

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS
CÂMPUS DE ARARAQUARA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE BIOMATERIAIS E BIOPROCESSOS
MESTRADO PROFISSIONAL

PEDRO AUGUSTO PEREIRA ROSATTO

DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO DE SÍNTESE VERDE DE
NANOPARTÍCULAS DE PRATA COM EXTRATO AQUOSO DE *Copaifera*
langsdorffii DESF. E AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE HERBICIDA SOBRE
PLANTAS DANINHAS DE INTERESSE AGRONÔMICO

Araraquara
2025

PEDRO AUGUSTO PEREIRA ROSATTO

DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO DE SÍNTESE VERDE DE
NANOPARTÍCULAS DE PRATA COM EXTRATO AQUOSO DE *Copaifera*
langsdorffii DESF. E AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE HERBICIDA SOBRE
PLANTAS DANINHAS DE INTERESSE AGRONÔMICO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos (Mestrado Profissional), Área de Biomateriais, Bioprocessos, Bioprodutos da Faculdade de Ciências Farmacêuticas, UNESP, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Carlos Augusto Prata Gaona

COORIENTADOR: Prof. Dr. Mauricio Bacci Júnior

Araraquara

2025

-
- R789d** Rosatto, Pedro Augusto Pereira.
Desenvolvimento de um método de síntese verde de nanopartículas de prata com extrato aquoso de *Copaifera langsdorffii* desf. e avaliação da atividade herbicida sobre plantas daninhas de interesse agrônomo / Pedro Augusto Pereira Rosatto. – Araraquara, 2025.
48 f. : il.
- Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Estadual Paulista. "Júlio de Mesquita Filho" Faculdade de Ciências Farmacêuticas. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos. Área de Biomateriais, Bioprocessos, Bioprodutos.
- Orientador: Carlos Augusto Prata Gaona.
Coorientador: Mauricio Bacci Júnior.
1. Alelopatia. 2. Germinação. 3. Plântulas. 4. Plantas invasoras.
5. Pro-oxidação. I. Gaona, Carlos Augusto Prata, orient. II. Bacci Júnior, Mauricio, coorient. III. Título.

Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - Faculdade de Ciências Farmacêuticas
UNESP - Campus de Araraquara
Vilma Bruna Mastelari Costa - CRB 8/10938

CAPES: 33004030170P0
Esta ficha não pode ser modificada

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Desenvolvimento de um método de síntese verde de nanopartículas de prata com extrato aquoso de *Copaifera langsdorffii* Desf e avaliação da atividade herbicida sobre plantas daninhas de interesse agrônomo

AUTOR: PEDRO AUGUSTO PEREIRA ROSATTO

ORIENTADOR: CARLOS AUGUSTO PRATA GAONA

COORIENTADOR: MAURICIO BACCI JUNIOR

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos, área: Biomateriais, Bioprocessos, Bioprodutos pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. CARLOS AUGUSTO PRATA GAONA (Participação Virtual)
Departamento de Recursos Pesqueiros e Aquicultura / Faculdade de Ciências Agrárias do Vale do Ribeira
UNESP RegistroSP

Prof. Dr. ÉRICO TADAO TERAMOTO (Participação Virtual)
Docente do Departamento de Recursos Pesqueiros e Aquicultura / Faculdade de Ciências Agrárias do Vale do Ribeira - FCAVR - UNESP - Registro/SP

Prof. Dr. VALTER HENRIQUE MARINHO DOS SANTOS (Participação Virtual)
Universidade do Vale do Sapucaí - UNIVAS - Pouso Alegre

Araraquara, 18 de julho de 2025

Agradecimentos

À minha família, por me proporcionar a oportunidade única de estudar e me aprofundar na área que tanto me inspira e alegra, além de serem, em cada gesto e palavra, os professores mais valiosos e inspiradores que eu poderia ter. À minha namorada, que esteve ao meu lado durante toda esta jornada, sendo uma força constante de motivação e, nos meus momentos mais difíceis, manteve-me firme e focado em meu objetivo.

Ao professor Carlos Augusto Prata Gaona, pela confiança depositada em meu trabalho e estudo, e por, mesmo à distância, ter me acolhido e oferecido apoio ao longo desta nova jornada que representou o mestrado.

Ao professor Regildo Márcio Gonçalves da Silva e ao Fitolab, por transformarem meus estudos de uma obrigação em um verdadeiro propósito de vida. Foram amigos e família ao longo de toda a jornada, compartilhando momentos de alegria e enfrentando comigo as fases mais desafiadoras, e, acima de tudo, me ensinaram a persistir, resistir e jamais desistir.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de mestrado (Processo nº 168434/2023-7), cujo apoio financeiro foi essencial para a dedicação integral à pesquisa e para o desenvolvimento deste trabalho, contribuindo de forma decisiva para minha formação acadêmica e científica.

Resumo

O presente estudo como objetivo desenvolver e caracterizar nanopartículas de prata (AgNPs) por meio de um processo de síntese verde, utilizando extratos aquosos de folhas e da serrapilheira da *Copaifera langsdorffii*, bem como avaliar suas propriedades físico-químicas e atividades biológicas, com ênfase no potencial fitotóxico e pró-oxidativo. A proposta fundamenta-se na valorização de metabólitos secundários presentes em espécies vegetais como agentes redutores e estabilizantes naturais, oferecendo uma alternativa sustentável ao uso de reagentes químicos tradicionais na síntese de nanomateriais. A metodologia experimental incluiu a otimização de parâmetros físico-químicos para a síntese das AgNPs, como concentração do extrato (15–35%), concentração de AgNO₃ (1-10 mmol/L), pH (3–12) e temperatura (30–50 °C), com acompanhamento espectrofotométrico (UV-Vis) para monitoramento da formação das nanopartículas. A caracterização das AgNPs foi realizada por espectroscopia FTIR, espalhamento dinâmico de luz (DLS) e análise de potencial zeta. Foram quantificados os teores de polifenóis e flavonoides, e a atividade biológica foi investigada por bioensaios de germinação (*Lactuca sativa* e *Bidens pilosa*), crescimento de coleóptilos de trigo e análise de degradação proteica via estresse oxidativo (eletroforese com BSA). Os resultados demonstraram que as melhores condições de síntese ocorreram com 5 mmol/L de AgNO₃, pH 8, a 30 °C por 60 minutos. As AgNPs apresentaram coloração marrom-escura característica, picos espectrais entre 420-450 nm, tamanho médio de 18,49 nm, índice de polidispersão de 0,43 e potencial zeta de -35,31 mV, indicando estabilidade coloidal adequada. A análise por FTIR revelou a presença de grupos funcionais fenólicos e carbonílicos, essenciais na formação e estabilização das nanopartículas. Os teores de flavonoides e polifenóis foram elevados nos extratos e parcialmente preservados nas AgNPs. Nos bioensaios, observou-se efeito inibitório significativo dos extratos e das AgNPs sobre a germinação de sementes e crescimento radicular, especialmente em *B. pilosa* (picão) e trigo, com desempenho estatisticamente comparável ao de herbicidas convencionais. A atividade pró-oxidativa foi confirmada pela degradação da albumina, indicando geração de espécies reativas de oxigênio. Conclui-se que a síntese verde de AgNPs mediada por *C. langsdorffii* é eficiente, e os nanomateriais obtidos apresentam propriedades promissoras para aplicação como bioherbicidas. Os resultados destacam o potencial desses compostos como ferramentas sustentáveis e ecologicamente seguras para o manejo de plantas daninhas e a substituição parcial de herbicidas convencionais.

Palavras-chave: alelopatia; germinação; plântulas; plantas invasoras; pró-oxidação.

Abstract

This study aimed to develop and characterize silver nanoparticles (AgNPs) through a green synthesis process using aqueous extracts from leaves and leaf litter of *Copaifera langsdorffii*, as well as to evaluate their physicochemical properties and biological activities, with an emphasis on phytotoxic and pro-oxidant potential. The approach is based on the valorization of secondary metabolites present in plant species as natural reducing and stabilizing agents, offering a sustainable alternative to the use of traditional chemical reagents in nanomaterial synthesis. The experimental methodology included the optimization of physicochemical parameters for AgNP synthesis, such as extract concentration (15–35%), AgNO₃ concentration (1–10 mmol/L), pH (3–12), and temperature (30–50 °C), with spectrophotometric monitoring (UV-Vis) to track nanoparticle formation. AgNP characterization was performed using FTIR spectroscopy, dynamic light scattering (DLS), and zeta potential analysis. The contents of polyphenols and flavonoids were quantified, and biological activity was assessed through germination bioassays (*Lactuca sativa* and *Bidens pilosa*), wheat coleoptile growth, and protein degradation under oxidative stress (BSA electrophoresis). The results showed that optimal synthesis conditions were achieved with 5 mmol/L AgNO₃ at pH 8 and 30 °C for 60 minutes. The AgNPs exhibited a characteristic dark brown color, spectral peaks between 420–450 nm, an average size of 18.49 nm, a polydispersity index of 0.43, and a zeta potential of -35.31 mV, indicating adequate colloidal stability. FTIR analysis revealed the presence of phenolic and carbonyl functional groups, essential for nanoparticle formation and stabilization. The extracts had high levels of flavonoids and polyphenols, which were partially retained in the AgNPs. In bioassays, both the extracts and AgNPs showed significant inhibitory effects on seed germination and root growth, particularly in *B. pilosa* and wheat, with performance statistically comparable to that of synthetic herbicides. Pro-oxidant activity was confirmed by albumin degradation, indicating the generation of reactive oxygen species. It is concluded that the green synthesis of AgNPs mediated by *C. langsdorffii* is efficient, and the resulting nanomaterials exhibit promising properties for use as bioherbicides. The results highlight the potential of these compounds as sustainable and environmentally safe tools for weed management and partial replacement of conventional herbicides.

Keywords: allelopathy; germination; seedlings; invasive plants; pro-oxidation.

Lista de Figuras

Figura 1- Espectros de extinção de AgNPs sintetizados do extrato das folhas sob diferentes condições (A) concentração de extrato, (B) concentração de AgNO_3 (C) pH, (D) temperatura e tempo.	25
Figura 2- Espectros de extinção de AgNPs sintetizados do extrato da serrapilheira sob diferentes condições (A) concentração de extrato, (B) concentração de AgNO_3 (C) pH, (D) temperatura e tempo.	26
Figura 3- Espectro de Extinção de AgNPs extrato folha sintetizados sob os melhores parâmetros (AgNO_3 a 5 mmol/L, extrato a 15%, pH 8 a 30°C durante 60 min).....	26
Figura 4- Espectro de Extinção de AgNPs extrato serrapilheira sintetizados sob os melhores parâmetros (AgNO_3 a 5 mmol/L, extrato a 35%, pH 10 a 30°C durante 60 min).....	27
Figura 5- Distribuição do tamanho das AgNPs a partir da análise de dispersão dinâmica de luz (DLS).	28
Figura 6- Espectros de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) do nitrato de prata (AgNO_3), extrato aquoso de <i>C. langsdorffii</i> (EACl) e das nanopartículas de prata (AgNPs).	29
Figura 7- Valores médios do comprimento dos coleótilos de trigo em relação ao controle negativo (água), tratamentos com extrato aquoso de <i>C. langsdorffii</i> (EACl) e nanopartículas de prata (AgNPs) e controle positivo (Herbicida).	33
Figura 8- Morfologia de coleótilos de trigo (<i>Triticum aestivum</i>) após 24 horas de exposição contínua ao controle negativo (água), controle positivo (Herbicida) e aos tratamentos com extrato aquoso de <i>C. langsdorffii</i> (EACl) e nanopartículas de prata (AgNPs).....	33
Figura 9- Porcentagens de germinação de sementes de <i>B. pilosa</i> (planta daninha) em função do tratamento com EACl e AgNPs e tratamentos positivo (Herbicida) e negativo (água).	35
Figura 10- Análise da degradação oxidativa do BSA em gel de poliacrilamida, pelos extratos e nanopartículas de <i>C. langsdorffii</i> , onde: (1) controle negativo (BSA + tampão fosfato); (2) controle 1 (BSA/tampão fosfato+ CuSO_4 /tampão fosfato); (3) controle positivo (BSA+ CuSO_4 + H_2O_2 +tampão fosfato); (4) Extrato a 100% (BSA+ CuSO_4 + H_2O_2 +100%EACl); (5) Extrato a 35% (BSA+ CuSO_4 + H_2O_2 +35%EACl); (6) AgNP obtidas com extrato aquoso de <i>C. langsdorffii</i> (BSA+ CuSO_4 + H_2O_2 +AgNP).	36

Lista de Tabelas

Tabela 1- Média de 20 medidas de DLS analisadas para a AgNPs obtidas por síntese verde com extrato aquoso de <i>C. langsdorffii</i> extraídos diretamente do software do DLS.	27
Tabela 2- Avaliação dos teores de polifenóis totais e flavonoides totais, para os extratos brutos da <i>Copaifera Langsdorffii</i> e das nanopartículas de prata	30
Tabela 3- Germinação (G), tempo médio (Tm), velocidade de germinação (Vm) e sincronismo (U-bit) das sementes de <i>Lactuca sativa</i> L. cv. Grand Rapids (Alface) após 76 horas, em diferentes concentrações de extrato aquoso e nanopartículas a base da folha da <i>Copaifera langsdorffii</i>	31
Tabela 4- Germinação (G), tempo médio (Tm), velocidade de germinação (Vm) e sincronismo (U-bit) das sementes de <i>Lactuca sativa</i> L. cv. Grand Rapids (Alface) após 76 horas, em diferentes concentrações de extrato aquoso e nanopartículas a base da serrapilheira da <i>Copaifera langsdorffii</i>	32

Lista de Abreviações

NPs - Nanopartículas

Ag – Prata

AgNPs – Nanopartículas de prata

AgNO₃ - Nitrato de Prata

AgNPEF – Nanopartícula de prata, sintetizadas do extrato da folha

AgNPES – Nanopartícula de prata, sintetizadas do extrato da serrapilheira

ECIF – *Copaifera langsdorffii* da folha

ECIS – *Copaifera langsdorffii* da serrapilheira

ClFNPs – Nanopartículas *Copaifera langsdorffii* da folha

ClSNPs – Nanopartículas *Copaifera langsdorffii* da serrapilheira

EACl – Extrato Aquoso *Copaifera langsdorffii*

Sumário

1. Introdução	11
2. Objetivo	13
3. Revisão da Literatura.....	14
3.1 <i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.....	14
3.2 Bioherbicidas	15
3.3 Nanopartículas de pratas e a síntese verde	16
4. Materiais e métodos.....	18
4.1 Coleta e identificação do material vegetal.....	18
4.2 Processamentos do material vegetal e preparação do extrato.....	18
4.3 Síntese verde.....	19
4.3.1 Síntese das nanopartículas de prata (AgNPs)	19
4.3.2 Caracterização das AgNPs.....	19
4.4 Determinações de polifenóis e flavonoides Totais dos extratos brutos e AgNPs	20
4.4.1 Determinação de polifenóis totais	20
4.4.2 Determinação de flavonoides totais.....	20
4.5 Avaliação da atividade herbicida.....	21
4.5.1 Bioensaio de herbicida pré-emergência.....	21
4.5.2 Bioensaio de alelopatia em coleótilos de trigo	21
4.5.3 Descrição do bioensaio de fitotoxicidade em planta daninha.....	22
4.6 Tratamento Estatístico	22
4.7 Avaliação da atividade pró-oxidativa dos extratos.....	22
4.7.1 Preparo das amostras	22
4.7.2 Preparo do gel de eletroforese unidimensional (SDS-PAGE).....	23
5. Resultados e discussão	24
5.1 Síntese e caracterização de nanopartículas de prata (AgNPs).....	24
5.1.1 Síntese e caracterização de AgNPs por espectrofotometria UV/Vis.....	24
5.1.2 Análise da estabilidade das soluções de AgNPs.....	27
5.1.3 Caracterização Espectroscopia infravermelha com transformada de Fourier (FTIR)	28
5.2 Determinação de polifenóis e flavonoides totais.....	30
5.3 Avaliação da atividade herbicida.....	30
5.3.1 Bioensaio de herbicida pré-emergência.....	30
5.3.2 Bioensaio de alelopatia em coleótilos de trigo	33
5.3.3 Descrição do bioensaio de fitotoxicidade em planta daninha.....	34
5.4 Avaliação da atividade pró-oxidativa da EACI e AgNPs.....	35
6. Conclusão	38

Referências 39

1. Introdução

A nanotecnologia é uma ferramenta confiável e favorável ao meio ambiente para a síntese de partículas em nanoscala. Ela segue características físico-químicas específicas, como uma alta relação área/volume, o que potencialmente resulta em alta reatividade (Barragan-oca *et al.*, 2023). A biossíntese de nanopartículas é caracterizada pela reação de redução/oxidação. A presença de substâncias antioxidantes nos extratos vegetais, determina propriedades redutoras, ou seja, ocorre a redução do metal compostos em suas respectivas nanopartículas (Khan *et al.*, 2023).

A síntese verde fornece avanços sobre produtos químicos e métodos tradicionais, pois é rentável economicamente, favorável ao meio ambiente, e oferece melhor manipulação. Assim observa-se o aumento em pesquisas sobre as rotas sintéticas que permitem melhor controle de forma e tamanho para diversas aplicações nanotecnológicas (Nadaf *et al.*, 2022).

Quanto à nanotecnologia para obtenção de compostos ativos nanoestruturados, sabe-se que esta tecnologia possibilita a manipulação de materiais a nível atômico e molecular até a dimensão de 100 nanômetros (Vishwakarma *et al.*, 2017). Extensivas pesquisas foram realizadas nas últimas décadas, com ênfase no estudo sobre o efeito de nanopartículas (NPs) em sistemas vivos, incluindo plantas e outros organismos. As NPs estão sendo amplamente utilizadas na medicina, agricultura, meio ambiente e outras áreas da ciência e tecnologia, devido a propriedades físicas específicas (Yadav *et al.*, 2023). As nanopartículas de prata (AgNPs) destacam-se por suas aplicações em diversas áreas, como a medicina, a agricultura e a indústria de materiais. (Agrawal *et al.*, 2018). Os métodos convencionais de síntese de nanopartículas costumam ser caros e ambientalmente prejudiciais, devido ao uso de substâncias tóxicas e perigosas (Gupta *et al.*, 2023). Como alternativa, surgiram as tecnologias de síntese verde, que utilizam sistemas biológicos como leveduras, fungos, bactérias e extratos vegetais, oferecendo uma abordagem mais segura, sustentável e ecologicamente correta. Os extratos vegetais são amplamente utilizados por uma variedade de razões, incluindo: distribuição global, diversidade de espécies, manuseio seguro, disponibilidade diversificada de metabólitos com alto potencial de redução, baixo desperdício e custos de energia (Yazdanian *et al.*, 2022). As possíveis aplicações agrícolas das nanopartículas estão sendo estudadas e aplicadas como nanofertilizantes, reguladores de crescimento, nanoagroquímicos para controle da germinação e desenvolvimento de plântulas, e como nanopesticidas: herbicidas, fungicida, bactericida, entre outras (Jiang *et al.*, 2023).

No que diz respeito a utilização de pesticidas no manejo agrícola, principalmente os herbicidas, existe preocupação premente com a segurança alimentar, por comumente ser

relatado a presença de resíduos de defensivos agrícolas nos alimentos, associado ao aumento de biótipos resistentes aos herbicidas nas lavouras. A necessidade de sistemas com maior sustentabilidade ambiental, têm impulsionado a busca por novas alternativas para o manejo de plantas daninhas (Nakka *et al.*, 2019). Uma solução que pode ser adotada no controle é a utilização de bioherbicidas, por apresentarem especificidade alvo, além de serem produzidos a partir de fontes naturais, ou seja, encontrados a partir de metabólitos secundários extraídos de vegetais (Cordeau *et al.*, 2016). No entanto, ainda é difícil a determinação da quantidade e qualidade dos aleloquímicos com potencial herbicida. Algumas limitações apresentadas por bioherbicidas correspondem à dificuldade de extrapolar os resultados obtidos em condições controladas para o campo (Mrid *et al.*, 2021). No entanto, estudos conduzidos em laboratório demonstraram que alguns extratos ou compostos purificados de uma planta podem inibir a germinação e/ou crescimento de outras plantas (Radhakrishnan *et al.*, 2018).

Dentre às espécies vegetais que apresentam potencial alelopático herbicida, destaca-se a *Copaifera langsdorffii* Desf., popularmente conhecida por pau-d'óleo ou copaíba. Pertencente à família Fabaceae (Caesalpinioideae) a copaíba caracteriza-se por ser arbórea, decídua ou semidecídua, ocorrente em Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul, São Paulo e Paraná (Antonio *et al.*, 2023). Apresenta atividades antimicrobiana, antiinflamatória, antiulcerogênica, antitumoral e cicatrizante (Santos *et al.*, 2021). De acordo com os aspectos ecológicos desta espécie, no local de sua ocorrência, é possível observar que a diversidade de espécies vegetais sob copas de copaíba é baixa, da mesma forma que a frequência de regeneração natural, assim, estudos demonstraram que esta espécie exerce efeito alelopático intra e interespecificamente, interferindo diretamente na germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas (Santana *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2012; Teixeira, 2023).

2. Objetivo

O presente estudo teve por objetivo desenvolver e avaliar um método de síntese verde para obtenção de nanopartículas de prata com extrato aquoso de *Copaifera langsdorffii* Desf. e subsequente avaliação da atividade herbicida, por meio dos testes de elongação celular de coleóptilo de *Triticum aestivum* (Trigo) e o crescimento e desenvolvimento de *Lactuca sativa* (Alface) e da planta daninha *Bidens pilosa* L (Picão preto).

3. Revisão da Literatura

3.1 *Copaifera langsdorffii* Desf.

Copaifera langsdorffii Desf. possui espécimes de porte arbóreo e são nativas da América do Sul, sendo amplamente distribuída no Brasil, com ocorrência em diversos biomas como a floresta amazônica, o cerrado e a mata atlântica. Esta espécie destaca-se principalmente pela produção de óleo-resina, conhecido popularmente por suas propriedades medicinais e terapêuticas para diversas enfermidades (Arruda *et al.*, 2019; Santos *et al.*, 2022).

Quanto sua estrutura botânica, esta espécie caracteriza-se por ser uma árvore de médio a grande porte, podendo atingir entre 8 e 20 metros de altura, dependendo das condições ambientais. Seu tronco é cilíndrico e pode apresentar diâmetro considerável em exemplares mais antigos, podendo ser decíduas ou semidecíduas. Os indivíduos possuem folhas compostas, paripinadas, com folíolos coriáceos e opostos apresentando coloração verde-escura na superfície (adaxial) e mais clara no verso (abaxial). Possui inflorescências racemosas e aparecem nas extremidades dos ramos, apresentando flores pequenas, com coloração esbranquiçada a amarelada e apresentam fragrância suave, o que atrai diferentes polinizadores. Seus frutos são leguminosos, do tipo cápsula, que se abrem quando maduros (deiscentes). Eles contêm uma ou duas sementes, geralmente envoltas por arilo amarelo resinoso. Peculiarmente, esta espécie produz um óleo- resina nas cavidades internas do tronco, o que a torna valiosa para extração deste composto (Freitas e Oliveira., 2002; Melo Júnior *et al.*, 2011; Woiciechowski *et al.*, 2020).

No que diz respeito aos aspectos ecológicos da *C. langsdorffii*, esta espécie adapta-se bem ao Cerrado, floresta tropical e florestas semi-decíduas. É resistente a solos arenosos e pobres, comuns em regiões de Cerrado, mas também cresce bem em áreas mais férteis. Esta espécie apresenta comportamento pioneiro, desempenhando um papel importante na recuperação de áreas degradadas, já que é tolerante à seca e ao fogo. Outro aspecto ecológico de destaque refere-se a suas flores, que atraem abelhas e outros insetos polinizadores, enquanto os frutos servem de alimento para aves e pequenos mamíferos, que ajudam na dispersão das sementes (Guerra *et al.*, 2006; Pasa *et al.*, 2012; Souza e Fagundes, 2017).

Quanto à exploração e conservação de *C. langsdorffii*, sabe-se que embora seja amplamente distribuída em diferentes regiões brasileiras, a pressão pela extração de óleo-resina, juntamente com o desmatamento, ameaça algumas populações. Assim, práticas de manejo sustentável e programas de reflorestamento são importantes para preservar essa espécie ecologicamente e economicamente significativa (Carvalho *et al.*, 2018; Russo *et al.*, 2022). O óleo-resina de copaíba é amplamente utilizado em produtos farmacêuticos e cosméticos devido

às suas propriedades anti-inflamatórias, antimicrobianas e cicatrizantes. Além disso, seu uso tradicional é reconhecido por diversas comunidades locais (Garcia e Yamaguchi., 2012; Arruda., 2019; Santos *et al.*, 2022).

3.2 Bioherbicidas

O desenvolvimento e a aplicação de bioherbicidas naturais tem sido favorecido por diferentes áreas do conhecimento, incluindo biotecnologia, ecologia, sustentabilidade, economia e saúde humana e animal. Os bioherbicidas são produtos obtidos a partir de fontes biológicas, geralmente renováveis, como extratos de plantas, fungos, bactérias ou compostos derivados desses organismos, que apresentam capacidade de controlar o crescimento (pré e pós-germinação) de plantas invasoras de maneira eficiente (Pilgeram e Sands, 2011; Hasan *et al.*, 2021; Joaquim Júnior *et al.*, 2021).

Os bioherbicidas obtidos por biotecnologia representam alternativa promissora às técnicas tradicionais de controle de ervas daninhas. A biotecnologia possibilita o isolamento, a otimização e a produção em larga escala de compostos ativos naturais, maximizando a eficiência e minimizando efeitos colaterais e adversos não intencionais. Esses produtos podem ser desenvolvidos para agir de forma seletiva, atacando plantas invasoras específicas sem prejudicar culturas de interesse econômico, o que os torna ferramentas precisas no manejo agrícola (Marchi *et al.*, 2008).

Do ponto de vista ecológico, os bioherbicidas podem ser menos agressivos ao ambiente quando comparados aos herbicidas convencionais, que geralmente apresentam alta persistência e toxicidade, além de desenvolver maior resistência nas espécies alvo. Por serem, em sua maioria, biodegradáveis, alguns bioherbicidas contribuem para a redução da contaminação do solo e da água, ajudando a preservar a biodiversidade dos ecossistemas e a minimizar os impactos sobre organismos não-alvo, como insetos, aves e mamíferos. Esses compostos também tendem a reduzir o risco de desenvolvimento de resistência entre plantas alvos (Hasan *et al.*, 2021; Islam, *et al.*, 2024).

Os bioherbicidas permitem manejo sustentável e, produção agrícola mais harmoniosa com o meio ambiente. Pela possibilidade de serem produzidos a partir de resíduos de plantas ou outros organismos disponíveis localmente, podem reduzir a dependência de produtos químicos sintéticos e importados, o que diminui a pegada de carbono associada à agricultura. Essa abordagem sustentável alinha-se com os princípios da agricultura orgânica e agroecológica, que visam práticas agrícolas que conservem e protejam os recursos naturais a médio e longo prazo (Daufenback *et al.*, 2022). Atrelado a estes aspectos, soma-se o destaque

econômico da utilização de bioherbicidas, pois estes podem trazer benefícios, especialmente para pequenos agricultores, ao reduzir os custos associados ao controle químico de pragas e minimizar a necessidade de medidas de remediação ambiental (Ulrich *et al.*, 2023; Camargo *et al.*, 2023.). Além disso, a produção local de bioherbicidas pode criar novos nichos de mercado e gerar empregos em áreas rurais, promovendo a economia circular. Embora os custos iniciais de pesquisa e desenvolvimento possam ser elevados, os benefícios a longo prazo, incluindo redução nos custos com remediação ambiental e saúde, compensam o investimento (Camargo *et al.*, 2023).

O uso de bioherbicidas pode trazer benefícios significativos para a saúde humana e animal, especialmente quando comparado aos herbicidas sintéticos, que estão associados a diversos problemas de saúde, como câncer, distúrbios hormonais e doenças respiratórias em populações expostas direta ou indiretamente a esses compostos (Vieira *et al.*, 2015; Carneiro *et al.*, 2015). Bioherbicidas tendem a ser menos tóxicos e menos propensos a se acumular nos organismos, reduzindo os riscos de efeitos adversos à saúde. Assim, a substituição de herbicidas convencionais por alternativas naturais favorece sistemas agrícolas mais seguro tanto para o produtor quanto para o consumidor final, quando comparado aos sistemas tradicionais de produção.

Diante do exposto, o desenvolvimento de bioherbicidas representa importante avanço multidisciplinar com potenciais benefícios para a agricultura sustentável. Ao integrar aspectos biotecnológicos, ecológicos, econômicos e de saúde, esses produtos oferecem alternativa viável e sustentável, promovendo práticas agrícolas seguras e ambientalmente responsáveis, alinhadas com as demandas da sociedade moderna por alimentos mais seguros e menos impactante sobre o ambiente, além de estimular estudos inovadores e amplamente sustentáveis (Joaquim Júnior *et al.*, 2021; Roberts, *et al.*, 2022).

3.3 Nanopartículas de pratas e a síntese verde

A nanobiotecnologia estuda as propriedades dos materiais em escala nanométrica, variando de 1-100 nm em média. Apresenta, aplicações nas mais diversas áreas, principalmente, nas áreas biológica e médica, por apresentar potencial para a inovação e avanços na área da produção sustentável de nanopartículas (Shahcheraghi *et al.*, 2022).

Entre as metodologias mais estudadas para a produção de nanopartículas, prioriza-se as que utilizam processos “verdes”, ecologicamente corretos e limpos. Extratos vegetais podem conferir atividade biológica adicional às partículas, potencializando suas diferentes atividades, podem ser utilizados como agentes redutores e estabilizantes, eliminando a necessidade de

reagentes químicos tóxicos, frequentemente empregados em processos convencionais de síntese e que podem ser danosos ao meio ambiente (Alharbi *et al.*, 2022; Jadoun *et al.*, 2022; Ying *et al.*, 2022).

Na produção de nanopartículas metálicas obtidas por meio de síntese verde, as nanopartículas de prata (AgNPs) tem se destacado, pois apresenta atividade antimicrobiana, antifúngica, anti-inflamatória e até mesmo antitumoral, devido a sua atividade biológica e aplicações em diversas áreas, que vai além da médica, pois possui potencialidade de utilização nas indústrias alimentícias, cosméticas e na agricultura. No processo de síntese verde em escala nanométrica, a prata adquire novas propriedades, tornando-se mais reativa devido ao aumento da razão superfície-volume, aumentando a área de contato permitindo maior interação com meio biológico (Pryshchepa *et al.*, 2020; Bruna *et al.*, 2021)

Na síntese verde de nanopartículas de prata, os extratos vegetais são importantes por agirem como redutores e estabilizantes naturais para a síntese das nanopartículas. Os extratos vegetais obtidos de diferentes partes da *C. langsdorffii* representa importante fonte de compostos biorredutores e estabilizadores para obtenção de nanopartículas metálica, pois estes extratos possuem compostos ativos como terpenos, esteroides, cumarinas, saponinas, compostos fenólicos e proteínas, que são responsáveis pela redução dos íons metálicos. No caso da prata, estes componentes irão reduzir os íons de prata Ag^+ em íons metálicos Ag^0 adquirindo forma neutra, perdendo o caráter tóxico e consequentemente menos prejudicial ao meio ambiente. (Iravani, 2011; Albernaz *et al.*, 2014; Ying *et al.*, 2022).

De forma geral, as aplicações das nanopartículas de prata (AgNPs) apresenta grande interesse devido sua versatilidade em diversas áreas. Na área farmacológica destaca-se no tratamento de infecção, por meio de sua ação antimicrobiana, e na possibilidade de aplicação na engenharia de tecidos (Xu *et al.*, 2020; Babu *et al.*, 2024). Na indústria alimentícia, as nanopartículas são utilizadas para fabricação de embalagens com propriedades antibacterianas, aumentando a vida útil dos produtos (Ediyilyam *et al.*, 2021), e na agricultura, as nanopartículas são aplicadas para o controle de pragas e doenças vegetais. A escolha pelas nanopartículas de prata, em detrimento de outros materiais como as de ferro, deve-se à sua maior estabilidade, múltiplos mecanismos de ação biológica e elevada eficácia fitotóxica mesmo em baixas concentrações, características que as tornam particularmente promissoras para o desenvolvimento de bioherbicidas. (Castillo- Henríquez *et al.*, 2020; Kale *et al.*, 2021).

4. Materiais e métodos

4.1 Coleta e identificação do material vegetal

As partes aéreas e a serapilheira de *Copaifera langsdorffii* Desf. foram coletadas na região urbana do município de Assis. A identificação taxonômica foi realizada em herbário e um espécime de comprovação foi depositado no *Herbarium Assissense* (HASSI) com o número HA365.

As sementes de *Lactuca sativa* L. cv. Grand Rapids (alface - crespa- verde) foram adquiridas da empresa ISLA Sementes Ltda, com germinabilidade de 98% e viabilidade de 100%, essa espécie foi escolhida por ser amplamente utilizada como planta-teste em estudos de fitotoxicidade pela sua alta sensibilidade a compostos bioativos, pela germinação rápida e previsível e por apresentar parâmetros morfológicos bem definidos, o que facilita a análise dos efeitos fisiológicos. Além disso, suas sementes são facilmente encontradas no comércio, possuem alta uniformidade fisiológica e garantem boa reprodutibilidade dos experimentos.

As sementes de *Triticum aestivum* L. cv. Catergo (Trigo) foram obtidas no comércio agrícola local. Foram utilizadas por se tratar de um modelo experimental amplamente adotado em bioensaios para avaliação de atividade herbicida, devido à sua alta sensibilidade a compostos que afetam o crescimento celular e à padronização das metodologias de ensaio com coleóptilos.

Já as sementes da planta daninha *Bidens pilosa* L. (Picão preto), foi disponibilizada pela Escola Superior de Agronomia de Paraguaçu Paulista - ESAPP. Ela é reconhecida por sua alta adaptabilidade, ciclo de vida curto, produção intensa de sementes e interferência significativa em cultivos agrícolas.

4.2 Processamentos do material vegetal e preparação do extrato

As partes vegetais (folhas e serapilheira) foram selecionadas e secas em estufa de ar forçado a temperatura de 40° C, logo após foram trituradas em moinho de facas para obtenção de um pó fino. O pó obtido foi submetido a extração com água ultrapura, de modo a constituir solução (1:10, m/v) que foi submetida ao ultrassom por 6 minutos a 50 Hz, e logo após levado a banho-maria a 60 °C por 20 minutos. Os extratos resultantes foram filtrados sob vácuo e subsequente utilização para síntese verde e ensaios biológicos.

4.3 Síntese verde

4.3.1 Síntese das nanopartículas de prata (AgNPs)

A síntese das AgNPs foi realizada à temperatura ambiente, combinando-se volumes iguais da solução aquosa de AgNO_3 e dos extratos (folha e serrapilheira). A reação foi evidenciada pela alteração de cor da solução para tons de amarelo e marrom. A influência da concentração dos extratos foi avaliada nas concentrações de 15%, 25% e 35% por meio de sucessivas diluições do extrato em água ultrapura. O pH do extrato e da água utilizada foram previamente ajustados em 8,0, uma vez que nesta condição foi favorecida a formação de AgNPs com uniformidade de tamanhos (VELGOSOVÁ et al., 2016), e a concentração da solução de AgNO_3 foi mantida fixa em 2,50 mmol/L.

Já para variação da concentração de AgNO_3 foi avaliado nas concentrações de 1, 5 e 10 mmol/L, por meio de diluições em água ultrapura. A concentração do extrato foi igualmente mantida fixa, em pH 8,0. O pH do extrato foi avaliado de 3,0 a 13,0, sendo ajustado com HCl 0,1 mol/L e NaOH 0,1 mol/L. A concentração de extrato foi mantida fixa e a de AgNO_3 em 5 mmol/L.

As melhores condições de síntese foram definidas com base na avaliação da influência da concentração do extrato, da concentração de AgNO_3 e de seu pH. As AgNPs foram analisadas por espectroscopia de absorção molecular na região do UV-Vis (Espectrofotômetro Bel UV-M51 UV-Visível, Bel Photonics, Piracicaba, Brasil) com lâmpadas de Tungstênio e Deutério, utilizando faixa de operação de 190 a 1000 nm. Os gráficos foram gerados pelo Software UV Profissional 2, no intervalo de 300 a 650 nm, com 1,0 nm de intervalo de leitura, em uma cubeta de vidro de 4 mL. Antes da leitura o equipamento é zerado com água ultrapura Miliq. O espectro de absorção das nanopartículas esféricas de prata apresenta um máximo entre 420 nm e 450 nm (JIANG et al., 2020).

4.3.2 Caracterização das AgNPs

4.3.2.1 Análise da estabilidade das soluções de AgNPs

O potencial zeta e a distribuição de tamanho de partícula das dispersões aquosas foram determinados por dispersão dinâmica de luz (Dynamic light scattering - DLS) usando um aparelho Delsa Nano 2.31 da Beckman Coulter com o leitor a 173°. O DLS consiste na técnica de medição das flutuações dependentes do tempo na intensidade da luz espalhada por partículas, que são causadas pelo movimento browniano, que é o movimento aleatório das partículas devido às colisões de moléculas, sendo extremamente útil na determinação das características estruturais como tamanho. Para a leitura no aparelho foi feito o preparo da amostra, iniciando

pela diluição adequada com água destilada de modo à evitar múltiplos espalhamentos de luz com posterior filtragem da amostra. O potencial zeta é o potencial elétrico de uma partícula em suspensão em um líquido, a partir desse valor entendemos o comportamento de dispersão dessa partícula, para que esteja estável o valor precisa variar de -30 mV a $+30$ mV, diversos fatores como pH, condutividade e características da solução podem afetar esse valor, então é preciso que todos estes dados estejam caracterizados para se estabelecer a interpretação deste valor (MARSALEK, 2024).

4.3.2.2 Espectroscopia infravermelha com transformada de Fourier (FTIR)

Os espectros de FTIR das amostras de extrato e da AgNPs de *C. langsdorffii* depositados em disco de KBr, logo após foi registrado a análise de varredura realizada em temperatura ambiente, na faixa de 400 a 4.000 cm^{-1} , velocidade de 2 mm/s e resolução de 4 cm^{-1} (Wei et al., 2020) em um espectrometro Compact FT-IR Bruker spectrometer (Alpha II, Billerica, MA, USA).

4.4 Determinações de polifenóis e flavonoides Totais dos extratos brutos e AgNPs

4.4.1 Determinação de polifenóis totais

Para a determinação dos compostos de polifenóis totais foi utilizado o método do reagente de *Folin-Ciocalteu* (molibdato, tungstato e ácido fosfórico), aplicando-se ácido gálico como padrão de comparação. A cada $0,5\text{ mL}$ de amostra (extratos) foram adicionados 5 mL de água destilada e $0,25\text{ mL}$ do reagente de *Folin-Ciocalteu*. Após 3 minutos, foi inserido 1 mL de solução de Na_2CO_3 saturada a 10% e a mistura armazenada por 1 hora. A absorbância foi medida a 725 nm em espectrofotômetro e as análises foram realizadas em triplicada, com os resultados expressos em mg de ácido gálico por g de extrato seco.

4.4.2 Determinação de flavonoides totais

A determinação dos teores de flavonoides totais dos extratos foi quantificada por espectrofotometria e as amostras foram preparadas de acordo, baseados na complexação dos flavonoides com AlCl_3 , ocorrendo o deslocamento das bandas de absorção para maiores comprimentos de onda. Uma alíquota de $250\text{ }\mu\text{L}$ dos extratos em diferentes concentrações foi adicionada com $1,25\text{ mL}$ de água destilada e $75\text{ }\mu\text{L}$ de solução de NaNO_2 a 5% . Depois de seis minutos, $150\text{ }\mu\text{L}$ de uma solução de $\text{AlCl}_3/\text{H}_2\text{O}$ a 10% foi adicionada. Após cinco minutos, $0,5\text{ mL}$ de solução de NaOH 1 M foi acrescentada, e então o volume total completado com $2,5\text{ mL}$ de água destilada. As amostras foram agitadas em vórtex e a absorbância mensurada a 510 nm .

Todos os testes foram realizados em triplicada e os resultados obtidos expressos em mg de rutina por g de extrato. As concentrações avaliadas foram 1000 µg/mL para os extratos padronizado e enriquecido com saponinas.

4.5 Avaliação da atividade herbicida

4.5.1 Bioensaio de herbicida pré-emergência

O bioensaio de pré-emergência foi realizado com sementes de *Lactuca sativa* L. cv. Grand Rapids (Alface) por meio do controle da germinação das sementes destas plantas em placa de Petri e papel de germinação, com umidade relativa, temperatura e luminosidade controlada artificialmente em estufas de germinação tipo BOD (Demanda Biológica de Oxigênio). Para tanto foi montado um experimento em delineamento inteiramente casualizado (DIC), onde placas de Petri foram separadas em grupos experimentais e controle, contendo 50 sementes de alface em cada placa, com seis repetições para cada grupo experimental, tratados com extrato bruto e nanopartículas obtidas por síntese verde (nas concentrações de extrato e nanopartícula na melhor concentração de síntese verde), e um grupo controle negativo (água). Como critério para avaliação da germinação foi utilizado a protrusão e a curvatura geotrópica da radícula, conforme indicado por Labouriau (1983). As sementes que apresentarem falsa germinação por embebição não foram contabilizadas nos resultados. O monitoramento da germinação das espécies foi feito a cada 06 horas, durante 96 horas. Foram avaliados a germinabilidade, sincronismo e velocidade de germinação.

4.5.2 Bioensaio de alelopatia em coleóptilos de trigo

O extrato e nanopartículas com maior atividade herbicida foram submetidas às condições de bioensaio em coleóptilos de *Triticum aestivum* L. cv. Catergo (trigo) pré-germinados. Os coleóptilos, sob luz verde, foram seccionados para obtenção de fragmentos medindo 4 mm de longitude a partir da seção imediatamente posterior aos 2 primeiros milímetros do seu ápice. Os fragmentos foram mantidos suspensos em tampão Fosfato-citrato contendo sacarose a 2% e pH 5,6 por 60 minutos. Para exposição dos coleóptilos, o extrato bruto e nanopartículas foram dissolvidos em tampão fosfato (pH=6.7 e 0,2M) até as concentrações finais do bioensaio. O herbicida comercial Glifosato® foi utilizado como controle positivo. O tratamento seguiu com a inclusão dos fragmentos dos coleóptilos nas diferentes concentrações de extrato, AgNPs e/ou herbicida natural, mantendo a exposição por

24 horas, temperatura média de 25° C, sob agitação constante e na ausência de luz. A metodologia seguiu os protocolos sugeridos por Macias *et al.*, 2000 e 2015.

4.5.3 Descrição do bioensaio de fitotoxicidade em planta daninha

Este bioensaio foi realizado em placas Petri (50 mm de diâmetro) sobre papel Whatman nº1 como suporte. A germinação e o crescimento foram realizados com a exposição da semente de *B. pilosa* ao extrato na mesma concentração de síntese e AgNPs (grupos experimentais), Glifosato® (controle positivo) e água (controle negativo). Cada tratamento foi realizado de 6 repetições, 10 sementes por placa e 1 mL volume de tratamento por placa. Foram preparados diferentes tratamentos contendo extrato a 15%, AgNPs na melhor condição de síntese e 10% de herbicida comercial. Os tratamentos foram adicionados as sementes em placas petri, que foram levadas para a estufa BOS na ausência de luz a 25 °C durante, e o crescimento das plântulas foi avaliada a cada 24 horas por 5 dias (MACÍAS *et al.*, 2000). O herbicida comercial foi utilizado como referência interna, e as concentrações e condições de bioensaio foram às mesmas que as amostras testes. Os valores obtidos para do parâmetro considerado foram comparados com um ensaio controle negativo (água).

4.6 Tratamento Estatístico

Os resultados dos bioensaio de atividade herbicida receberão tratamento estatístico por meio de testes de normalidade (Shapiro-Wilks) e homogeneidade (Levene). Se os dados mostrarem normalidade e se as variâncias forem homogêneas, os dados foram analisados por meio de testes paramétricos (ANOVA e Tukey; $\alpha = 0,05$), e se não mostrarem normalidade e homogeneidade foram analisados por meio do teste de Kruskal-Wallis e Dunn ($\alpha=0,05$). Estes testes foram realizados no software BioStat.

4.7 Avaliação da atividade pró-oxidativa dos extratos

4.7.1 Preparo das amostras

Mobilidade relativa em eletroforese (MRE) foi desenvolvida de acordo com HSIEH *et al.* (2005). Albumina de soro bovino - BSA (2mg/mL) foi diluída em tampão fosfato a 10 mM (pH 7,4). Já o sistema de oxidação $H_2O_2/CuSO_4$ constitui em uma solução de 50 mM de H_2O_2 e 1mg/mL de $CuSO_4$. Os testes foram montados com controle negativo contendo 1 ml da solução de BSA e 1mL de tampão fosfato, controle positivo com 1mL de BSA, 0,5mL da solução $H_2O_2/CuSO_4$ e 0,5mL de tampão fosfato e os tratamentos com 1mL de BSA, 0,5mL da solução $H_2O_2/ CuSO_4$ e 0,5mL dos extratos de *Copaifera langsdorffii* Desf. nas concentrações

de 01, 05 e 10mg/mL sendo os mesmos incubados a 37°C durante 48 horas. A eletroforese de BSA foi realizada utilizando gel de poliacrilamida (SDS-PAGE).

4.7.2 Preparo do gel de eletroforese unidimensional (SDS-PAGE)

As diferentes concentrações do extrato de *Copaifera langsdorffii* Desf. foram analisadas por eletroforese unidimensional em gel de poliacrilamida (KOCHA et al., 1997). Os géis de poliacrilamida nas concentrações de 12% (22,2% acrylamida/0,6 bis-acrylamida; 1M Tris-HCl pH 8,8; água destilada; SDS 10%; persulfato de amônio 10%; TEMED) foram montados em placas do sistema de eletroforese K33-10V (KASVI, Brasil) de dimensões 10 x 10 cm. As amostras juntamente com o tampão de amostra (1M Tris-HCl pH; SDS 4%; Glicerol 20% ; B-mercaptoetanol 5%; Azul de bromofenol 0,2%) foram submetidos a 95°C por 5 minutos e posteriormente aplicadas ao gel de poliacrilamida contendo SDS (SDS-PAGE). A proteína BSA foi eletroforeticamente separada utilizando uma corrente de 200mA e voltagem de 100V. Após a corrida, os géis foram corados com solução de coomassie (Coomassie brilliant blue R-250 dissolvido em metanol 50% e ácido acético 10%) e mantidos em ácido acético 7% até a digitalização das imagens.

5. Resultados e discussão

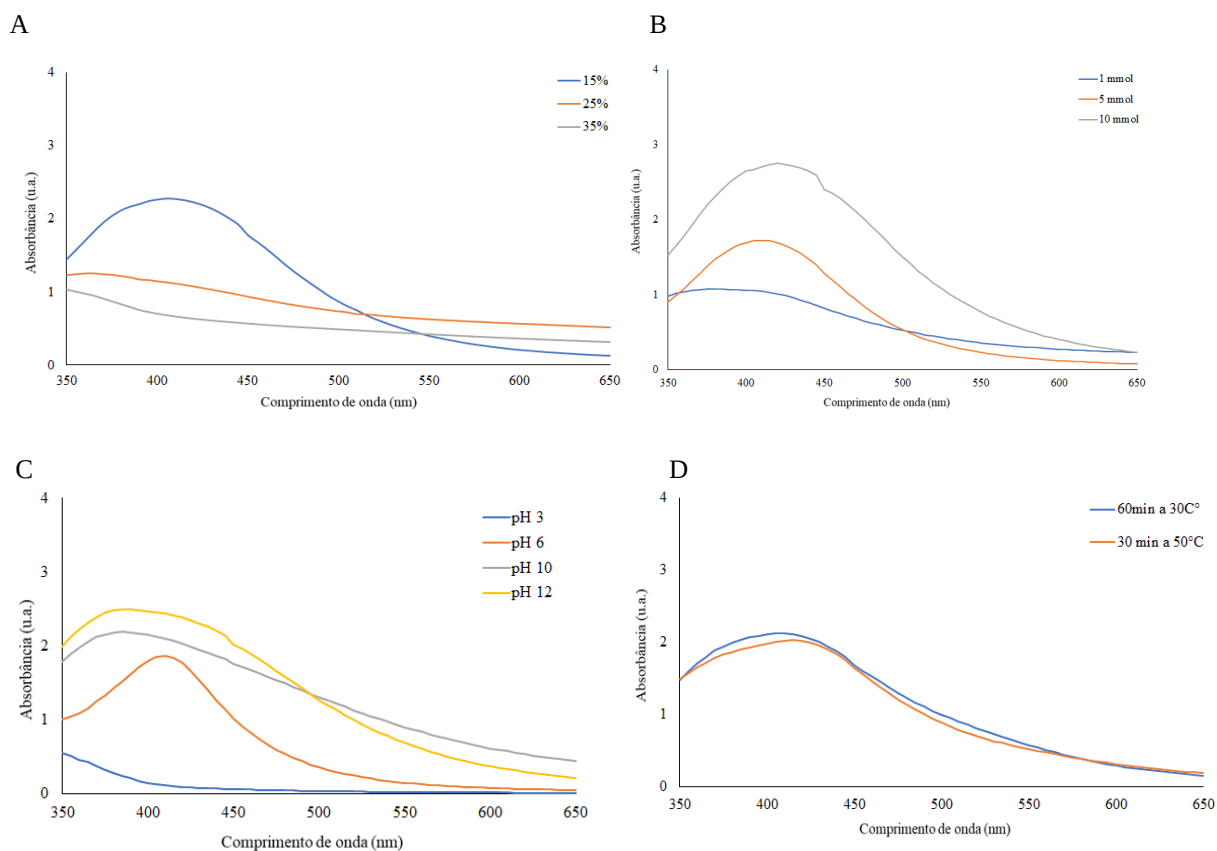
5.1 Síntese e caracterização de nanopartículas de prata (AgNPs)

5.1.1 Síntese e caracterização de AgNPs por espectrofotometria UV/Vis

A formação de nanopartículas é evidenciada pela alteração da sua coloração da solução inicial amarelada até atingir uma coloração marrom escura, processo que ocorre após a correção de pH e se intensifica após ser exposta à temperatura em banho-maria. Foram observadas por espectrofotometria UV-Vis, em ambas as nanopartículas, picos na faixa entre 420-450 nm, que de acordo com Jiang *et al.*, (2020), caracteriza a formação das AgNPs.

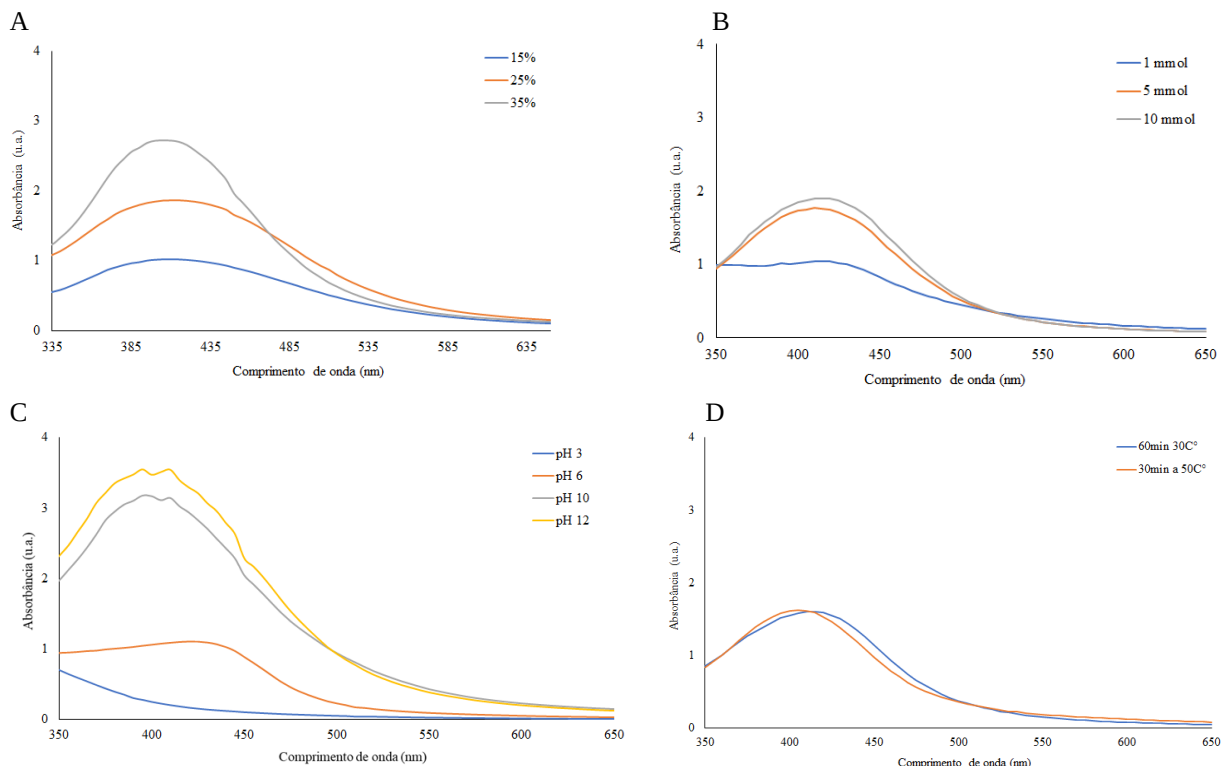
Para a realização da síntese verde foram testadas diversas concentrações, indicadas na **Figura 1 e 2**. As melhores concentrações de extrato no que diz respeito a formação das AgNPs foram 15%, 25% e 35%, tanto para o extrato das folhas quanto para a serrapilheira. As concentrações de nitrato de prata (AgNO_3) para a formação da nanopartícula foram 1, 5 e 10 mmol/L. Para o pH de formação foram testados 3, 6, 10 e 12. Para o último parâmetro temperatura pelo tempo, foram analisadas as variações de 30 °C por 60 minutos e 50 °C por 30 minutos, foram evitadas temperaturas mais elevadas nessa etapa, para que não ocorresse a desnaturação do extrato vegetal. Durante a análise de outras variações foram mantidos 2,5 mmol/L e pH 8 até a determinação da condição ideal de síntese.

Figura 1- Espectros de extinção de AgNPs sintetizados do extrato das folhas sob diferentes condições (A) concentração de extrato, (B) concentração de AgNO_3 (C) pH, (D) temperatura e tempo.



Fonte: Autoria Própria

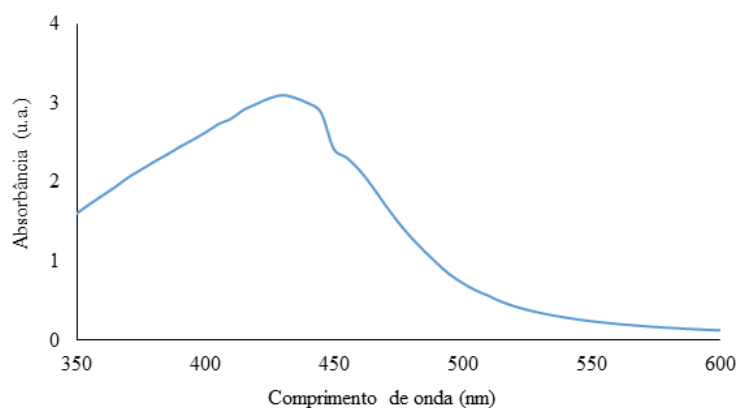
Figura 2- Espectros de extinção de AgNPs sintetizados do extrato da serrapilheira sob diferentes condições (A) concentração de extrato, (B) concentração de AgNO_3 (C) pH, (D) temperatura e tempo.



Fonte: Autoria Própria

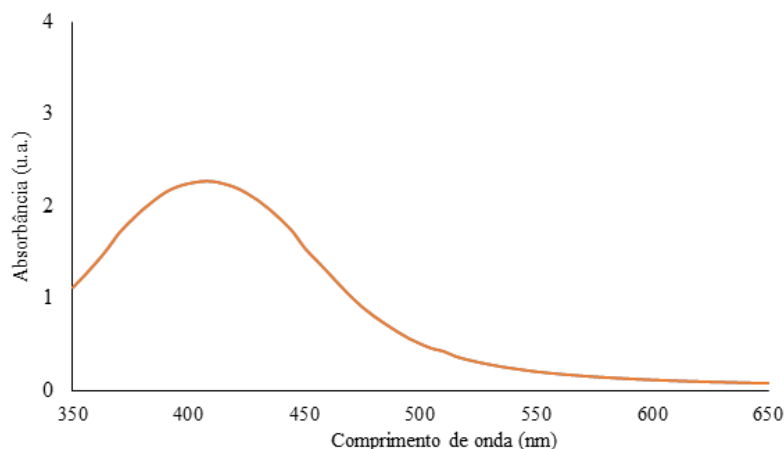
Após a observação dos gráficos, foram determinados como os melhores perfis coloidais da prata sendo de 15% de concentração de extrato, 5 mmol/L de AgNO_3 em pH 8 a 30°C por 60 minutos, para as nanopartículas sintetizadas a partir do extrato das folhas, como visto na **Figura 3**, e de 35% de concentração de extrato, 5 mmol/L de AgNO_3 em pH 8 a 30°C por 60 minutos para as nanopartículas sintetizadas a partir do extrato da serrapilheira como observado na **Figura 4**.

Figura 3- Espectro de Extinção de AgNPs extrato folha sintetizados sob os melhores parâmetros (AgNO_3 a 5 mmol/L, extrato a 15%, pH 8 a 30°C durante 60 min).



Fonte: Autoria própria

Figura 4- Espectro de Extinção de AgNPs extrato serrapilheira sintetizados sob os melhores parâmetros (AgNO_3 a 5 mmol/L, extrato a 35%, pH 10 a 30°C durante 60 min).



Fonte: Autoria própria

As melhores condições de síntese resultaram numa alteração da cor da solução de um amarelo para um marrom escuro e exibiram um espectro de extinção com picos de 400 a 460 nm, sendo um resultado esperado para o perfil coloidal das nanopartículas de prata, como os resultados obtidos por Fareed et al., 2023 e Lieu et al., 2024.

5.1.2 Análise da estabilidade das soluções de AgNPs

Na **Tabela 1**, além dos valores correspondentes ao tamanho médio das AgNPs sintetizadas pela serrapilheira ($18,49 \pm 0,5698$ nm), potencial zeta ($-35,31 \pm 1,919$), Mobilidade de Partículas ($-2,798 \pm 0,1504$) e do índice de polidispersão ($0,4302 \pm 0,01601$), também estão presentes os valores correspondentes ao Pico 1, em nm e em porcentagem, que correspondem à área da dispersão dinâmica da luz (intensidade de fluorescência) de vinte repetições. Isso significa que das vinte leituras realizadas, 87,57% encontra-se dentro desta média de pico 31,89 nm ilustrado na **Figura 5**, indicando uma elevada homogeneidade das AgNPs.

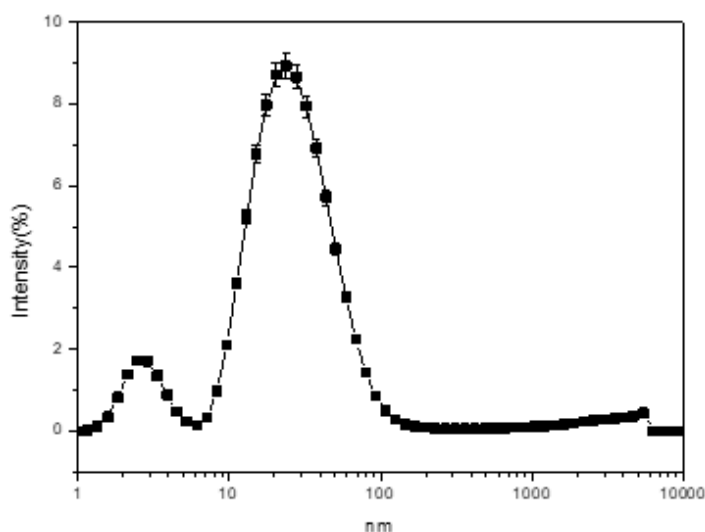
Tabela 1- Média de 20 medidas de DLS analisadas para a AgNPs obtidas por síntese verde com extrato aquoso de *C. langsdorffii* extraídos diretamente do software do DLS.

Análise	Média	Desvio Padrão	RSD	Mínimo	Máximo
Tamanho (nm)	18,49	0,5698	3,082	17,61	20
Potencial Zeta (mV)	-35,31	1,919	5,375	-37,9	-33,8
Mobilidade ($\mu\text{m}/\text{VS}$)	-2,798	0,1504	5,375	-2,2969	-2,648
Índice de Polidispersão	0,4302	0,01601	3,721	0,4029	0,4541
Pico 1 média de intensidade por área (nm)	31,89	5,404	16,95	27,2	48,24
Pico 1 área por intensidade por área (%)	87,57	2,25	2,569	83,02	92,31
Pico 2 média de intensidade por área (nm)	2,815	0,5678	20,17	1,92	4,015
Pico 2 área por intensidade por área (%)	9,112	1,282	14,07	6,795	11,86

Fonte: Autoria Própria

O Potencial Zeta obtido, cujo valor é de $-35,31 \pm 1,919$ mV, esse resultado representa um bom valor no quesito estabilidade coloidal, pois, de acordo com Jarzynska et al., (2025), o potencial zeta (PZ) diz respeito à repulsão eletrostática entre as nanopartículas e à estabilidade dos sistemas coloidais. A força de repulsão mútua entre elas supera as forças intermoleculares, e é isso que contribui com a agregação das mesmas. Portanto, a solução coloidal apresenta sua maior estabilidade quando o valor do PZ se encontra entre -30 mV e +30 mV, sendo que, quanto mais próximo de zero, melhor. Quando o valor de PZ é negativo indica repulsão entre as partículas, devido à presença de metabólitos secundários como os polifenóis e os flavonoides presentes no extrato.

Figura 5- Distribuição do tamanho das AgNPs a partir da análise de dispersão dinâmica de luz (DLS).

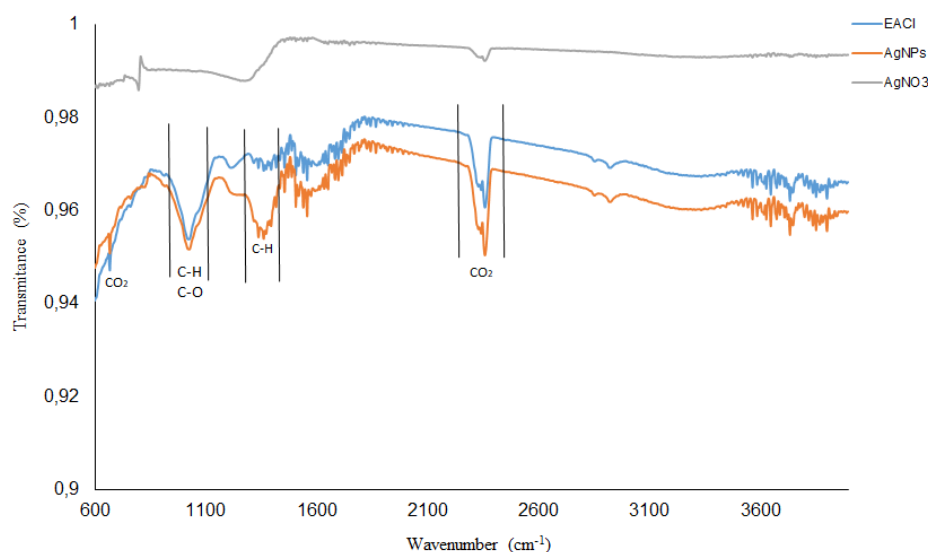


Fonte: Autoria própria

5.1.3 Caracterização Espectroscopia infravermelha com transformada de Fourier (FTIR)

A **Figura 6** mostra os espectros FTIR de AgNO_3 , EACI (Serrapilheira) e AgNPs (sintetizados pela serrapilheira), onde várias bandas vibracionais associadas a grupos funcionais orgânicos podem ser identificadas. Notavelmente, as bandas arredondadas aparecem nas faixas de $669,2817 \text{ cm}^{-1}$ e $2359,99024 \text{ cm}^{-1}$, correspondendo às vibrações do gás carbônico (CO_2); $893,7849$ a $1153,22385 \text{ cm}^{-1}$ e $1297,37684$ a $1455,94512 \text{ cm}^{-1}$ correspondendo às vibrações de estiramento dos grupos alcano (C-H), fenólico e carbonila (C-O), respectivamente.

Figura 6- Espectros de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) do nitrato de prata (AgNO_3), extrato aquoso de *C. langsdorffii* (EACl) e das nanopartículas de prata (AgNPs).



Fonte: Autoria própria

Com a análise espectroscópica por FTIR é possível identificar diferentes grupos funcionais envolvidos na formação e estabilização das AgNPs. A presença de bandas vibracionais características em diferentes faixas confirma a interação química entre os precursores utilizados e os compostos orgânicos presentes no meio reacional. As bandas observadas indicam a presença de CO_2 absorvido, comumente observado em amostras analisadas ao ar. Já as outras vibrações de estiramento atribuídas a ligações C-H de alcanos, bem como a grupos fenólicos e carbonílicos (C-O), sugerindo a presença de compostos orgânicos com potencial redutor e estabilizante como demonstrado em estudo realizado por Vanga e Satla (2025).

Esses grupos funcionais são fundamentais no processo de síntese verde de AgNPs, pois podem atuar tanto na redução dos íons Ag^+ a prata metálica (Ag^0) quanto na estabilização das nanopartículas formadas, impedindo sua aglomeração. A detecção de sinais relacionados a grupos fenólicos e carbonílicos também é indicativa da presença de metabólitos secundários no EACl, que podem contribuir para a atividade biológica das nanopartículas. Portanto, os dados de FTIR corroboram a eficácia da metodologia de síntese, revelando a participação ativa de compostos orgânicos na estrutura final das AgNPs como observado em estudo realizado por Choudhury et al. (2025).

5.2 Determinação de polifenóis e flavonoides totais

O teor total de polifenóis e flavonoides em ambos os extratos (folha (ECIF) e serrapilheira (ECIS)) foi testado em duas concentrações, o extrato bruto (100%) e o extrato na condição de síntese (15% e 35%, respectivamente). Os resultados mostraram que o teor está diretamente ligado à concentração dos extratos, ou seja, quanto maior a concentração maior é o teor de polifenóis totais e de flavonoides. De acordo com a **Tabela 2**, na concentração de 100% em EFv apresentaram 2161,15 mg AGE/g PS de polifenóis totais e 1579,87 mg RE/ g PS de flavonoides, em EFs apresentaram 822,63 mg AGE/g PS de polifenóis totais e 856,53 mg RE/g PS de flavonoides. Nas ClFNPs apresentaram 237,44 mg AGE/g PS de polifenóis totais e 513,53 mg RE/ g PS de flavonoides, em ClSNPs apresentaram 202,26 mg AGE/g PS de polifenóis totais e 605,20 mg RE/g PS de flavonoides.

Tabela 2- Avaliação dos teores de polifenóis totais e flavonoides totais, para os extratos brutos da *Copaifera Langsdorffii* e das nanopartículas de prata

Tratamento	Concentração (%)	Polifenóis totais ¹	Flavonoides ²
ECIF	100	2161,15 ±94,89a	1579,87 ±78,70a
	15	405,22 ±51,49b	80,53 ±11,43b
ClFNPs		237,44 ±68,51c	513,53 ±27,36c
ECIS	100	822,63 ±31,51d	856,53 ±12,59d
	35	290,04 ±32,52c	151,87 ±5,73b
ClSNPs		202,26 ±35,51c	605,20 ±28,76c

Valores expressos como média ± desvio padrão. ¹mg ácido gálico equivalente (AGE) g⁻¹ peso seco (PS); ²mg rutina equivalente (RE) g⁻¹ peso seco (PS).

Fonte: Autoria Própria

Estudos realizados por Lucena et al., 2024, Sousa et al., 2012 examinaram o perfil fitoquímico da *Copaifera langsdorffii* e foram identificados diversos compostos, terpenos, esteróides, cumarinas, saponinas, proantocianidinas, flavonoides e compostos fenólicos em abundância, o que corrobora com os resultados obtidos das análises. Há um aumento no número de flavonoides nas AgNPs em comparação com a concentração de extrato de síntese, em ambos os extratos, como resultado do processo de síntese verde das nanopartículas, como foi observado por Phull et al., 2021 e Sivakumar, 2021.

5.3 Avaliação da atividade herbicida

5.3.1 Bioensaio de herbicida pré-emergência

Os resultados dos testes de pré-emergência de sementes de *Lactuca sativa* L. cv. Grand Rapids (Alface) tratados com o extrato das folhas e com as nanopartículas sintetizadas pelo

mesmo, são apresentados na **Tabela 3**. Todos os grupos de sementes tratados com os extratos das folhas nas concentrações de 24% e 36%, apresentaram diminuição da germinação em comparação com a água (controle). Quanto aos fatores correlacionados à germinação, a velocidade e o tempo médio apresentaram diferença em relação ao controle, porém o sincronismo se manteve semelhante. Por sua vez as nanopartículas e nas outras concentrações de extrato não apresentaram diferença significativa, em nenhum dos fatores, em comparação com a água.

Tabela 3- Germinação (G), tempo médio (Tm), velocidade de germinação (Vm) e sincronismo (U-bit) das sementes de *Lactuca sativa* L. cv. Grand Rapids (Alface) após 76 horas, em diferentes concentrações de extrato aquoso e nanopartículas a base da folha da *Copaifera langsdorffii*

Tratamento	Concentração (%)	G(%)	Tm (horas)	Vm(sementes/hs)	U-bit(bits)
ECIF	12	80,67±12,69a	21,77±3,12a	0,0468±0,0070a	2,95±0,18a
	24	67,67±9,16b	25,20±2,66a	0,0401±0,0042b	2,74±0,25a
	36	46,33±12,35c	15,32±3,86b	0,0687±0,0169c	2,92±0,10a
ClFNPs	1	90,00±3,35a	25,03±2,13a	0,0402±0,0035a	2,62±0,18a
	10	91,33±11,84a	26,48±2,89a	0,0382±0,0044a	2,74±0,16a
	50	87,00±9,77a	25,76±2,72a	0,0392±0,0041a	2,77±0,14a
	100	80,33±5,27a	24,56±3,36a	0,0413±0,0056a	2,60±0,18a
Água		88,67±3,01a	25,85±1,86a	0,0388±0,0027a	2,63±0,34a

Valores expressos como média ± desvio padrão. Médias com letras iguais, na coluna, não diferem entre si com $\alpha=0,05$ de probabilidade, pelo teste de Tukey. Legenda: G%= porcentagem média de germinação, Tm= tempo médio de germinação, Vm= velocidade média de germinação e U-bit= sincronismo de germinação.

Fonte: Autoria Própria

Os resultados dos tratamentos com o extrato da serrapilheira e com as nanopartículas sintetizadas pelo mesmo estão presentes na **Tabela 4**. Os grupos tratados com o extrato em todas as concentrações e as nanopartículas em 50% e 100%, apresentaram redução considerável da germinação em comparação com o grupo controle. O tempo médio não apresentou diferença em nenhum grupo, a velocidade de germinação não diferiu somente nas ClFmNPs na concentração de 100% e o sincronismo (U-bit) apresentou resultados diferentes nas ClFmNPs 1% e 100%.

Tabela 4- Germinação (G), tempo médio (Tm), velocidade de germinação (Vm) e sincronismo (U-bit) das sementes de *Lactuca sativa* L. cv. Grand Rapids (Alface) após 76 horas, em diferentes concentrações de extrato aquoso e nanopartículas a base da serrapilheira da *Copaifera langsdorffii*.

Tratamento	Concentração (%)	G (%)	Tm(horas)	Vm(sementes/hs)	U-bit (bits)
ECIS	15	70,67±16,95a	22,23±1,28a	0,0451±0,0026a	2,8260±0,22a
	30	51,00±6,29b	24,49±5,87a	0,0433±0,0125a	2,6532±0,24a
	45	34,33±9,07c	21,44±4,85a	0,0482±0,0085a	2,5732±0,42a
CISNPs	1	87,00±7,46d	24,16±3,13a	0,0414±0,0055b	2,75±0,05b
	10	83,00±5,48d	22,56±1,49a	0,0445±0,0030b	2,85±0,19a
	50	72,67±15,21e	23,78±4,67a	0,0433±0,0079b	2,87±0,16a
	100	73,67±13,82e	25,27±1,72a	0,0397±0,0029c	2,44±0,29c
Água		88,67±3,01d	25,85±1,86a	0,0388±0,0027c	2,63±0,34a

Valores expressos como média ± desvio padrão. Médias com letras iguais, na coluna, não diferem entre si com $\alpha=0,05$ de probabilidade, pelo teste de Tukey. Legenda: G%= porcentagem média de germinação, Tm= tempo médio de germinação, Vm= velocidade média de germinação e U-bit= sincronismo de germinação.

Fonte: Autoria Própria

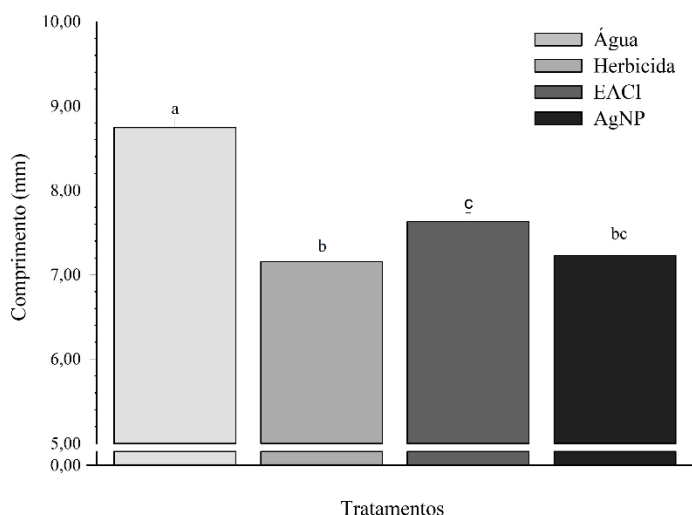
Nesta etapa foi observado que os extratos das folhas da *Copaifera langsdorffii*, tanto da folha quanto da serrapilheira, apresentaram efeito alelopático que reduziu a germinação das sementes de *Lactuca sativa* L. cv. Grand Rapids, gerando um resultado similar a Silva et al. 2012 para a mesma planta. Porém em relação às nanopartículas, somente as sintetizadas pela serrapilheira em altas concentrações apresentaram mudanças significativas na germinação da alface, de acordo com Inderjit & Nilsen (2003) os aleloquímicos tem ação fitotóxica que interfere no metabolismo das plantas, nesse exemplo na germinação das plantas, as serrapilheiras apresentam elevada quantidade de aleloquímicos. O mecanismo de ação da copaíba exerce influência significativa sobre as atividades biológicas na camada de serrapilheira. As folhas que caem da copa dessa árvore, ao liberarem óleo contendo aleloquímicos, interagem diretamente com o solo, contribuindo para uma redução na diversidade vegetal no entorno. Esse efeito alelopático é descrito também por Gurgel et al., 2019 e Teixeira., 2023, que ressaltam como os compostos liberados pelas folhas de copaíba inibem o crescimento de outras espécies vegetais. A baixa alteração na germinação das nanopartículas em comparação com os extratos vegetais é um resultado esperado, pois no processo de síntese verde, foram usadas concentrações menores do que alguns dos grupos testados, abrindo margem para mais experimentos futuros com concentrações mais elevadas. A partir desta etapa, considerando o desempenho diferenciado da serrapilheira nos testes

realizados, apenas os materiais derivados da serrapilheira serão selecionados para as próximas análises.

5.3.2 Bioensaio de alelopatia em coleóptilos de trigo

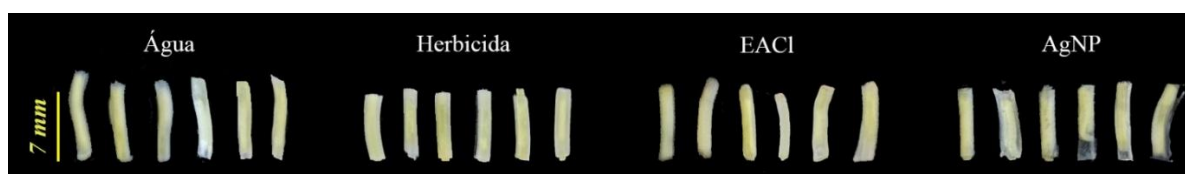
De acordo com a **Figura 7 e 8**, é possível observar que os comprimentos médios dos coleóptilos de trigo tratados com nanopartículas de prata (AgNPs) e o controle positivo (herbicida) não apresentaram diferença estatística significativa entre si, conforme indicado pelas letras iguais no teste de Tukey ($\alpha = 0,5$). No entanto, ao se comparar diretamente os dois tratamentos (EACl e AgNPs), verifica-se que não há diferença significativa entre eles, sugerindo que, embora ambos tenham provocado a mesma resposta em termos de inibição do crescimento do coleóptilo. Contudo, os efeitos do tratamento com EACl deferiram em comparação ao controle positivo. Esses resultados indicam que EACl e AgNPs afetam o desenvolvimento do coleóptilo de maneira diferenciada, ainda que ambos se assemelhem ao padrão de inibição observado com o herbicida.

Figura 7- Valores médios do comprimento dos coleóptilos de trigo em relação ao controle negativo (água), tratamentos com extrato aquoso de *C. langsdorffii* (EACl) e nanopartículas de prata (AgNPs) e controle positivo (Herbicida).



Fonte: Autoria própria

Figura 8- Morfologia de coleóptilos de trigo (*Triticum aestivum*) após 24 horas de exposição contínua ao controle negativo (água), controle positivo (Herbicida) e aos tratamentos com extrato aquoso de *C. langsdorffii* (EACl) e nanopartículas de prata (AgNPs).



Fonte: Autoria própria

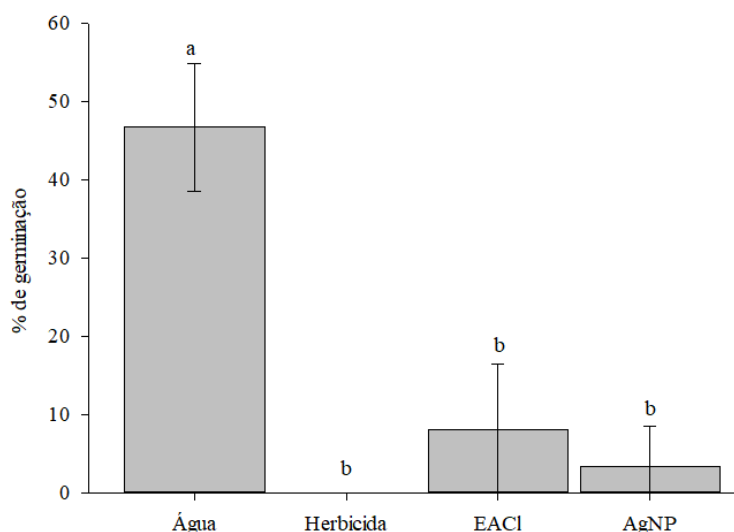
Com base nos resultados obtidos, observa-se que tanto EACl quanto as AgNPs promoveram efeitos inibitórios no crescimento dos coleóptilos de trigo, semelhantes aos provocados pelo controle positivo (herbicida comercial). A ausência de diferença estatística significativa entre os tratamentos com AgNPs e o herbicida sugere que as nanopartículas possuem um potencial fitotóxico comparável ao de compostos sintéticos, o que já foi relatado em estudos anteriores realizados por Deng et al., (2025) e Kusumavathi et al., (2025). A ação inibitória das AgNPs pode estar associada à geração de espécies reativas de oxigênio, que levam ao estresse oxidativo, afetando processos fisiológicos essenciais, como divisão celular e alongamento como observado em estudos realizados por Shahid et al., (2024) e García-Pérez et al., (2025).

Por outro lado, o efeito do EACl, embora estatisticamente semelhante ao das AgNPs, mostrou diferenças em relação ao herbicida, indicando que os mecanismos de ação são distintos. Compostos aleloquímicos presentes em extratos vegetais, como flavonoides, terpenoides e ácidos fenólicos, podem interferir na síntese de auxinas, inibindo o crescimento celular como relatado por Santos et al., (2022). Essa diferença na resposta fisiológica sugere que, embora o nível de inibição seja semelhante, os alvos bioquímicos dos compostos são distintos como evidenciados em estudos realizados por Li et al., (2024). Assim, tanto o EACl quanto as AgNPs demonstram potencial para desenvolvimento de bioherbicidas alternativos, com mecanismos de ação diferenciados e possivelmente menor impacto ambiental.

5.3.3 Descrição do bioensaio de fitotoxicidade em planta daninha

A **Figura 9** apresenta as porcentagens de germinação de sementes da planta daninha *B. pilosa* submetidas a diferentes tratamentos: extrato aquoso de *C. langsdorffii* (EACl), nanopartículas de prata sintetizadas com o extrato (AgNPs), além dos controles positivo (herbicida comercial) e negativo (água destilada). Os dados indicam que os tratamentos com EACl e AgNPs promoveram a redução na germinação das sementes de *B. pilosa* em comparação ao controle negativo, evidenciando potencial efeito alelopático e fitotóxico dos compostos presentes no extrato e das nanopartículas. No entanto, estatisticamente, não houve diferença significativa entre os tratamentos testados (EACl e AgNPs) e o controle positivo (herbicida).

Figura 9- Porcentagens de germinação de sementes de *B. pilosa* (planta daninha) em função do tratamento com EACI e AgNPs e tratamentos positivo (Herbicida) e negativo (água).



Fonte: Autoria própria

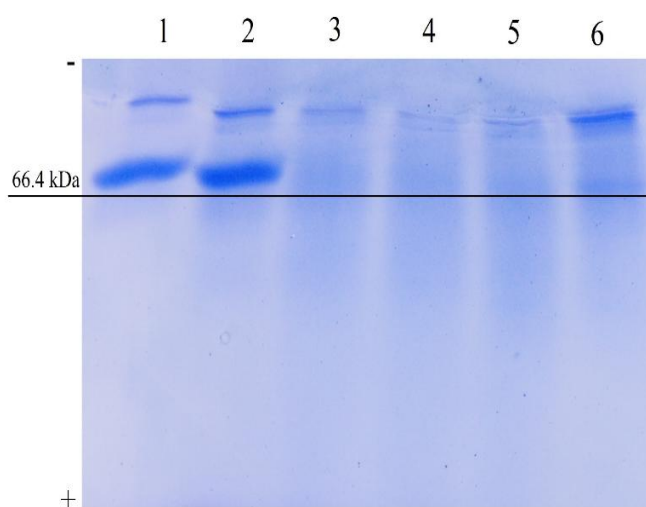
Esse resultado sugere que tanto o extrato quanto as nanopartículas possuem uma eficácia comparável à do herbicida na inibição da germinação de sementes da planta daninha. Ainda que a redução percentual tenha variado entre os tratamentos, a ausência de diferença estatística indica que os efeitos biológicos obtidos com os produtos naturais foram suficientemente expressivos para se equipararem à ação do produto sintético, estes resultados são corroborados por estudos realizado por Raza et al, (2025). Esse achado é relevante, pois reforça o potencial de aplicação de extratos vegetais e de nanomateriais de origem verde como alternativas sustentáveis à utilização de herbicidas convencionais, contribuindo para estratégias de manejo menos agressivas ao meio ambiente como visto também em estudos realizado por Shadab et al., (2024). Adicionalmente, o fato de o extrato e as AgNPs apresentarem níveis de inibição semelhantes ao herbicida comercial, sem diferenciação estatística, indica que os compostos bioativos presentes em *C. langsdorffii* e sua aplicação na forma de nanopartículas podem representar uma abordagem promissora para o controle de espécies invasoras. Novos estudos são necessários para melhor compreender os mecanismos envolvidos e avaliar a viabilidade da utilização em larga escala, mas os dados da **Figura 9** já apontam para uma alternativa com bom desempenho agrônômico e menor impacto ambiental.

5.4 Avaliação da atividade pró-oxidativa da EACI e AgNPs

A **Figura 10** apresenta os resultados da eletroforese que demonstram o potencial oxidativo sobre o BSA a partir dos extratos aquoso e de nanopartículas de prata. Na primeira coluna, foi detectada a BSA, assim como na coluna 2, que contém BSA e Cu^+ (controle

negativo). Na coluna 3, contendo BSA, Cu^+ e H_2O_2 (controle positivo), observou-se um efeito de arraste devido à degradação da albumina. Portanto, é plausível que tenha ocorrido degradação proteica nos tratamentos com ambos os extratos a 100% (coluna 4) e 15% (coluna 5), sendo evidente também no tratamento com AgNPs (coluna 6).

Figura 10- Análise da degradação oxidativa do BSA em gel de poliacrilamida, pelos extratos e nanopartículas de *C. langsdorffii*, onde: (1) controle negativo (BSA + tampão fosfato); (2) controle 1 (BSA/tampão fosfato+ CuSO_4 /tampão fosfato); (3) controle positivo (BSA+ CuSO_4 + H_2O_2 +tampão fosfato); (4) Extrato a 100% (BSA+ CuSO_4 + H_2O_2 +100%EACl); (5) Extrato a 35% (BSA+ CuSO_4 + H_2O_2 +35%EACl); (6) AgNP obtidas com extrato aquoso de *C. langsdorffii* (BSA+ CuSO_4 + H_2O_2 +AgNP).



Fonte: Autoria própria

A avaliação da atividade pró-oxidativa da EACl e AgNPs evidencia um possível mecanismo de ação do extrato e das nanopartículas de prata baseado na degradação proteica. A presença de arraste eletroforético observado na coluna 3 (controle positivo com BSA, Cu^+ e H_2O_2) confirma a ocorrência de estresse oxidativo, servindo como referência para avaliar os demais tratamentos. Notavelmente, o extrato aquoso, em ambas as concentrações (100% e 15%), e as AgNPs induziram alterações similares, sugerindo que esses tratamentos provocaram danos de degradação do BSA. Esse comportamento é coerente com a hipótese de que espécies reativas de oxigênio (EROs) geradas pelo extrato ou pelas nanopartículas contribuem para a oxidação e quebra de proteínas essenciais como demonstrado em estudos realizados por Begum et al., (2024).

Essa degradação proteica pode estar diretamente associada à ação alelopática com potencial herbicida, tanto em aplicações pré-emergentes quanto pós-emergentes. A destruição de proteínas estruturais ou enzimáticas nas sementes ou plântulas pode comprometer processos vitais como a germinação, o crescimento celular e a fotossíntese, assim como explorado o

estudo de revisão realizado por Shadab et al., (2024). Diante disso, os compostos bioativos presentes nos extratos e nas AgNPs podem atuar interferindo no metabolismo das plantas-alvo por meio da indução de estresse oxidativo, culminando na degradação proteica. Esses achados reforçam a viabilidade da utilização desses tratamentos como agentes aleloquímicos para o controle de plantas daninhas.

6. Conclusão

Com base nos resultados apresentados, conclui-se que a síntese verde de nanopartículas de prata utilizando extratos aquosos de folhas e de serrapilheira de *Copaifera langsdorffii* foi eficaz, sendo confirmada pela mudança de coloração da solução, pelos espectros UV-Vis com picos característicos entre 420-450 nm e pelos dados de estabilidade coloidal, como tamanho médio de 18,49 nm e potencial zeta de -35,31 mV. As análises por FTIR evidenciaram a presença de grupos funcionais orgânicos, como fenólicos e carbonílicos, envolvidos na redução e estabilização das AgNPs, confirmando a ação dos metabólitos secundários do extrato na síntese. A quantificação de compostos bioativos mostrou altos teores de polifenóis e flavonoides nos extratos brutos, com redução após o processo de síntese, embora as AgNPs tenham mantido teores consideráveis desses compostos, o que sugere retenção parcial da atividade biológica. Os bioensaios evidenciaram efeito alelopático e fitotóxico tanto dos extratos quanto das nanopartículas. Em *Lactuca sativa*, os extratos reduziram significativamente a germinação em concentrações mais elevadas, enquanto as AgNPs apresentaram menor toxicidade nas mesmas condições. Em *Bidens pilosa*, tanto extratos quanto AgNPs mostraram inibição germinativa comparável à de herbicidas convencionais, sem diferenças estatísticas significativas. Além disso, os ensaios com coleóptilos de trigo demonstraram que AgNPs inibem o crescimento de forma similar ao controle positivo (herbicida), sugerindo mecanismos de ação distintos entre o extrato e as nanopartículas. A atividade pró-oxidativa observada por eletroforese indica que ambos os tratamentos promovem degradação proteica via estresse oxidativo, corroborando seu potencial herbicida. Assim, os dados científicos sustentam a viabilidade da utilização dos extratos vegetais e de AgNPs verdes como agentes bioativos e bioherbicidas sustentáveis, representando alternativas promissoras aos agroquímicos convencionais, com menor impacto ambiental e múltiplos mecanismos de ação.

Como perspectiva para estudos futuros, recomenda-se a realização de ensaios em condições de campo, com espécies vegetais de interesse agrônomo, além da avaliação do desempenho em diferentes concentrações e formulações, visando validar a eficácia, segurança e viabilidade de aplicação em larga escala desses bioinsumos.

Referências

- AGRAWAL, S.; BHATT, M.; RAI, S. K.; BHATT, A.; DANGWAL, P.; AGRAWAL, P. K. Silver nanoparticles and its potential applications: A review. **J. Pharmacogn. Phytochem**, v. 7, n. 2, p. 930-937, 2018.
- ALBERNAZ, V. L. **Síntese verde de nanopartículas de prata com extrato aquoso de folhas de *Brosimum gaudichaudii*, caracterização físicoquímica, morfológica e suas aplicações no desenvolvimento de um nanobiossensor eletroquímico**. Dissertação (Mestrado em Nanociência e Nanobiotecnologia) - Universidade de Brasília, Brasília 2014. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/33548852.pdf> Acesso em: 06 ago. 2025.
- ALHARBI, N. S.; ALSUBHI, N. S.; FELIMBAN, A. I. Green synthesis of silver nanoparticles using medicinal plants: Characterization and application. **Journal of Radiation Research and Applied Sciences**, v. 15, n. 3, p. 109-124, 2022.
- ANTONIO, A. S.; FRANCO, L. O.; CARDOSO, S. R. S.; DOS SANTOS, G. R.; PEREIRA, H. M. G.; WIEDEMANN, L. S.; VEIGA-JUNIOR, V. F. Chemical variability of *Copaifera langsdorffii* Desf. from environmentally contrasting populations. **Natural Product Research**, v. 37, n.14, p. 2446-2450, 2023.
- ARRUDA, C.; MEJÍA, J. A. A.; RIBEIRO, V. P.; BORGES, C. H. G.; MARTINS, C. H. G.; VENEZIANI, R. C. S.; AMBRÓSIO, S. R.; BASTOS, J. K. Occurrence, chemical composition, biological activities and analytical methods on *Copaifera* genus—A review. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v.109, p.1-20, 2019.
- BABU, P. J.; TIRKEY, A.; PAUL, A. A.; KRISTOLLARI, K.; BARMAN, J.; PANDA, K.; SINHA, N.; BABU, B. R.; MARKS, R. S. Advances in nano silver-based biomaterials and their biomedical applications. **Engineered Regeneration**, v. 5, n. 3, p. 326-341, 2024.
- BARRAGAN-OCA, A.; OLVERA-TREVINO, M. A.; SILVA-BORJAS, P. Technological innovation for sustainable development: Is agricultural and food nanotechnology a viable alternative?. **World Patent Information**, v. 75, p.102235, 2023.
- BEHRAVAN, M.; PANAHI, A. H.; NAGHIZADEH, A.; ZIAEE, M.; MAHDAVI, R.; MIRZAPOUR, A. Facile green synthesis of silver nanoparticles using *Berberis vulgaris* leaf and root aqueous extract and its antibacterial activity. **International journal of biological macromolecules**, v. 124, p. 148-154, 2019.
- BISWAS, N.; THOMAS, S.; SARKAR, A.; MUKHERJEE, T.; KAPOOR, S. Adsorption of methimazole on silver nanoparticles: FTIR, Raman, and surface-enhanced Raman scattering study aided by density functional theory. **The Journal of Physical Chemistry C**, v. 113, n. 17, p. 7091-7100, 2009.
- BEGUM, K; HASAN, N; SHAMMI, M. Selective Biotic Stressors' Action on Seed Germination: A Review. **Plant Science**, p. 112156, 2024.
- BRUNA, T.; MALDONADO-BRAVO, F.; JARA, P.; CARO, N. Silver nanoparticles and their antibacterial applications. **International journal of molecular sciences**, v. 22, n. 13, p. 7202, 2021.

CAMARGO, A. F.; BONATTO, C.; SCAPINI, T.; KLANOVICZ, N.; TADIOTO, V.; CADAMURO, R. D.; TREICHEL, H et al. Fungus-based bioherbicides on circular economy. **Bioprocess and Biosystems Engineering**, v. 46, n. 12, p. 1729-1754, 2023.

CARNEIRO F.F.; PIGNATI W, RIGOTTO R.M.; et al. Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde. **Parte 2 – Saúde, ambiente e sustentabilidade**. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: aao.org.br/aao/pdfs/publicacoes/Dossie_Abrasco_01.pdf. Acesso em: 6 ago. 2025.

CARVALHO, D.D.; PEREIRA, M. G.; LATORRACA, J. V. F.; PACE, J. H. C.; SILVA, L. D.; CARMO, J. D. Dendrochronology and growth of *Copaifera langsdorffii* wood in the vegetative dynamics of the Pirapitinga Ecological Station, state of Minas Gerais. **Floresta**, Curitiba, v. 48, n. 1, p. 49-58, 2018. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/feb0/8692760a44f19f4d341cd903eb65f2385d22.pdf>. Acesso em: 6 ago. 2025.

CASTILLO-HENRÍQUEZ, L.; ALFARO-AGUILAR, K.; UGALDE-ÁLVAREZ, J.; VEGA-FERNÁNDEZ, L.; MONTES DE OCA-VÁSQUEZ, G.; VEGA-BAUDRIT, J. R. Green synthesis of gold and silver nanoparticles from plant extracts and their possible applications as antimicrobial agents in the agricultural area. **Nanomaterials**, v. 10, n. 9, p. 1763, 2020.

CHOUDHURY, P; MANNA, M. S.; NAG, S. A critical review on green synthesis and modification techniques of biochar: Comparison of efficacies towards adsorption capacities. **Biomass and Bioenergy**, v. 198, p. 107859, 2025.

CORDEAU, S.; TRIOLET, M.; WAYMAN, S.; STEINBERG, C.; GUILLEMIN J. Bioherbicides: Dead in the water? A review of the existing products for integrated weed management. **Crop Protection**, v. 87, p. 44-49, 2016.

DAUFENBACK, V.; ADELL, A.; MUSSOI, M. R.; FURTADO, A. C. F.; SANTOS, S. A. D.; VEIGA, D. P. B. D. Agrotóxicos, desfechos em saúde e agroecologia no Brasil: uma revisão de escopo. **Saúde em Debate**, v. 46, n. spe2, p. 482-500, 2022.

DAYAN, F. E.; ZACCARO, M. L. M. Chlorophyll fluorescence as a marker for herbicide mechanisms of action. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 102, n. 3, p. 189-197, 2012.

DENG, X.; WANG, Z.; YIN, J.; DONG, Z.; SHEN, J.; YAN, S.; BAI, L. Preparation of a smart nano-herbicide MP@ HLDP with strong permeability performance improves herbicidal activity while reducing the adverse impacts. **Chemical Engineering Journal**, v. 508, p. 161045, 2025.

EDIYILYAM, S.; GEORGE, B.; SHANKAR, S. S.; DENNIS, T. T.; WACŁAWEK, S.; ČERNÍK, M.; PADIL, V. V. Chitosan/gelatin/silver nanoparticles composites films for biodegradable food packaging applications. **Polymers**, v. 13, n. 11, p. 1680, 2021.

FALCO, W. F. **Aplicação da fluorescência da clorofila a induzida por luz laser no processo de caracterização da interação nanopartícula-planta**. Dissertação (Mestrado em

Ciência e Tecnologia Ambiental), Universidade Federal da Grande Dourados Faculdade de Ciências Exatas E Tecnologia, 2012.

Disponível em: <https://files.ufgd.edu.br/arquivos/arquivos/78/MESTRADO-DOCTORADO-CIENCIA-TECNOLOGIA-AMBIENTAL/41.%20%E2%80%9CAplica%C3%A7%C3%A3o%20da%20fluoresc%C3%Ancia%20da%20clorofila%20a%20induzida%20por%20luz%20laser%20no%20processo%20de%20caracteriza%C3%A7%C3%A3o%20da%20intera%C3%A7%C3%A3o%20nanopart%C3%ADcula-planta%E2%80%9D.pdf> Acesso em: 06 ago. 2025

FAREED, N.; NISA, S.; BIBI, Y.; FAREED, A.; AHMED, W.; SABIR, M.; ALAM, S.; SAJJAD, A.; KUMAR, S.; HUSSAIN, M.; SYED, A.; BAHKALI, A.; ELGORBAN, A.; QAYYUM, A. Green synthesized silver nanoparticles using carrot extract exhibited strong antibacterial activity against multidrug resistant bacteria. **Journal of King Saud University-Science**, v. 35, n. 2, p. 102477, 2023.

FREITAS, C. V.; OLIVEIRA, P. E. Biologia reprodutiva de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae, Caesalpinoideae). **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 311-321, set., 2002.

GARCÍA-PÉREZ, P.; LOSADA-BARREIRO, S.; BRAVO-DÍAZ, C.; GALLEGOS, P. P.; LUCINI, L. Plant oxidative stress and specialized metabolites: a holistic physicochemical and metabolomics perspective. **Plant Physiology and Biochemistry**, p. 110093, 2025.

GARCIA, R. F.; YAMAGUCHI, M. H. Óleo de copaíba e suas propriedades medicinais: revisão bibliográfica. **Saúde e Pesquisa**, v. 5, n. 1, 2012.

GUERRA, M. E. C.; FILHO, S. M.; GALLÃO, M. I. Morfologia de sementes, de plântulas e da germinação de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae-Caesalpinoideae). **Cerne**, v. 12, n. 4, p. 322-328, 2006.

GUIMARÃES, M. L.; AMARANTE, J. F.; OLIVEIRA, H. P. de. A importância dos óleos essenciais na síntese verde de nanopartículas metálicas. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 26, n. 03, p. e13053, 2021.

GUPTA, D.; BOORA, A.; THAKUR, A.; GUPTA T. K. Green and sustainable synthesis of nanomaterials: Recent advancements and limitations. **Environmental Research** v. 231, p. 116316, 2023.

GURGEL, E. S. C.; OLIVEIRA, M. S.; SOUZA, M. C.; SILVA, S. G.; MENDONÇA, M. S., SOUZA FILHO, A. P. S. Chemical compositions and herbicidal (phytotoxic) activity of essential oils of three *Copaifera* species (Leguminosae-Caesalpinoideae) from Amazon-Brazil. **Industrial Crops and Products**, v. 142, p. 111850, 2019.

HASAN, M.; AHMAD-HAMDANI, M. S.; ROSLI, A. M.; HAMDAN, H. Bioherbicides: An eco-friendly tool for sustainable weed management. **Plants**, v. 10, n. 6, p. 1212, 2021.

INDERJIT; NILSEN, E.V T. Bioassays and field studies for allelopathy in terrestrial plants: progress and problems. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 22, n. 3-4, p. 221-238, 2003.

IRAVANI, S. Green synthesis of metal nanoparticles using plants. **Green Chemistry**, v. 13, n. 10, p. 2638-2650, 2011.

ISLAM, A.K.; KARIM, S. M. R.; KHEYA, S. A.; YEASMIN, S. Unlocking the potential of bioherbicides for sustainable and environment friendly weed management. **Heliyon**, 2024.

JADOUN, S.; ARIF, R.; JANGID, N. K.; MEENA, R. K. Green synthesis of nanoparticles using plant extracts: A review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 19, n. 1, p. 355-374, 2021.

JARZYNSKA, K.; CIURA, K.; GAO, X. J.; MIKOLAJCZYK, A.; GAO, X.; PUZYN, T. Understanding the zeta potential of nanomaterials through predictive nanoinformatics. **Nano Today**, v. 64, p. 102783, 2025.

JIANG, Q.; LIN, Z.; GU, B.; PANG, C.; WANG, X. Green synthesis and immobilization of AgNPs by lumpy corn stalk as interlayer filling material for durable antibacterial. **Industrial Crops & Products**, v. 158, n. 43, p. 1-11, 2020.

JIANG, T.; HUANG, J.; PENG, J.; WANG, Y.; DU, L. Characterization of Silver Nanoparticles Synthesized by the Aqueous Extract of *Zanthoxylum nitidum* and Its Herbicidal Activity against *Bidens pilosa* L. **Nanomaterials**, v. 13, n. 10, p.1637, 2023.

JOAQUIM JÚNIOR, C. Z. J.; BARBOSA, I. J.; SANTOS, K. P.; CARDOSO, E. L.; SILVA, M. J.; SANTOS, B. S. D.; SANÓ, L.; N'BALI N. N.; COSTA, Y. K. S.; CARVALHO, L. B. Bioherbicidas como alternativa para agricultura orgânica: breve revisão. In: **Agroecologia: métodos e técnicas para uma agricultura sustentável-volume 5**. Editora Científica Digital, p. 56-64, 2021.

KALE, S. K.; PARISHWAD, G. V.; AVESAHEMAD, S.N., HUSAINY, A. S. Emerging agriculture applications of silver nanoparticles. **ES Food & Agroforestry**, v. 3, p. 17-22, 2021.

KHAN, R. MD.; URMI, M. A.; KAMARAJ, C.; MALAFAIA, G.; RAGAVENDRAN, C.; RAHMAN, MD. M. Green synthesis of silver nanoparticles with its bioactivity, toxicity and environmental applications: A comprehensive literature review. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management** v. 20, p. 100872, 2023.

KOCHA, T.; YAMAGUCHI, M.; OHTAKI, H.; FUKUDA, T.; AOYAGI, T. Hydrogen peroxidemediated degradation of protein: Different oxidation modes of copper-and iron-dependent hydroxyl radicals on the degradation of albumin. **Biochimica et Biophysica Acta-Protein Structure and Molecular Enzymology**, v. 1337, p. 319–326, 1997.

KUSUMAVATHI, K.; RAUTRAY, S. K.; SARKAR, S.; DASH, S.; SAHOO, T. R.; SWAIN, S. K.; SETHI, D. Nano-herbicides a sustainable strategy for weed control. **Plant Nano Biology**, p. 100132, 2024.

LABOURIAU, L. G. **A germinação das sementes**. Brasília: Secretaria-Geral da Organização dos Estados Americanos, Programa Regional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 1983.174 p.

LI, W.; LIU, X.; MA, Y.; HUANG, X., HAI, D., CHENG, Y.; BAI, G.; WANG, Y.; ZHANG, B.; QIAO, M.; SONG, L.; LI, N. Changes in physio-biochemical metabolism, phenolics and antioxidant capacity during germination of different wheat varieties. **Food Chemistry: X**, v. 22, p. 101429, 2024.

LIEU, D. M; DANG, T. K. T.; NGUYEN, T. H.. Green synthesized silver nanoparticles, a sustainable approach for fruit and vegetable preservation: An overview. **Food Chemistry: X**, p. 101664, 2024.

LUCENA, C. C. O.; SILVA, C. J. A.; SILVA, T. G.; XIMENES, R. M. Phytochemical screening and biological activities of *Copaifera langsdorffii* Desf.(Fabaceae) organic extracts. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 18, n. 2, p. 22–35, 2024.

MACÍAS, F.A.; CASTELLANO, D.; MOLINILLO, J.M.G. Search for a standard phytotoxic bioassay for allelochemicals. Selection of standard target species. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.48, p. 2512-2521, 2000.

MACIAS, F.A.; OLIVEROS-BASTIDAS, A.; MARIN MATEOS, D.; CHINCHILLA, N.; CASTELLANO, D., GONZALEZ MOLINILLO, J.M., Evidence for an allelopathic interaction between rye and wild oats. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 62, n. 39, p. 9450e9457, 2015.

MARCHI, G.; MARCHI, E. C. S.; GUIMARÃES, T. G. Herbicidas: mecanismos de ação e uso, **Embrapa**, ISSN 1517-5111; n. 227. p. 36, 2008. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/571939/1/doc227.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2025.

MARSALEK, R. Particle size and zeta potential of ZnO. **APCBEE procedia**, v. 9, p. 13-17, 2014.

MARTINS, D.; MARTINS, C. C.; COSTA, N. V. Potencial alelopático de soluções de solo cultivado com *Brachiaria brizantha*: efeitos sobre a germinação de gramíneas forrageiras e plantas daninhas de pastagens, **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 61-70, Jan., 2006

MELO JÚNIOR, J. C. F. de; BONA, C; CECCANTINI, G. Anatomia foliar de *Copaifera langsdorffii* Desf.(Leguminosae): interpretações ecológicas em diferentes condições edáficas de Cerrado. **Biotemas**, v. 25, n. 4, p. 29-36, 2012.

MRID, R. B.; BENMRID, B.; HAFSA, J.; BOUKCIM, H.; SOBEH, M.; YASRI, A. Secondary metabolites as biostimulant and bioprotectant agents: A review. **Science of the Total Environment**, v. 777, p. 146204, 2021.

NADAF, S. J.; JADHAV, N. R.; NAIKWADI, H. S.; SAVEKAR, P. L.; SAPKAL, I. D.; KAMBLI, M. M.; DESAI, I. A. Green synthesis of gold and silver nanoparticles: Updates on research, patents, and future prospects **OpenNano**, v. 8, p. 100076, 2022.

NAKKA, S.; JUGULAMB, M.; PETERSON, D.; ASIFA, M. Herbicide resistance: Development of wheat production systems and current status of resistant weeds in wheat cropping systems. **The Crop Journal**, v. 7, p. 750 – 760, 2019.

- PASA, M. C.; DE DAVID, M.; SÁNCHEZ, D. C. M. *Copaifera langsdorffii* Desf.: Aspectos Ecológicos e Silviculturais na Comunidade Santa Teresa. Cuiabá, MT, Brasil. **Biodiversidade**, v. 11, n. 1, 2012.
- PHULL, A., ABBAS, Q., ALI, A., RAZA, H., ZIA, M., HAQ, I. U. Antioxidant, cytotoxic and antimicrobial activities of green synthesized silver nanoparticles from crude extract of *Bergenia ciliata*. **Future Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 2, n. 1, p. 31-36, 2016.
- PILGERAM, A. L.; SANDS, D. C. Bioherbicides. **Industrial Applications**, p. 395-405, 2011.
- PRYSHCHEPA, O.; POMASTOWSKI, P.; BUSZEWSKI, B. Silver nanoparticles: Synthesis, investigation techniques, and properties. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 284, p. 102246, 2020.
- RADHAKRISHNAN, R.; ALQARAWI, A. A.; ABD_ALLAH E. F. Bioherbicides: Current knowledge on weed control mechanism. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 158, p. 131–138, 2018.
- RAZA, T.; QADIR, M. F.; IMRAN, S.; KHATOON, Z., KHAN, M. Y., MECHRI, M., ASGHAR, W.; REHMANI, M. I. A.; VILLALOBOS S. S.; MUMTAZ, T.; IQBAL, R. Bioherbicides: revolutionizing weed management for sustainable agriculture in the era of One-health. **Current Research in Microbial Sciences**, p. 100394, 2025.
- RICHARDS, F. A.; THOMPSON, T. G. The estimation and characterization of plankton populations by pigment analyses: A spectrophotometric method for the estimation of plankton pigments. **Journal of Marine Research**, v. 11, n. 2, p. 156-172, 1952.
- ROBERTS, J.; FLORENTINE, S.; FERNANDO, W. D.; TENNAKOON, K. U. Achievements, developments and future challenges in the field of bioherbicides for weed control: A global review. **Plants**, v. 11, n. 17, p. 2242, 2022.
- RUSSO, G. A.; CABESTRÉ, R.; CHAVES, M. R. D. M.; PAZ, M. F.; SIQUEIRA, M. V. B. M. Teores de nutrientes em solo e folhas de copaíba (*Copaifera langsdorffii* Desf.) em diferentes fitofisionomias. **Revista Forestal Mesoamericana Kurú**, v. 19, n. 45, p. 85-90, 2022.
- SANTANA, D. G.; RANAL, M. A.; MUSTAFA, P. C. V.; SILVA, R. M. G. Germination measurements to evaluate allelopathic interactions. **Allelopathy Journal**, v. 17, n. 1, p. 43-52. 2006.
- SANTOS, M. O.; CAMILO, C. J.; MACEDO, J. G. F.; LACERDA, M. N. S.; LOPES, C. M. U.; RODRIGUES, A. Y. F.; COSTA, J. G. M.; SOUZA, M. M. A. *Copaifera langsdorffii* Desf.: A chemical and pharmacological review. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 39, p. 102262, 2022.
- SANTOS, P. C.; GRANERO, F. O.; JUNIOR, J. L. B.; PAVARINI, R.; PAVARINI, G. M. P.; CHORILLI, M.; SILVA, R. M. G. Insecticidal activity of *Tagetes erecta* and *Tagetes*

patula extracts and fractions free and microencapsulated. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 45, p. 102511, 2022.

SOUZA, M. L.; FAGUNDES, M. Seed predation of *Copaifera langsdorffii* (Fabaceae): a tropical tree with supra-annual fruiting. **Plant Species Biology**, v. 32, n. 1, p. 66-73, 2017.

SHADAB, M.; BHATTI, N.; AIN, Q., AKHTAR, N., PARVEEN, U., ALHARBY, H. F.; HAKEEM, K. R.; SIDDIQUI, M. B.; et al. Allelopathy for the sustainable management of agricultural pests: appraisal of major allelochemicals and mechanisms underlying their actions. **South African Journal of Botany**, v. 175, p. 496-513, 2024.

SHAHCHERAGHI, N.; GOLCHIN, H.; SADRI, Z.; TABARI, Y.; BORHANIFAR, F.; MAKANI, S. Nano-biotechnology, an applicable approach for sustainable future. **3 Biotech**, v. 12, n. 3, p. 65, 2022.

SHAHID, M.; SINGH, U. B.; FARAH, M. A.; AL-ANAZI, K. M. Phyto-toxicological effect of fipronil to plant seedlings: Assessing germination attributes, root-tip morphology, oxidative stress, and cellular respiration indices. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 205, p. 106135, 2024.

SILVA, R. M. G. D.; SANTOS, V. H. M. D.; BORGES, F. M.; MELO, F. D. F. Q.; SILVA, L. P. Potencial alelopático e levantamento do banco natural de sementes sob a copa de *Copaifera langsdorffii* Desf. **Bioscience Journal**, p. 641-653. 2012.

SILVA, T. T.; RIBEIRO, M. P.; DE MENDONÇA, N. L.; MONTEIRO, S. N.; DE MEDEIROS, M. P. C.; NASCIMENTO, L. F. C. Caracterização por FTIR e DRX de alumínio e tecidos de linho e aramida para reforço em matriz de pead para proteção balística e radiológica em capacetes balísticos. **77º Congresso Anual da ABM**, São Paulo, 2024.

Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/384947979_CHARACTERIZACAO_POR_FTIR_E_DRX_DE_ALUMINIO_E_TECIDOS_DE_LINHO_E_ARAMIDA_PARA_REFORCO_EM_MATRIZ_DE_Pead_PARA_PROTECAO_BALISTICA_E_RADIOLOGICA_EM_CAPACETES_BALISTICOS

Acessado em 6 ago. 2025.

SIVAKUMAR, T. In vitro antioxidant, total phenolic, total flavonoid content and biosynthesis of silver nanoparticles using *Cassia auriculata* leaves extracts. **International Journal of Botany Studies**, v. 6, n. 3, p. 476-480, 2021.

SOUSA, J. P. B.; BRANCALION, A. P. S.; JUNIOR, M. G.; BASTOS, J. K. A validated chromatographic method for the determination of flavonoids in *Copaifera langsdorffii* by HPLC. **Natural Product Communications**, v. 7, n. 1, p. 1934578X1200700110, 2012.

SRIDHAR, V; RANI, S. S. A Review on Green Synthesis, Characterization and Applications of Plant Mediated Metal Nanoparticles. **Next Research**, p. 100356, 2025.

TEIXEIRA, A. Z. A. Allelopathy and fire cycle in brazilian cerrado. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 9, n. 6, p. 1-25. 2023.

- ULRICH, A.; MÜLLER, C.; GASPARETTO, I. G.; BONAFIN, F.; DIERING, N. L., CAMARGO, A. F., REICHERT JÚNIOR, F. W.; PAUDEL, S. R.; TREICHEL, H.; MOSSI, A. J. Bioherbicide effects of *Trichoderma koningiopsis* associated with commercial formulations of glyphosate in weeds and soybean plants. **Crop Protection**, v. 172, p. 106346, 2023.
- VELGOSOVÁ, O.; MRAŽÍKOVÁ, A.; MARCINČÁKOVÁ, R. Influence of pH on green synthesis of Ag nanoparticles. **Materials Letters**, v. 180, p. 336-339, 2016.
- VIEIRA D.C.; NOLDIN J.A.; DESCHAMPS F.C.; RESGALLA, C. Ecological risk analysis of pesticides used on irrigated rice crops in southern Brazil. **Chemosphere**. v.162, p. 48-54. 2016.
- VISHWAKARMA, K.; SHWETA; UPADHYAY, N.; Sharma, S.; et al. Differential phytotoxic impact of plant mediated silver nanoparticles (AgNPs) and silver nitrate (AgNO₃) on Brassica sp. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1501, 2017.
- WEI, L.; MA, F.; DU, C. Application of FTIR-PAS in rapid assessment of rice quality under climate change conditions. **Foods**, v. 10, n. 1, p. 159, 2021.
- WOICIECHOWSKI, T.; PINHEIRO, M. F. S.; SILVINO, L. J. B. Growth of *Copaifera Langsdorffii* seedlings in different conditions on the substrate. **Scientific Electronic Archives**, v. 13, n. 11, p. 20-24, 2020.
- XU, L.; WANG, Y. Y.; HUANG, J.; CHEN, C. Y.; WANG, Z. X.; XIE, H. Silver nanoparticles: Synthesis, medical applications and biosafety. **Theranostics**, v. 10, n. 20, p. 8996, 2020.
- YADAVA, N.; GARGC, V. K.; CHHILLARD, A. K.; RANAB, J. S. Recent advances in nanotechnology for the improvement of conventional agricultural systems: A review. **Plant Nano Biology**, v. 4 p. 100032, 2023.
- YAZDANIAN, M.; ROSTAMZADEH, P.; RAHBAR, M.; ALAM, M.; ABBASI, K.; TAHMSEBI, E.; TEBYANIYAN, H.; RANJBAR, R.; SEIFALIAN, A. Y. The Potential Application of Green-Synthesized Metal Nanoparticles in Dentistry: A comprehensive Review. **Bioinorganic Chemistry and Applications**, v. 27, p. 2311910, 2022.
- YING, S.; GUAN, Z.; OFOEGBU, P. C.; CLUBB, P.; RICO, C.; HE, F.; HONG, J. Green synthesis of nanoparticles: Current developments and limitations. **Environmental Technology & Innovation**, v. 26, p. 102336, 2022.