículas
PDI	Índice de Polidispersão (Polydispersity Index)
pH	Potencial hidrogeniônico
UFAC	Universidade Federal do Acre
UV-Vis	Espectrofotometria Ultra-Violeta no Visível
SI	Sem Inibição
IL	Inibição Leve
IM	Inibição Moderada
IF	Inibição Forte

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVO GERAL.....	22
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 NANOTECNOLOGIA E AS NANOPARTÍCULAS	23
2.2 SÍNTESE VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA.....	24
2.3 NANOPARTÍCULAS DE PRATA EM ATIVIDADES ANTIMICROBIANAS	25
2.4 DOENÇAS FÚNGICAS EM BAMBU.....	26
3 MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1 COLETA DO MATERIAL E PREPARO DOS EXTRATOS.....	28
3.2 SÍNTESE VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA.....	33
3.3 TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO	34
3.3.1 Espectrofotometria UV-visível.....	34
3.3.2 Potencial Zeta	34
3.3.3 Espalhamento Dinâmico da Luz (DLS)	35
3.3.4 Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET)	35
3.3.5 Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) .	36
3.4 EXPERIMENTO COM FUNGOS	36
3.4.1 Preparo das amostras e identificação dos fungos	36
3.4.2 Tratamento dos fungos com soluções de nanopartículas de prata.....	39
3.4.3 Técnica do disco-difusão	41
3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA E GRÁFICOS.....	43
4 RESULTADOS	44
4.1 SÍNTESE VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA.....	44

4.2 ESPECTROFOTOMETRIA UV-VISÍVEL.....	50
4.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE TRANSMISSÃO (MET)	52
4.4 POTENCIAL ZETA.....	52
4.5 ESPALHAMENTO DINÂMICO DA LUZ (DLS).....	53
4.6 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR).....	56
4.7 EXPERIMENTO COM FUNGOS	56
4.7.1 Tratamento dos fungos com soluções de nanopartículas de prata	59
5 DISCUSSÃO	63
5.1 TAMANHO DAS NANOPARTÍCULAS DE PRATA	63
5.2 POTENCIAL ZETA DAS NANOPARTÍCULAS DE PRATA.....	63
5.3 EXPERIMENTO COM FUNGOS	64
6 CONCLUSÃO.....	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
ANEXOS	72

1 INTRODUÇÃO

O bambu é uma planta que tem comprovadamente um alto valor comercial pelas suas qualidades de resistência e sua utilização abrange diversos ramos da indústria, estruturas e coberturas, estruturas de concreto armado (substituição do aço), pisos e revestimentos, sistemas de irrigação, móveis, carvão ativado, álcool, alimentos, fertilizantes, papel e celulose, também é utilizado na recuperação de áreas degradadas e como fitorremediador de metais pesados (BARROS, 2007). A sua utilização na construção civil, como alternativa de baixo custo de produção e em função da resistência é notória. O uso desse recurso na indústria de fármacos é bastante desenvolvida na Índia, China e Japão.

No sudoeste da Amazônia ocorrem extensas áreas de florestas nativas com o sub-bosque dominado por espécies de bambu do gênero *Guadua*. Conhecidas no Acre como “Tabocais” e como “Pacales” no Peru, essas florestas ocupam uma área estimada em 180.000 km² nos estados do Acre e Amazonas, norte da Amazônia Boliviana, no Departamento de Pando, e quase toda a Amazônia central do Peru, nos Departamentos de Madre de Dios e Ucayali. Estima-se que 59% da cobertura vegetal do Acre é composta por florestas primárias nas quais o bambu se apresenta como elemento principal ou secundário do sub-bosque, conforme SILVEIRA (2001) citado por FERREIRA (2014).

No Acre, espécies como *Guadua weberbaueri* Pilger e *Guadua sarcocarpa* Londoño & Peterson alcançam em média 20 m de altura e espinhos nos colmos e ramos. Elas possuem distribuição ampla e frequentemente ocorrem nos interflúvios tabulares. *Guadua superba* Huber restringe-se às florestas temporariamente alagadas ou à áreas de drenagem deficiente, enquanto *G. angustifolia* Kunth apresenta uma distribuição mais restrita (SILVEIRA, 2001). São espécies com potencial para construção, móveis, celulose, bioenergia e laminados. Além de semélparas e monocárpicas, estas espécies de bambu possuem incrível habilidade de crescimento horizontal através de rizomas, crescimento vertical extremamente rápido e hábito semiescandente. *Guadua weberbaueri* tem um ciclo de vida que varia de 29 à 32 anos e distribuição ampla na região. A amplitude de distribuição e o caráter dominante desses bambus determinam padrões estruturais tanto das comunidades ecológicas quanto da paisagem. Estes padrões são a resultante de mecanismos e processos que ocorrem nas escalas populacional e individual (SILVEIRA, 2001).

Guadua aff. *lynnclarkiae* Londoño é uma espécie arborecente, seu colmo é lenhoso com presença de espinhos e rizoma paquimorfo. Os colmos são cilíndricos e ocos, medindo de 20 a 27 metros de altura e 9 a 17 cm de diâmetro (LONDOÑO, 2013). A população de *Guadua* aff. *lynnclarkiae* Londoño, foi localizada e identificada no município de Porto Acre, vegetando em áreas de florestas primárias e secundárias (SILVA *et al.*, 2019). As populações estão 150 metros acima do nível do mar e os tipos de solos encontrados nessas áreas são predominantemente Argissolo e Luvisolo, o clima é equatorial úmido, a precipitação anual gira em torno de 2200 a 2500 mm, e a estação chuvosa se estende de novembro a abril (SILVA *et al.*, 2020).

A cadeia produtiva do bambu pode ser a responsável por gerar grande desenvolvimento na economia do Acre num futuro bem próximo, pelo potencial econômico que esta planta apresenta para produzir os mais variados tipos de produtos de valor agregado.

Apesar da ampla possibilidade de utilização como material fibroso, o bambu é pouco utilizado em comparação com as espécies arbóreas ou madeiras, que representam a quase totalidade da matéria-prima fibrosa empregada nas mais variadas utilidades, desde a simples queima para gerar energia de uso doméstico até a produção industrial de celulose e papel (BERNSEN, 2008). O baixo nível de utilização do bambu, sem dúvida alguma está associado à falta de conhecimentos científicos e tecnológicos especificamente desenvolvidos para este material. A escassez e o alto custo na exploração de madeiras de alta densidade nos últimos anos contribuem para o aumento do interesse pelo bambu como material fibroso (BERALDO e AZZINI, 2004). Em 2016 a produção nacional de madeira em tora foi de 11.450.693 m³, uma redução de 7,0 % em relação ao ano anterior, e valor de produção avaliado em R\$ 1,8 bilhões. No Acre a produção de madeira em tora foi de 209.360 m³, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017).

Uma das possibilidades para alavancar o uso do bambu, principalmente no setor da construção, está relacionada com a necessidade de efetuar adequadamente o seu tratamento preservativo. A eficiência no tratamento do bambu depende de uma série de fatores, destacando-se as características específicas desse vegetal, o tipo de substância preservativa utilizada e das particularidades do método a ser aplicado no tratamento dos colmos (ESPELHO, 2007)

Pelo fato de possuir um elevado teor de amido na sua constituição, o bambu é susceptível ao ataque de organismos xilófagos. Em função disto, após os devidos cuidados na colheita, os colmos devem ser submetidos a tratamentos preservativos. Conforme AZZINI e BERALDO (2001), citados por TIBURTINO *et al.* (2015), a durabilidade dos colmos é influenciada pelo

tipo de tratamento empregado. Os métodos de tratamento podem ocorrer de forma natural ou pelo emprego de produtos químicos. A época de colheita também é fator determinante no teor de amido do bambu, de acordo com LONDOÑO (2002) a época do ano que o bambu guarda uma maior parte de suas reservas nas raízes é o inverno, momento que antecede o aparecimento dos novos brotos. O bambu colhido nesta estação possui uma quantidade menor de açúcar, substância que atrai insetos e fungos que se alimentam do bambu, estes organismos são menos frequentes no inverno.

Alguns tratamentos químicos podem ser efetuados através de um processo básico de substituição de seiva (capilaridade) ou de difusão, sendo os métodos de imersão prolongada e o de Boucherie modificado, exemplos destes processos (TIBURTINO *et al.*, 2015). PAES *et al.* (2005) avaliaram o método de substituição de seiva em mourões de eucalipto (*Eucalyptus viminalis* Hook. e de bracinga (*Mimosa scabrella* Benth), expostos às concentrações de 2, 3 e 5% de ingredientes ativos do produto “Osmose CCB”, durante 2, 5 e 8 dias. Segundo UBIDIA (2012), a imersão em água é um dos métodos de tratamento preservativos mais utilizados na América Latina. Quando o bambu é transportado por rios, o amido sofre lixiviação, o que contribui para com a diminuição do ataque de insetos xilófagos.

O método de Boucherie modificado é outra forma popular de efetuar-se o tratamento preservativo do bambu. Nesse método, o preservativo é passado sob pressão por meio dos vasos, até que saia na outra extremidade do colmo. Essa prática deve ser aplicada apenas ao bambu recém-cortado até 24 horas após a colheita (JANSSEN, 2000).

A maior parte das pesquisas sobre o tratamento químico de bambu através de métodos tradicionais de preservação emprega produtos à base de Cobre, Cromo e Boro (CCB), considerados menos nocivo à saúde do operador e ao ambiente, quando comparado com produtos que possuem arsênico em sua formulação (TIBURTINO *et al.*, 2015).

A nanociência e a nanotecnologia resultam do avanço recente da ciência e engenharia, apresentando novos materiais nanoestruturados possuidores de novas propriedades e mais eficientes em suas funções e em todas as áreas da ciência (física, química, biológica), (GARNETT, 2006).

Uma característica dos coloides metálicos são as propriedades ópticas, que depende do formato da partícula e do tamanho. À medida que se modifica as dimensões, há uma mudança na coloração de gradativa a drástica dependendo da ocasião (PINTO, 2008; GHOSHO, 2007). Entre todos os coloides de nanopartículas, os que mais chamam a atenção da comunidade

científica são os a base de Ouro (Au) e Prata (Ag), um pela capacidade óptica e pelas diferentes formas químicas e o outro como material antibacteriano, respectivamente (OZIN e ARSENAULT, 2005). O Ouro (Au) nanométrico tem propriedades radicalmente diferentes do metal em seu estado normal (GHOSH, 2007).

As nanopartículas apresentam uma alta superfície de contato o que infere tipicamente em maiores reatividades químicas, atividades biológicas e comportamentos catalíticos, comparando-as com particulados de maiores dimensões (GARNETT, 2006). Segundo PINTO (2012), no mercado atual existe um interesse em materiais Prata (Ag) por causa da sua atividade antimicrobiana e ao aumento da resistência que as estirpes bacterianas têm desenvolvido em relação aos antibióticos convencionais.

As nanopartículas de Prata (Ag) tem inúmeras aplicações, tais como na medicina humana e veterinária, farmacologia, odontologia, indústria alimentícia, entre outras (PETICA *et al.*, 2008; PEREIRA *et al.*, 2013). A citotoxicidade das nanopartículas de Prata (Ag) é bem elevada, funcionando contra muitos micro-organismos tais como bactérias e fungos. As propriedades antimicrobianas dos metais Prata (Ag) e do Cobre (Cu) (tanto na forma de nanopartículas ou na forma iônica) são amplamente difundidas, sendo a Prata (Ag) a mais utilizada (PACE, 2016). A descoberta do seu efeito e respetivo mecanismo contra fungos patogênicos é bastante recente e menos estudado em relação ao seu efeito antibacteriano (PINTO, 2012). O mesmo autor cita que no caso específico da Prata (Ag), metal utilizado desde a época dos egípcios, o seu uso na medicina moderna data do início do século XX.

CARNIEL (2013), cita que as nanopartículas de Prata (Ag) tem um potencial importantíssimo na agricultura, pois, seu uso é apropriado para todas as fases da agricultura, indo do plantio, fertilizantes e defensivos agrícolas. No entanto, ainda não existem informações e pesquisas suficientes para comprovar e avaliar quais os efeitos que a exposição à sistemas nanoparticulados podem ocasionar a saúde humana e ao meio ambiente. Assim sendo, visando minimizar os possíveis impactos que estes sistemas podem gerar, são crescentes os estudos sobre o uso e aplicações da química verde na escala nanométrica. De acordo ROCHA (2010), a síntese verde de nanopartículas se faz necessária para garantir a biocompatibilidade e biodisponibilidade das nanopartículas para que entre em contato no corpohumano de modo não invasivo, tendo como foco principal a produção de nanopartículas sem utilização de solventes tóxicos, sem a geração de resíduos químicos, diminuindo os riscos à saúde e ao meio ambiente.

Utilizar os princípios da síntese verde em conjunto com a nanotecnologia oportuniza a

capacidade de minimizar os possíveis impactos destes sistemas à saúde humana e ao meio ambiente, através de mecanismos sintéticos que proporcionem a criação de novos materiais sem o uso de fortes agentes redutores, polímeros, solventes, surfactantes, contribuindo para a redução dos resíduos tóxicos gerados. Portanto, aliada à química verde a nanotecnologia apresenta grande importância no desenvolvimento de tecnologia sustentável, possibilitando à nanociência explorar os recursos naturais, como extratos de plantas e vegetais, ricos em compostos e substâncias de enorme importância para a vida ROCHA (2010).

Assim, há uma grande necessidade de novos estudos voltados para a síntese de nanopartículas a partir de extratos vegetais aliados à conservação de colmos de bambu, com o objetivo de geração de novas tecnologias e novos produtos com eficiência e baixo custo de implantação que ajudem a alavancar o potencial econômico das espécies nativas de bambu da região amazônica.

1.1 OBJETIVO GERAL

Sintetizar nanopartículas de Prata (AgNPs) utilizando extratos das folhas e do colmo de bambu do gênero *Guadua*, (*síntese verde*) e aplicar as soluções coloidais desses extratos no tratamento contra fungos que degradam as fibras do bambu.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Utilizar extratos de folhas e de colmos de bambu do gênero *Guadua* (*síntese verde*) como agente redutor para sintetizar nanopartículas de Prata (Ag).
- Caracterizar as nanopartículas de Prata (AgNPs) através de varredura utilizando espectrofotômetro no UV-visível (OCEAN OPTICS, USB650UV) de 200 a 800 nm, e o PDI pela técnica de Espalhamento de Luz Dinâmico (DLS, MALVERN – Zetasizer Nano S), Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET) e Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR).
- Submeter os colmos de bambu aos tratamentos com as soluções de nanopartículas de Prata (Ag).
- Avaliar o efeito dos tratamentos no controle de fungos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 NANOTECNOLOGIA E AS NANOPARTÍCULAS

É denominado nano, todo material que tem qualquer dimensão de 1 a 100 nm de comprimento. Os fundamentos da nanotecnologia são baseados no fato de as propriedades dos materiais mudarem drasticamente quando as dimensões são reduzidas à escala nano (JAYBHAYE, 2015). Podemos definir nanotecnologia como a compreensão da manipulação e controle da matéria abaixo de 100 nm, de modo que as propriedades físicas, químicas e biológicas dos materiais podem ser melhoradas através da experimentação (RAMYA *et al.*, 2012).

De acordo com FERREIRA e RANGEL (2009) a essência da nanotecnologia consiste na habilidade de se trabalhar em nível atômico, molecular e macromolecular a fim de criar materiais, dispositivos e sistemas com propriedades e aplicações fundamentalmente novas. Os blocos de construção são os átomos e moléculas, ou um conjunto deles tais como nanopartículas, nanocamadas, nanofios ou nanotubos. Dessa forma, a nanotecnologia permite ao homem alcançar escalas além da sua limitação natural de tamanho e trabalhar diretamente na construção dos blocos de matéria.

Diversas rotas químicas são utilizadas para a síntese de nanopartículas a partir de sais metálicos. No entanto, a maioria desses métodos inclui a utilização de solventes tóxicos, a geração de resíduos nocivos para a saúde e o meio ambiente, além de resultar em um consumo de energia alto em rotas geralmente complexas e com múltiplos passos. Nesse sentido, é necessário o desenvolvimento de procedimentos visando à obtenção desses nanossistemas com ampla aplicabilidade tecnológica (SILVA *et al.*, 2017). Portanto, métodos sustentáveis baseados nos princípios da "química verde" são considerados importantes. Esses métodos visam reduzir a utilização de produtos tóxicos, inflamáveis ou corrosivos, além de maximizar a eficiência dos processos químicos, preferencialmente utilizando a água como solvente nas sínteses e reagentes com baixa toxicidade LUIZ (2016) citado por SOUZA (2023).

De acordo com IRAVANI (2011) nanopartículas são de grande interesse devido ao seu tamanho extremamente pequeno, e grande área de superfície, o que leva a diferenças químicas e físicas em suas propriedades, (mecânicas, biológicas e catalíticas, condutividade térmica e elétrica, absorção óptica e ponto de fusão) em comparação com a massa e volume do mesmo produto químico.

As nanopartículas de prata, juntamente com as propriedades ópticas presentes em outros materiais como ouro, cobre, zinco e titânio que apresentam elétrons livres e efeito plasmônico de superfície decorrentes da sua forma e tamanho, tornaram seu estudo e aplicação muito versátil (NOGUEZ, 2007).

As nanopartículas, em especial as AgNPs, estão sendo empregadas hoje em diversas aplicações tecnológicas, como por exemplo no campo da informática, medicina, biotecnologia entre outros. As AgNPs possuem propriedades físico-químicas muito características, incluindo a sua flexibilidade, maleabilidade e uma condutividade térmica e elétrica elevada em relação a qualquer outro metal, além da sua estabilidade química, atividade catalítica e um comportamento ótico não linear. O método mais utilizado para síntese de AgNPs é o de redução química obtendo uma solução coloidal estável em água ou solventes orgânicos (WANG *et al.*, 2005).

Para a síntese de nanopartículas de metal tem-se considerado o uso da biodiversidade vegetal devido a disponibilidade de fitoquímicos existentes em vários extratos vegetais, especialmente em folhas como fenóis, cetonas, aldeídos, flavonas, ácidos carboxílicos entre outros, capazes de reduzir sais metálicos em nanopartículas metálicas (SINGH *et al.*, 2018). Os parâmetros morfológicos das nanopartículas, como o tamanho e a forma, podem ser modulados de acordo com as concentrações de produtos químicos e condições de reação, como os fatores físicos de temperatura e pH utilizados (SENA, 2019).

2.2 SÍNTESE VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA

A síntese verde de NPs visa à utilização de organismos biológicos, ou partes deles, como substituintes de reagentes químicos tóxicos nas reações de biossínteses, apresentando-se como uma alternativa sustentável (IRAVANI, 2011).

Hoje em dia, com a síntese verde de nanopartículas de íons de metais, descobriu-se novas possibilidades dessa ciência. A síntese de nanopartículas usando materiais vegetais, como os extratos, é um método ambientalmente correto para síntese de nanopartículas, tendo em vista que as plantas são amplamente distribuídas, facilmente disponíveis, muito mais seguras de manusear e atuam como fonte de vários metabólitos ricos em constituintes farmacológicos que atuam como biorredutores agentes na síntese de nanopartículas. Daí então, a abordagem para sintetizar nanopartículas usando extratos de materiais vegetais tem se desenvolvido (SUMATHI *et al.*, 2017).

A síntese verde é considerada uma ferramenta importante para reduzir a destruição, propiciar efeitos positivos associados aos métodos tradicionais de síntese de nanopartículas comumente utilizados em laboratório e indústria e que pode acomodar diversos materiais biológicos, como fungos, bactérias, algas e extratos de plantas. Conseqüentemente, técnicas de biossíntese empregando extratos de plantas ganharam maior consideração como um método simples e eficiente, viável e de baixo custo (SINGH *et al.*, 2018).

Segundo LEMOS, *et al.* (2021), a utilização de plantas como agente redutor na síntese verde valoriza os recursos naturais presentes na Amazônia, onde há uma diversidade de plantas a serem estudadas, de vários gêneros e espécies com constituintes fotoquímicos que contribuem para suas ações bactericidas, antifúngicas, anti-inflamatórias, diuréticas, laxativas entre outras propriedades medicinais.

Síntese verde, síntese biológica e síntese biogênica são termos comumente usados para a síntese ecologicamente correta de nanopartículas. Normalmente, as nanopartículas são sintetizadas através de métodos químicos, físicos e biológicos. As sínteses físicas e químicas possuem consumo intensivo de energia e às vezes podem envolver substâncias químicas tóxicas, enquanto as técnicas biológicas são rentáveis, limpas, atóxicas e ecologicamente corretas. A via de síntese biológica tem sido efetuada, sobretudo, através do uso de bactérias, fungos, plantas, cianobactérias e actinomicetose (MESHRAM *et al.*, 2013).

2.3 NANOPARTÍCULAS DE PRATA EM ATIVIDADES ANTIMICROBIANAS

Alguns estudos indicam que o mecanismo antibacteriano das nanopartículas de prata (AgNPs) repercute em sua capacidade de penetrar na parede celular bacteriana, causando peroxidação lipídica direta e indireta, que danifica a membrana celular, interrompe a replicação do DNA, repara e inibe a proteína respiratória (TARGINO *et al.*, 2013).

A prata livre possui ação antibacteriana caracterizada até concentrações micromolares e há indícios de que o mecanismo de ação antibacteriana das AgNPs está relacionado à liberação progressiva de íons de prata pela NPs (PATIL *et al.*, 2012). Segundo NAVARRO *et al.* (2008), há relatos de que a liberação de íons Ag^+ a partir das AgNPs é responsável por sua atividade antimicrobiana. Entretanto, não está claro se os mecanismos das ações antimicrobiana das AgNPs estão relacionados apenas com a liberação de íons ou se as próprias AgNPs apresentam uma toxicidade específica.

As interações eletrostáticas entre as cargas negativas da superfície bacteriana e as

AgNPs carregadas positivamente parecem ser fundamentais para a atividade antimicrobiana das AgNPs (STOIMENOV *et al.*, 2002).

As soluções coloidais de AgNPs, devido à alta relação área/volume, apresentam propriedades antimicrobianas contra diversos tipos de micro-organismos, tais como bactérias Gram-positivas e Gram-negativas, fungos e vírus (ANTUNES, 2013). A Medicina tem demonstrado que a prata aniquila mais de 650 agentes patogênicos e não cria resistência (PETICA *et al.*, 2008). Isso acontece porque, ao entrarem em contato com a membrana celular desses micro-organismos, as AgNPs causam danos no processo de respiração celular e permeabilidade. Além disso, as AgNPs ligam-se ao enxofre e ao fósforo presentes no DNA, impedindo a divisão celular (MORONES *et al.*, 2005; LEVIN *et al.*, 2009).

2.4 DOENÇAS FÚNGICAS EM BAMBU

As doenças fúngicas em bambu são uma preocupação não desprezível, impactam a qualidade e durabilidade desse material na construção versátil e sustentável. Diversos patógenos fúngicos podem afetar o bambu, causando sérios danos e comprometendo sua integridade estrutural. Uma das doenças mais notáveis é a mancha-de-água causada por fungos do gênero *Phyllosticta*. Essa doença, caracterizada por manchas escuras nas folhas e colmos, pode resultar na degradação da qualidade do bambu (JIANG *et al.*, 2016). A compreensão dessas doenças é crucial para o desenvolvimento de estratégias eficazes de manejo.

Além da mancha-de-água, o bambu também está sujeito à infestação por fungos decompositores, tais como os do gênero *Fusarium* e *Aspergillus*. Esses fungos têm a capacidade de degradar a celulose e hemicelulose presentes no bambu, resultando em perdas substanciais na resistência mecânica e durabilidade do material. A identificação precoce dessas infestações é essencial para implementar medidas de controle adequadas e prevenir danos irreversíveis (GÓMEZ-MIGUEZ *et al.*, 2000).

A umidade excessiva também pode desencadear o desenvolvimento de doenças fúngicas nos bambus, especialmente quando atacados por fungos do gênero *Stachybotrys*. Esses fungos são conhecidos por prosperar em ambientes úmidos, como ocorre em bambus utilizados em condições de alta umidade. A exposição prolongada a essas condições pode resultar em manchas, descoloração e, em casos extremos, no comprometimento da estrutura do bambu (UDAGAWA e UCHIYAMA, 2001). Estratégias de controle, como a adequada ventilação e tratamentos antifúngicos, são essenciais para prevenir danos decorrentes da umidade.

O bambu é suscetível a infecções por fungos que causam podridão branca, uma condição resultante da ação de fungos do gênero *Phanerochaete*. Esses fungos têm a capacidade de degradar a lignina presente no bambu, comprometendo sua resistência estrutural. A podridão branca pode ser especialmente problemática em condições de alta umidade, tornando a prevenção e controle fundamentais para a preservação da durabilidade do bambu (ZHU *et al.*, 2016).

Estratégias de manejo integrado são cruciais para mitigar as doenças fúngicas em bambu. Isso envolve práticas culturais adequadas, como o monitoramento regular do estado sanitário do bambu, a remoção de material doente e a aplicação criteriosa de fungicidas quando necessário (CHOUDHARY *et al.*, 2021). Além disso, a seleção de espécies de bambu resistentes a doenças e a implementação de práticas de cultivo sustentáveis podem contribuir significativamente para a prevenção e controle eficaz dessas doenças.

Em síntese, o estudo das doenças fúngicas em bambu é crucial para garantir a sustentabilidade e longevidade desse recurso valioso. A abordagem integrada, considerando aspectos patológicos, climáticos e de manejo, é essencial para desenvolver estratégias eficazes de prevenção e controle. A pesquisa contínua nesse campo é fundamental para fortalecer a resiliência do bambu frente a desafios fitossanitários e promover seu uso sustentável em diversas aplicações.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 COLETA DO MATERIAL E PREPARO DOS EXTRATOS

A espécie de bambu utilizada no presente estudo foi a *Guadua* sp. nov. (Figura 1). O material vegetal de folhas e colmos de bambu, foi coletado na propriedade da senhora Renilda, denominada Colônia El Shadai, ramal Boa União, km 04, Município de Porto Acre, com as seguintes coordenadas geográficas: Latitude 9°29'54.00" S e Longitude 67°42'16.19" W.

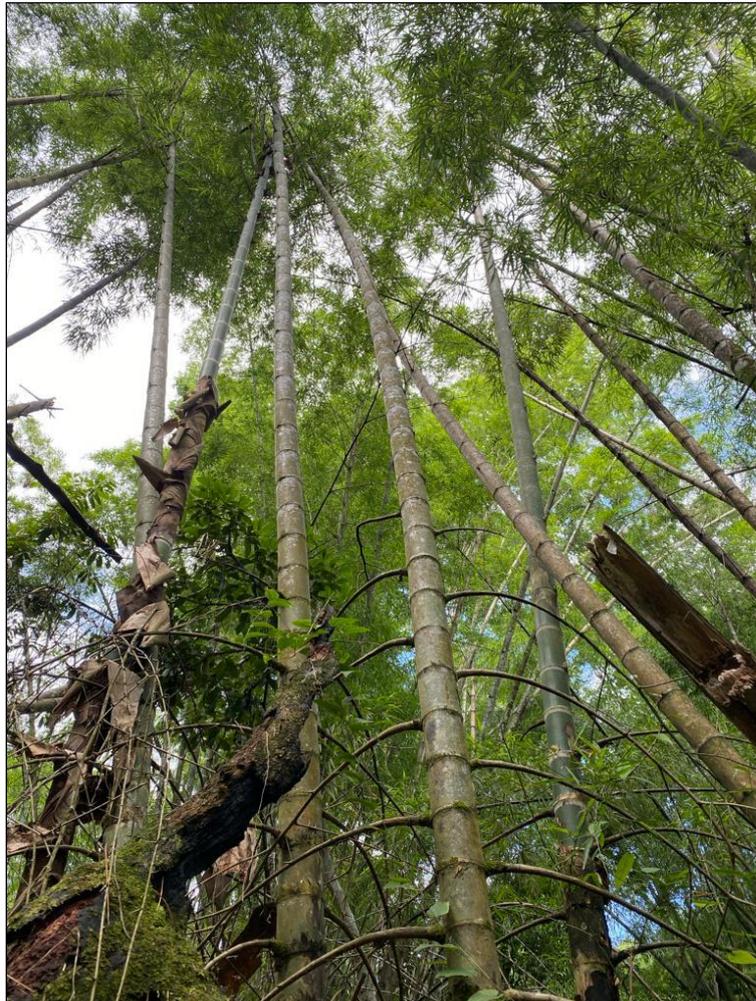


Figura 1 – Espécie de bambu *Guadua* sp. nov. utilizada no presente estudo, coletada na Latitude 9°29'54.00"S e Longitude 67°42'16.19"O

Foram coletados colmos maduros com idade aproximada de cinco anos, a coleta compreendeu o corte das varas de bambu, divididos em seções de quatro metros cada para facilitar o transporte (Figura 2).



Figura 2 - Colmos maduros de bambu *Guadua* sp. nov. com idade aproximada de 5 anos, cortados em seções de 4 (quatro) metros cada.

As folhas foram retiradas dos colmos e armazenadas em sacos plásticos identificados com a data da coleta. Todo o material coletado foi transportado até o laboratório de Biotecnologia da UFAC. Algumas seções das paredes dos internós foram cortadas em tamanhos de 2 a 3 cm, depois lavados em água destilada, e secos em estufa de circulação forçada a uma temperatura de 40C° durante sete dias. Da mesma forma, as folhas foram lavadas com água destilada e secas em estufa de circulação forçada a uma temperatura de 40C° durante sete dias (Figuras 3 e 4).



Figura 3 - colmos de bambu *Guadua* sp. nov. cortados em tamanhos de 2 a 3 cm aproximadamente.



Figura 4 – Folhas de bambu *Guadua* sp. nov. após secagem em estufa de circulação forçada na temperatura de 40C° durante sete dias.

Tanto os colmos, quanto as folhas de bambu foram trituradas em Moinho de Rotor tipo Ciclone TE-651/2 da TECNAL (Figura 5), até a obtenção de uma biomassa de granulometria fina e uniforme (Figura 6). Foram utilizados dois extratos liofilizados como agentes redutores para a síntese de AgNPs.



Figura 5 – Moinho de Rotor tipo Ciclone TE-651/2, utilizado para triturar a matéria seca de colmos e folhas de bambu *Guadua* sp. nov.



Figura 6 – Matéria seca triturada de colmo de bambu *Guadua* sp. nov. para preparo dos extratos

Para a preparação dos extratos foram pesadas 75 g das matérias secas de folhas e de colmos de bambu, acrescentado 900 mL de água destilada e submetidos ao aquecimento na temperatura de 72°C durante cinco minutos (Figura 7), conforme metodologia usada por SENA (2019).

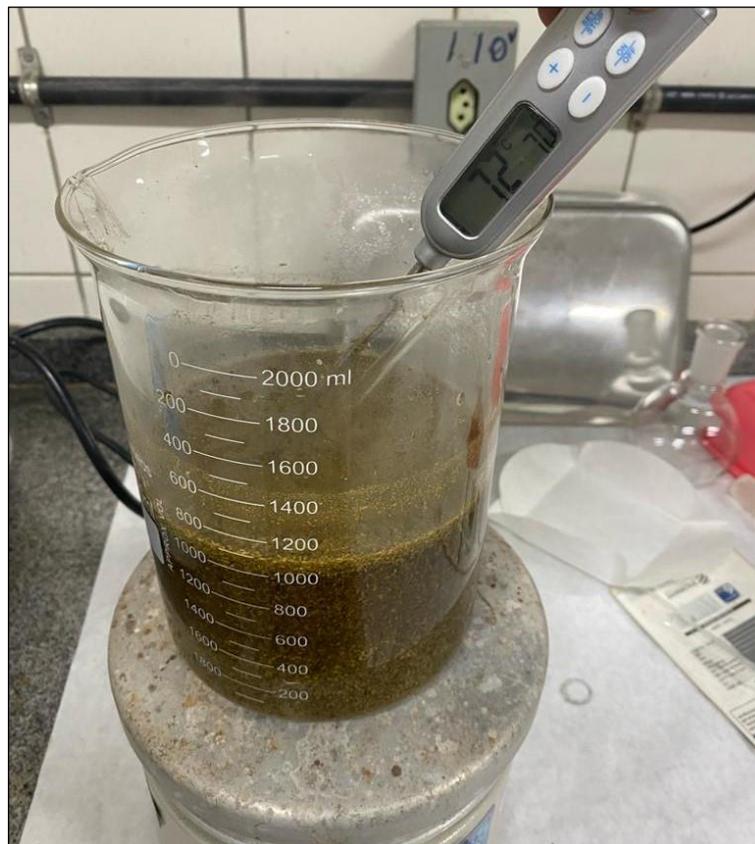


Figura 7 – Matéria seca triturada de colmos de bambu *Guadua* sp. nov. submetido à temperatura de 72°C durante 5 minutos para obtenção do extrato.

Ao final, os extratos foram filtrados em papel filtro pelo período de 24 horas (Figura 8). Após a filtragem, os extratos foram distribuídos em recipientes plásticos de 200 mL e



Figura 8 – Filtragem do extrato

congelados no ultrafreezer à temperatura de -70°C pelo período de 24 horas. As amostras congeladas foram submetidas ao processo de liofilização no aparelho Liofilizador L 101 da LIOTOP, pelo período de 72 horas (Figura 9). Ao final obtivemos um extrato puro liofilizado de folhas e colmos de *Guadua* sp. nov. (Figuras 10).



Figura 9 – Aparelho liofilizador (Liofilizador L 101 da LIOTOP).



Figura 10 - Extrato puro liofilizado de folhas de bambu *Guadua* sp. nov.

3.2 SÍNTESE VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA

Preparamos soluções padrão de 250 mL de nitrato de prata (AgNO_3) da marca SIGMA-ALDRICH, ACS reagente, $\geq 99,0\%$, nas concentrações: 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm, 400 ppm e 500 ppm de Ag e adicionamos proporções de 0,01, 0,02, 0,03 e 0,04 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ de extrato liofilizado de folhas e de colmos de *Guadua* sp. nov. a 10 mL de solução de nitrato de prata (AgNO_3), de modo a termos sempre um volume total de mistura de 15 mL. Utilizamos tubos de ensaio de vidro, agitados em Agitador Vortex-QUIMIS, durante três minutos e a temperatura ambiente, até a perfeita homogeneização da solução. As sínteses coloidais foram submetidas à temperatura e luz ambiente durante 24 horas até apresentar cor marrom escuro, o que revela a completa redução dos íons prata e formação das nanopartículas (Figura 11).

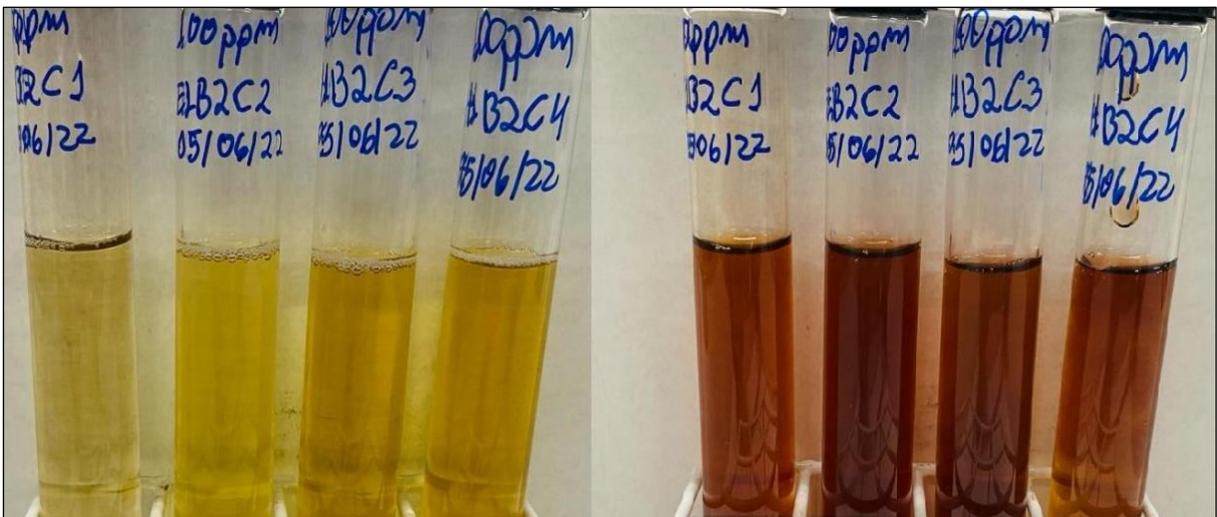


Figura 11 – Solução contendo diferentes concentrações do extrato liofilizado de folhas de bambu *Guadua* sp. nov., em diferentes concentrações de Ag. A coloração marrom-escuro, revela a redução dos íons prata e formação das nanopartículas.

Preparamos um total de 40 amostras em um delineamento experimental inteiramente casualizado com fatorial 2 x 4 x 5 e analisamos as interações dos dois extratos: E1=folha e E2=colmo, com quatro diferentes concentrações (C) e cinco repetições, sendo as repetições as diferentes concentrações de nitrato de prata (AgNO_3).

3.3 TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO

Com o propósito de acompanhar a morfologia, o diâmetro, a distribuição de tamanho e a estabilidade das nanopartículas, foram empregadas diversas técnicas de caracterização.

3.3.1 Espectrofotometria UV-visível

A Espectrofotometria UV-visível é o método de análises ópticas mais utilizado nas investigações biológicas e físico-químicas, representa a medida quantitativa da absorção da luz pelas soluções, onde a concentração na solução da substância absorvente é proporcional à quantidade de luz absorvida. O procedimento para a Espectrofotometria UV-visível consistiu na monitorização da formação das nanopartículas de prata. Utilizou-se o espectrofotômetro USB650UV (OCEAN OPTICS) para realizar leituras de 200 a 800 nm nas soluções contendo as nanopartículas. Foram conduzidas três análises independentes, cada uma com triplicatas ($n=3$). Antes da análise, as amostras foram diluídas previamente com água filtrada Milli-Q para preparação da solução a ser analisada. O acompanhamento da mudança de cor na solução, indicativa da formação das nanopartículas, foi realizado por meio da observação da largura e do deslocamento da banda plasmônica, contribuindo para a caracterização das propriedades ópticas das nanopartículas de prata sintetizadas.

3.3.2 Potencial Zeta

Potencial Zeta é uma medida da magnitude da repulsão ou atração eletrostática das cargas entre partículas, foi determinado para as nanopartículas de prata usando o equipamento Zetasizer Nano Series ZS90 (Malvern Instruments, UK). O procedimento envolveu a análise do diâmetro das nanopartículas (Z-size), a distribuição, o índice de polidispersão (IP) e o potencial zeta (mV) por meio da técnica de espalhamento de luz dinâmico (DLS). As medições foram realizadas a 25°C, com um ângulo de espalhamento fixo de 173°, utilizando um comprimento de onda do laser (He-Ne) de 633 nm e modo de resolução normal. Não houve diluição das amostras para as análises de DLS, e as leituras foram feitas em cubetas de

poliestireno (DTS0012) com um volume de 1,5 mL. O equipamento Zetasizer Nano Series ZS90 permitiu a obtenção de informações sobre o raio hidrodinâmico e o potencial zeta das nanopartículas, contribuindo para a caracterização de suas propriedades físicas e estabilidade coloidal.

3.3.3 Espalhamento Dinâmico da Luz (DLS)

O Espalhamento Dinâmico da Luz (DLS) refere-se a uma técnica de análise utilizada para investigar a dinâmica de partículas suspensas em solução (HANSEN, 2018). Nesse método, um feixe de luz é direcionado para a amostra, e a dispersão da luz resultante é medida ao longo do tempo. A variação nas intensidades das dispersões de luz fornece informações sobre o movimento Browniano das partículas em suspensão.

No procedimento de DLS, a caracterização das nanopartículas de prata foi realizada utilizando o equipamento Zetasizer Nano Series ZS90 (Malvern Instruments, UK). As análises de DLS avaliaram o diâmetro das nanopartículas (Z-size), a distribuição, o índice de polidispersão (IP) e o potencial zeta (mV). As medições foram conduzidas sem a necessidade de diluição das amostras. O experimento foi realizado a 25 °C, com um ângulo de espalhamento fixo de 173°, utilizando um laser He-Ne com comprimento de onda de 633 nm e modo de resolução normal. As leituras foram realizadas em cubetas de poliestireno (DTS0012) com um volume de 1,5 mL. O procedimento foi repetido em três experimentos independentes, cada um com triplicatas (n=3), e os valores médios obtidos, juntamente com os desvios padrões (\pm), foram relatados.

3.3.4 Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET)

A Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET) é um instrumento essencial para a análise de materiais nanoestruturados devido à sua resolução subnanométrica. Consistindo em um feixe de elétrons e lentes eletromagnéticas em uma coluna evacuada, o MET proporciona imagens de alta qualidade que são projeções de uma espessura específica do material, diferindo da observação de sua superfície.

A morfologia das nanopartículas de prata foi avaliada por MET usando um microscópio JEOL, modelo JEM-1011, operando a 80 kV. O procedimento envolveu a preparação das amostras por deposição de uma gota da solução em um filme de carbono amorfo sustentado em uma grade de cobre de 3 mm de diâmetro (300-400 mesh). O filme de carbono, com 3-5 nm de

espessura, foi utilizado para garantir a detecção adequada, sendo a amostra considerada pronta após a evaporação completa do solvente (PONCE *et al.*, 2012). O MET proporcionou uma resolução subnanométrica para análise. A análise da amostra foi realizada na Fundação Oswaldo Cruz/Instituto Gonçalo Moniz (Fiocruz Bahia) e destaca a importância dessa técnica na caracterização de nanomateriais, fornecendo informações detalhadas sobre a morfologia das nanopartículas de prata.

3.3.5 Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A FTIR é um tipo de análise que fornece evidências da presença de grupos funcionais presentes na estrutura de uma substância, podendo ser utilizada na identificação de um composto ou para a investigar sua composição química. A análise foi realizada utilizando o Spectrometer da marca Perkin Elmer, cedido pelo Laboratório da Polícia Federal em Rio Branco-AC. As amostras foram preparadas para a análise FTIR, e as leituras foram realizadas para identificar as características espectrais no espectro infravermelho. O espectrômetro FTIR utiliza a técnica de transformada de Fourier para converter os sinais temporais coletados em um espectro de frequência. Essa técnica permite a identificação de grupos funcionais presentes nas moléculas dos extratos. O experimento visou proporcionar informações sobre a estrutura molecular dos componentes dos extratos de *Guadua* sp. nov., contribuindo para a caracterização química das amostras.

3.4 EXPERIMENTO COM FUNGOS

3.4.1 Preparo das amostras e identificação dos fungos

Para esse processo foram retiradas amostras do colmo de *Guadua* sp. nov. de aproximadamente 12 cm x 8 cm x 2 cm, visando a infestação das mesmas com fungos, uma vez que a utilização de colmos inteiros implicaria em tempo considerável para a ocorrência da deterioração. As amostras foram transportadas em caixas plásticas até a Floresta do Parque Zoobotânico da Universidade Federal do Acre, onde foram distribuídas de forma aleatória no meio ambiente natural da floresta (Figura 12) por um período de 90 dias, nos meses de dezembro de 2022 a fevereiro de 2023, meses em que precipitação média da região é de 360 mm e umidade relativa do ar média de 87,4 % de acordo com SOUSA (2020), garantindo um micro clima ideal para o crescimento dos esporos.



Figura 12 – Amostras de bambu *Guadua* sp. nov. distribuídas no Parque Zoobotânico da UFAC no período de dezembro de 2022 a fevereiro de 2023.

No Laboratório de Fitopatologia da Universidade Federal do Acre-UFAC, procedeu-se ao isolamento e à identificação dos fungos. Das referidas amostras retiraram-se fragmentos de 10 a 20 mm x 0,3 a 0,5 mm, os quais foram imersos em água destilada estéril por dois minutos e colocados sobre um papel de filtro estéril para retirar o excesso de água (Figura 13).

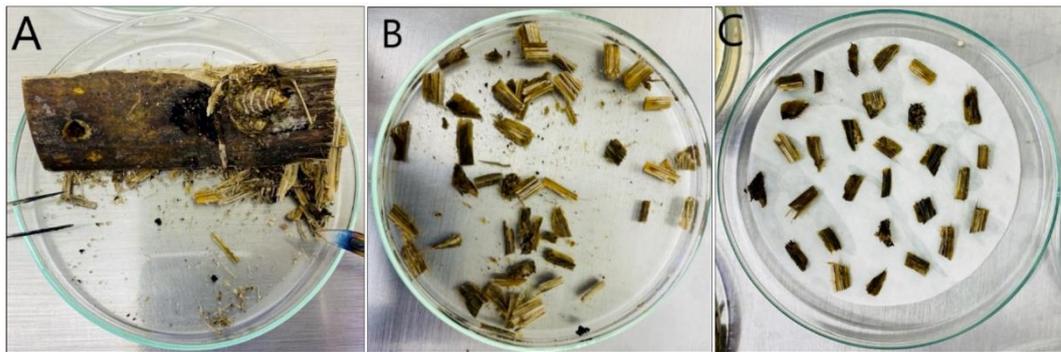


Figura 13 – Retirada dos fragmentos (A), lavagem dos fragmentos (B) e secagem dos fragmentos (C) de bambu *Guadua* sp. nov. para cultivos dos fungos.

Em seguida, os fragmentos foram semeados, de forma equidistante, em placas de Petri contendo meio de cultura malte-ágar à 3% e 250 ppm de antibiótico cloranfenicol, conforme metodologia descrita por MENEZES e ASSIS (2004), (Figura 14). As placas foram mantidas em incubadora, a temperatura ambiente, por um período de aproximadamente 30 dias.



Figura 14 – Fragmentos de bambu *Guadua* sp. nov. semeados em placas de petri para cultivo dos fungos.

À medida que as colônias se desenvolviam (Figura 15), eram transferidas para tubos de ensaio contendo o mesmo meio de cultura, com o objetivo de isolar o fungo no processo de purificação (Figura 16). Estes, foram mantidos nas mesmas condições até o micélio ocupar toda, ou a maior parte da superfície do meio. Toda a limpeza e esterilização das placas de petri e dos demais equipamentos utilizados no processo de cultivo, bem como, o preparo dos meios de cultura, foram feitas conforme metodologia orientada por MENEZES e ASSIS (2004).



Figura 15 – Presença de esporos de fungos nas placas de petri, após 3 dias (A), após 7 dias (B) e após 30 dias (C) da sementeira de fragmentos de bambu *Guadua* sp. nov.

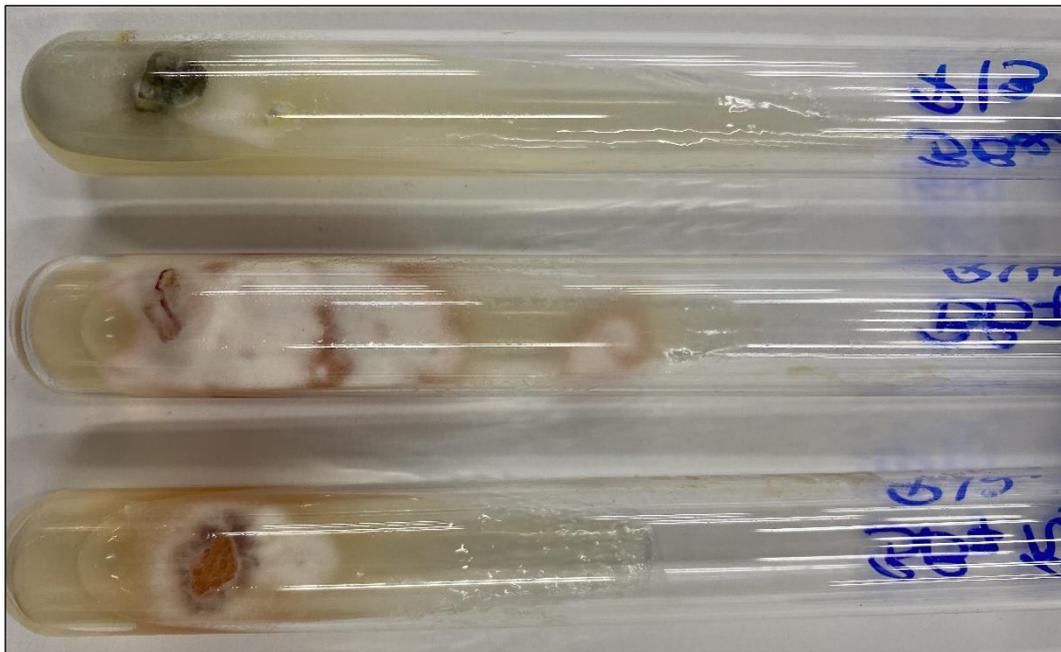


Figura 16 – Processo de isolamento e purificação dos fungos, para posterior identificação.

Para a identificação dos fungos a nível de gênero, foram feitas observações macroscópicas das culturas e microscópicas em lâminas semipermanentes preparadas com lactofenol e corante azul de algodão. Sob microscópio óptico, foram feitas medições das estruturas reprodutivas dos fungos. Para alguns fungos foram preparados microculturas conforme descritos por MENEZES e ASSIS (2004), visando observar detalhes das estruturas, particularmente importantes. Os fungos identificados foram: Classe dos Zigomycetes – *Mucor*; Classe dos Sordariomycetes – *Fusarium*, *Trichoderma* e *Lasiodiplodia*, (Figura 17).

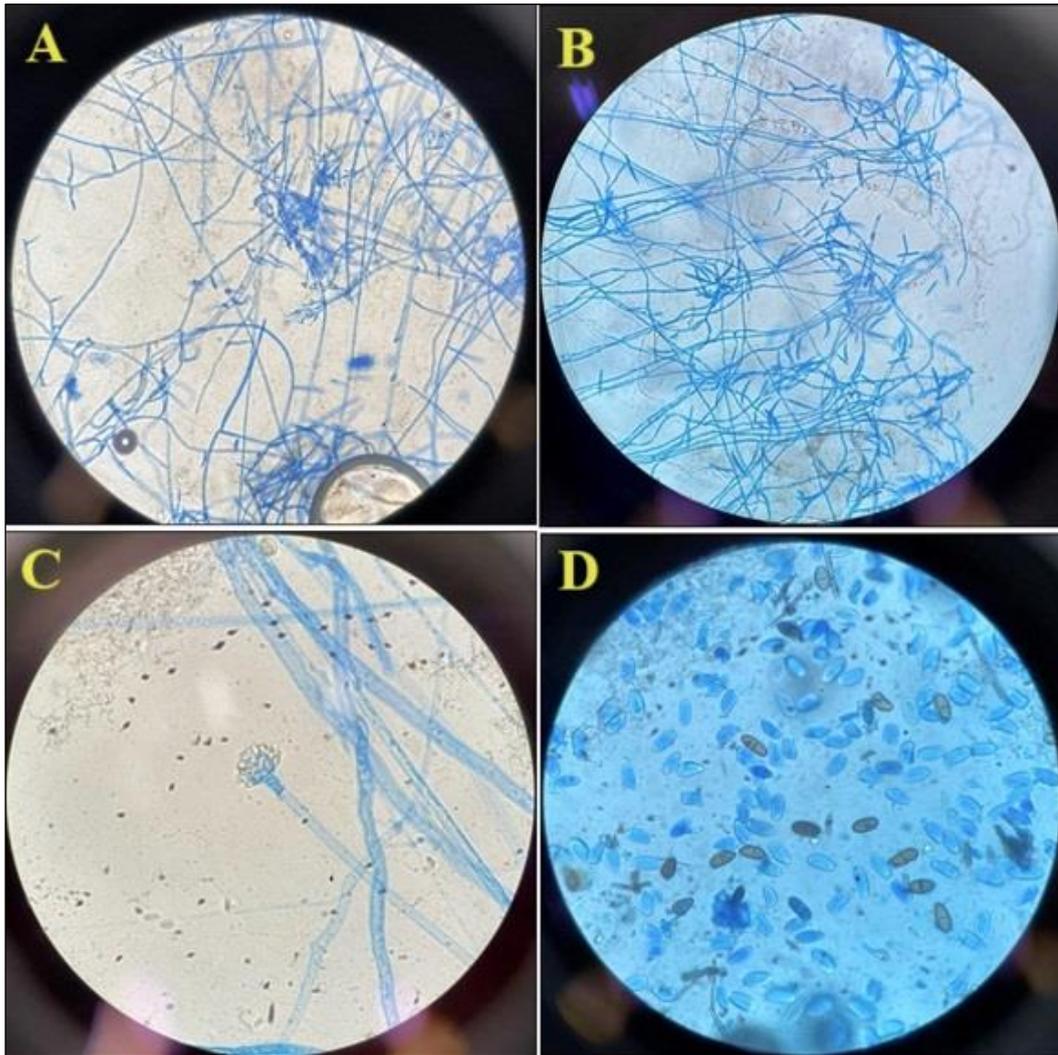


Figura 17 – Observação e identificação microscópica das estruturas de fungos cultivados a partir de fragmentos de colmos de *Guadua* sp. nov. (A) *Trichoderma*, (B) *Fusarium*, (C) *Mucor* e (D) *Lasiodiplodia*.

3.4.2 Tratamento dos fungos com soluções de nanopartículas de prata

Foram preparadas soluções de nitrato de prata (AgNO_3) da marca SIGMA-ALDRICH, ACS reagente, $\geq 99,0\%$, em balão volumétrico de 1000 mL nas concentrações: 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm, 400 ppm e 500 ppm de Ag. Para a síntese das nanopartículas foi utilizado $2,00 \text{ g.L}^{-1}$ de extrato liofilizado de folhas de *Guadua* sp. nov. como agente redutor. A solução foi agitada em Agitador Vortex-QUIMIS, durante três minutos e a temperatura ambiente, até a perfeita homogeneização da solução. As sínteses coloidais foram submetidas às temperaturas e luz ambiente durante 24 horas até apresentar cor marrom escuro, o que revela a completa redução dos íons prata e formação das nanopartículas (Figura 18).



Figura 18 – Solução com nanopartículas de prata (AgNPs) reduzidas a partir de $2,00 \text{ g.L}^{-1}$ de extrato liofilizado de folhas de bambu *Guadua* sp. nov., nas concentrações de 100, 200, 300, 400 e 500 ppm de Ag.

Para o início do tratamento do controle de crescimento dos fungos, foram separados os seguintes materiais: 124 placas de petri; 11 balões volumétricos de 250 mL; discos de papel filtro de 10 mm de diâmetro; 3 litros do meio de cultura: extrato de malte-ágar (MA); solução de nanopartículas de prata nas concentrações de 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm, 400 ppm e 500 ppm de Ag; $2,00 \text{ g.L}^{-1}$ de extrato de folha de bambu diluído em 1 litro de água ultra pura (testemunha); solução de nitrato de prata (AgNO_3) nas concentrações: 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm, 400 ppm e 500 ppm de Ag (testemunha). Todo o material foi submetido a esterilização em autoclave na temperatura controlada de 121°C durante 20 minutos. Todas as soluções foram adicionadas a balões volumétricos de 250 mL, tamponadas com algodão, papel alumínio e lacradas com fita adesiva específica para autoclave de 19mm x 30m da marca Cremer e identificadas (Figura 19).



Figura 19 – Solução contendo nanopartículas de prata (AgNPs) em diferentes concentrações de Ag, após esterilização em autoclave a 121°C durante 20 minutos.

Fizeram parte do experimento os seguintes fungos: Classe dos Zigomycetes – *Mucor*; Classe dos Sordariomycetes – *Fusarium*, *Trichoderma* e *Lasiodiplodia*. Foram utilizadas as seguintes concentrações de nanopartículas de prata (AgNPs): 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm, 400 ppm e 500 ppm de Ag. Para os testes de sensibilidade, um inóculo de cada amostra de fungo foi preparado por adição de 5mL de solução salina 0,85%, à superfície de culturas, incubadas em períodos distintos de acordo com a exigência de crescimento dos fungos. Cada suspensão de fungo foi ajustada de modo a conter 1×10^6 a $5,0 \times 10^6$ UFC/mL por comparação da turbidez com o tubo 0,5 da escala de McFarland.

3.4.3 Técnica do disco-difusão

A técnica de disco-difusão foi realizada conforme recomendações descritas por DIOGO *et al.* (2010). Discos de papel de 10 mm, foram imersos nas soluções contendo: nanopartículas de prata (AgNPs) nas concentrações de 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm, 400 ppm e 500 ppm de Ag; solução de extrato puro de folhas de bambu na concentração de $2,00 \text{ g.L}^{-1}$ (testemunha) e solução de nitrato de prata AgNO_3 nas concentrações de 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm, 400 ppm e 500 ppm de Ag (testemunha). O meio de cultura empregado para o cultivo do gênero *Trichoderma* foi o Extrato de malte-ágar (MA), os demais gêneros foram cultivados em meio Batata-dextrose-ágar (BDA), formulados segundo a metodologia de MENEZES e ASSIS (2004) e colocados em balões volumétricos de 250 mL, lacrados, esterilizados e vertidos em placas de Petri (100 mm x 20 mm) até o esfriamento e solidificação do meio.

Os inóculos com fungos foram distribuídos o mais uniforme possível na superfície do

meio de cultura. Após absorção completa dos inóculo, procedeu-se a aplicação dos discos. Foram aplicados 4 discos de forma equidistante, com auxílio de uma pinça estéril para evitar contaminação (Figura 20). Todos os discos foram pressionados suavemente para o contato total com a superfície do ágar. Em seguida as placas foram invertidas e encubadas em uma sala do Laboratório de Fitopatologia a luz e temperatura ambiente. O grau de sensibilidade de cada amostra de fungo às soluções de nanopartículas foi avaliado com o auxílio de um paquímetro pela medida (mm) do tamanho do halo de inibição formado ao redor do disco após 24, 48 e 72 horas da inoculação. As soluções de extrato puro de folhas de *Guadua* sp. nov. na concentração de 2,00 g.L⁻¹ e as soluções de nitrato de prata AgNO₃ nas concentrações de 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm, 400 ppm e 500 ppm de Ag, serviram como testemunhas do experimento.

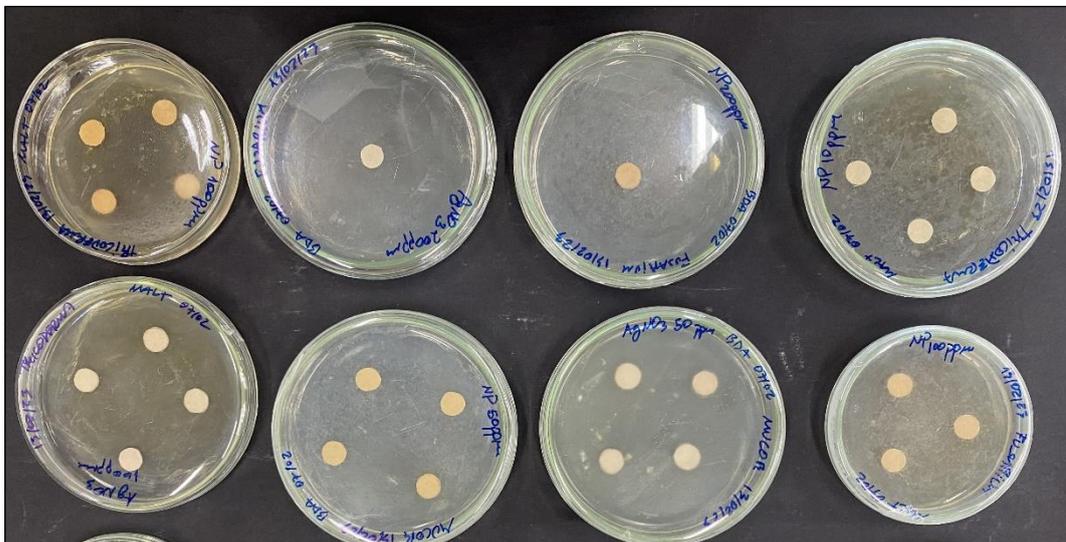


Figura 20 – Técnica do disco-difusão, aplicada para controle de fungos a partir de fragmentos de colmos *Guadua* sp. nov.

Cada isolado foi classificado em:

- Sem Inibição (SI) (0 mm): Não há zona clara ao redor do disco, indicando ausência de atividade antifúngica;
- Inibição Leve (IL) (até 10 mm): Pequeno halo de inibição, indicando uma atividade antifúngica fraca;
- Inibição Moderada (IM) (10-15 mm): Halo de inibição de tamanho intermediário, indicando uma atividade antifúngica moderada;
- Inibição Forte (IF) (mais de 15 mm): Halo de inibição considerável, indicando uma atividade antifúngica robusta, segundo recomendações descritas no método

M44-A (Method for Antifungal Disk Diffusion Susceptibility) Clinical & Laboratory Standards Institute.

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA E GRÁFICOS

Os dados referentes a largura à meia altura (FWHM) no UV-visível e ao índice de polidispersão (PDI) por espalhamento de luz dinâmico (DLS) foram associados à concentração do extrato e analisados utilizando um delineamento inteiramente casualizados, para a análise de variância entre os tratamentos. Os resultados obtidos nas análises por espectrofotometria UV-Vis (cálculos da largura à meia altura - FWHM) e por DLS (Dz e PDI) foram avaliados através de superfície de resposta. Os gráficos foram gerados por meio do programa Origin®. Os dados referente à avaliação do controle de crescimento dos fungos em relação à concentração de nanopartículas de prata (AgNPs) na solução coloidal, foram analisados utilizando um delineamento inteiramente casualizado com arranjo fatorial 4 x 5, com cinco repetições, num total de 100 tratamentos (quatro gêneros de fungos e cinco concentrações Ag).

4 RESULTADOS

4.1 SÍNTESE VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA

As nanopartículas de prata (AgNPs) foram geradas a partir de nitrato de prata (AgNO_3), ao qual foi adicionado extrato aquoso de folhas de bambu da espécie *Guadua* sp. nov., atuando como agente redutor e estabilizador (Figura 21). A estabilidade das nanopartículas é atribuída à presença de substâncias bioativas contidas no extrato aquoso, como os flavonoides, que impedem a interação e, conseqüentemente, a agregação entre elas (VIANA *et al.*, 2022).

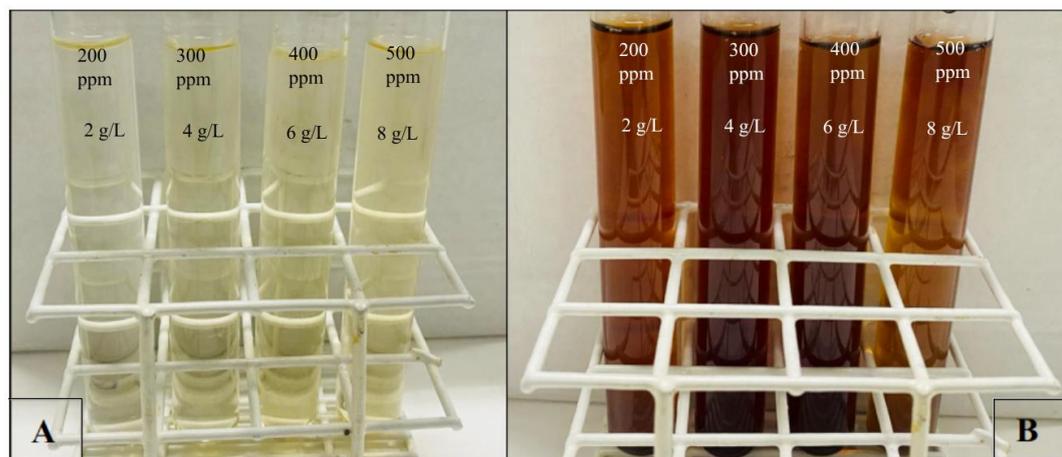


Figura 21 – Solução contendo diferentes concentrações do extrato liofilizado de folhas de bambu *Guadua* sp. nov., em diferentes concentrações de Ag. As figuras mostram o antes (A) e depois da síntese de nanopartículas de prata (AgNPs), expostas a temperatura e a luz ambiente (B).

A distribuição de tamanhos apresentou uma forma estreita, indicando que as partículas são muito semelhantes em tamanho, ao passo que os valores que se aproximaram de 1,0 (Tabela 1) denotaram uma distribuição polidispersa, conforme demonstrado por TOMASZEWSKA *et al.* (2013).

Os resultados descritos na tabela 1, indicam que a síntese de nanopartículas de prata utilizando extrato de folhas de *Guadua* sp. nov. em diferentes concentrações de Ag (100 a 500 ppm) resultou em nanopartículas com tamanhos variados. A média geral dos diâmetros obtidos para todas as concentrações ficou em torno de 40,26 nm para C1=2,00 g.L⁻¹ de extrato, 45,38 nm para C2= 4,00 g.L⁻¹, 42,20 nm para C3=6,00 g.L⁻¹ e 51,91 nm para C4=8,00 g.L⁻¹. Além disso, a polidispersividade (Pdl) foi avaliada como um indicativo da uniformidade na distribuição de tamanho das nanopartículas. Os valores de Pdl variaram para cada concentração, indicando diferentes graus de polidispersão. Em geral, observou-se que concentrações mais baixas de extrato (C1 e C2) tendem a apresentar uma distribuição mais uniforme, enquanto concentrações mais altas (C3 e C4) resultaram em maior polidispersão, indicando uma

variedade de tamanhos nas nanopartículas produzidas.

Tabela 1 - Leituras do Diâmetro (nm) e da Polidispersividade (Pdl) das nanopartículas de prata resultantes da síntese verde do extrato de folhas de bambu *Guadua* sp. nov. como agente redutor, em diferentes concentrações de Ag, realizada pela técnica de Espalhamento Dinâmico de Luz – DLS utilizando o sistema zetasizer Nano ZS90.

Extrato de Folha (g/L)	Concentração de Ag (ppm)	Diâmetro das nanopartículas (nm)	Polidispersividade (Pdl)
C1=2,00	100	39,42	0,194
	200	45,18	0,237
	300	38,62	0,263
	400	39,47	0,477
	500	38,63	0,481
C2=4,00	100	43,70	0,249
	200	41,87	0,241
	300	52,00	0,396
	400	48,13	0,333
	500	41,22	0,210
C3=6,00	100	44,72	0,451
	200	51,98	0,253
	300	40,95	0,238
	400	37,19	0,237
	500	36,18	0,1261
C4=8,00	100	85,65	0,434
	200	39,06	0,287
	300	40,28	0,285
	400	35,08	0,377
	500	59,49	0,387

Conforme destacado por RAO e TANG (2017), o incremento na concentração de Ag resulta no aumento da intensidade da banda plasmônica até atingir um ponto específico. Nesse estágio, observa-se uma propensão à formação de nanopartículas com ampla dispersão de tamanho, provocando o aumento da largura da banda plasmônica. A estreita distribuição de tamanhos sugere que as partículas são bastante uniformes em tamanho, com um diâmetro médio de 39,42 nm. Essa síntese, utilizou uma concentração de 2,00 g/L do extrato liofilizado como agente redutor na solução de nitrato de prata (AgNO₃) a 100 ppm.

Esses resultados (Figuras 22 e 23), sugerem que a concentração do extrato de folhas de *Guadua* sp. nov. influencia diretamente nas características das nanopartículas, proporcionando uma abordagem ajustável para controlar o tamanho e a dispersão das partículas conforme necessário para diferentes aplicações.

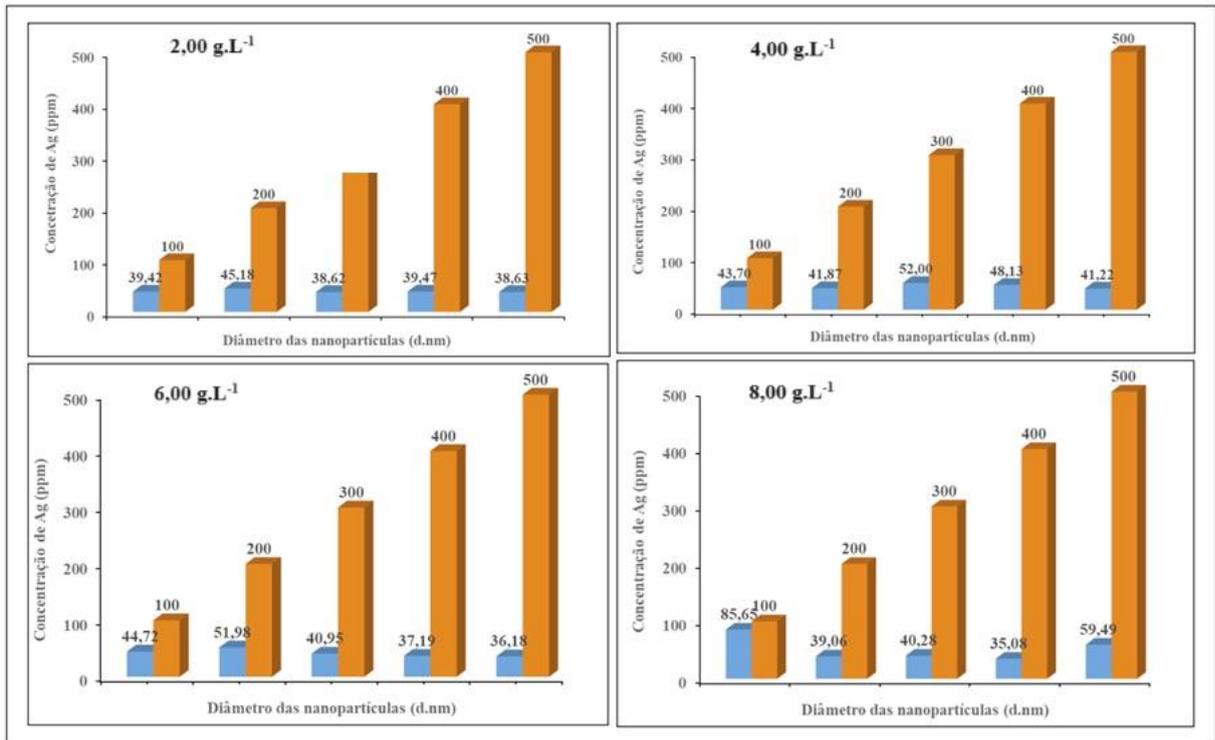


Figura 22 - Tamanho médio de nanopartículas de prata, resultantes da síntese verde, utilizando 2,0, 4,0, 6,0 e 8,0 g.L⁻¹ do extrato de folhas de bambu *Guadua* sp. nov. como agente redutor, em diferentes concentrações de Ag.

Por outro lado, as nanopartículas de prata (AgNPs) provenientes do extrato de colmo, também expostas a temperatura e luz ambiente, apresentaram um tamanho médio de 94,95 nm de diâmetro, com um índice médio de polidispersividade de 0,200 (Tabela 2). Esses valores indicam uma distribuição de tamanhos mais ampla, sugerindo uma heterogeneidade maior nas dimensões das partículas.

No entanto, mesmo nessas condições, as nanopartículas obtidas a partir do extrato de folhas demonstraram ser as de menor tamanho, com eficiência destacada na redução de íons de prata, resultando em partículas com diâmetros $\geq 34,98$ nm e uma distribuição monodispersa, onde as partículas são notavelmente uniformes em tamanho.

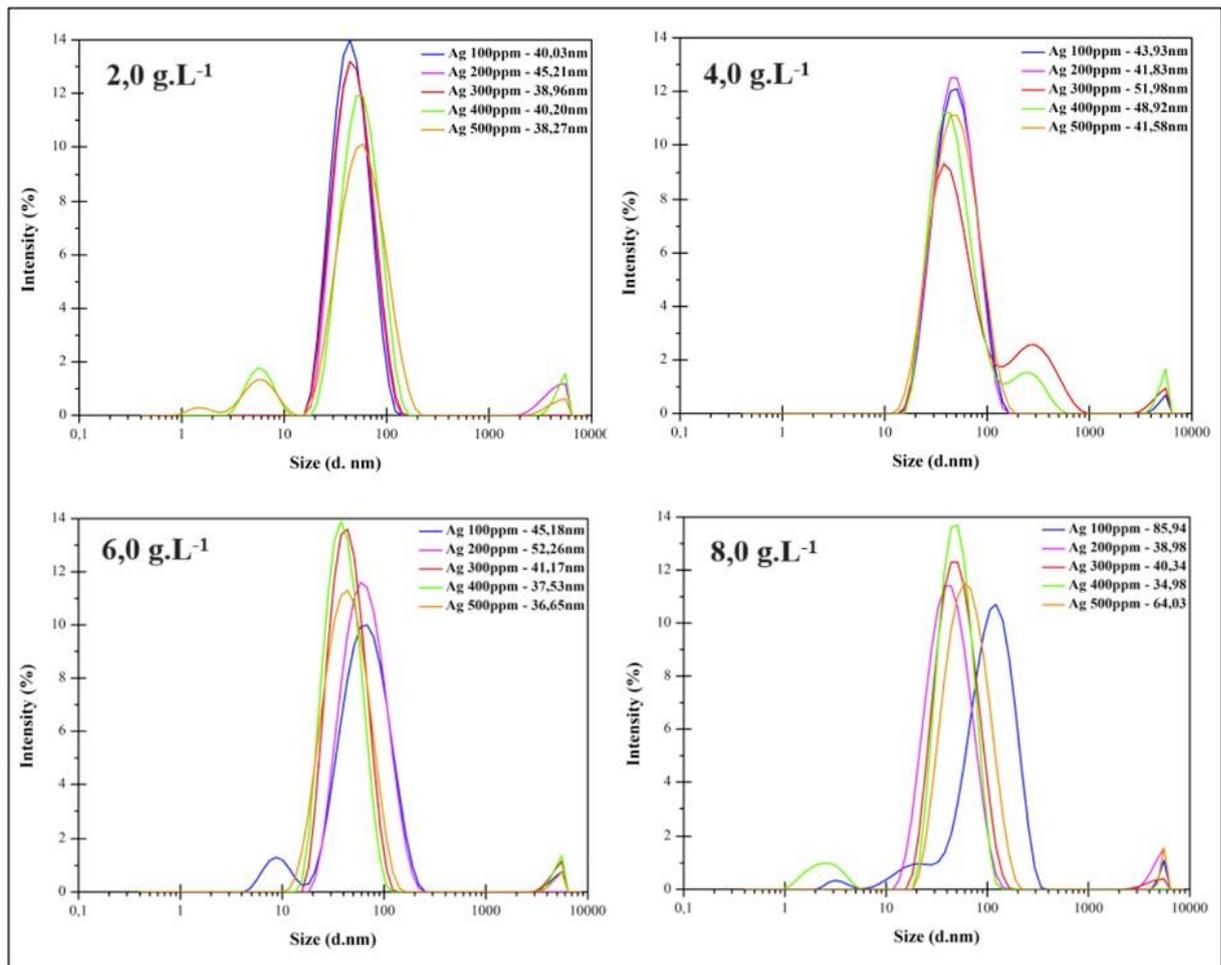


Figura 23 – Tamanho médio de nanopartículas de prata resultantes da síntese verde, utilizando 2,0, 4,0, 6,0 e 8,0 g.L⁻¹ do extrato de folhas de bambu *Guadua* sp. nov. como agente redutor, em diferentes concentrações de Ag, determinado pela técnica de espalhamento dinâmico de luz (DLS).

Os resultados descritos na tabela 2 e representados na figura 24, evidenciam que a síntese de nanopartículas de prata utilizando extrato de colmos de *Guadua* sp. nov. em diferentes concentrações de Ag (100 a 500 ppm) resultou em nanopartículas de prata com diâmetros maiores que as nanopartículas sintetizadas com extratos de folhas de *Guadua* sp. nov. A média geral dos diâmetros obtidos para todas as concentrações ficou em torno de 135,27 nm para C1=2,0 g.L⁻¹ de extrato, 197,10 nm para C2=4,0 g.L⁻¹, 252,45 nm para C3=6,0 g.L⁻¹ e 349,12 nm para C4=8,0 g.L⁻¹).

Esses resultados indicam que a concentração do extrato de colmos de *Guadua* sp. nov. influencia diretamente nas características das nanopartículas, proporcionando uma abordagem ajustável para controlar o tamanho e a dispersão das partículas, conforme necessário para diferentes aplicações.

Tabela 2 - Leituras do Diâmetro (nm) e da Polidispersividade (Pdl) das nanopartículas de prata resultantes da síntese verde do extrato de colmo de bambu *Guadua* sp. nov. como agente redutor, em diferentes concentrações de Ag, realizadas pela técnica de Espalhamento Dinâmico de Luz – DLS utilizando o sistema zetasizer Nano ZS90

Extrato de Colmo (g/L)	Concentração de Ag (ppm)	Diâmetro das nanopartículas (nm)	Polidispersividade (Pdl)
C1=2,00	100	94,95	0,200
	200	105,40	0,205
	300	139,47	0,186
	400	152,50	0,170
	500	184,03	0,179
C2=4,00	100	140,67	0,161
	200	165,57	0,171
	300	198,43	0,194
	400	230,07	0,213
	500	250,80	0,194
C3=6,00	100	167,73	0,197
	200	242,67	0,239
	300	269,30	0,253
	400	300,77	0,228
	500	292,03	0,229
C4=8,00	100	193,37	0,213
	200	343,23	0,250
	300	348,97	0,285
	400	428,23	0,303
	500	431,80	0,313

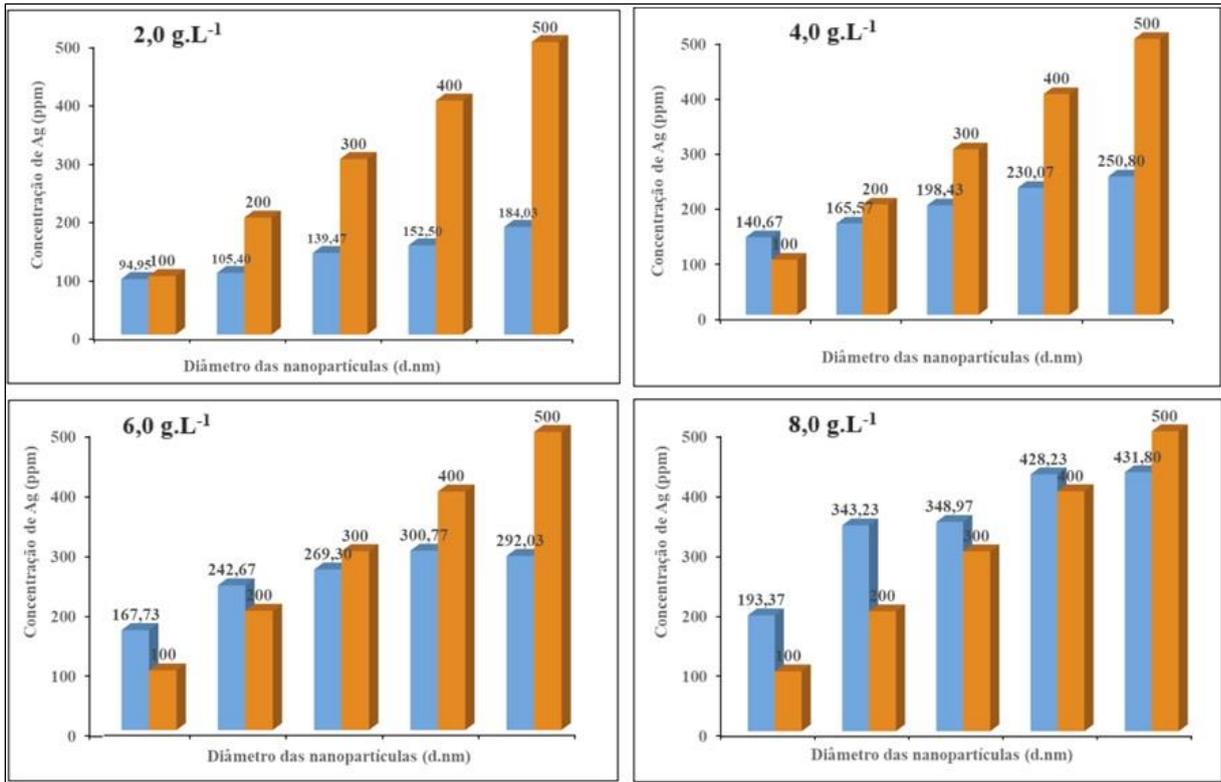


Figura 24 – Tamanho médio de nanopartículas de prata, resultantes da síntese verde, utilizando 2,0, 4,0, 6,0 e 8,0 g.L⁻¹ do extrato de colmo de bambu *Guadua* sp. nov. como agente redutor, em diferentes concentrações de Ag.

4.2 ESPECTROFOTOMETRIA UV-VISÍVEL

As imagens nas Figuras 25 e 26 evidenciam as bandas de plasmom ressonante para as nanopartículas de prata utilizando extratos de folhas e colmos de bambu em diferentes concentrações de Ag. Ao analisar os espectros de UV-visível, nota-se que as bandas apresentam absorção máxima próxima a 450 nm, uma região característica para prata, conforme descrito na literatura (ZHANG *et al.*, 2004).

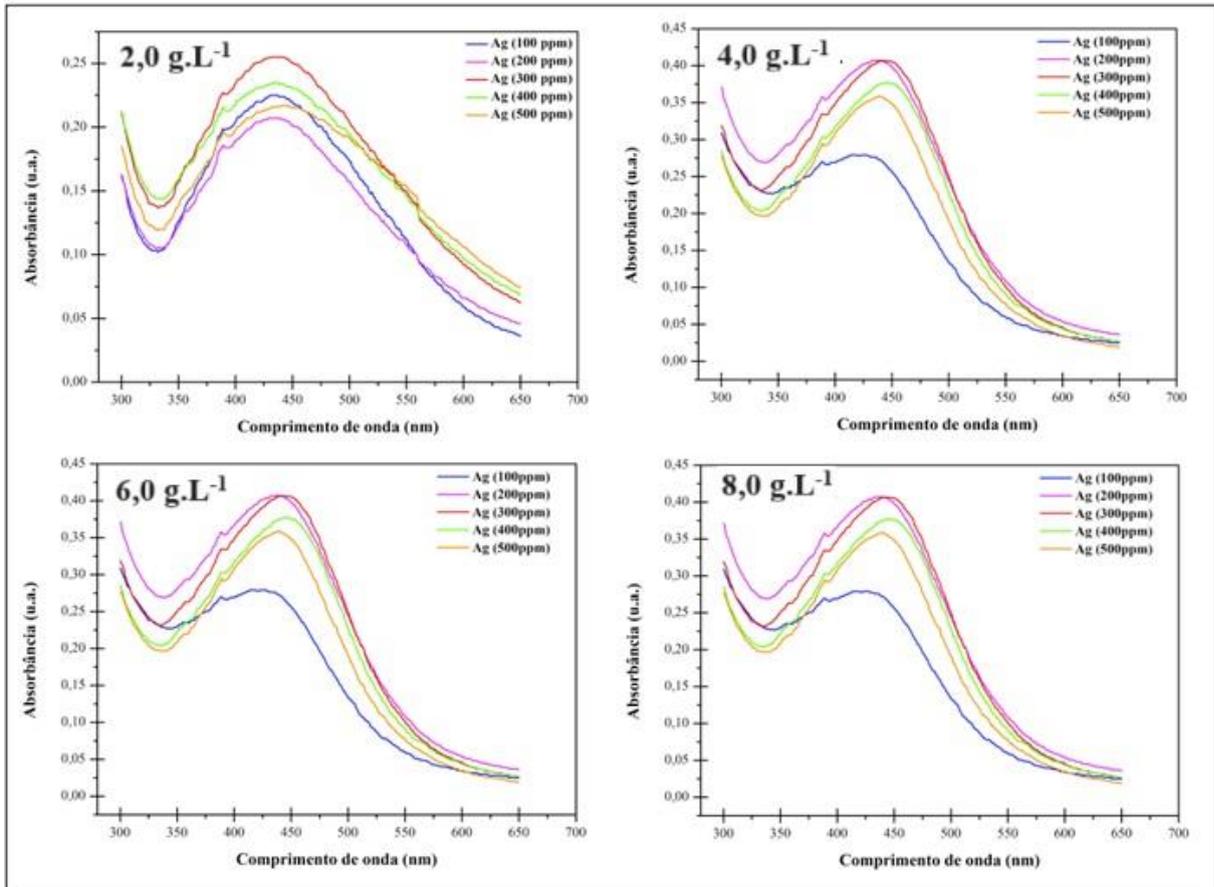


Figura 25 - Espectroscopia UV-Vis das nanopartículas de prata nas concentrações de 2,0, 4,0, 6,0 e 8,0 g.L⁻¹ do extrato de folhas de bambu *Guadua* sp. nov. como agente redutor, em diferentes concentrações de Ag.

Pode-se afirmar que as concentrações de 100 e 200 ppm de Ag com 2,0 g.L⁻¹ do extrato de *Guadua* sp. nov., parecem ideais nesse sistema para obter nanopartículas de prata, pois as bandas de plasmom nessas concentrações mostraram-se mais definidas. Esses resultados indicam condições favoráveis para a formação controlada das AgNPs.

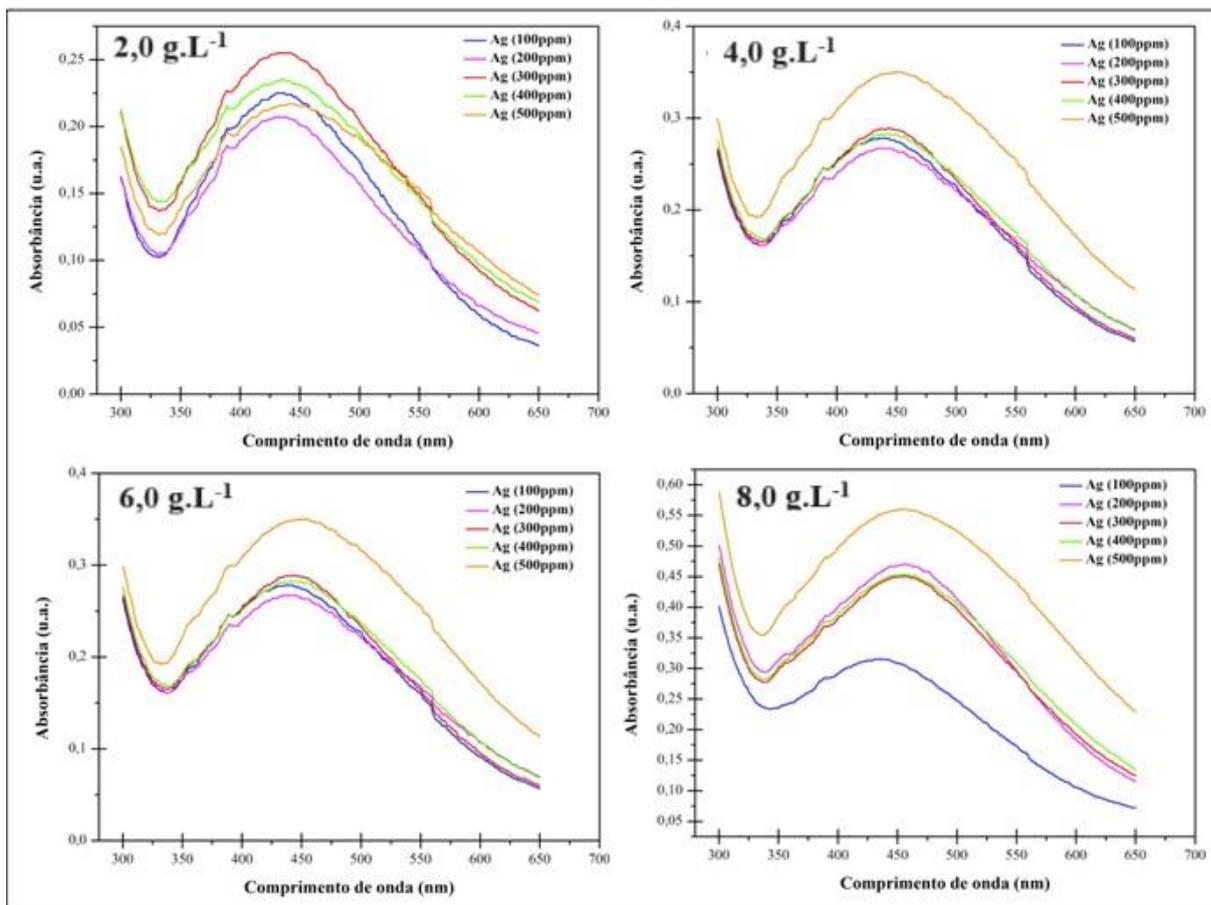


Figura 26 - Espectroscopia UV-Vis das nanopartículas de prata nas concentrações de 2,0, 4,0, 6,0 e 8,0 g.L⁻¹ do extrato de colmos de bambu *Guadua* sp. nov. como agente redutor, em diferentes concentrações de Ag.

4.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE TRANSMISSÃO (MET)

Na Figura 27, observa-se a imagem de MET das nanopartículas de prata provenientes dos extratos de folhas e colmos de bambu *Guadua* sp. nov. Os valores obtidos para os extratos variaram de 30 a 50 nm para folhas e de 50 a 100 nm para colmos de bambu. As nanopartículas de prata, resultantes da síntese verde com extratos de folhas de bambu, apresentaram uniformidade em seus tamanhos, com distribuição estreita, o que as caracteriza como monodispersas (SOUSA *et al.*, 2022). Essa característica é essencial em nanopartículas.

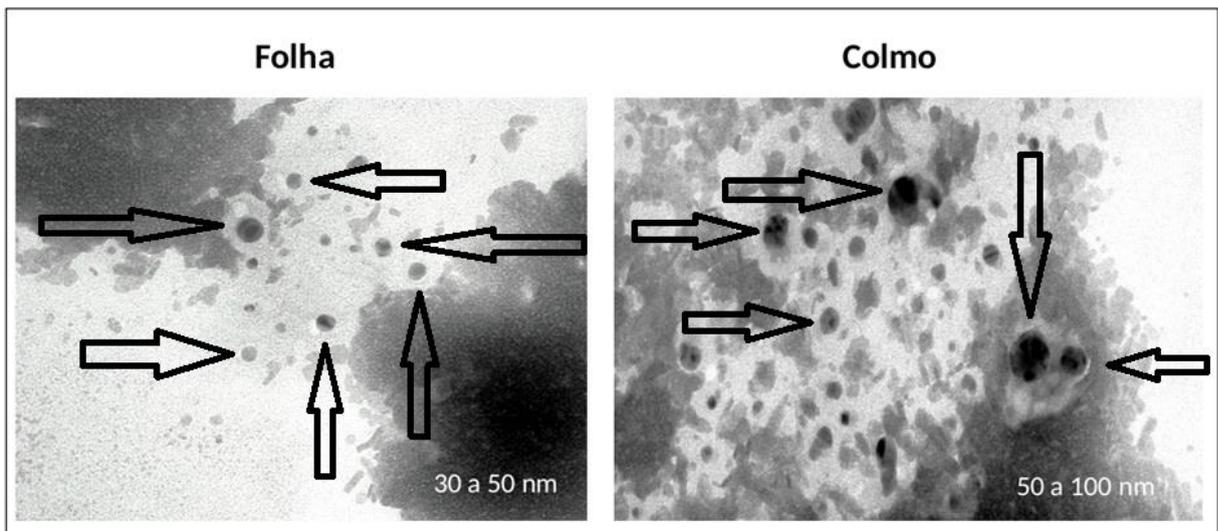


Figura 27 - Microscopia eletrônica de Transmissão – MET da solução de nanopartículas de prata (AgNPs), reduzidas com extrato de folha e colmo de bambu, evidenciando seu tamanho e formato esférico.

4.4 POTENCIAL ZETA

O valor médio do Potencial Zeta foi de -14,90 mV, determinado pela técnica de espalhamento dinâmico de luz (DLS), em uma solução contendo 2,0 g.L⁻¹ de extrato de folhas de bambu *Guadua* sp. nov. em diferentes concentrações de Ag. Na figura 28, é possível observar o histograma gerado pela análise de DLS, revelando uma distribuição monomodal quase simétrica, com partículas variando de 35,08 nm a ≤ 59,49 nm. Esses resultados são consistentes com a curva monomodal de potenciais Zeta, abrangendo uma faixa de -60,5 mV a 40,6 mV, com o máximo em -22 mV.

Os resultados indicam que algumas partículas apresentam valores mais elevados de Potencial Zeta, tornando-as sistemas mais estáveis na forma de nanopartículas de prata. Contudo, observa-se que uma fração das NPs exibe valores mais baixos de potencial Zeta, sugerindo uma propensão à aglomeração dessas partículas.

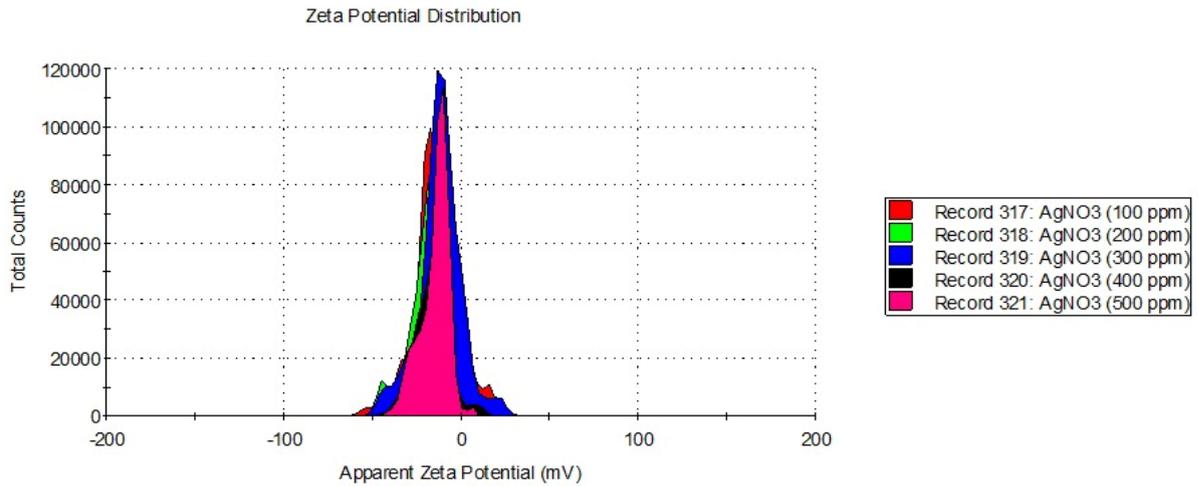


Figura 28 – Valor do potencial Zeta médio de -14,90 (mV), determinado pela técnica de espalhamento dinâmico de luz (DLS), em solução contendo 2,00 g.L⁻¹ do extrato de folhas de bambu *Guadua* sp. nov. em diferentes concentrações de Ag.

4.5 ESPALHAMENTO DINÂMICO DA LUZ (DLS)

Foram conduzidas medições de DLS para avaliar a variação no tamanho das nanopartículas de prata nos experimentos utilizando diferentes concentrações de extrato de folhas de *Guadua* sp. nov. em soluções de 100 a 500 ppm de Ag, assim como sua dispersão na solução coloidal. Os experimentos revelaram uma distribuição bimodal, evidenciando dois picos de intensidade. Ao analisar as diversas concentrações do extrato de folhas de bambu *Guadua* sp. nov., com base nos dados de DLS, observa-se que, para a menor concentração de extrato, as nanopartículas de prata (AgNPs) apresentaram dimensões menores, enquanto concentrações mais elevadas favoreceram a formação de nanopartículas de prata (AgNPs) com dimensões maiores (Figura 29).

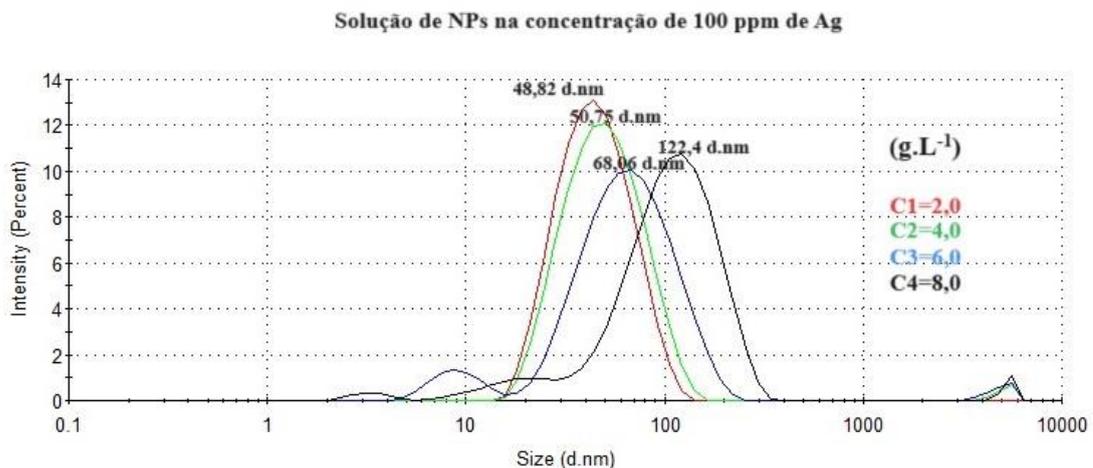


Figura 29 – Análise do tamanho das nanopartículas de prata (AgNPs) pela intensidade (porcentagem) presente na amostra, em diferentes concentrações de extrato de folhas de *Guadua* sp. nov. em solução de 100 ppm de Ag, determinado pela técnica de espalhamento dinâmico de luz (DLS).

Os resultados obtidos nas análises de espalhamento dinâmico de luz (DLS) revelam informações importantes sobre as características das nanopartículas de prata sintetizadas a partir de extratos de folhas e colmos de bambu *Guadua* sp. nov.

Para o extrato de folhas de bambu *Guadua* sp. nov., a técnica de DLS indicou um tamanho médio das nanopartículas de 38,27 nm (Figura 30) na solução de maior concentração de Ag. Além disso, o potencial Zeta médio foi registrado em -14,90 mV. Esses resultados sugerem a obtenção de nanopartículas relativamente pequenas e com uma carga superficial que indica uma estabilidade moderada nas soluções analisadas.

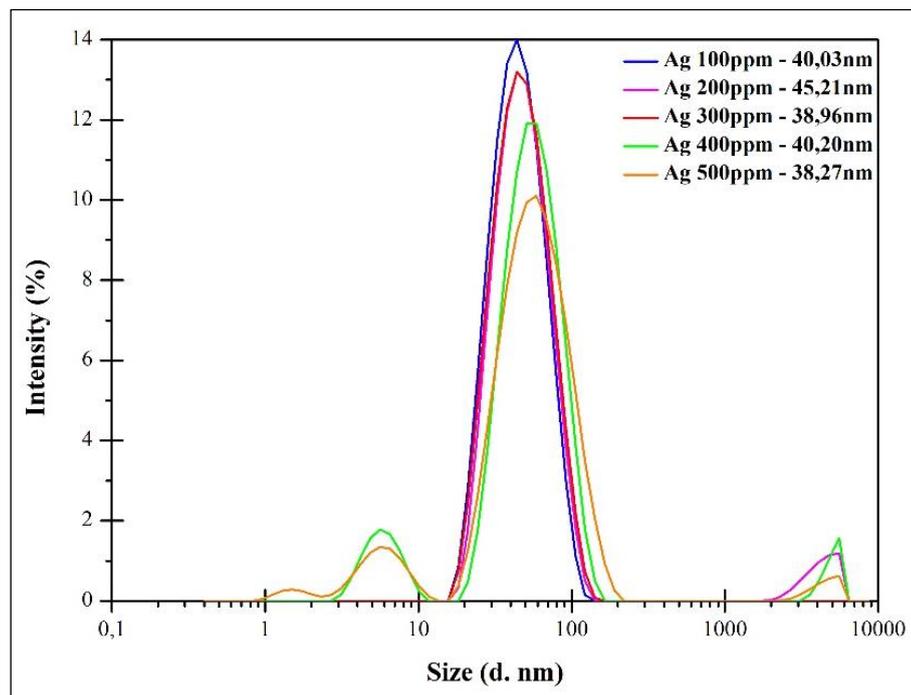


Figura 30 – Tamanhos médios das nanopartículas de prata (AgNPs) determinado pela técnica de espalhamento dinâmico de luz (DLS), em solução contendo 2,00 g.L⁻¹ do extrato de folhas de bambu *Guadua* sp. nov. em diferentes concentrações de Ag.

No caso do extrato de colmos de bambu *Guadua* sp. nov., as nanopartículas apresentaram um tamanho médio de 41,58 nm (Figura 31), determinado pela técnica de DLS, em soluções contendo diferentes concentrações de Ag. O potencial Zeta médio foi -14,00 mV. Esses resultados indicam que as nanopartículas sintetizadas a partir do extrato de colmos também possuem um tamanho médio relativamente pequeno e uma carga superficial que contribui para a estabilidade coloidal.

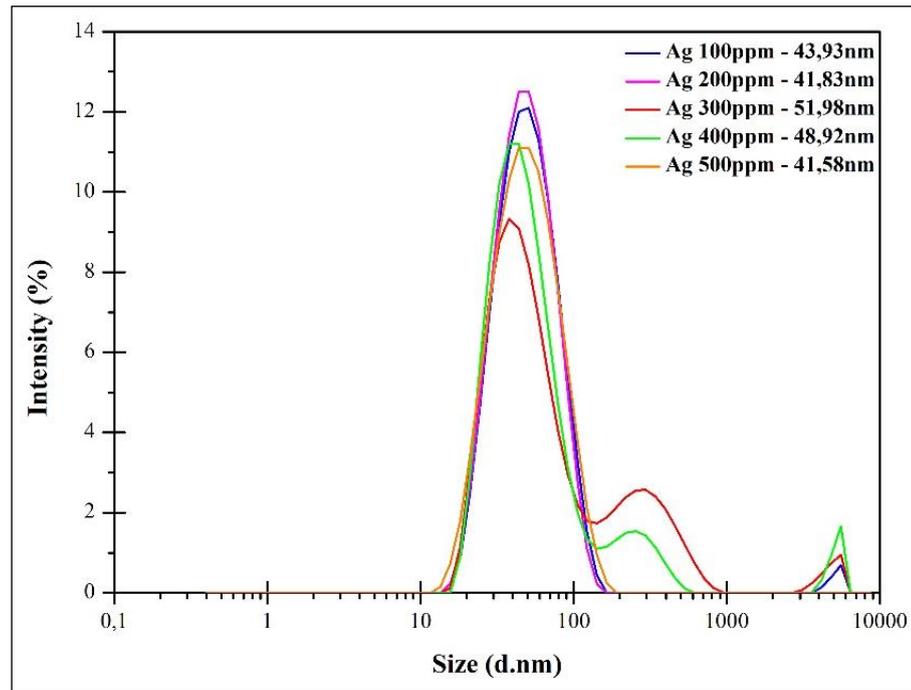


Figura 31 – Tamanhos médios das nanopartículas de prata (AgNPs) determinado pela técnica de espalhamento dinâmico de luz (DLS), em solução contendo $4,00 \text{ g.L}^{-1}$ do extrato de colmo de bambu *Guadua* sp. nov. em diferentes concentrações de Ag.

Em ambas as situações, a presença dos extratos de bambu *Guadua* sp. nov. atuou de forma eficaz como agente redutor, contribuindo para a formação de nanopartículas de prata (AgNPs) com características físicas e elétricas desejadas. A análise por DLS fornece insights valiosos sobre a uniformidade e estabilidade das nanopartículas, indicando sua aplicabilidade potencial em diversas áreas.

4.6 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

A figura 32 ilustra o espectro sobreposto de FTIR do extrato liofilizado puro de folhas da *Guadua* sp. nov. O espectro das folhas de bambu exibe um perfil de ondas característico, e os deslocamentos nos números de onda estão associados às alterações nos estados vibracionais das moléculas, indicando a presença de metabólitos secundários, como compostos fenólicos, terpenos e alcaloides, no extrato utilizado. Esses resultados corroboram a ideia de ANAND (2015), que apontam a presença de diferentes grupos funcionais na estabilização e aglomeração das moléculas.

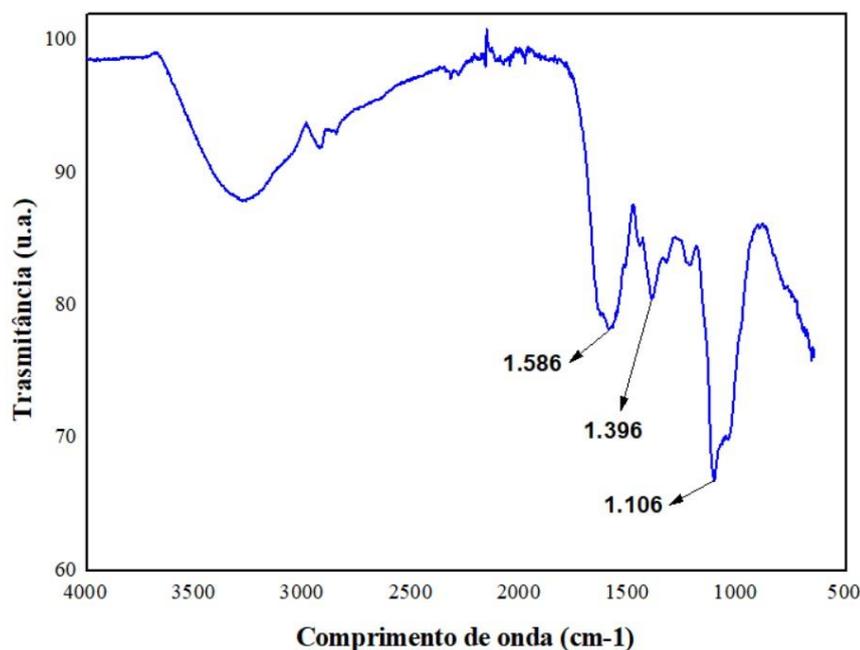


Figura 32 - Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) do extrato puro liofilizado de folhas de *Guadua* sp. nov.

4.7 EXPERIMENTO COM FUNGOS

Os resultados dos experimentos com fungos revelaram informações importantes sobre a atividade antifúngica das nanopartículas de prata (AgNPs) sintetizadas a partir de extratos de folhas de *Guadua* sp. nov. As respostas variaram de acordo com o tipo de fungo e as concentrações de nanopartículas de prata (AgNPs) testada. As figuras 33, 34, 35 e 36 mostram a atividade antifúngica das nanopartículas de prata (AgNPs), no controle de *Trichoderma*, *Fusarium* e *Lasiodiplodia*, representada pela formação de halos, após 48 horas da aplicação das mesmas pela técnica disco-difusão.

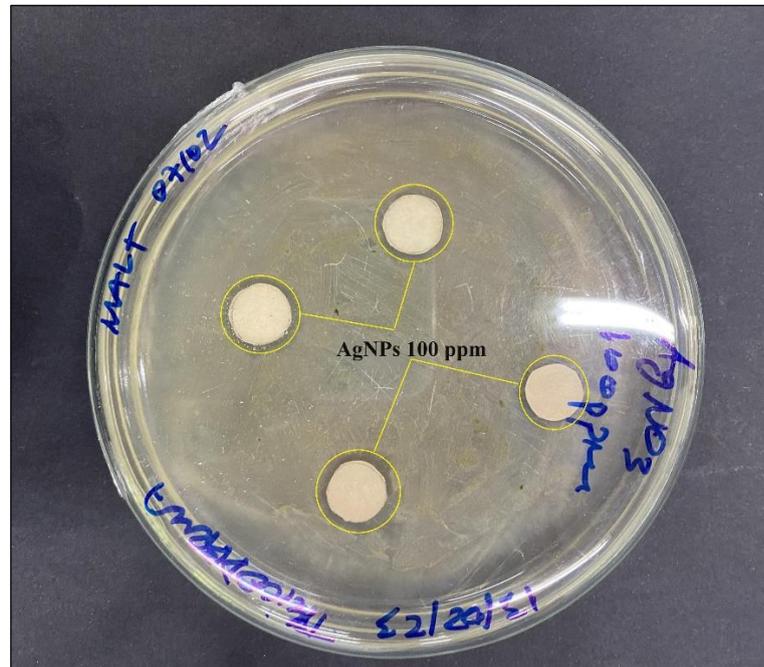


Figura 33 – Atividade antifúngica das nanopartículas de prata (AgNPs), no controle de *Trichoderma*, representada pela formação de halos, após 48 horas da aplicação, pela técnica disco-difusão.

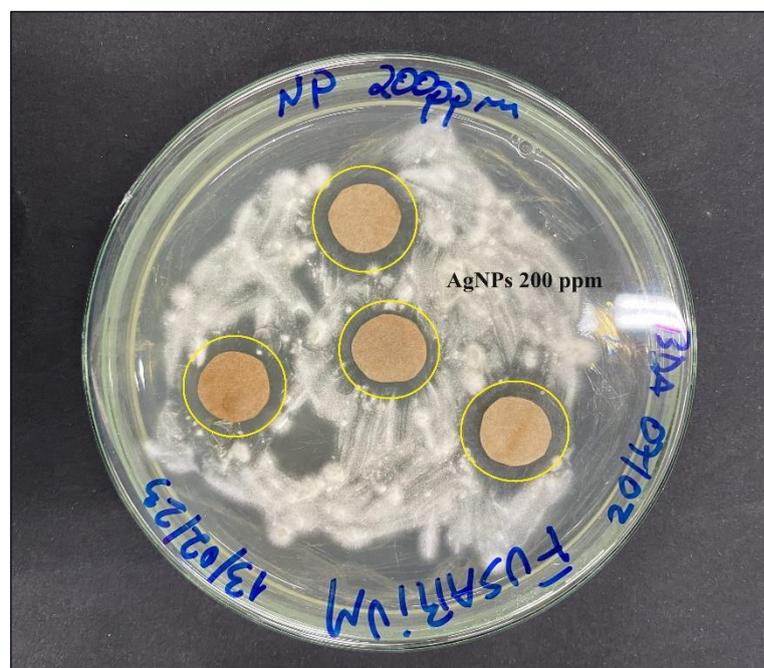


Figura 34 – Atividade antifúngica das nanopartículas de prata (AgNPs), no controle de *Fusarium*, representada pela formação de halos, após 48 horas da aplicação, pela técnica disco-difusão.

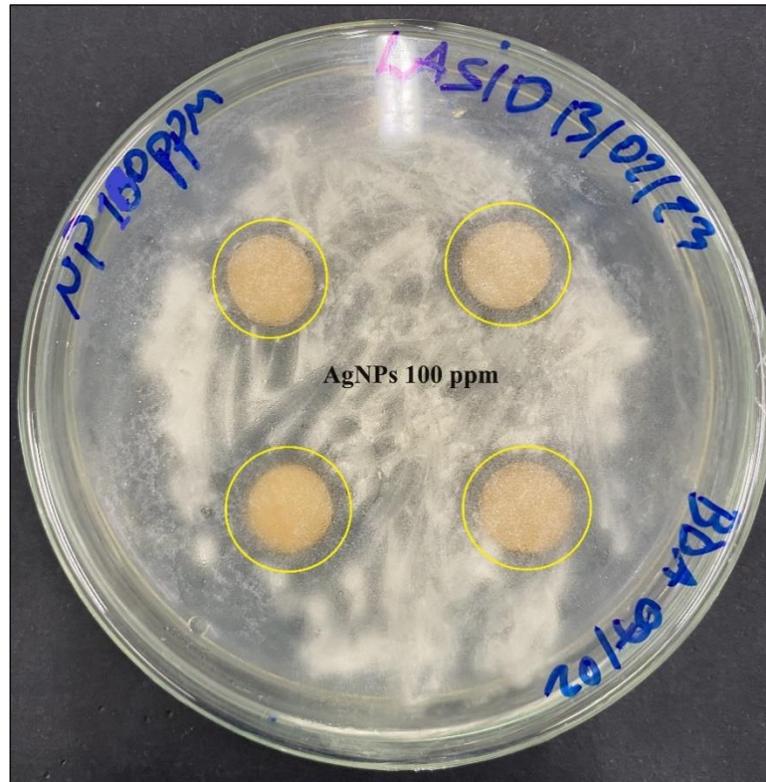


Figura 35 – Atividade antifúngica das nanopartículas de prata (AgNPs), no controle de *Lasiodiplodia*, representada pela formação de halos, após 48 horas da aplicação, pela técnica disco-difusão.

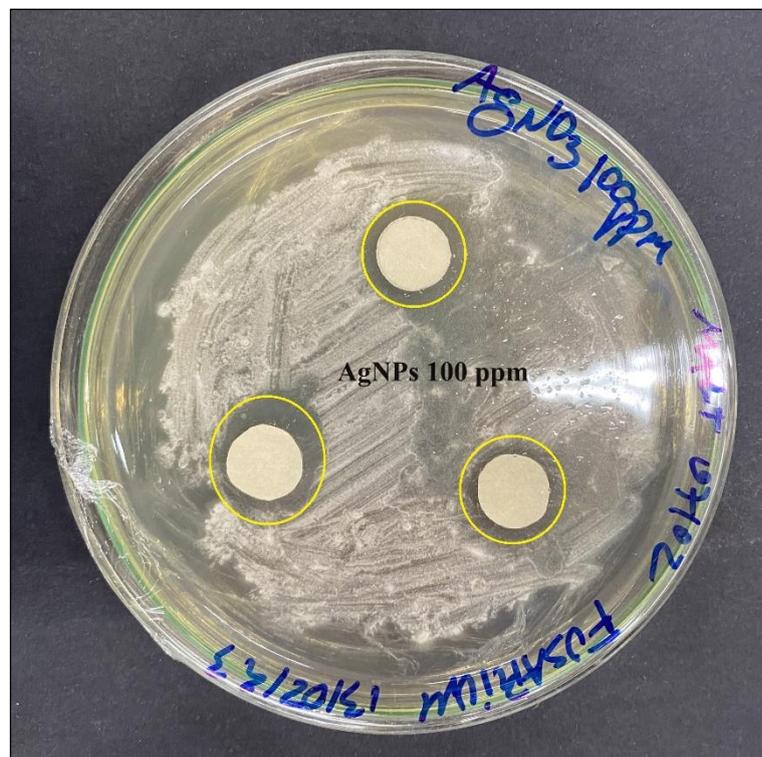


Figura 36 – Atividade antifúngica das nanopartículas de prata (AgNPs), no controle de *Fusarium*, representada pela formação de halos, após 48 horas da aplicação, pela técnica disco-difusão.

4.7.1 Tratamento dos fungos com soluções de nanopartículas de prata

De acordo com a tabela 3 da análise de variância acima, houve diferença significativa, para a fonte de variação: **Amostra**, tendo em vista que o valor de F, se apresentou maior que o valor de F crítico. Ou seja, as amostras apresentaram diferença significativa entre si, para os tratamentos com aplicação de nanopartículas de prata (AgNPs) em diferentes concentrações. A tabela 4 apresenta as médias entre tratamentos, as mesmas foram comparadas entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 3 - Resumo da análise de variância da aplicação das nanopartículas de prata (AgNPs) sintetizadas a partir do extrato de folhas de *Guadua* sp. nov.

Fonte da Variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-p	F crítico
Amostra	3585,92	32	112,06	29,10	1,64583E-58	1,50
Colunas	1,77	2	0,88	0,23	0,79	3,04
Interação	66,88	64	1,04	0,27	0,99	1,37
Dentro	762,33	198	1,04			
Total			3,85			

O fungo do Gênero *Trichoderma*, não respondeu significativamente ao tratamento com as diferentes concentrações de nanopartículas de prata (AgNPs) sintetizadas a partir do extrato de folhas de bambu *Guadua* sp. nov. Da mesma forma, também não respondeu a aplicação de diferentes concentrações de nitrato de prata (AgNO_3) presentes na testemunha do experimento. No entanto, *Lasiodiplodia*, foi susceptível ao tratamento nas concentrações de 400 e 500 ppm de nanopartículas de prata (AgNPs), cuja média do diâmetro dos halos formados ficou em 11,00 mm e 11,33 mm pelo período de até 72 horas. Sendo considerado nesse caso, de acordo com as recomendações descritas no método M44-A, uma inibição moderada (IM).

Tabela 4 – Médias dos tamanhos dos halos formados após 24, 48 e 72 horas com aplicação de nanopartículas de prata (AgNPs) sintetizadas a partir de extrato de folhas de *Guadua aff. lynnclarkiae* Londono.

		<i>Trichoderma</i>					
Concentração de nanopartículas-AgNPs (ppm)	Tempo (horas)						
	T-AgNO ₃	24	T-AgNO ₃	48	T-AgNO ₃	72	
100	0,00 a	0,66 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	
200	0,00 a	0,33 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	
300	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	
400	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	
500	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	
T-EP	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
		<i>Lasiodiplodia</i>					
Concentração de nanopartículas-AgNPs (ppm)	Tempo (horas)						
	T-AgNO ₃	24	T-AgNO ₃	48	T-AgNO ₃	72	
100	0,00 b	0,00 b	10,00 a	0,0 b	0,00 b	0,00 b	
200	2,00 b	2,33 b	10,00 a	0,00 b	10,00 ab	3,00 b	
300	4,00 b	0,00 b	4,00 b	3,33 ab	4,00 b	4,00 b	
400	3,00 b	11,33 a	6,00 ab	11,33 a	6,00 b	11,33 a	
500	10,00 a	11,00 a	10,00 a	11,00 a	10,00 a	10,00 a	
T-EP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
		<i>Mucor</i>					
Concentração de nanopartículas-AgNPs (ppm)	Tempo (horas)						
	T-AgNO ₃	24	T-AgNO ₃	48	T-AgNO ₃	72	
100	2,50 a	2,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	
200	4,00 a	2,00 a	0,00 a	2,66 a	1,00 a	1,00 a	
300	3,00 a	2,00 a	0,00 a	1,55 a	3,00 a	1,50 a	
400	2,00 a	2,00 a	0,00 a	2,33 a	2,00 a	1,33 a	
500	4,00 a	3,33 a	0,00 a	2,00 a	3,00 a	2,33 a	
T-EP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
		<i>Fusarium</i>					
Concentração de Nanopartículas-AgNPs (ppm)	Tempo (horas)						
	T-AgNO ₃	24	T-AgNO ₃	48	T-AgNO ₃	72	
100	4,00 b	1,66 b	4,00 b	1,66 b	4,00 a	1,66 b	
200	8,00 ab	3,00 b	8,00 a	3,00 b	8,00 a	3,00 b	
300	3,00 b	3,00 b	3,00 b	3,00 b	3,00 a	3,00 b	
400	6,00 b	8,00 a	6,00 a	8,00 a	6,00 a	8,00 a	
500	8,00 ab	11,66 a	8,00 a	11,66 a	8,00 a	11,66 a	
T-EP	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Testemunhas = T-AgNO₃ nas concentrações: C1 = 100ppm, C2 = 200ppm, C3 = 300ppm, C4 = 400ppm, C5 = 500ppm de Ag e T-EP = Testemunha Extrato Puro; médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

A análise detalhada dos resultados dos experimentos com fungos revela padrões distintos de resposta para cada concentração de nanopartículas de prata (AgNPs) em relação aos diferentes fungos testados e seus respectivos tempos de exposição. Para o *Trichoderma*, observou-se uma ausência significativa de crescimento fúngico em todas as concentrações de AgNPs (100 a 500 ppm de Ag) em todos os tempos de exposição (24, 48 e 72 horas). Este fungo apresentou alta sensibilidade às AgNPs, evidenciando uma eficácia notável em inibir seu crescimento.

No caso da *Lasiodiplodia*, a atividade antifúngica das AgNPs foi mais evidente nas concentrações de 200 ppm e 500 ppm de Ag, com destaque para a concentração de 500 ppm, que apresentou uma inibição moderada (IM) após 48 e 72 horas de exposição. Para o *Mucor*, as AgNPs também demonstraram atividade antifúngica, especialmente nas concentrações de 200 ppm e 500 ppm de Ag, indicando uma inibição moderada (IM) em diferentes tempos de exposição. O *Fusarium* mostrou sensibilidade às AgNPs, com destaque para as concentrações de 400 ppm e 500 ppm de Ag, que apresentaram inibição moderada (IM) após 48 e 72 horas de exposição.

A figura 37 apresenta as atividades antifúngicas das nanopartículas de prata (AgNPs) sintetizadas a partir de extratos de folhas de *Guadua* sp. nov. em relação a diferentes fungos fitopatogênicos, nomeadamente *Trichoderma* (F1), *Lasiodiplodia* (F2), *Mucor* (F3) e *Fusarium* (F4), na concentração de 500 ppm de Ag. Os resultados indicam o tamanho médio dos halos de inibição, representando a eficácia das AgNPs no controle do crescimento desses fungos.

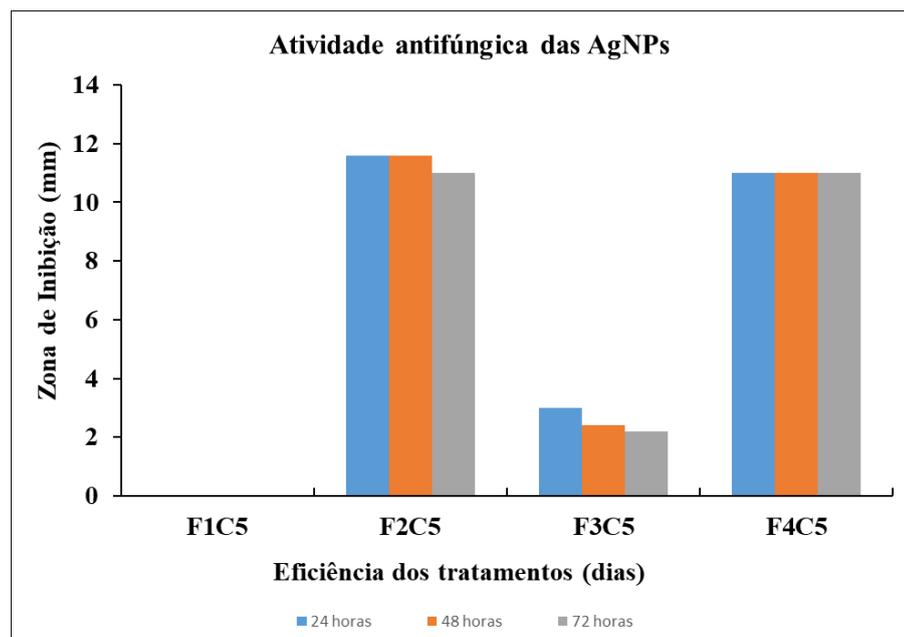


Figura 37 – Atividades antifúngica de nanopartículas de prata (AgNPs) sintetizadas a partir de extratos de folhas de *Guadua* sp. nov., (F1) *Trichoderma*, (F2) *Lasiodiplodia*., (F3) *Mucor* e (F4) *Fusarium*, na concentração C5 = 500 ppm

O tratamento com 500 ppm de Ag emerge como o mais eficiente, exibindo zonas de inibição classificadas como Inibição Moderada (IM), com uma média de tamanho de halos variando entre 11,33 mm e 11,66 mm. Esses halos refletem a capacidade das AgNPs de impedir o crescimento dos fungos testados, sugerindo uma resposta positiva a essa concentração específica de nanopartículas de prata.

A Inibição Moderada destaca-se como uma categoria significativa, indicando que as AgNPs têm um impacto substancial no crescimento dos fungos fitopatogênicos, sem atingir uma inibição total. Essa abordagem equilibrada pode ser vantajosa, fornecendo controle eficaz sem causar efeitos adversos extremos. O gráfico, portanto, evidencia a eficácia das AgNPs na inibição do crescimento de fungos fitopatogênicos, com destaque para a concentração de 500 ppm de Ag como a mais promissora para aplicações antifúngicas.

Os resultados evidenciam a eficácia das AgNPs derivadas de extratos de folhas de *Guadua* aff. *lynnclarkiae* Londoño na inibição do crescimento de diferentes fungos fitopatogênicos. A concentração de 500 ppm de Ag mostrou-se mais eficiente em diversas situações, indicando seu potencial para o controle antifúngico. A inibição moderada observada destaca a capacidade das AgNPs de interferir nos processos de crescimento dos fungos testados. Esses resultados fornecem insights valiosos para o desenvolvimento de estratégias ecoamigáveis de controle de fungos fitopatogênicos com o uso de nanopartículas de prata sintetizadas de forma sustentável.

5 DISCUSSÃO

5.1 TAMANHO DAS NANOPARTÍCULAS DE PRATA

Conforme observado nos resultados apresentados até aqui, a síntese verde de nanopartículas de prata (AgNPs) a partir de extratos de folhas e colmos de bambu das espécies de *Guadua* sp. nov. se mostrou eficiente para produzir nanopartículas com características desejáveis quanto ao tamanho e distribuição nos coloides. A solução que se mostrou mais eficiente quanto a redução do tamanho das nanopartículas foi aquela cuja base partiu do extrato das folhas de *Guadua* sp. nov. expostas a temperatura e luz ambiente, obtendo nanopartículas de até 35,08 nm de diâmetro. No geral pode-se observar que tanto os extratos de folhas, como os de colmo de bambu da espécie *Guadua* sp. nov. são eficientes na síntese de nanopartículas de prata (AgNPs).

A discussão dos resultados obtidos nas análises das nanopartículas de prata sintetizadas a partir de extratos de folhas e colmos de bambu (*Guadua* sp. nov.) revela aspectos relevantes para o campo da nanotecnologia verde. Em relação ao extrato de folhas, observou-se uma tendência para a obtenção de nanopartículas de prata (AgNPs) com tamanho médio em torno de 38,27 nm. Essa característica sugere um controle eficaz do extrato na redução dos íons prata, resultando em partículas de dimensões relativamente uniformes. Este comportamento está alinhado com estudos anteriores que destacam a influência direta do agente redutor na morfologia e tamanho das nanopartículas (MORCO *et al.*, 2019).

5.2 POTENCIAL ZETA DAS NANOPARTÍCULAS DE PRATA

A avaliação do potencial Zeta médio de -14,90 mV indica uma carga superficial que contribui para a estabilidade coloidal das nanopartículas. No entanto, é relevante observar que esse valor está próximo da neutralidade, o que pode indicar a necessidade de ajustes nas condições de síntese para otimizar a repulsão eletrostática entre as partículas, conforme discutido por AZIZI *et al.* (2013).

No caso do extrato de colmos, as nanopartículas apresentaram um tamanho médio de 41,58 nm e um potencial Zeta médio de -14,00 mV. Esses resultados são consistentes com a literatura, onde estudos demonstram que diferentes partes de plantas podem influenciar nas características das nanopartículas sintetizadas (MOHANRAJ & CHEN, 2007). Notavelmente, o tamanho das nanopartículas de colmos se mostrou um pouco maior em comparação com as do extrato de folhas.

Ao comparar nossos resultados com estudos similares, destaca-se a eficiência dos extratos de bambu como agentes redutores, corroborando com a síntese verde proposta por OLIVEIRA *et al.* (2023). A uniformidade das nanopartículas obtidas, especialmente com o extrato de folhas, reforça a viabilidade desses métodos sustentáveis na produção de materiais nanoestruturados, conforme também discutido por outros autores (RAMOS *et al.*, 2023).

5.3 EXPERIMENTOS COM FUNGOS

Os resultados dos experimentos com fungos, avaliando a atividade antifúngica das nanopartículas de prata (AgNPs) sintetizadas a partir de extratos de folhas de *Guadua* sp. nov., indicam respostas significativas frente a diferentes tipos de fungos, nomeadamente *Trichoderma*, *Lasiodiplodia*, *Mucor* e *Fusarium*.

Para o *Trichoderma*, observou-se que as nanopartículas de prata apresentaram uma eficácia notável, com ausência de crescimento fúngico significativo nas concentrações testadas (100 a 500 ppm de Ag). Essa inibição é coerente com estudos que destacam as propriedades antifúngicas das nanopartículas de prata (KUMAR *et al.*, 2011). Vale ressaltar que a concentração de 500 ppm de Ag se destacou como a mais eficiente, evidenciando a eficácia do tratamento. No caso da *Lasiodiplodia*, a resposta antifúngica variou de acordo com a concentração de nanopartículas. A concentração de 500 ppm de Ag demonstrou uma inibição moderada (IM), com uma média de tamanho de halo entre 11,33 mm e 11,66 mm. Este resultado destaca o potencial antifúngico das nanopartículas de prata, concordando com a literatura que sugere o uso dessas partículas como agentes antifúngicos eficazes (GAJBHIYE *et al.*, 2009).

Para o *Mucor*, observou-se uma resposta positiva em termos de atividade antifúngica, com destaque para as concentrações de 200 ppm e 500 ppm de Ag, indicando uma inibição moderada (IM). Esse resultado sugere que as nanopartículas de prata podem ter um papel relevante no controle do crescimento desse tipo de fungo.

Por fim, no caso do *Fusarium*, as nanopartículas de prata também demonstraram uma ação antifúngica notável, especialmente nas concentrações de 400 ppm e 500 ppm de Ag, classificadas como inibição moderada (IM). Esse resultado está em consonância com estudos que ressaltam a eficácia das nanopartículas de prata contra fungos do gênero *Fusarium* (MORONES *et al.*, 2005).

Em geral, os resultados indicam que as nanopartículas de prata, sintetizadas a partir de extratos de folhas de *Guadua* sp. nov., possuem potencial antifúngico significativo contra

diferentes espécies de fungos. A concentração de 500 ppm de Ag se destaca como a mais eficaz, demonstrando que essa abordagem de síntese verde pode ser uma estratégia promissora para o controle de infecções fúngicas em diversos contextos. No entanto, é importante ressaltar que mais estudos são necessários para compreender completamente os mecanismos de ação e a segurança dessas nanopartículas em ambientes biológicos complexos.

Em suma, os resultados aqui apresentados indicam um progresso promissor na aplicação de extratos de bambu na síntese de nanopartículas de prata, proporcionando uma alternativa sustentável e eficaz para a produção de materiais nanotecnológicos. No entanto, ajustes e otimizações nos parâmetros de síntese podem ser explorados para aprimorar ainda mais as propriedades das nanopartículas e expandir suas possíveis aplicações.

6 CONCLUSÃO

A síntese de nanopartículas de prata utilizando os extratos de folhas e de colmos das espécies de *Guadua* sp. nov., promove uma abordagem mais amigável ao meio ambiente, simples, eficiente e com baixo custo para a obtenção de nanopartículas, pois dispensa o uso de estabilizadores ou agentes redutores externos.

O tamanho médio das nanopartículas em seu maior volume ficou na faixa de 40,26 nm de diâmetro.

A espectrofotometria UV-visível proporcionou informações valiosas sobre a absorção máxima das nanopartículas de prata (AgNPs), indicando a presença de nanopartículas de prata (AgNPs).

Através do espalhamento de luz dinâmico (DLS), foi possível avaliar a distribuição de tamanho das nanopartículas de prata (AgNPs), destacando-se a uniformidade e monodispersividade das partículas, características cruciais para diversas aplicações, especialmente em nanotecnologia.

A avaliação do efeito das nanopartículas de prata (AgNPs) no controle de fungos fitopatogênicos apresentou resultados notáveis. Especificamente, a concentração de 500 ppm de Ag, que emergiu como a condição mais eficaz, revelando zonas de inibição moderada no crescimento dos fungos analisados, tais como *Trichoderma*, *Lasiodiplodia*, *Mucor* e *Fusarium*.

Os resultados encorajadores obtidos na atividade antifúngica das nanopartículas de prata (AgNPs), aliados à abordagem sustentável adotada, ampliam as perspectivas de aplicação dessas nanopartículas em diferentes setores, como agricultura, medicina e embalagens. A síntese verde com extratos de bambu do Gênero *Guadua* sp. nov. não apenas se destaca como um método eficiente e acessível, mas também ressalta a importância de práticas ecoamigáveis na nanotecnologia.

Diante desses avanços, esta pesquisa contribui substancialmente para o entendimento e aplicação prática da síntese verde de nanopartículas de prata (AgNPs). Além de reforçar a eficácia dessas nanopartículas em atividades antifúngicas, a abordagem sustentável demonstra um caminho promissor para o desenvolvimento de tecnologias nanoestruturadas que respeitem o meio ambiente e atendam às crescentes demandas por métodos de produção mais responsáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANAND, K. Surface chemistry mediates cellular uptake of nanoparticles: implications for intracellular delivery of drug cargos. **Current drug metabolism**, v. 16, p. 484–494, 2015.
- ANTUNES, F. S.; DAL'ACQUA, N.; BERGMANN, C. P.; GIOVANELA, M. Síntese, caracterização e aplicação de nanopartículas de prata como agente antimicrobianos. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**. v. 9, n. 1, p. 20-26, 2013.
- AZIZI, K. et al. Erratum: Properties of $Ds_2^*(2573)$ charmed-strange tensor meson [Phys. Rev. D88, 036005 (2013)]. **Physical review**, v. 88, n. 9, 2013.
- BARROS, A. C. de A. **Microscopic characterization of silica-rich agrowastes to be used in cement binders: bamboo and sugarcane leaves**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Alagoas – Instituto de Química e Biologia - Maceió, Alagoas, 2007.
- BERALDO A. L.; AZZINI A. “Bambu características e aplicações”. **Editora Agropecuária Ltda**, Rio Grande do Sul: Guaíba, 2004.
- BERNDSEN, R. S. **Caracterização anatômica, física e mecânica de lâminas de bambu (*Phyllostachys pubescens*)**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Madeiras) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2008.
- CARNIEL, B. de F. **Avaliação de impactos Ambientais e Sociais do Uso da Nanotecnologia na Agricultura: Uma proposta Metodológica**. 2013. Dissertação (Programa de Pós-Graduação Biotecnologia) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.
- CHOUDHARY, D. K.; SHARMA, D.; KAUR, G. Fungal Diseases of Bamboo: A Comprehensive Review. **Plant Pathology Journal**, v. 20, n. 2, p. 63–75, 2021.
- DIOGO, H. C.; SARPIERI, A.; MELHEM, M.; PIRES, M. C.; Avaliação do método de disco-difusão para determinação da eficácia da terbinafina in vitro em agentes de micoses superficiais e subcutâneas. **Anais Brasileiros de Dermatologia**. v. 85, n. 3, p. 324-30, 2010
- ESPELHO, J. C. C. **Tratamento químico de colmos de bambu pelo método de Boucherie modificado**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.
- FERREIRA, H. S.; RANGEL, M. do C. Nanotecnologia: Aspectos gerais e potencial de aplicação em catálise. **Quím. Nova**, v. 32, n. 7, p. 1860-1870, 2009
- FERREIRA, E. J. L. O bambu é um desafio para a conservação e o manejo de florestas no sudoeste da Amazônia. **Ciência e Cultura**, v. 66, n.3, 46-51, 2014.
- GARNETT, M.; KALLINTERI, P. **Nanomedicines and nanotoxicology**: some 2006.
- GAJBHIYE, M. et al. Fungus-mediated synthesis of silver nanoparticles and their activity against pathogenic fungi in combination with fluconazole. **Nanomedicine: nanotechnology, biology, and medicine**, v. 5, n. 4, p. 382–386, 2009.
- GHOSH, S. K.; PAL, T. Interparticle Coupling Effect on the Surface Plasmon Resonance of Gold Nanoparticles: From Theory to Applications. **Chem. Res.** v, 1007, n. 11, p. 4797-4862, 2007.

GÓMEZ-MIGUEZ, M. J.; NOVOA, R. M.; MILLÁN, C. J. Fungi associated with bamboo seeds in the bamboo orchards of the Sierra de Ancares, NW Spain. **Mycological Research**, v. 104, n. 3, p. 325–330, 2000.

HANSEN, S. Dlsanalysis.org: a web interface for analysis of dynamic light scattering data. **European biophysics journal: EBJ**, v. 47, n. 2, p. 179–184, 2018.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura – PEVS**. 2016. Rio de Janeiro: IBGE 2017. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria.html>

IRAVANI, S. Green synthesis of metal nanoparticles using plants. **Green Chem.** v. 13, p. 2638–2650, 2013.

JANSSEN J.J.A. **Designing and building with bamboo**. 20th ed. Netherlands: International Network for Bamboo and Rattan; 2000.

JAYBHAYE, S. Anti-microbial activity of AgNPs synthesized from waste vegetable fibers. **Int. J. Mater. Today**: v. 2, n. 9, Part A, p. 4323–4327, 2015.

JIANG, Z. et al. Phyllosticta leaf spot on bamboo (*Phyllosticta bambusicola*): A new record in China. **Journal of Plant Pathology**, v. 98, n. 2, p. 375–378, 2016.

KUMAR, K. S.; DIVYA, A.; REDDY, P. S. Synthesis and characterization of Cr doped CdS nanoparticles stabilized with polyvinylpyrrolidone. **Applied surface science**, v. 257, n. 22, p. 9515–9518, 2011.

LEMOS, T. A. B. et al. A utilização da síntese verde para obtenção de nanopartículas de prata a partir de extratos de girassol (*Helianthus annuus*). **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, p. e41810716795, 2021.

LEVIN, S.C.; HOFMANN, C.; ALI, A.T.; KELLY, T.A.; MOROSAN, E.; NORDLANDER, P.; WHITMIRE, H.K.; HALAS, J.N. Magnetic plasmonic-core-shell nanoparticles. **Journal American Chemical Society - ACS Nano**. v. 3, p.1379-1388, 2009. <http://dx.doi.org/10.1021/nn900118a>

LONDOÑO X. 2013. Dos nuevos especies de *Guadua* para el Peru. (Poaceae: Bambusoideae: Bambuseae: Guaduinae) **J Bot Res Inst Texas**. v. 7, n. 1, p. 145-153, 2013.

LONDOÑO, X., **Distribucion, Morfologia, Taxonomia, Anatomia, Silvicultura y usos de los bambues del Nuevo mundo. Módulo Guadua**. Universidade Nacional de Colombia. Bogotá. Agosto, 2002.

LUIZ, Vitor Hugo Marques. **Desenvolvimento de procedimentos de procedimentos e métodos analíticos no campo forense aplicando os princípios da química verde**. 2016. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, Araraquara, 2016.

MARCO, B. A et al. Evolution of green chemistry and its multidimensional impacts: **A review**. **Saudi pharmaceutical journal**, v. 27, n. 1, p. 1-8, 2019.

MENEZES, M.; ASSIS, S. M. P. Guia prático para fungos fitopatogênicos. **Imprensa Universitária UFRPE**. 2 ed. Recife, 2004. p. 187.

MESHARAM, S. M.; BONDE, S. R.; GUPTA, I. R.; GADE, A. K.; RAI, M. K. Síntese verde

de nanopartículas de prata usando açúcar branco. **IET Nanobiotecnologia**. v. 7, n. 1, p. 28-32. 2013. DOI: 10.1049/iet-nbt.2012.0002.

MOHANRAJ, V. J., & CHEN, Y. Nanoparticles - A review. **Tropical journal of pharmaceutical research: TJPR**. v. 5, n. 1, 2007. <https://doi.org/10.4314/tjpr.v5i1.14634>

MORONES, J. R. et al. The bactericidal effect of silver nanoparticles. **Nanotechnology**, v. 16, n. 10, p. 2346–2353, 2005.

MORONES, J. R.; ELECHIGUERRA, J. L.; CAMACHO, A.; RAMIREZ, J. T. The bacterial effect of silver nanoparticles. **Nanotechnology**. v.16 p. 2346-2353. 2005. <http://dx.doi.org/10.1088/0957-4484/16/10/059>

NAVARRO, E.; BAUN, A.; BEHRA, R.; HARTMANN, N. B.; FILSER, J.; MIAO, AI-JUN; QUIGG, A.; SANTSCH, P. H.; SIGG, L. Environmental behavior and ecotoxicity of engineered nanoparticles to algae, plants and fung. **Ecotoxicology**. v. 17, n. 5, p. 372-86, 2008. DOI:10.1007/s10646-008-0214-0

NOGUEZ, C. Surface plasmons on metal nanoparticles: the influence of shape and physical environment. **The Journal of Physical Chemistry C**. v. 111, n. 10, p. 3806-3819, 2007.

OLIVEIRA, M. A. K. DE; FIGUEIREDO, C. C. M.; SILVA, R. M. G. D. A. Síntese verde utilizando nanopartículas de prata contendo extratos de *Cissus sicyoides* e avaliação da atividade antioxidante. Anais do IV Congresso Brasileiro de Ciências Biológicas Online. **Anais [...]** Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente, 2023.

OZIN, G. A.; ARSENAULT, A. C. **NANOCHEMISTRY A Chemical Approach to nanomaterials**. RSC, Cambridge, UK, 2005.

PAES, J. B.; MORESCHI, J. C.; LELLES, J. G. de, Avaliação do tratamento preservativo de moirões de *Eucalyptus viminalis* LAB. E DE BRACATINGA (*Mimosa scabrella* BENTH.) pelo método de substituição da seiva. **Ciência Florestal. Santa Maria**, v. 15, n. 1, p. 75-86. 2005.

PACE, JOSÉ HENRIQUE CAMARGO, **Efeito da vaporização e impregnação de nanopartículas nas variáveis do processo de secagem da madeira de *Eucalyptus pellita* F Muell.** 2016. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro – Instituto de Florestas. Rio de Janeiro. 2016.

PATIL, R. S.; KOKATE, M.; JAMBHALE, C.; PAWAR, S. M.; HAN, S. H.; KOLEKAR, S. S. One-pot synthesis of PVA-capped silver nanoparticles their characterization and biomedical application. **Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology**. v. 3, 2012. DOI:10.1088/2043-6262/3/1/015013

PEREIRA A.A., ARAÚJO E.A., RIBEIRO L., PASSOS F.R., BOTREL D.A., BERNARDES P.C. & ANDRADE N.J.D. Otimização da produção de nanopartículas de prata utilizando nova síntese e avaliação da sua ação sanitizante. **Biosci. J.** v. 29, n. 2, p. 506-515, 2013.

PETICA, A.; GAVRILIU, S.; LUNGU, M.; BURUNTEA, N.; PANZARU, C. Colloidal silver solutions with antimicrobial properties. **Materials Science and Engineering**. v. B, n. 152, p. 22-27. 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mseb.2008.06.021>

PINTO, R. J. B. **Nanocompósitos de celulose e metais (Au e Ag)**. 2008. Dissertação (Mestrado em Materiais Derivados de Produtos Renováveis) - Departamento de Química da Universidade

de Aveiro, Aveiro, 2008.

PINTO, R. J. **Compósitos de polímeros naturais e nanopartículas metálicas**. 2012. Tese (Doutorado em Materiais Derivados de Produtos Renováveis) - Departamento de Química da Universidade de Aveiro, Aveiro, 2012.

PONCE, A.; MEJÍA-ROSALES, S.; JOSÉ-YACAMÁN, M. Scanning transmission electron microscopy methods for the analysis of nanoparticles. **Methods in molecular biology (Clifton, N.J.)**, v. 906, p. 453–471, 2012.

RAMOS, A. L. et al. Avaliação da fotoatividade de nanopartículas lipídicas no carreamento de extrato de plantas amazônicas. **Delos**, v. 16, n. 43, p. 796–812, 2023.

RAMYA, M. et al., Green synthesis of silver nanoparticles. **Int. J. Pharm. Med. Biosci.** v.1, n. 1, p. 54–60. 2012.

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**, p. 29–35, 2017.

ROCHA, ROSIANA ROCHO. **Química verde: síntese de nanopartículas de prata utilizando extratos vegetais**. (Relatório) Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de ciências físicas e matemática. Departamento de química. Santa Catarina, Florianópolis. 2010.

SENA, A. E. C.; RAMOS, A. L.; FARIA, F. S. E. D. V. Avaliação da síntese de nanopartículas de prata sob diferentes concentrações do extrato de *Copaíba multijuga* (Heine). **Scientia Naturalis**, v. 1, n. 1, p. 10-16, 2019.

SILVA, L. P.; BONATTO, C. C.; PEREIRA, F. D. E. S.; SILVA, L. D.; ALBERNAZ, V. L.; POLEZ, V. L. P. Nanotecnologia verde para síntese de nanopartículas metálicas. **Biociência Aplicada à Agro & Indústria** – v. 4, n. 1, 2017, p. 967 -1012, ISSN. <http://dx.doi.org/10.1016/9788521211150-26>

SILVA, S. M. M.; PEREIRA, J. E. S.; SILVA, W. C. **Conservação de diversidade de bambu Guadua no Acre**. In: *Conservação e Tecnologias para o Desenvolvimento Agrícola e Florestal no Acre*, 1.ed., cap. 2, p. 61-77. 2019.

SILVA, S. M. M.; MARTINS, K.; COSTA, F. H. S.; CAMPOS, T.; PEREIRA, J. E. S. Genetic structure and diversity of native Guadua species (Poaceae: *Bambusoideae*) in natural populations of the Brazilian Amazon rainforest. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, n.3, 2020. DOI 10.1590/0001-3765202020190083

SILVEIRA, M. **Floresta aberta com bambu no sudoeste da Amazônia: padrões e processos em múltiplas escalas**. 2001. Tese (Doutorado), Universidade de Brasília – UNB, Distrito Federal, Brasília, 2001.

SINGH, J.; DUTTA, T.; KIM, K. H.; RAWAT, M.; SAMDDAR, P.; KUMAR, P. ‘Green’ synthesis of metals and their oxide nanoparticles: applications for environmental remediation. **Journal of Nanobiotechnology**, v. 16, n. 84, p. 1-24, 2018.

SOUSA, A. et al. Nanopartículas de prata. **Revista de ciência elementar**, v. 10, n. 3, 2022.

SOUZA, Gilvago Antonio Barbosa. **Síntese de nanopartículas de prata, através do extrato de jambu (*Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen e *Acmella ciliata* (Kunth) Cass.) como**

possível agente revelador de impressões digitais latentes (IDLS). 2023 Dissertação (Mestrado em Ciências Forenses) Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (Unifesspa) Marabá, Pará, 2023.

SOUSA, J. W. Características climáticas do município de Rio Branco, Acre, período de 1990 – 2019. **Scientia Naturalis**. v. 2, n. 2, p. 723-740, 2020.

STOIMENOV, P. K.; KLINGER, R. L.; MARCHIN, G. L.; KLABUNDE, K. J. Metal Oxide Nanoparticles as Bactericidal Agents. **Langmuir**. v. 18, n. 17, p. 6679-6686, 2002.

SUMATHI, S. et al., Eco-friendly and antibacterial finishes of organic fabrics using herbal composite microencapsules, **Int. J. Pharm. Bio Sci**. v. 8, n. 3, p. 310–321, 2017.

TARGINO, A. G. R.; FLORES, M. A. P.; JUNIOR, V. E. S.; PESSOA, H. L. F.; GALEMBECK, A.; ROSENBLATT, A. Antimicrobial activity of silver nanoparticles in treating dental caries. **RFO UPF**. v. 18, n. 3, p. 312-315, 2013.

TIBURTINO, R. F., PAES, J. B., BERALDO, A. L., ARANTES, M. D. C., BROCCO, V. F., Tratamento preservativo de duas espécies de bambu por imersão prolongada e Boucherie Modificado. **Floresta e Ambiente**. v. 22, n. 1, p. 124-133, 2015.

TOMASZEWSKA, E.; SOLIWODA, K.; KADZIOLA, K.; TKACZ-SZCZESNA, B.; CELICHOWSKI, G.; CICHOMSKI, M.; SZMAJA, W. Detection Limits of DLS and UV-Vis Spectroscopy in Characterization of Polydisperse Nanoparticles Colloids. **Journal of Nanomaterials**. p. 10, 2013. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/313081>

UBIDIA J. A. M. Preservación del bambú en America Latina, mediante métodos tradicionales. **INBAR**. 2015. from: <http://www.inbar.int/publications/?did=131>.

UDAGAWA, S. I.; UCHIYAMA, S. Two new *Stachybotrys* species from Japan, *S. tenuirostris* and *S. bambusicola*. **Mycoscience**, v. 42, n. 1, p. 19–25, 2001.

VIANA, F. A. C. Biossíntese de nanopartículas de prata utilizando extrato aquoso de plantas medicinais: uma revisão. **Brazilian Journal of Development**, p. 17940–17956, 2022.

WANG, H.; IAO, X.; CHEN, J.; DING, S. Preparation of silver nanoparticles by chemical reduction method. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 256, n. 2-3, p. 111-115, 2005.

ZHANG, L.; ZHENG, Y.; CHOW, M. S. S.; ZUO, Z. Investigation of intestinal absorption and disposition of green tea catechins by caco-2 monolayer model. **International Journal of Pharmaceutics**. v. 287, p.1-12, 2004.

ZHU, N.; FENG, Y.; WU, Y. Ligninolytic enzyme production and dye decolorization by a white rot fungus *Phanerochaete sordida*. **Bio Resources**, v. 11, n. 1, p. 2457–2473, 2016.



Síntese verde de nanopartículas de prata utilizando extratos de folhas e colmos de bambu *Guadua aff. lynnclarkiae* Londoño

Green synthesis of silver nanoparticles using extracts of *Guadua aff. lynnclarkiae* Londoño bamboo leaves and culms

DOI: 10.55905/rdelosv17.n51-025

Recebimento dos originais: 15/12/2023

Aceitação para publicação: 26/01/2024

Sebastião Fernando Ferreira Lima

Doutorando em Biotecnologia

Instituição: Universidade Federal do Acre (UFAC)

Endereço: Rio Branco - Acre, Brasil

E-mail: fernando.lima030871@gmail.com

Fernando Sérgio Escócio Drummond Viana de Faria

Pós Doutor em Nanociências e Nanobiotecnologia

Instituição: Universidade Federal do Acre (UFAC)

Endereço: Rio Branco - Acre, Brasil

E-mail: fernandoescocio@gmail.com

Daniel Alves de Figueiredo Filho

Doutor em Biodiversidade e Biotecnologia

Instituição: National Institute for Basic Biology

Endereço: Okazaki, Aichi, Japan

E-mail: thefilho10@gmail.com

Anselmo Fortunato Ruiz Rodriguez

Pós-Doutor em Nanociências e Nanobiotecnologia

Instituição: Universidade Federal do Acre (UFAC)

Endereço: Rio Branco - Acre, Brasil

E-mail: anselmo.rodriguez@ufac.com

RESUMO

O bambu nativo (*Guadua*) emerge como uma alternativa de desenvolvimento econômico sustentável para o Estado do Acre. Este estudo visou sintetizar e caracterizar nanopartículas de prata usando extratos de folhas e colmos da espécie *Guadua aff. lynnclarkiae* Londoño, nativa do Acre. As nanopartículas de prata (AgNPs) sintetizadas apresentaram morfologias distintas para cada extrato, permitindo comparações em termos de tamanho e forma. As análises, incluindo UV-Vis, Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET), Espalhamento de Luz Dinâmico (DLS), Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) e Potencial Zeta, revelaram que as AgNPs do extrato de folhas exibiram forma esférica e tamanho menor, enquanto as do extrato de colmos mostraram partículas maiores, multi-geminadas e esféricas, formando pequenos grupos. Essas diferenças contribuem para a ampliação da banda de plasmom e para a