

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIAS - ICET  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA PARA  
RECURSOS AMAZÔNICOS – PPGCTRA

SULCIMILENA MADY FLORES

**Nanopartículas metálicas mediadas por extratos vegetais como possíveis agentes  
alelopático, antioxidante, larvicida e antimalárico**

Linha de pesquisa 2: Prospecção química, biológica e desenvolvimento de substâncias  
bioativas.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Jose de Sousa Maia  
Prof Msc. Joel dos Santos Batista

**Itacoatiara-AM**

**2025**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIAS - ICET  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA PARA  
RECURSOS AMAZÔNICOS –  
PPGCTRA

SULCIMILENA MADY FLORES

**Nanopartículas metálicas mediadas por extratos vegetais como possíveis agentes  
alelopático, antioxidante, larvicida e antimalárico**

Dissertação de mestrado apresentada ao  
Programa De Pós-Graduação Em Ciência E  
Tecnologia Para Recursos Amazônicos da  
Universidade Federal do Amazonas para  
obtenção do título de Mestre em Ciências e  
Tecnologia para Recursos Amazônicos.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Jose de Sousa Maia  
Coorientador: Prof Msc. Joel dos Santos Batista

**Itacoatiara-AM**

**2025**

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

---

- F634n Flores, Sulcimilena Mady  
Nanopartículas metálicas mediadas por extratos vegetais como possíveis agentes alelopático, antioxidante, larvicida e antimalárico / Sulcimilena Mady Flores. - 2025.  
65 f. : il., color. ; 31 cm.
- Orientador(a): Paulo José de Sousa Maia.  
Coorientador(a): Joel dos Santos Batista.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos, Itacoatiara, 2025.
1. Economia circular. 2. Nanopartículas de titânio. 3. Alelopatia. 4. Jucá. I. Maia, Paulo José de Sousa. II. Batista, Joel dos Santos. III. Universidade Federal do Amazonas. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos. IV. Título
-



**Sulcimilena Mady Flores**

**Nanopartículas metálicas mediadas por  
extratos vegetais como possíveis agentes  
alelopáticos, antioxidante, larvicida e  
antimalárico**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos, área de concentração Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Recursos Amazônicos.

Aprovado(a) em 30.05.2025

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** PAULO JOSÉ DE SOUSA MAIA  
Data: 30/05/2025 17:38:48-0300  
Verifique em <https://validar.br.gov.br>

**Prof. Dr. Paulo José de Sousa Maia**

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** LUCAS MATEUS RIVERO RODRIGUES  
Data: 02/06/2025 08:27:32-0300  
Verifique em <https://validar.br.gov.br>

**Prof. Dr. Lucas Mateus Rivero Rodrigues**

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** ANELISE CASELLATO  
Data: 30/05/2025 17:32:03-0300  
Verifique em <https://validar.br.gov.br>

**Profa. Dra. Annelise Casellato**

Rua Nossa Senhora do Rosário, 3863, Tiradentes. CEP: 69103-128 – Itacoatiara/AM

Telefone: (92) 99271-8661 e-mail: [secretariappgctra@ufam.edu.br](mailto:secretariappgctra@ufam.edu.br)

*“A persistência é o caminho do êxito”*

**(Charles Chaplin)**

## AGRADECIMENTOS

Quero à Deus primeiramente agradecer por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades e por ter iluminado o meu caminho durante toda essa jornada.

Especial agradecimento ao Prof. Dr. Paulo José de Sousa Maia, meu orientador, pela confiança, apreço, incentivo e amizade, determinantes na execução deste trabalho e que acredita em mim e nesse projeto, mesmo quando eu tive dúvidas.

Ao meu coorientador Prof. MSc. Joel dos Santos Batista, pelas suas correções e incentivos.

Aos meus pais, que me iluminam com a luz da esperança, me mantendo firme mesmo com tanta saudade.

Ao meu filho, João Gabriel, por me inspirar a ser alguém melhor todos os dias.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Dominique Fernandes de Moura do Carmo, pelo apoio e parceria nas análises larvicida em *Aedes aegypti* realizado no Laboratório de malária e dengue do INPA -AM e antimalárico realizado Fio Cruz Bahia.

À Eduardo Guilherme Cividini, pelas análises de MET, IFRV e TGA no laboratório de Química da FURB -SC

À Prof<sup>a</sup>. Ívina Thayná Trindade pelo apoio e por toda paciência nas repetições dos ensaios antioxidantes, realizado no Laboratório de Química da Pós-Graduação e Pesquisa, da Universidade Federal do Amazonas – UFAM - ICET.

À Rhanna Victoria Amaral da Silva, que com seu profissionalismo me mostrou que era possível sonhar e realizar.

Agradeço, especialmente a Mateus Feitosa Santos, que contribuí muito para a realização dos experimentos e deu suporte sempre que necessário, assim como o apoio e incentivo a minhas empreitadas.

Agradeço a equipe de pesquisa GEOBIO, Juliana Cruz, Everton Silva, Joel Santos, Márcio Anselmo, Jardel Ramos da Encarnação, Diana Vinhote, Fabiana a equipe de laboratório do LEMAv, Carolyne Rodrigues, Sabrina Sousa, e a parceria com outros membros dos laboratórios do ICET/UFAM, Mateus Feitosa Santos, Eldon Carlos dos Santos Colares,

Marcos Menezes, Andreia Rodrigues, que contribuíram para realização dos experimentos e pelo auxílio sempre que necessário e especialmente pela amizade.

Aos professores Lucas Mateus Rivero Rodrigues, Annelise Casellato, Dominique Fernandes, Gustavo Perotti, pela composição da banca, pelas valiosas contribuições que ajudaram no andamento do projeto com ideias que deram o corpo final do trabalho. Muito obrigado pelas contribuições.

Agradeço aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia para Recursos Amazônicos – PPGCTRA - UFAM, pelo ensino e colaboração.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos (PPGCTRA) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pelo apoio.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para este trabalho, meus sinceros agradecimentos

## RESUMO

A economia circular tem sido cada vez mais foco de pesquisas inovadoras, promovendo a sustentabilidade por meio da reutilização de recursos e da minimização de resíduos. A nanotecnologia impulsiona inovações através de materiais em escala nanométrica, com enormes potenciais, como as nanopartículas de titânio, utilizadas em diversas aplicações, desde cosméticos até a medicina. A síntese verde é outra frente promissora e uma alternativa aos recursos sintéticos existentes, buscando processos industriais que sejam ambientalmente benignos e eficientes, minimizando custos e impactos à natureza. O extrato de jucá exemplifica esse conceito, sendo um composto natural utilizado na indústria, com benefícios renováveis e biodegradáveis. Essas áreas interligam-se, formando um tecido de avanços tecnológicos e ambientais que moldam um futuro mais sustentável e eficiente. O objetivo deste trabalho foi, portanto, sintetizar e caracterizar nanopartículas metálicas de dióxido de titânio mediadas por extratos vegetais de jucá (*Libidibia ferrea*) como possíveis agentes antioxidante, alelopático, larvicida e antimalárico. As etapas desta pesquisa seguiram-se conforme descrito: I) obtenção do extrato de jucá; II) caracterização química do extrato; III) obtenção da nanopartícula de titânio contendo extrato de jucá; IV) caracterização da nanopartícula; V) determinação das propriedades alelopáticas, antioxidantes, larvicidas e antimaláricas. Como resultados, foi possível obter efetivamente as nanopartículas, que foram diluídas e testadas em oito tratamentos diferentes para atividade alelopática. Os resultados indicaram superioridade na capacidade de germinação das nanopartículas de titânio contendo jucá, em comparação ao controle, para sementes de melancia, tomate, couve, alface e milho. Além disso, confirmou-se a atividade antioxidante dos extratos, bem como no tratamento ABTS para a nanopartícula. Para a atividade larvicida, a fração NPLF demonstrou 100% de eficácia. Já para a atividade antimalárica, as frações não apresentaram mortalidade contra *Plasmodium falciparum*. Com esses resultados, é possível avaliar a eficácia da síntese verde na obtenção de nanopartículas contendo jucá, que demonstraram boa atividade alelopática, antioxidante e larvicida, configurando-se como uma nova partícula promissora para aplicações agrícolas, industriais e medicinais.

**Palavras-chave:** Economia circular; nanopartículas de titânio; alelopatia; Jucá

## ABSTRACT

The circular economy has increasingly become the focus of innovative research, promoting sustainability through the reuse of resources and the minimization of waste. Nanotechnology drives innovation via materials at the nanometric scale, with enormous potential, such as titanium nanoparticles, which are used in a wide range of applications from cosmetics to medicine. Green synthesis represents another promising avenue and an alternative to conventional synthetic resources, aiming for industrial processes that are both environmentally benign and efficient, while minimizing costs and environmental impacts. Jucá (*Libidibia ferrea*) extract exemplifies this concept, being a natural compound used in industry with renewable and biodegradable benefits. These areas are interconnected, forming a network of technological and environmental advances that shape a more sustainable and efficient future. The aim of this study was to synthesize and characterize titanium dioxide metal nanoparticles mediated by jucá plant extracts as potential antioxidant, allelopathic, larvicidal, and antimalarial agents. The research was conducted in the following stages: I) extraction of jucá extract; II) chemical characterization of the extract; III) synthesis of titanium nanoparticles containing jucá extract; IV) nanoparticle characterization; V) evaluation of allelopathic, antioxidant, larvicidal, and antimalarial properties. The results confirmed the successful synthesis of the nanoparticles, which were diluted and tested across eight different treatments for allelopathic activity. The findings indicated superior germination capacity of titanium nanoparticles containing jucá extract compared to the control for seeds of watermelon, tomato, kale, lettuce, and corn. Furthermore, the antioxidant activity of the extracts was confirmed, as well as in the ABTS assay for the nanoparticles. In larvicidal tests, the NPLF fraction demonstrated 100% efficacy. However, for antimalarial activity, the fractions did not show mortality against *Plasmodium falciparum*. These results support the effectiveness of green synthesis in obtaining jucá-based nanoparticles, which showed promising allelopathic, antioxidant, and larvicidal activity, positioning them as a novel and promising agent for agricultural, industrial, and medical applications.

**Keywords:** Circular economy; titanium nanoparticles; allelopathy; Jucá

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> A ECONOMIA CIRCULAR E SEUS ASPECTOS.....	14
<b>FIGURA 2.</b> ARVORE DE LIBIDIBIA FÉRREA, JUCÁ. ....	17
<b>FIGURA 3.</b> (A) VAGEM DE JUCÁ APÓS SECAGEM. (B) SOLUÇÃO DE JUCÁ 1% DE EXTRATO AQUOSO.....	28
<b>FIGURA 4.</b> TRIAGEM FITOQUÍMICA DO EXTRATO AQUOSO BRUTO DE LIBIDIBIA FERREA. (A)ALCALÓIDES; (B) TERPENOS; (C) SAPONINAS; (D) SAPONINAS; (E) TANINO CONDENSADO; (F) TANINO HIDROSSOLÚVEL; (G) TERPENOS; (H) FLAVONÓIDES E (I) QUINONA. ....	29
<b>FIGURA 5.</b> REAÇÃO DE OXALO-BÓRICA COMO MÉTODO PARA INDICAR A PRESENÇA DE FLAVONÓIDES DO TIPO FLAVONÓIS.....	30
<b>FIGURA 6.</b> MUDANÇA DE COLORAÇÃO E FORMAÇÃO DE NPS DE TiO <sub>2</sub> .....	32
<b>FIGURA 7.</b> ESPECTRO DE UV-VIS DE TiOs-NPs USANDO O PRECURSOR Ti (OCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> E EXTRATO ETANÓLICO DE LIBIDIBIA FERREA (MART.).....	33
<b>FIGURA 8.</b> ESPECTROS ELETRÔNICOS UV-VIS DE TEMPERATURA AMBIENTE 30 °C.....	34
<b>FIGURA 9.</b> (A) ANÁLISES DE TGA/DTGA E (B) ESPECTRO DE FTIR DAS TiO <sub>2</sub> NPs. AS ANÁLISES TERMOGRAVIMÉTRICAS FORAM REALIZADAS EM ATMOSFERA DE OXIDANTE DE AR SINTÉTICO, COM PRÉVIO TRATAMENTO A 100 °C POR 20 MIN.....	35
<b>FIGURA 10.</b> IMAGENS DE TEM DAS TiO <sub>2</sub> NPs DE DIFERENTES REGIÕES E COM DIFERENTES MAGNIFICAÇÕES.....	36
<b>FIGURA 11.</b> POTENCIAL DE GERMINAÇÃO FRENTE AS SEMENTES DE MELANCIA ( <i>CITRULLUS LANATUS</i> ), COUVE ( <i>BRASSICA OLERACEA</i> ), ALFACE ( <i>LACTUCA SATIVA</i> ), TOMATE ( <i>SOLANUM LYCOPERSICUM</i> ) E MILHO ( <i>ZEA MAYS</i> ). TRATAMENTOS: T0= H <sub>2</sub> O (CONTROLE POSITIVO); T1=H <sub>2</sub> O + TWEEN 80 1:1 (v/v) (CONTROLE INTERMEDIÁRIO); T2= ETANOL 70% (v/v); T3= EXTRATO DE JUCÁ 1%; T4=TiO <sub>2</sub> -NPs 1%; T5= TiO <sub>2</sub> -NPs 0.1%; T6= TiO <sub>2</sub> -NPs 0.01%; T7= TiO <sub>2</sub> -NPs 0.001%; T8= PRECURSOR DE TITÂNIO (BUTÓXIDO). ..	38
<b>FIGURA 12.</b> ATIVIDADE ANTIOXIDANTE TiO <sub>2</sub> -NPS MEDIADA PELO EXTRATO DE JUCÁ FRENTE O RADICAL DPPH.....	44
<b>FIGURA 13.</b> ATIVIDADE ANTIOXIDANTE TiO <sub>2</sub> -NPS MEDIADA PELO EXTRATO DE JUCÁ FRENTE O RADICAL ABTS.....	45
<b>FIGURA 14.</b> ATIVIDADE ANTIOXIDANTE TiO <sub>2</sub> -NPS MEDIADA PELO EXTRATO DE JUCÁ PELO MÉTODO DE FRAP.....	46
<b>FIGURA 15.</b> TEOR DE FENÓLICOS TOTAIS EXTRATO DE <i>LIBIDIBIA FÉRREA</i> .....	46

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1.</b> EQUAÇÕES PARA TERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE GERMINAÇÃO. ....	25
<b>TABELA 2.</b> VELOCIDADES DE GERMINAÇÃO DE SEMENTES AS SEMENTES DE MELANCIA ( <i>CITRULLUS LANATUS</i> ), COUVE ( <i>BRASSICA OLERACEA</i> ), ALFACE ( <i>LACTUCA SATIVA</i> ), TOMATE ( <i>SOLANUM LYCOPERSICUM</i> ) E MILHO ( <i>ZEA MAYS</i> ) POR 12 DIAS. ....	39
<b>TABELA 3</b> TEMPO MÉDIO DE GERMINAÇÃO DAS SEMENTES DE MELANCIA ( <i>CITRULLUS LANATUS</i> ), COUVE ( <i>BRASSICA OLERACEA</i> ), ALFACE ( <i>LACTUCA SATIVA</i> ), TOMATE ( <i>SOLANUM LYCOPERSICUM</i> ) E MILHO ( <i>ZEA MAYS</i> ) POR 12 DIAS.....	39
<b>TABELA 4.</b> COMPRIMENTO MÉDIO RADICULAR DAS SEMENTES DE MELANCIA ( <i>CITRULLUS LANATUS</i> ), COUVE ( <i>BRASSICA OLERACEA</i> ), ALFACE ( <i>LACTUCA SATIVA</i> ), TOMATE ( <i>SOLANUM LYCOPERSICUM</i> ) E MILHO ( <i>ZEA MAYS</i> ) POR 12 DIAS.....	40
<b>TABELA 5</b> ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO EXTRATO E DA NANOPARTÍCULA. ....	43
<b>TABELA 6.</b> RESULTADO DO POTENCIAL LARVICIDAS DAS AMOSTRAS CONTRA LARVAS DE <i>A. AEGYPTI</i> . ....	48
<b>TABELA 7.</b> ATIVIDADE CONTRA <i>P. FALCIPARUM</i> , CEPA 3D7 (SENSÍVEL A CQ).....	49
<b>TABELA 1A:</b> ATIVIDADE ALELOPATICA EM SEMENTE DE MELANCIA: T0= H2O (CONTROLE POSITIVO); T1=H2O + TWEEN 80 1:1 (CONTROLE INTERMEDIÁRIO); T2= ALCOOL 70%; T3= EXTRATO DE JUCÁ 1%; T4=NANOPARTÍCULAS DE TITÂNIO 1%; T5=NPTiO2 0,1%; T6= NP TiO2 0,01%; NP TiO2 0,001; T8= SOLUÇÃO DE TITÂNIO.....	41
<b>TABELA 2A:</b> ATIVIDADE ALELOPATICA EM SEMENTE DE COUVE: T0= H2O (CONTROLE POSITIVO); T1=H2O + TWEEN 80 1:1 (CONTROLE INTERMEDIÁRIO); T2= ALCOOL 70%; T3= EXTRATO DE JUCÁ 1%; T4=NANOPARTÍCULAS DE TITÂNIO 1%; T5=NPTiO2 0,1%; T6= NP TiO2 0,01%; NP TiO2 0,001; T8= SOLUÇÃO DE TITÂNIO.....	41
<b>TABELA 3A:</b> ATIVIDADE ALELOPATICA EM SEMENTE DE ALFACE: T0= H2O (CONTROLE POSITIVO); T1=H2O + TWEEN 80 1:1 (CONTROLE INTERMEDIÁRIO); T2= ALCOOL 70%; T3= EXTRATO DE JUCÁ 1%; T4=NANOPARTÍCULAS DE TITÂNIO 1%; T5=NPTiO2 0,1%; T6= NP TiO2 0,01%; NP TiO2 0,001; T8= SOLUÇÃO DE TITÂNIO.....	42
<b>TABELA 4A:</b> ATIVIDADE ALELOPATICA EM SEMENTE DE TOMATE: T0= H2O (CONTROLE POSITIVO); T1=H2O + TWEEN 80 1:1 (CONTROLE INTERMEDIÁRIO); T2= ALCOOL 70%; T3= EXTRATO DE JUCÁ 1%; T4=NANOPARTÍCULAS DE TITÂNIO 1%; T5=NPTiO2 0,1%; T6= NP TiO2 0,01%; NP TiO2 0,001; T8= SOLUÇÃO DE TITÂNIO.....	42
<b>TABELA 5A:</b> ATIVIDADE ALELOPATICA EM SEMENTE DE MILHO: T0= H2O (CONTROLE POSITIVO); T1=H2O + TWEEN 80 1:1 (CONTROLE INTERMEDIÁRIO); T2= ALCOOL 70%; T3= EXTRATO DE JUCÁ 1%; T4=NANOPARTÍCULAS DE TITÂNIO 1%; T5=NPTiO2 0,1%; T6= NP TiO2 0,01%; NP TiO2 0,001; T8= SOLUÇÃO DE TITÂNIO.....	65

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1. PERFIL FITOQUÍMICO.....	29
-----------------------------------	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABTS- Radical 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolína-6-ácido sulfônico)  
ANOVA- Análise de Variância  
BOD- Demanda Bioquímica de Oxigênio  
CRM-Comprimento Médio Radicular  
DNA- Ácido Desoxirribonucleico  
DPPH- 2,2-difenil-1-picril-hidrazila  
DRX- Difração de Raios X  
FDA- Food and Drug Administration  
FeCl<sub>3</sub>-Cloreto Férrico  
FRAP- Poder de redução do ferro  
FTIR- Espectroscopia de Infravermelho com Transformação de Fourier  
%G- Percentual de Germinação  
HCl- Ácido Clorídrico  
H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>- Água oxigenada  
H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-Ácido Sulfúrico  
H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>- Ácido Bórico  
IARC- International Agency for Research on Cancer  
INPA- Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia  
IVG- Índice de Velocidade de Germinação  
KOH- Hidróxido de Potássio  
MAPA- Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento  
MEV- Microscopia Eletrônica de Varredura  
N- Normalidade  
NaOH- Hidróxido de Sódio  
NH<sub>4</sub>OH- Hidróxido de Amônio  
NPMs- Nanopartículas Metálicas  
OH- Hidroxila  
TiO<sub>2</sub>-NPs- Nanopartículas de óxido de titânio  
NPs- Nanopartículas  
PIB- Produto Interno Bruto  
RAMAN- Espectroscopia de Raman  
RAS- Regras para Análise de Sementes  
RMN- Ressonância Magnética Nuclear  
RPM- Rotações Por Minuto  
TGA- Termogravimetria  
TMG- Tempo Médio de Germinação  
TWEEN 80- Polissorbato 80  
UV-Vis- Ultravioleta-Visível  
VG- Velocidade de Germinação

## Sumário

2.1 Objetivo Geral .....	13
2.2 Objetivos Específicos .....	13
3 REFERENCIAL TEÓRICO .....	13
3.1 Economia circular .....	13
3.2 Nanopartículas metálicas por síntese verde .....	16
3.3 Jucá ( <i>Libidibia ferrea</i> ) .....	17
3.4 Atividade antioxidante.....	18
3.5 Atividade antimalárica.....	18
3.6 Atividade alelopática .....	19
3.7 Atividade Larvicida .....	19
4.1 Material e Preparação do extrato.....	20
4.2 Prospecção fitoquímica do extrato aquoso bruto.....	21
4.2.1 Teste para Flavonóides .....	21
4.2.2 Teste para Saponinas .....	22
4.2.3 Teste para Quinonas .....	22
4.2.4 Teste para Alcalóides .....	22
4.2.5 Teste para Taninos .....	22
4.2.6 Teste para Terpenóides.....	22
4.3 Biossíntese das Nanopartículas de titânio (TiO <sub>2</sub> -NPs).....	23
4.4 Caracterização .....	23
4.5 Estudo do efeito alelopático.....	23
4.6 Atividade antioxidante e Fenólicos Totais .....	25
4.6.1 Teste de DPPH.....	25
4.6.2 Teste de ABTS .....	25
4.6.3 Teste de FRAP .....	25
4.6.4 Teor de Fenólicos totais .....	26
4.7 Avaliação da atividade Larvicida .....	26
4.8 Avaliação da atividade Antimalárica .....	26
4.9 Análise estatística. ....	27
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	28
5.1 Obtenção do extrato de Jucá .....	28
5.2 Perfil Fitoquímico .....	28
5.2.1 Análise qualitativa dos constituintes fitoquímicos.....	28

5.3 Síntese e caracterização das NPs .....	32
5.4 Estudo de atividade Alelopática .....	37
5.5 Estudo de Atividade Antioxidante e Teor de Fenólicos Totais .....	43
3 .....	43
5.6 Estudo de Atividade Larvicida.....	47
5.7 Estudo de Atividade Antimalária.....	49
6 CONCLUSÃO .....	50
7 REFERÊNCIAS.....	53
8 ANEXOS .....	63

## 1 INTRODUÇÃO

A Economia circular consiste em uma nova abordagem no reaproveitamento de resíduos, permitindo assim o consumo de matérias primas a partir de um ciclo contínuo e sustentável. Dados indicam um aumento progressivo da bioeconomia, a qual está associada ao uso de recursos naturais e sistemas biológicos, com índices de 45,8% das exportações no Brasil em 2022, totalizando US\$ 162,6 bilhões (Corrêa & Ribeiro, 2022)

Esses percentuais abrangem uma ampla aplicabilidade destes produtos tanto na indústria agrícola, vegetariana, como biorremediação e biocombustíveis, além de aplicações ambientais e na biotecnologia médica. Pensando em biotecnologia, uma abordagem promissora a partir de biomassas oriundas de produtos vegetais tem sido relatadas por diversos estudos como componente importante na produção de energia, materiais e na indústria farmacêutica (Oliveira & Pereira, 2020; Kume; Junior & Lasmar, 2023).

Entre as aplicações de biomassas, a nanotecnologia utilizando a síntese verde tem se mostrado uma alternativa sustentável ao uso de produtos oriundos da economia circular. A fitonanotecnologia oferece um novo escopo no campo da síntese de nanopartículas (NPs), pois é um método ecológico, simples, estável, rápido e de baixo custo. Em adição a estas vantagens, a fitonanotecnologia também produz NPs biocompatíveis e nenhum produto químico tóxico é usado como agente redutor. Como a síntese pode ser feita de forma mais segura e simples, sem o uso de nenhum produto químico, também é conhecida como método de síntese verde (Kuppusamy, 2016).

Neste viés, as nanopartículas metálicas (NPMs) correspondem a sistemas nanoestruturados com características físico-químico-biológicas vinculadas a sua composição, tamanho e forma. Diversas aplicações têm conduzido os estudos de NPMs, tais como na biotecnologia aplicada à agroindústria, na entrega e liberação de drogas (fármacos, hormônios), insumos agropecuários (fertilizantes, vacinas, pesticidas); cosméticos; desenvolvimento de superfícies funcionais (embalagens ativas para proteção de alimentos); elaboração de sensores para diagnóstico de doenças, infecções e contaminações (detecção rápida e sensível); produção de nanopartículas superparamagnéticas; controle de pragas/patógenos (efeitos tóxicos); desenvolvimento de catalisadores (eficácia aumentada); desenvolvimento de sistemas de biorremediação (utilizados para remoção de metais pesados); e aplicações na indústria têxtil (na produção de tecidos) (Silva *et al*, 2017).

Dentre estes, os estudos da atividade alelopática de NPMs, tem sido de grande impacto como fertilizantes naturais no processo de germinação de frutos e vegetais. Devido ao uso

excessivo de agrotóxicos e geração de resíduos nocivos para a saúde e o meio ambiente, além de resultar em um consumo de energia alto em rotas geralmente complexas e com múltiplos passos, que se faz necessário uma estratégia com menos impactos e de alta aplicabilidade tecnológica. Nos últimos anos o desenvolvimento de nanomateriais associados a extratos vegetais tem sido uma alternativa sustentável (Elias, 2014).

A atividade alelopática das nanopartículas de titânio emergiu como um campo promissor de pesquisa, explorando os efeitos potenciais desses materiais na interação entre plantas. Estudos recentes têm investigado como as nanopartículas de titânio podem influenciar o crescimento e desenvolvimento vegetal, tanto inibindo quanto estimulando processos bioquímicos e fisiológicos. Por exemplo, foi observado que nanopartículas de titânio podem alterar a produção de metabólitos secundários em plantas, como a *Lactuca sativa* (alface), afetando sua resistência a estresses bióticos e abióticos (Singh *et al*, 2023). Além disso, essas nanopartículas têm o potencial de interagir com os processos de absorção de nutrientes e água pelas plantas, modificando sua morfologia radicular e crescimento geral (Abdelrahim *et al*, 2017). Portanto, a pesquisa contínua sobre a atividade alelopática das nanopartículas de titânio não apenas amplia nosso entendimento sobre os efeitos desses materiais no ambiente agrícola e natural, mas também sugere aplicações potenciais em agricultura de precisão e biotecnologia vegetal (Hamedi *et al*, 2017).

Na síntese verde, a planta ou partes de plantas podem ser extraídas diretamente em meio aquoso. Ele pode, então, atuar como um agente redutor, ou estabilizador na síntese de NPs do metal. Diferentes grupos funcionais, como grupos fenólicos ou alcoólicos, grupos carboxilatos, e entre outros são envolvidos na redução, síntese e estabilização de NPs preparados pelo método de síntese verde (Khan, 2017). Para tanto, a *Libidibia ferrea*, popularmente conhecida como “jucá” ou “pau-ferro”, é uma planta muito usada popularmente para tratar diversas afecções de saúde, além das suas aplicações na agricultura. Em virtude de seu extenso uso na medicina popular, diversos trabalhos têm sido realizados para comprovar as propriedades medicinais atribuídas à planta (Kobayashi *et al*, 2015)

Neste sentido o objetivo deste trabalho é desenvolver nanopartículas de dióxido de titânio mediada por extratos de jucá (*Libidibia ferrea*) e avaliar seus potenciais efeitos antioxidantes, alelopático, larvicida e antimalárico. Espera-se, ao final destas análises, obter-se uma nanopartícula contendo extrato de jucá com efeitos superiores aos métodos convencionais para as diferentes aplicabilidades propostas.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Sintetizar e caracterizar nanopartículas metálicas de titânio (TiO<sub>2</sub>-NPs) mediadas por extratos vegetais de *Libidibia ferrea* (jucá) como possíveis agentes alelopáticos, antioxidante, larvicida e antimalárico.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Analisar o perfil químico do extrato de jucá;
- Sintetizar uma nanopartícula de titânio (TiO<sub>2</sub>-NPs) utilizando o extrato vegetal de jucá (*Libidia ferrea*);
- Caracterizar os materiais obtidos a partir das técnicas espectroscópicas, morfológicas, estruturais e térmicas;
- Avaliar os potenciais alelopáticos, antioxidante, larvicida e antimalárico de TiO<sub>2</sub>-NPs;

## 3 REFERENCIAL TEÓRICO

### 3.1 Economia circular

Nos últimos anos, a economia circular emergiu como um conceito vital na busca por um futuro sustentável. Diferente do modelo tradicional de economia linear, que prega o uso de recursos de forma linear (extrair, produzir, consumir e descartar), o modelo circular propõe um ciclo contínuo de reutilização, restauração e reciclagem de materiais e produtos (Ellen MacArthur Foundation, 2019). Esse paradigma visa minimizar o desperdício, reduzir a dependência de recursos finitos e mitigar os impactos ambientais negativos (Ghisellini, *et al*, 2016).

**Figura 1** - A economia circular e seus aspectos

**Fonte:** A autora, 2025.

A base da economia circular reside na ideia de completar o ciclo de vida dos produtos, promovendo a regeneração natural dos recursos. Isso envolve desde o desenho dos produtos pensados para serem reutilizados ou reciclados facilmente até sistemas eficientes de gestão de resíduos (European Commission, 2020). Além disso, avanços recentes em biomassa e fitonanotecnologia têm desempenhado um papel crucial na transformação de resíduos em recursos valiosos. A biomassa, como resíduos agrícolas e florestais, pode ser convertida em biocombustíveis e produtos químicos renováveis, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis (Korhonen, *et al*, 2018; World Economic Forum, 2021).

Várias estratégias de economia circular têm sido adotadas por países e empresas como parte de suas políticas ambientais e de responsabilidade social corporativa. Iniciativas incluem a criação de cadeias de suprimento mais sustentáveis, incentivos para a reciclagem de materiais e a promoção de produtos duráveis e de fácil manutenção (World Economic Forum, 2021). Essas medidas não apenas reduzem a abordagem ecológica, mas também

abrem novas oportunidades econômicas, como a criação de empregos na indústria de reciclagem e a inovação em novas tecnologias verdes (Hansen *et al.*, 2019).

Apesar dos avanços, vários desafios persistem, haja vista que a transição para uma economia circular requer investimentos significativos em infraestrutura, mudanças legislativas para incentivar práticas sustentáveis e educação pública sobre consumo responsável (European Environmental Agency, 2020). Além disso, a cooperação internacional é fundamental para lidar com questões globais, como a gestão de resíduos eletrônicos e o comércio de materiais recicláveis (United Nations, 2019; Santos; Sousa & Matias, 2020).

No mercado nacional, temos avançado significativamente na adoção de práticas de economia circular, buscando não apenas reduzir o impacto ambiental de suas atividades econômicas, mas também explorar novas oportunidades de exportação sustentável. Nessa linha a bioeconomia tem ganhado relevância no Brasil como uma estratégia para promover o desenvolvimento sustentável e a diversificação econômica. Com vastos recursos naturais e uma biodiversidade única, o país possui um enorme potencial para explorar bioenergia, biomateriais, biotecnologia e produtos biológicos de alto valor agregado (Dias; de Oliveira & Saavedra, 2020).

Um dos setores mais promissores nesse contexto é o agrícola. Com uma forte base agrícola, o Brasil tem potencial para desenvolver práticas agrícolas circulares, como a gestão eficiente de resíduos orgânicos e a utilização de biocombustíveis derivados de biomassas renováveis. Isso não apenas reduz as emissões de gases de efeito estufa, mas também contribui para a criação de produtos de maior valor agregado, passíveis de exportação para mercados internacionais exigentes em termos de sustentabilidade (Tolmasquim & Bezerra, 2018; Rocha; Dias & Salgado, 2021).

De acordo com dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o setor agrícola contribui com mais de 23% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, representando cerca de R\$ 1,6 trilhões em 2023. Dentre os produtos de destaque, o café, que é cultivado de maneira sustentável em diversas regiões do país, tem uma participação significativa nas exportações brasileiras, tendo gerado aproximadamente R\$ 38 bilhões em receita externa no mesmo ano.

Apesar disso, a infraestrutura de reciclagem precisa ser expandida e modernizada para lidar eficazmente com o volume crescente de resíduos gerados pela economia circular. Além disso, políticas públicas claras e incentivos fiscais são essenciais para estimular

investimentos no setor e garantir um ambiente regulatório favorável para o desenvolvimento de negócios circulares (Rosa; De Oliveira & Ribeiro, 2018).

Portanto, enquanto o Brasil faz avanços na implementação da economia circular, especialmente nos setores agrícola e de reciclagem, o país está posicionado para se beneficiar das oportunidades de exportação que surgem dessa abordagem sustentável (Silva & Cunha, 2019). Com a perspectiva da bioeconomia que este estudo buscou a abordagem da síntese verde a partir de biomassas oriundos de produtos vegetais com variedade de aplicações econômicas, como em síntese de nanopartículas metálicas (NPs).

### **3.2 Nanopartículas metálicas por síntese verde**

As NPs têm se destacado como uma área promissora de pesquisa devido às suas propriedades únicas e diversas aplicações potenciais. Estas partículas extremamente pequenas, com dimensões na escala nanométrica (menos de 100 nanômetros), exibem propriedades ópticas, magnéticas, catalíticas e elétricas distintas em comparação com seus equivalentes macroscópicos (Narayan, 2019).

A síntese desses materiais tradicionalmente envolve o uso de agentes redutores e solventes que podem ser tóxicos e prejudiciais ao meio ambiente. No entanto, a abordagem da "síntese verde" emerge como uma alternativa sustentável e ambientalmente benigna para a produção dessas nanopartículas (Zhang *et al*, 2020).

A síntese verde, por sua vez, utiliza métodos que minimizam ou eliminam o uso de produtos químicos nocivos. Isso é alcançado por meio do uso de extratos de plantas, microorganismos, solventes naturais, ou mesmo água como solvente, reduzindo assim o impacto ambiental associado à produção desses materiais avançados (Sharma *et al*, 2021). Esse método de síntese ocorre devido às interações complexas entre os compostos bioativos presentes nos extratos de plantas e os íons metálicos, possibilitando novas aplicações em áreas como catálise, medicina, sensores e tecnologias de energia (Singh *et al.*, 2020).

Alguns trabalhos têm mostrado que as nanopartículas de TiO<sub>2</sub> tem sido útil no tratamento de doenças infecciosas microbianas e bacterianas bem como na agricultura, como agentes alelopáticos (Ganapathi *et al*, 2015; Goutam *et al*, 2018, Mittal *et al*, 2022).

Um exemplo notável de síntese verde é a utilização de extratos de plantas como agentes redutores e estabilizadores na síntese de nanopartículas metálicas. Extratos de plantas como *Aloe vera*, chá verde, eucalipto e muitos outros têm sido empregados com sucesso para reduzir íons metálicos e produzir nanopartículas de ouro, prata, cobre, entre outros metais (Huang *et al*, 2019).

### 3.3 Jucá (*Libidibia ferrea*)

*Libidibia ferrea* conhecido popularmente como jucá é uma árvore nativa da América do Sul, especialmente encontrada em regiões tropicais e subtropicais e pertence à família das Fabaceae e é conhecida por suas diversas propriedades medicinais e industriais, derivadas principalmente de sua casca e sementes (Oliveira; Labre & Labre, 2023).

**Figura 2** - Arvore de *Libidibia férrea*, Jucá



**Fonte:** Chaecia.com.br

A composição química do jucá revela a presença de compostos bioativos como taninos, flavonóides e saponinas. Estes componentes conferem à planta propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antimicrobianas significativas, tornando-a útil tanto na medicina tradicional quanto em aplicações industriais (Lima *et al*, 2020).

Na medicina tradicional, o jucá é utilizado para tratar uma variedade de condições de saúde. Seus extratos são conhecidos por suas propriedades cicatrizantes e anti-hemorrágicas, sendo aplicados topicamente para promover a regeneração de tecidos e tratar feridas (Silva *et al*, 2020). Além disso, possui potencial aplicação na indústria cosmética devido às suas propriedades adstringentes e antioxidantes, como por exemplo, o extrato é utilizado em formulações de produtos para cuidados com a pele, como loções e cremes anti-

envelhecimento (Souza *et al*, 2021). Ademais, o jucá tem aplicação na indústria de tintas e corantes naturais, devido aos compostos extraídos que podem ser utilizados como corantes naturais, substituindo corantes sintéticos que podem ser prejudiciais ao meio ambiente (Pereira *et al*, 2019).

### 3.4 Atividade antioxidante

Compostos com propriedades antioxidantes são capazes de neutralizar os radicais livres no corpo, ajudando a proteger as células contra danos oxidativos, associados a várias doenças e ao envelhecimento. O jucá é conhecido por conter uma variedade de compostos antioxidantes, como flavonóides, taninos e outros polifenóis. Estes compostos demonstraram atividade antioxidante em estudos laboratoriais, onde foram capazes de neutralizar os radicais livres e reduzir o estresse oxidativo celular (Silva *et al*, 2020).

A *Libidibia ferrea* é composta principalmente por flavonóides, substâncias com acentuado potencial antioxidante o que pode estar associado também com a sua relação estrutura-atividade pois o poder antioxidante tende a variar com o número e posição das hidroxilas, presença ou não de substituintes nas mesmas, assim como a presença de duplas ligações conjugadas a cetonas (Pérez; Cano; Castell, 2016).

Diferentes extratos têm sido testados, incluindo tanto as cascas quanto as folhas do jucá, para avaliar sua capacidade antioxidante. Esses estudos indicam que os extratos de jucá podem ser eficazes na proteção das células contra danos causados pelos radicais livres, sugerindo seu potencial uso na prevenção de doenças relacionadas ao estresse oxidativo, bem como doenças cardiovasculares e neurodegenerativas (Souza *et al*, 2021).

### 3.5 Atividade antimalárica

A malária é uma doença que acomete o homem há muito tempo. O ciclo biológico do *Plasmodium spp* é complexo. O parasita apresenta grande diversidade morfológica tanto no vetor como no homem. Os fatores ambientais, biológicos e sociais influenciam na intensidade da transmissão da malária e na adaptação do parasita no ambiente (Ashley; Pyae Phy; WOODROW, 2018; Phillips *et al.*, 2017). Os principais medicamentos antimaláricos usados até hoje são de origem natural, extraídos de vegetais de ampla utilização no tratamento da malária (An *et al.*, 2017).

A utilização do sistema de Nanotecnologia, usando nanopartículas nos medicamentos antimaláricos pode potencializar o problema de multirresistência do parasita *Plasmodium*

*ssp*, que utiliza concentrações nanométricas e como resultado menor efeito colateral no paciente (Brito–Sous *et al.*, 2019; Elmi *et al.*, 2022; Kannan *et al.*, 2019; Marrwah *et al.*, 2020).

Estudos realizados, que abordam o emprego da nanotecnologia na terapia de antimalárico, são ensaios laboratoriais, havendo necessidade de maior compreensão do mecanismo de ação desses sistemas e sua interação com as células e o metabolismo humano para que esses sistemas sejam testados em ensaios clínicos (Mhk Watika; Aderibigbe, 2018; Michell *et al.*, 2021).

### **3.6 Atividade alelopática**

A alelopátia refere-se à capacidade que certas plantas têm de liberar substâncias químicas no ambiente ao seu redor, influenciando o crescimento e desenvolvimento de outras plantas, geralmente inibindo ou estimulando seu crescimento. O jucá (*Libidibia ferrea*) também demonstra atividade alelopática, o que adiciona um aspecto interessante às suas propriedades (Barreto *et al.*, 2021).

Estudos têm mostrado que o jucá exibe atividade alelopática significativa devido aos compostos presentes em sua casca e folhas. Estes compostos, como taninos e flavonóides, são liberados no solo ou no ambiente próximo à planta, afetando outras espécies vegetais ao redor (Santos *et al.*, 2018). A atividade alelopática do jucá pode ter efeitos tanto positivos quanto negativos. Isso se dá em decorrência das substâncias liberadas por esta planta apresentarem a capacidade de inibir o crescimento de plantas competidoras ao redor, conferindo uma vantagem ao jucá em seu ambiente natural (Silva *et al.*, 2020).

Neste viés, o potencial alelopático do jucá pode ser explorado em práticas agrícolas e na agricultura sustentável, a fim de entender como os compostos liberados por esta planta afetam outras espécies, sendo útil para o manejo de plantas daninhas e para otimizar o cultivo de culturas agrícolas (Silva *et al.*, 2020). Assim, além de suas propriedades medicinais e industriais, o jucá também se destaca pela sua capacidade de influenciar o ambiente ao seu redor por meio da alelopátia de modo natural. Este aspecto multifacetado da planta contribui para a escolha da sua investigação em pesquisas visando entender melhor suas aplicações potenciais e os impactos que pode ter nos ecossistemas onde ocorre naturalmente.

### **3.7 Atividade larvicida**

Atividade larvicida é a capacidade de uma substância ou agente (natural ou sintético) de matar larvas, especialmente de insetos como o *Aedes aegypti*, vetor de doenças como

dengue, zika e chikungunya. Essa atividade é fundamental para o controle de populações de mosquitos, já que eliminar o inseto ainda na fase larval impede sua reprodução e diminui a transmissão de doenças.

Alguns métodos são empregados para diminuir a ocorrência das larvas, principalmente pelo emprego de inseticidas sintéticos ou biológicos. Tais como o produto com nome comercial de Emefós (um organofosforado) muito utilizado em programas de saúde pública para tratar água parada e Pirimifós-metílico e malationa também são usados, mas apresentam maior risco de resistência e impactos ambientais (Carneiro et al., 2014). Estudos mais promissores demonstram a síntese verde e o uso de produtos naturais na diminuição da transmissão da doença a partir de diversas plantas (como *Libidibia ferrea*, *Azadirachta indica* (neem) e *Moringa oleifera*) as quais têm sido estudadas por apresentarem compostos bioativos com atividade larvicida, oferecendo alternativas mais ecológicas e sustentáveis (Sena et al., 2016; Mordue & Nisbet, 2000).

Para *Libidibia ferrea* pesquisas indicam que extratos de suas sementes, cascas ou folhas podem ter efeito tóxico contra larvas de mosquitos, especialmente *Aedes aegypti*, o transmissor da dengue, zika e chikungunya. Essa atividade larvicida é atribuída à presença de compostos bioativos como taninos, flavonóides e alcalóides que afetam o desenvolvimento larval e podem levar à morte das larvas (Sena et al., 2016; Silva et al., 2020) tornando o jucá promissor como alternativa natural e sustentável para o controle de vetores de doenças, ajudando a reduzir o uso de produtos químicos sintéticos.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Material e Preparação do extrato

Os frutos de *Libidibia ferrea* (Mart.) foram coletados em Itacoatiara - Amazonas, Brasil (03°08'01.65"S 58°26'19.04" O). O material vegetal foi identificado, um espécime voucher (pecimen de herbário número 564895) foi depositado no (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA), Brasil. Fragmentos do material vegetal do fruto de *L. ferrea* foram lavados em água destilada, moídos e secos. Em seguida, 1 g desse material foi colocado em 100 mL de etanol 70% (v/v) e deixado sob agitação por 24 horas no escuro. O extrato foi filtrado e, em seguida, foi mantido em temperatura ambiente no escuro até o uso.

## 4.2 Prospecção fitoquímica do extrato aquoso bruto

As triagens fitoquímicas dos metabólitos secundários presentes no extrato aquoso bruto da espécie vegetal de *Libidibia ferrea* foram realizadas de acordo com (Souza; Silva, 2006)

### 4.2.1 Teste qualitativo para flavonóides

**Reação oxalo bórica:** O extrato aquoso e o extrato etanólico foram coletados com auxílio de uma pipeta (8 mL) da solução do extrato, e foram adicionados ao resíduo 3 mL de solução de ácido bórico 3% em etanol 75% e 1 mL de solução de ácido oxálico 10% em etanol 75%. A solução foi evaporada dentro de uma cápsula de porcelana com o auxílio de um banho-maria até secar e prolongou-se o aquecimento por mais 5 minutos. Após esfriar, foi adicionado o éter etílico (3 mL) e após a evaporação foi levado para a análise em câmara ultravioleta. A formação de coloração amarelo esverdeado indica a presença de flavonóides.

A reação oxalo bórica, quimicamente, é dividida em fases principais:

**1ª) Ativação do Flavonóide:** Os flavonóides possuem na estrutura, grupos funcionais como as hidroxilas (-OH), as quais são capazes de formar ligações de hidrogênio e interagir diretamente com o ácido bórico a qual foi submetida na etapa anterior.

**2ª) Formação do Complexo:** O ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) é capaz de interagir com as hidroxilas presentes na estrutura do flavonóide, que leva à formação de um complexo borato, onde o boro liga-se ao oxigênio das hidroxilas, que ocasiona a formação de uma estrutura cíclica ou linear;

**3ª) Estabilidade do Complexo:** A estabilização do complexo ocorre através da formação de ligações de hidrogênio e ressonância existente nos anéis aromáticos na estrutura dos flavonóides, todavia a ressonância pode alterar as propriedades físico-químicas dos flavonóides, como solubilidade e reatividade química.

**Reação com hidróxidos alcalinos:** Em um tubo de ensaio foi adicionado 1 mL do extrato aquoso e a este foram adicionados 9 mL água destilada. Foram separados 5 mL da solução final em outro tubo de ensaio e adicionadas 25 gotas de solução de hidróxido de sódio 1M. Observou-se a coloração, comparando com o tubo de ensaio anterior se ocorresse o aparecimento de coloração amarela na solução que indica a presença de flavonóides com hidroxilas fenólicas livres.

**Reação com cloreto férrico:** Em um tubo de ensaio foram misturados 1 mL do extrato vegetal obtido e 9 mL de água destilada, desta solução foram transferidos 5 mL da solução obtida para um outro tubo. E em um dos tubos foi adicionada uma gota de cloreto férrico a 2%, deixando o segundo tubo sem a adição de nenhum reagente. Foram observadas

soluções contendo flavonas que se coram de verde-claro, flavonóis e flavanonas de verde-escuro e chalconas de amarelo.

#### 4.2.2 Teste para Saponinas

O extrato bruto foi solubilizado em 5 mL de água destilada em um tubo de ensaio e agitado vigorosamente por 30 segundos. A formação de espuma estável (1 cm de altura), e mesmo após 30 minutos permaneceu, o que indicou a presença de saponinas.

#### 4.2.3 Teste para Quinonas

**Reação de Bornträger:** 20 mL extrato aquoso foi adicionado em um erlenmeyer durante 5 minutos com 10 mL de KOH 0,5 M e 1 mL de (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a 6% e foi levado para aquecimento e esperou-se a solução esfriar e foi filtrada em funil com algodão para uma proveta de 50 mL. O meio reacional extrativo foi acidificado com ácido acético glacial com aproximadamente 10 gotas e, em seguida, foi particionado com 10 mL de diclorometano e a fase orgânica apresentou coloração laranja. Foram pipetados 5 mL da fase orgânica e transferiu-se para um tubo de ensaio e, neste tubo, foram acrescentados 2,5 mL de NaOH 2M e agitou-se a solução e analisou-se que as antraquinonas livres conferem cor vermelha à parte alcalina e a fase orgânica torna-se incolor. Para uma reação direta de Bornträger pesou-se 0,2 g das vagens de jucá in natura e estas foram colocadas em tubo de ensaio e foi adicionado 5 mL de NH<sub>4</sub>OH diluído.

#### 4.2.4 Teste para Alcalóides

O extrato bruto foi solubilizado em 2 mL de HCl a 1% e aquecido à 50°C. Os reagentes de Mayer e Wagner foram adicionados à mistura. A turvação do precipitado resultante evidencia a presença de alcalóides.

#### 4.2.5 Teste para Taninos

O extrato bruto foi misturado com 2 mL de solução a 2% de FeCl<sub>3</sub>. Uma coloração azul-verde indica a presença de taninos hidrolisáveis e preto taninos condensados.

#### 4.2.6 Teste para Terpenóides

O extrato bruto foi dissolvido em 2 mL de clorofórmio e evaporado até a secura. Para isso foram usado 2 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, o aparecimento de uma coloração marrom avermelhada na interface indicou a presença de terpenóides.

### 4.3 Biossíntese das Nanopartículas de titânio (TiO<sub>2</sub>-NPs)

A síntese das nanopartículas foi adaptada de (Rao *et al*, 2015). Para a síntese, 50 mL da solução etanólica (0,1 mM) de butóxido de titânio foi adicionado a 1,4 mL de extrato de *Libidibia férrea* e 3,6 mL de água destilada, essas diluições foram as testadas e obtidas com sucesso, mantido sob agitação por 24 h. Foram variados os parâmetros de pHs 7,0, 8,0 e 9,0. Após alguns minutos a cor da solução mudou de amarelo límpido para marrom. Em seguida a amostra foi levada para centrifugação a 3000 rpm por 10 min. A camada superior foi separada da camada inferior, que foi redissolvida em água deionizada. A fase contendo as nanopartículas foi centrifugada várias vezes para remover quaisquer contaminantes que tivessem sido absorvidos em sua superfície.

### 4.4 Caracterização

A fase contendo a extração da nanopartícula de titânio formada foi colocada em um becker para evaporar a temperatura ambiente no dessecador, o material seco que ficou no fundo do becker foi colocado em eppendorff e foram caracterizados a partir de MET, FTIR, UV-Vis e TGA. (Realizadas no laboratório de Química da Universidade Federal de Santa Catarina).

### 4.5 Estudo do efeito alelopático

Para a realização do teste alelopático, foram usadas sementes de cultura de Melancia (*Citrullus lanatus*), couve (*Brassica oleracea*), alface (*Lactuca sativa*), tomate (*Solanum lycopersicum* e milho (*Zea mays*), que foram previamente sanitizadas com NaClO (2%) e, após a secagem, foram colocadas em placas de Petri e papel germitest® contendo os tratamentos.

Os tratamentos consistem em formulações contendo diferentes concentrações de solução de nanopartícula de titânio, água como controle positivo, solução à 1% de Tween 80 (solubilizante) como controle intermediário, solução de álcool 70% como controle negativo e solução de extrato de jucá 1%. Os ensaios de germinação ocorreram em câmara de germinação do tipo BOD a temperatura de 25° C, utilizando o método do papel germitest®, previamente esterilizados a 105 °C por 2 horas.

Inicialmente, preparou-se uma solução de nanopartículas de titânio mediada por extrato de jucá 1%. Essa solução foi posteriormente diluída em concentrações de 1% e 0,1%, 0,01% e 0,001%, os extratos foram submetidos à leitura em pHmetro digital assim, como foram analisados os padrões de condutividade elétrica. Além disso, foram usados quatro

tratamentos controle um composto apenas por água destilada, contendo tensoativo Tween 80 e água destilada na proporção 1:1, outro contendo álcool 70% e outro contendo extrato de jucá.

Os tratamentos foram testados sobre as sementes de couve, alface, tomate, milho e melancia que foram adquiridas em comércio local sob condições ideais para a germinação. O bioensaio de germinação foi realizado no Laboratório de Fisiologia Vegetal da Universidade Federal do Amazonas em Itacoatiara sob a supervisão do aluno de iniciação científica Mateus Feitosa. Foram utilizadas placas de Petri com 9 cm de diâmetro, cada uma contendo quatro folhas de papel filtro. Duas folhas foram colocadas na base da placa e duas na tampa, todas previamente autoclavadas a 120 °C e pressão de 1 kgf/cm<sup>2</sup> por 30 minutos, e umedecidas com uma quantidade de água destilada equivalente a duas vezes a massa do papel seco.

Foram distribuídas 20 sementes por placa, previamente desinfetadas com hipoclorito de sódio a 0,5%. Foram realizadas avaliações diárias até o décimo dia após a germinação, conforme critérios estabelecidos pelas Regras para Análise de Sementes (RAS) (Brasil, 2009).

Foram usadas 32 placas de Petri para cada tipo de semente, sendo usado 8 tratamento 4 placas para o tratamento contendo água, 4 placas para o tratamento contendo água+ Tween 80, 4 placas para o tratamento contendo a solução de nanopartícula de titânio à 1% , 4 placas para o tratamento contendo a solução nanopartícula de titânio à 0,1 %., 4 placas para o tratamento contendo a solução de nanopartícula à 0,01 %, 4 placas para o tratamento contendo a solução de nanopartícula à 0,001%, 4 placas para o tratamento contendo solução de álcool 70% e 4 placas para o tratamento contendo só extrato de jucá à 1%, da mesma forma procedeu-se para cada tipo de sementes analisada.

Na semeadura, as soluções com diferentes tipos de tratamento e concentrações da nanopartícula de titânio foram aplicadas no papel-filtro na tampa da placa de Petri, em contato direto com as sementes, que foram mantidas sob um fotoperíodo de 12 horas de luz artificial e temperatura a 25°C em uma câmara BOD. As soluções de teste foram adicionadas apenas uma vez, ou seja, no início dos bioensaios. As sementes foram consideradas germinadas quando apresentaram a protrusão da radícula de, no mínimo, 2 mm.

As variáveis analisadas foram porcentagem de germinação %G, o índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento de raiz CRM, tempo médio de germinação TMG e velocidade de germinação VG, por meio das equações desenvolvidas por Laboriau e Valadares, (1976) apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1** - Equações para determinação do potencial de germinação

<p><b>Fórmula da porcentagem de germinação:</b> <math>\%G = (N/100) \times 100</math>  <b>Onde:</b> N = número de sementes germinadas ao final do teste; <b>Unidade:</b> %.</p>
<p><b>Fórmula do tempo médio de germinação:</b> <math>TMG = (\sum n_i t_i) / \sum n_i</math>  <b>Onde:</b> <math>n_i</math> = número de sementes germinadas por dia; <math>t_i</math> = tempo de incubação; <math>i = 1 \rightarrow 12</math> dias.  <b>Unidade:</b> dias.</p>
<p><b>Fórmula da velocidade média de germinação:</b> <math>VG = 1/t</math> <b>Onde:</b> t = tempo médio de germinação;  <b>Unidade:</b> dias<sup>-1</sup>.</p>
<p><b>Fórmula do índice de velocidade de germinação:</b> <math>IVG = \sum (n_i / t_i)</math> <b>Onde:</b> <math>n_i</math> = número de sementes que germinaram no tempo 'i'; <math>t_i</math> = tempo após instalação do teste; <math>i = 1 \rightarrow 12</math> dias.  <b>Unidade:</b> adimensional;</p>
<p><b>Fórmula do comprimento médio da raiz primária:</b> <math>CMRP = (\sum c) / n</math> <b>Onde:</b> c = comprimento de sementes germinadas; n = número de sementes germinadas; <b>Unidade:</b> mm</p>

**Fonte:** A autora, 2024.

#### 4.6 Atividade antioxidante e Fenólicos Totais

A atividade antioxidante das nanopartículas de TiO<sub>2</sub> mediada por extrato de jucá foi avaliada por três métodos.

##### 4.6.1 Teste de DPPH

Neste ensaio, foi adicionado 100 µL da nanopartícula a 1900 µL da solução de DPPH• (100 µM), submetida incubação em ambiente escuro por 30 minutos. As absorbâncias foram medidas em um Espectrofotômetro a 515 nm Preparou-se uma curva padrão de Trolox na faixa de 100 a 1500 µM (equação da curva:  $y = -0,0005x + 0,9809$   $R^2 = 0,9985$ ). Os resultados foram expressos em micromolares de Equivalentes de Trolox (µM ET) (Molyneux, 2004; Re, 1999).

##### 4.6.2 Teste de ABTS

Para este teste, foi adicionado 30 µL da amostra (EA-Ac) a 3000 µL da solução de ABTS+ (ABS de 0,70), a qual foi submetida a incubação na ausência de luz por 6 minutos. Após esse período de tempo, as absorbâncias foram medidas por meio de um Espectrofotômetro em comprimento de onda de 750 nm. Uma curva padrão de Trolox foi delineada abrangendo a faixa de 125 a 2000 µM (equação da curva:  $y = 0,0003x + 0,5838$ ,  $R^2 = 0,9931$ ). Os resultados da atividade antioxidante foram expressos em micromolares de Equivalentes de Trolox (µM ET) (Molyneux, 2004; Re, 1999).

##### 4.6.3 Teste de FRAP

Para este teste, preparou-se a solução FRAP utilizando 100mL de tampão acetato 0,3M (pH 3,6), 10 mL de 2,4,6-tris (2-pyridyl) -S-triazina (TPTZ) 10,0 mM e 10 mL de Cloreto férrico (FeCl<sub>3</sub>) 20 mM. A nanopartícula (90 µL) foi adicionada a 270 µL de água

destilada e 2,7mL da solução FRAP, e incubada em estufa na temperatura de 37°C por 30 minutos. Após este tempo, as absorbâncias foram medidas em espectrofotômetro em comprimento de onda igual a 593 nm. Os resultados foram expressos em micromolares de sulfato ferroso por grama de amostra ( $\mu\text{M Fe}^{3+}/\text{g}$ ) (Molyneux, 2004; Re, 1999).

#### 4.6.4 Teor de Fenólicos totais

O teste para compostos fenólicos totais foi realizado através do método espectrométrico usando o reagente de Folin-Ciocalteu. Foram adicionados 200 $\mu\text{L}$  do extrato de jucá a 1500 $\mu\text{L}$  do reagente Folin Ciocalteu, e mesmo volume de carbonato de sódio (6%). Após 90 minutos na ausência de luz, a absorbância foi medida a 725 nm. Uma curva padrão de ácido gálico foi traçada nas concentrações entre 31,25 a 250  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ , obtendo-se ( $y = 0,0059x - 0,1676$   $R^2 = 0,987$ ) e os resultados foram expressos em miligramas de equivalentes de ácido gálico por grama de amostra (mg GAE g<sup>-1</sup>).

#### 4.7 Avaliação da atividade Larvicida

Para o teste de toxicidade em larvas de *A. aegypti* foi utilizado o método com base no protocolo da OMS com modificações (WHO, 2005). O teste será realizado no Laboratório de Vetores de Malária e Dengue do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA), com a colaboração da professora Dra. Ana Cristina da Silva Pinto.

O teste de *screening* foi realizado na concentração de 400  $\mu\text{g}/\text{mL}$  em triplicata, com grupos de 10 larvas do mosquito vetor *A. aegypti* (selecionadas no terceiro estágio) em 20 mL de água destilada, a uma temperatura de 24,7 °C e umidade de 80%. As amostras foram solubilizadas em DMSO. A atividade larvicida foi determinada pela porcentagem de mortalidade observada após 24 h e 48 h de incubação. Os valores de CL50 foram calculados a partir das diluições e da análise de regressão *log-probit* (método estatístico usado para determinar a concentração letal (CL) de um larvicida). A validade do teste foi baseada na mortalidade do controle e na homogeneidade das larvas. Como controle negativo do teste, foi utilizado o DMSO e como controle positivo, um produto larvicida por nome comercial de Natular DT (Espinósade). As substâncias que matarem acima de 40% das larvas serão diluídas para a realização da CL50 e CL90.

#### 4.8 Avaliação da atividade Antimalárica

Para o *screening* inicial da atividade antimalárica as culturas tratadas com os extratos, foram ressuspensas e 20  $\mu\text{L}$  de cada poço foram adicionadas a uma nova microplaca contendo 100  $\mu\text{L}$  do reagente MALSTAT (TritonX-100 a 0,125%, Litium L-

lactato 130 mM, tampão Tris 30 mM e dinucleotídeo 3-acetilpiridina adenina – APAD 30 mM, com pH 9, e PES/NBT, preparado a partir do azul de nitrotretazólio 1,96 mM e etosulfato fenazina 0,24 mM). Após esse processo, a placa foi incubada à temperatura ambiente e na ausência de luz por 15 minutos, para posterior leitura em Leitora de microplaca (Synergy4, BioTek) no comprimento de onda de 650 nm. Os resultados de inibição do parasito foram expressos em percentual e a determinação da concentração inibitória de 50% (CI50) dos parasitas em relação aos poços foi calculada com o auxílio do software Gen5 1.10.

#### **4.9 Análise estatística**

Os dados estatísticos foram verificados para determinar os desvios da normalidade e homogeneidade de variância antes da análise dos dados. As diferenças nos valores das variáveis dependentes entre os grupos de tratamento foram avaliadas por análise de variância unidirecional (ANOVA) seguida pelo teste de Student-Newman-Keuls para comparações múltiplas usando IBM SPSS Statistics (versão 22.0; IBM Corp., Armonk, NY, EUA). As diferenças estatisticamente significativas foram estabelecidas em valores de P iguais ou inferiores a 0,05.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Obtenção do extrato de Jucá

A figura 3 demonstra as partes da planta utilizadas e o extrato de jucá por extração simples.

**Figura 3** - (A) Vagem de Jucá após secagem. (B) Solução de Jucá 1% de extrato aquoso



Fonte: A autora, 2024.

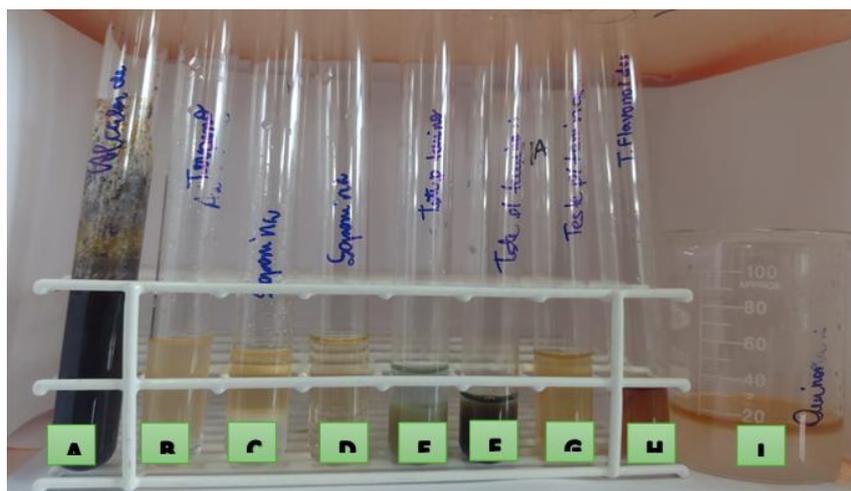
O extrato aquoso de jucá (*Libidibia ferrea*) apresentou coloração marrom, em concentrações de 1% , 0,25%, 0,50% e 0,75% (Figura 3B). isto ocorre em virtude do teor de metabólitos secundários presentes na espécie. Os principais métodos de extração utilizados para o jucá incluem a maceração, a percolação, a extração por solventes orgânicos como etanol e água, bem como técnicas mais avançadas como a extração assistida por ultrassom e a extração supercrítica. Cada método possui vantagens e desvantagens específicas, como custo, eficiência na extração de diferentes classes de compostos (por exemplo, taninos, flavonóides), e impacto ambiental (Santos *et al*, 2018).

### 5.2 Perfil Fitoquímico

#### 5.2.1 Análise qualitativa dos constituintes fitoquímicos

A partir da triagem fitoquímica, foi verificado que os metabólitos secundários observados no extrato etanólico bruto dos frutos de *Libidibia ferrea* são polifenóis do tipo: alcalóides, taninos, quinonas, saponinas, terpenos e flavonóides, como mostrado na Figura 4.

**Figura 4** - Triagem fitoquímica do extrato aquoso bruto de *Libidibia ferrea*. (A) Alcalóides; (B) Terpenos; (C) Saponinas; (D) Saponinas; (E) Tanino condensado; (F) Tanino Hidrossolúvel; (G) Terpenos; (H) Flavonóides e (I) Quinona



Fonte: A autora, 2024.

O quadro 1 apresenta o resultado da prospecção fitoquímica do extrato de *Libidibia ferrea* por meio de reações cromáticas em tubos.

**Quadro 1** - Perfil Fitoquímico de *Libidibia ferrea*

Classe de Metabólito Secundário	Presença
<b>Alcalóides</b>	+
<b>Terpenos</b>	+
<b>Saponinas</b>	+
<b>Taninos Condensados</b>	+
<b>Taninos Hidrolisáveis</b>	+
<b>Flavonóides</b>	+
<b>Quinonas</b>	+

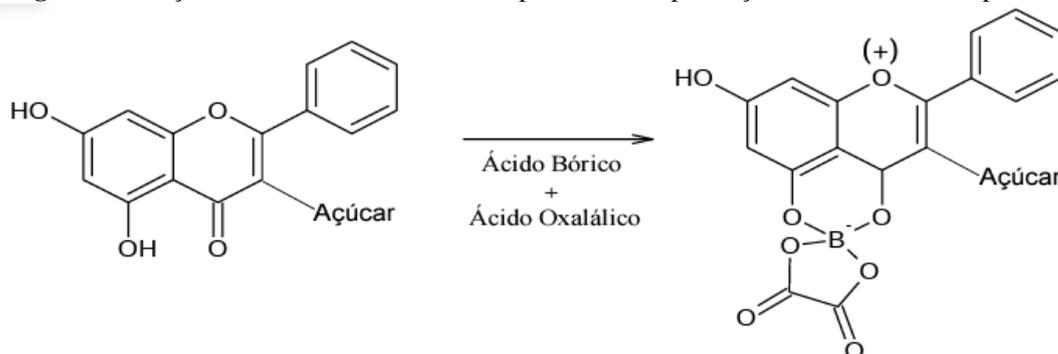
Fonte: A autora, 2025

Essas classes de metabólitos foram identificadas em extrato etanólico bruto de *Libidibia ferrea* de outras regiões, apesar da classe de metabólitos secundários variar em virtude de fatores como latitude, precipitação pluviométrica, quimiotaxonomia, sazonalidade, entre outros (Gobbo-Neto e Lopes, 2007).

A presença de flavonóides leva à formação de complexos coloridos, geralmente de tonalidades variadas de amarelo a vermelho. Essa reação é baseada na capacidade dos flavonóides de formar complexos estáveis com os ácidos ácido oxálico e ácido bórico, proporcionando assim uma indicação qualitativa da presença desses compostos na amostra

analisada. Este método é considerado sensível e relativamente específico para a detecção de flavonóides em extratos vegetais e outros materiais biológicos, contribuindo para estudos sobre as propriedades químicas e potenciais benefícios terapêuticos desses compostos naturais (Figura 5).

**Figura 5** - Reação oxalo-bórica como método para indicar a presença de flavonóides do tipo flavonóis



Fonte: Adaptado de Costa, 2000.

Um estudo realizado por Mendonça *et al*, (2023) por meio da prospecção fitoquímica permitiu analisar que dentre as principais classes de metabólitos secundários presentes no extrato de *Libidibia ferrea* se encontravam flavonóis, antocianidinas, taninos, esteróides e outros compostos de interesse farmacológico, o que torna esta espécie muito importante para o estudo químico de diferentes atividades biológicas, incluindo o potencial para dengue.

A reação utilizando hidróxido alcalino permitiu analisar a presença de flavonas em ambos os extratos por conta da formação de um meio de coloração amarelada o que indica que estes possuem flavonas com hidroxila fenólica livre (Barbosa, 2008; Takemura, 1995). Uma mesma classe de metabólitos secundários pode variar em virtude de diversos fatores tais como latitude, precipitação pluviométrica, quimiotaxonomia, gênero, parte da planta coleta, sazonalidade e entre outros fatores (Gobbo-Neto e Lopes, 2007).

Além dos flavonóides observou-se a presença de outros metabólitos tanto no extrato aquoso quanto no extrato etanólico destacando-se os taninos. No teste utilizando a gelatina permitiu identificar a formação de um precipitado de coloração turva, isto acontece pelo fato de que os taninos, ao reagirem com a gelatina, mimetizam o processo biológico durante o processo de cicatrização pois estes compostos são capazes de realizar a precipitação de proteínas através de ligação de pontes de hidrogênio localizados entre os grupos hidroxilas presentes na estrutura dos taninos e dos grupos amida presentes na gelatina (Hagerman, 1992 ; Yi *et al*, 2006).

Os taninos também foram identificados na reação para cloreto férrico e acetato de cobre pois a precipitação por sal inorgânico é um dos indicativos para esta classe de metabólitos em extratos aquosos e etanólicos (Shriner *et al*, 2004). Os terpenos e alcalóides também foram encontrados no extrato. Os terpenos são compostos que possuem diferentes funções para a planta das quais destacam-se a capacidade analgésica periférica efetiva e atividade anti-inflamatória.

Os resultados corroboram com o estudo realizado por Fagiani *et al*, 2022 que analisou a composição química das vagens e sementes de *Libidibia ferrea*. Os pesquisadores quantificaram nutrientes como minerais, proteínas e fibras, tanto no chá quanto no extrato metanólico da planta. Adicionalmente, eles avaliaram a presença de compostos bioativos como fenólicos, flavoóides e antioxidantes, observando concentrações mais elevadas no extrato, embora o chá seja a forma de consumo mais comum. Os resultados sugerem o potencial nutricional do Jucá e a importância de estudar suas propriedades para aplicações futuras na alimentação e saúde como uma propriedade para além das propostas neste estudo.

Um estudo da caracterização dos extratos hidroalcoólicos realizou a caracterização dos compostos por espectroscopia no infravermelho onde apresentaram elevados teores de compostos fenólicos, com um valor de 166,59 mgEAG/g. A análise de espectroscopia na região do infravermelho (FTIR-ATR) do extrato hidroalcoólico do fruto revelou a presença de bandas largas e fortes indicativas do grupo –OH de álcool, fenol ou água. Bandas de menor intensidade sugerem a presença de hidroxilas de ácidos carboxílicos e estiramento C-H da carbonila esterificada com açúcar e do grupo aldeído. Uma banda forte corresponde ao estiramento C=O de compostos ácidos (Grisi *et al*, 2020).

Especificamente no extrato hidroalcoólico do fruto foram observadas bandas de baixa intensidade correspondentes ao dobramento N-H das amidas primárias e secundárias. Isso é atribuído à análise do fruto integral, contendo a vagem e a semente, que são ricas nesses compostos. Ambos os extratos (fruto e casca do caule) apresentaram bandas de dobramento CH<sub>3</sub> e do grupo C-N das aminas, além de estiramentos vibracionais do grupo C-O dos álcoois, ésteres e ácidos carboxílicos. Foi identificada uma banda relacionada ao grupo C-O do anel piranosídico e bandas relacionadas a ligações anoméricas dos grupos D-manopiranoses e D-galactopiranoses. É importante notar que o estudo se concentra na extração e avaliação do potencial antioxidante de compostos bioativos, especialmente os fenólicos, embora mencione a presença de outros compostos como saponinas, terpenóides e esteróides (Grisi *et al*, 2020)

### 5.3 Síntese e caracterização das NPs

As nanopartículas metálicas de titânio ( $\text{TiO}_2$ -NPs) contendo jucá puderam ser acompanhadas a partir da confirmação por ensaios colorimétricos. A reação se confirmou pela presença de coloração amarelada da solução e de precipitado após secagem (Figura 6), isso explica outro processo na formação das  $\text{NPsTiO}_2$  referente às atividades ópticas, tais como: morfologia e tamanho, o que implicam em sua coloração. Quanto mais turva uma solução, mais nanopartículas por agregação se formarão em decorrência do excesso de reagente no meio, a esse fenômeno se dá o nome de ressonância de plasmons de superfície (RPS), associado a interação da luz com NPs (Mulfinger *et al*, 2007).

**Figura 6** - Mudança de coloração e formação de NPs de  $\text{TiO}_2$

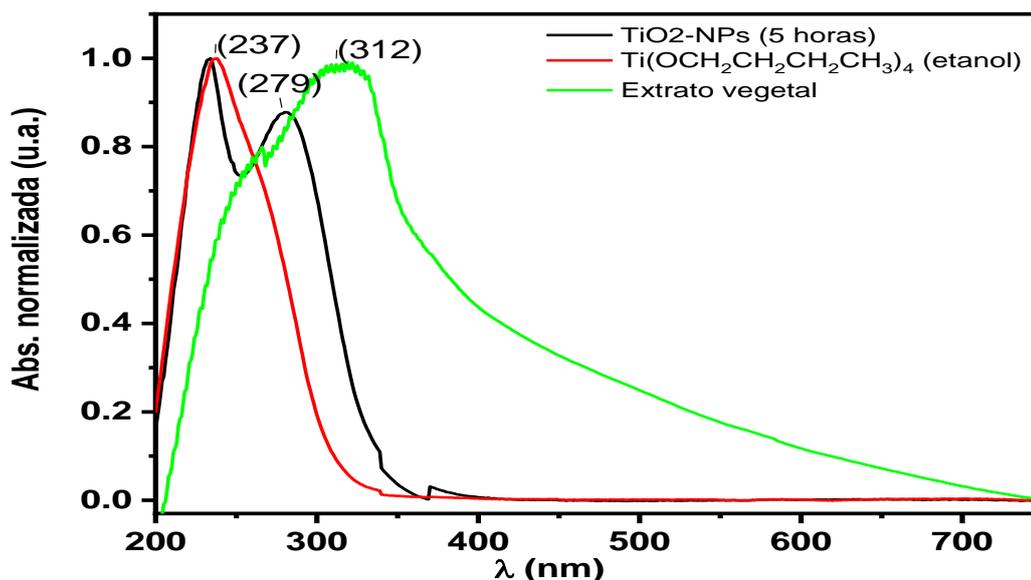


**Fonte:** A autora, 2024.

As nanopartículas de titânio ( $\text{TiO}_2$ -NPs) são consideradas como um dos cinco nanomateriais mais aplicados em produtos de consumo (Shi *et al*, 2013) devido a sua capacidade em conferir brilho e opacidade a superfícies e revestimentos. Suas aplicações envolvem a composição de diversos materiais de consumo, como cremes, cosméticos, cremes dentais, tintas e revestimentos auto limpantes (Lim *et al*, 2015). Na indústria farmacêutica, está direcionado sobretudo, com sistemas de entrega de fármacos e outros nanodispositivos médicos (Pandey; Prajapati, 2018).

A figura 7 mostra o espectro de absorção UV-Vis para as  $\text{TiO}_2$ -NPs sintetizadas mediante o tratamento de butóxido de titânio (IV)  $\text{Ti}(\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3)_4$  com o extrato etanólico de *Libidibia ferrea* (Mart.).

**Figura 7** - Espectro de UV-vis de TiOs-NPs usando o precursor  $\text{Ti}(\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3)_4$  e extrato etanólico de *Libidibia ferrea* (Mart.)

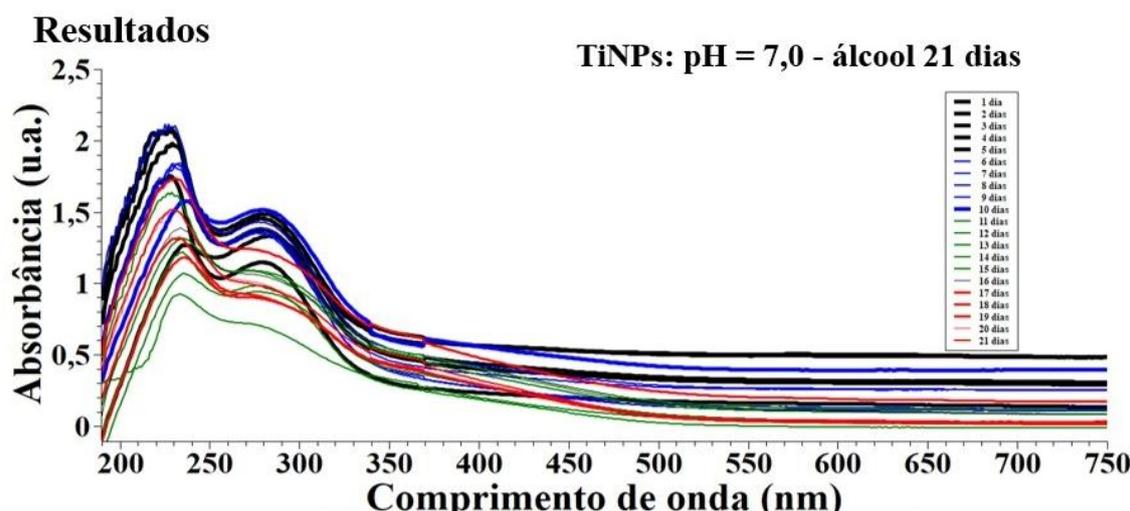


Fonte: A autora, 2024.

A formação das nanopartículas foi evidenciada pela banda observada entre 200 e 350 nm, indicativa da presença de nanopartículas esféricas de titânio (Leme, 2010). Conforme a reação progredia, pôde-se observar o aparecimento de duas bandas distintas, cujos espectros foram monitorados ao longo dos intervalos de tempo de 21 dias estabelecidos previamente.

Estudos revelam que a banda em 230 nm está associada a biomoléculas como flavonóides (catequina, epicatequina) e taninos (Stark, 2007), que são relacionados à transição eletrônica  $\pi \rightarrow \pi^*$  (Pavia et al., 2010). Na Figura 8, são apresentados os espectros eletrônicos obtidos durante a síntese das TiNPs ao longo de 21 dias. Além disso, observou-se uma banda na faixa de 250 a 300 nm, com absorvância máxima em 1,5 u.a., atribuída à formação de nanopartículas de  $\text{TiO}_2$ .

**Figura 8** - Espectros eletrônicos UV-vis de temperatura ambiente 30 °C



Fonte: A autora, 2024.

Além destes resultados, observou-se que nas primeiras horas de reação as bandas apresentaram menor intensidade e menor valor de absorvância, essa intensidade foi aumentada após o sexto dia de reação, possivelmente sendo indicativo que mais nanopartículas estejam sendo formadas. Já no décimo primeiro dia, ocorreram novamente picos com menor intensidade e no décimo sétimo com maior intensidade, chegando a uma estabilização do comportamento no vigésimo primeiro dia em decorrência de menor redução do íon  $Ti^{+4}$ , indicando o efeito redutor e estabilizador do extrato de jucá, evitando o crescimento desordenado de nanoestruturas.

Estudos indicam que o mecanismo de formação da nanopartícula se dá pelo precursor butóxido de titânio, ocorrendo a formação da nanoestrutura pelo mecanismo de nucleação e crescimento, ao inserir um redutor químico ou biológico, ocorrendo uma injeção de elétrons para neutralizar os íons formando átomos de valência zero e, por fim, formando uma camada protetora para impedir a aglomeração da nanopartícula ao final da reação.

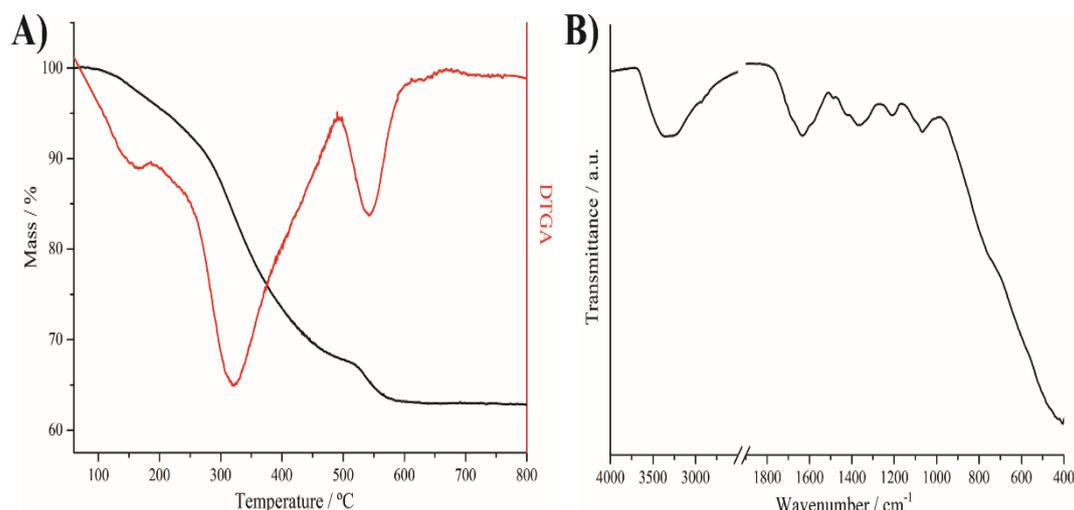
Os fenômenos ópticos associados aos valores de comprimentos de onda observados são indicativos da formação das nanoestruturas e a quantidade de compostos presentes nos extratos utilizados podem determinar a capacidade das partículas se reduzirem e assumirem as características físico-químicas observadas na reação de formação da nanopartícula. Um estudo realizado por Pavani *et al.*, (2022) sugere outras metodologias de caracterização de nanopartículas de  $TiO_2$ , tais como imagens de MEV, dando a morfologia superficial das partículas, as dimensões das nanopartículas, o estudo das fases cristalinas dos materiais e o tamanho dos cristalitos por DRX.

As TiO<sub>2</sub> NPs foram analisadas por termogravimetria em atmosfera de ar sintético e os termogramas estão apresentados na Figura 3A. Nota-se a presença de 3 eventos de perda de massa nas faixas de 50 a 190 °C, 190 a 493 °C e 493 a 613 °C, com temperaturas médias de 166, 321 e 543 °C e % de perdas de massa de 3.8, 28.2 e 5%, respectivamente. Esses eventos indicam a presença material orgânico na amostra, em uma proporção de 37%. O primeiro evento provavelmente está associado à liberação de compostos voláteis, enquanto o segundo e terceiro eventos à degradação das moléculas orgânicas e oxidação do carbono residual, respectivamente. Ao final da análise foram obtidos 63% de resíduo, o qual está associado às TiO<sub>2</sub> NPs.

O espectro de FTIR da amostra está apresentado na Figura 9. Verifica-se a presença de bandas em 3376/3218 (ν<sub>O-H</sub> e ν<sub>O-N</sub>), 2924/2853 (ν<sub>C-H</sub>), 1710 (ν<sub>C=O</sub>), 1682, 1632, 1583 (ν<sub>C=C</sub>), 1486, 1424 (δ<sub>-CH<sub>2</sub></sub>), 1370 (δ<sub>-CH<sub>3</sub></sub>), 1353, 1324 (δ<sub>-CH</sub>), 1207, 1102 e 1067 cm<sup>-1</sup> (ν<sub>C-O</sub>). Também se verifica uma banda intensa em 419 cm<sup>-1</sup>, a qual está associada ao estiramento Ti-O-Ti das TiO<sub>2</sub> NPs (Djaoued *et al*, 2002), confirmando a formação desse óxido metálico.

**Figura 9** - (A) Análises de TGA/DTGA e (B) espectro de FTIR das TiO<sub>2</sub> NPs. As análises termogravimétricas foram realizadas em atmosfera de oxidante de ar sintético, com prévio tratamento a 100 °C por 20 min

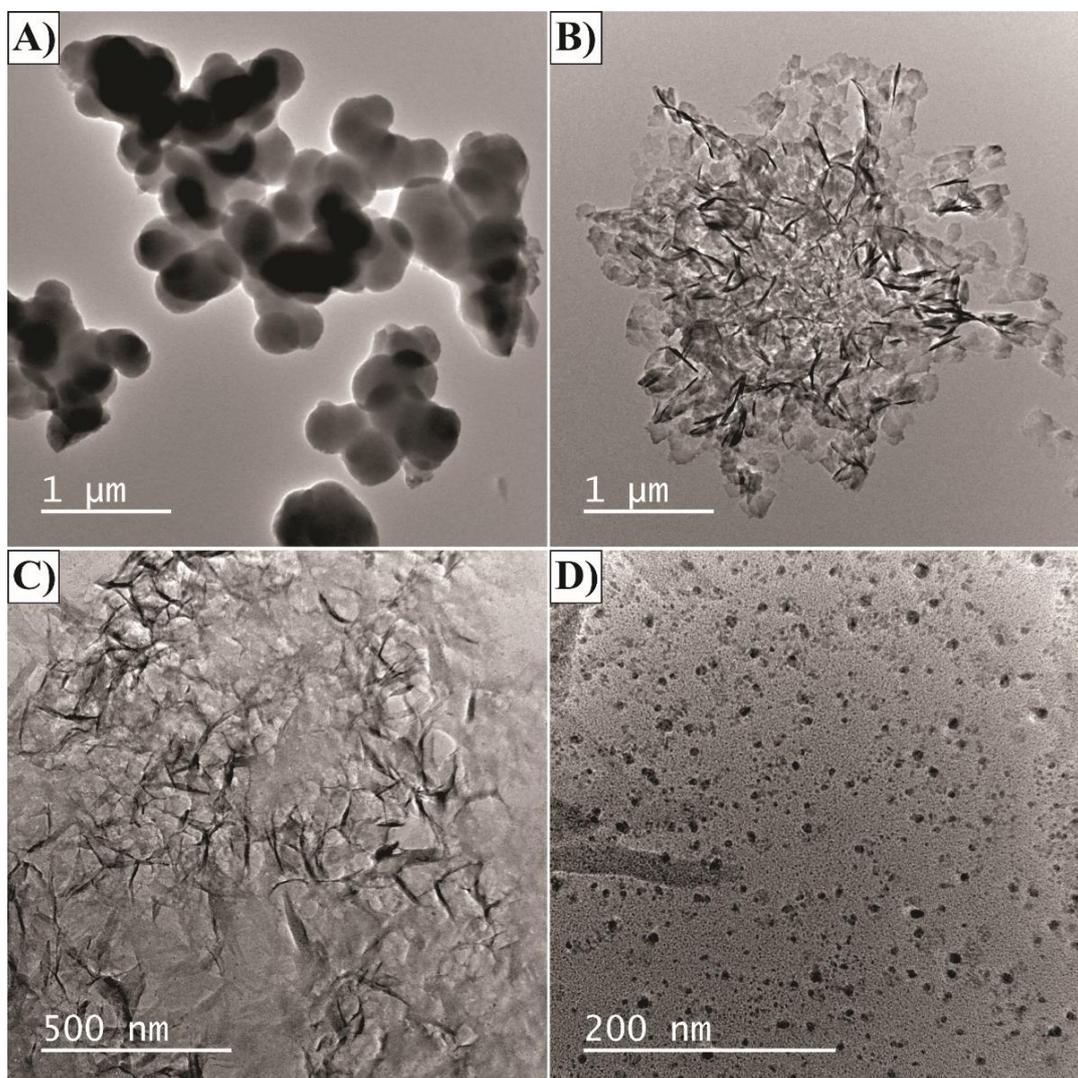
**Fonte:** A autora, 2025.



A avaliação da morfologia das TiO<sub>2</sub> NPs foi realizada através de imagens de microscopia eletrônica de transmissão (Figura 10). Verifica-se a presença de partículas circulares bidimensionais com tamanhos na faixa de 300 a 700 nm. Já a Figura B aponta a presença de lamelas aparentemente circulares, com tamanho similar às partículas da Figura A, sugerindo que estas podem ter sido originadas a partir de um processo de esfoliação das

partículas mais espessas. Nas imagens de maior magnificação (Figura C e D), observa-se a presença de nanopartículas com tamanho da faixa de 1 a 2 nm decorando essas lamelas, as quais estão associadas às TiO<sub>2</sub> NPs.

**Figura 10** - Imagens de TEM das TiO<sub>2</sub> NPs de diferentes regiões e com diferentes magnificações



Fonte: A autora, 2025.

O trabalho realizado por Aravind e colaboradores (2021), descreve a síntese de nanopartículas de dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub> NPs) usando métodos químicos (hidrotermais) e verdes. O método verde empregou extrato de flor de jasmim como agente redutor e estabilizador. Os autores caracterizaram as nanopartículas resultantes para determinar suas propriedades estruturais, morfológicas e ópticas usando várias técnicas, incluindo difração de raios X (DRX), espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), espectroscopia UV-Vis e microscopia eletrônica de varredura (MEV). A técnica de DRX foi usada para analisar a fase cristalina, estrutura cristalina, pureza e tamanho cristalino médio

dos NPs de TiO<sub>2</sub> onde os padrões de DRX revelaram a fase Rutile das NPs de TiO<sub>2</sub>. Os ângulos de difração (2θ) observados (como 27.45°, 36.75°, etc.) correspondem aos planos de reflexão de Braggs e demonstram a estrutura cristalina tetragonal, em concordância com o cartão JCPDS número 89-49201. O ângulo de 27.45° (101) representa a alta natureza cristalina das NPs de TiO<sub>2</sub>.

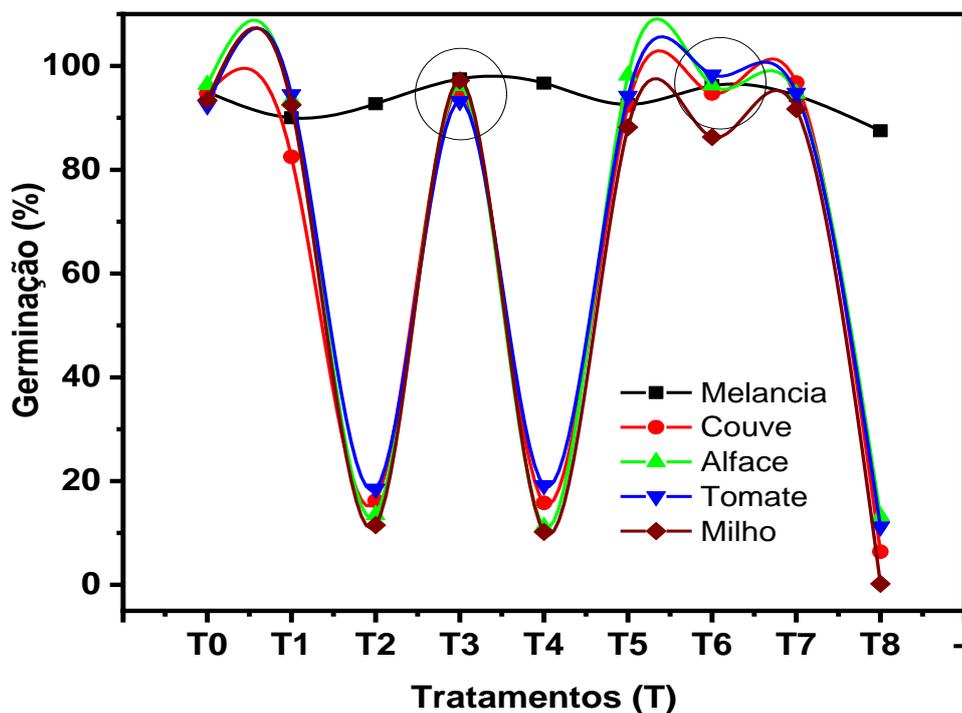
O estudo demonstrou ainda para o infravermelho bandas características que confirmaram a formação das NPs de TiO<sub>2</sub>. As bandas fortes em 460 cm<sup>-1</sup> e 900 cm<sup>-1</sup> revelam a formação das vibrações de dobramento Ti–O e Ti–O–Ti, respectivamente. A presença dessas ligações metal-óxido confirma a existência de TiO<sub>2</sub>. A banda larga em 3709–3712 cm<sup>-1</sup> correlaciona-se à vibração de estiramento O–H. Grupos hidroxila nessa faixa melhoram o desempenho fotocatalítico (Aravind et al, 2021)

#### **5.4 Estudo de atividade Alelopática**

As germinações de sementes são procedimentos de rápido aumento e amplamente utilizados para análises de fitotoxicidade e também têm a vantagem de sensibilidade, simplicidade, custo-efetividade, bem como adequação para espécimes químicos verificados. Neste estudo, foram investigadas as influências das nanopartículas de TiO<sub>2</sub> nas germinações em sementes de melancia (*Citrullus lanatus*), couve (*Brassica oleracea*), alface (*Lactuca sativa*), tomate (*Solanum lycopersicum*) e milho (*Zea mays*), cujos parâmetros alelopáticos encontram-se nas Tabelas 1 a 3, respectivamente.

Na Figura 11, mostramos os valores de percentual de germinação frente aos tratamentos.

**Figura 11** - Potencial de germinação frente as sementes de melancia (*Citrullus lanatus*), couve (*Brassica oleracea*), alface (*Lactuca sativa*), tomate (*Solanum lycopersicum*) e milho (*Zea mays*). Tratamentos: T0= H<sub>2</sub>O (Controle positivo); T1=H<sub>2</sub>O + Tween 80 1:1 (v/v) (controle intermediário); T2= etanol 70% (v/v); T3= extrato de jucá 1%; T4=TiO<sub>2</sub>-NPs 1%; T5= TiO<sub>2</sub>-NPs 0.1%; T6= TiO<sub>2</sub>-NPs 0.01%; T7= TiO<sub>2</sub>-NPs 0.001%; T8= Precursor de titânio (butóxido)



Fonte: A autora, 2024.

O estudo mostrou que a água (T0) e água junto com Tween 80 (T1) apresentaram eficiência na germinação das sementes testados, porém, com valores abaixo dos outros tratamentos avaliados. Por sua vez, o tratamento com etanol 70% (T2), não foi efetivo isoladamente para a atividade alelopática positiva no processo de germinação para as sementes de couve, alface, tomate e milho. Quando avaliado o efeito do alelopático do extrato de jucá 1% (m/v) (T3), observamos que o efeito na germinação das sementes de melancia (97,5 %) e milho (97,2 %) foi o maior entre os tratamentos.

Para o tratamento T4, cuja concentração de TiO<sub>2</sub>-NPs foi de 1,0% (v/v), a germinação foi eficiente apenas para as sementes de melancia. Para as sementes de couve, alface, tomate e milho, o percentual de germinação foi abaixo de 20%. Por sua vez, os tratamentos contendo as TiO<sub>2</sub>-NPs (T5, T6 e T7) nas diluições de 0,1%, 0,01% e 0,001%, respectivamente, apresentaram eficiência na germinação de todas as sementes avaliadas, com valores para couve, alface e tomate superiores ao extrato e aos controles. Por fim, avaliamos o efeito de germinação da solução contendo apenas o precursor de titânio (T8). Observamos que esse tratamento causou o efeito alelopático negativo, isto é, inibiu o processo de germinação. Os resultados demonstram-se promissores para o uso das TiO<sub>2</sub>-NPs

contendo jucá na atividade alelopática positiva e no processo de germinação de produtos de interesse agrônomo. Melo, (2018) descreve que as NPs de TiO<sub>2</sub> podem auxiliar sementes a absorver água e facilitar a germinação, além de regular o funcionamento de aquaporinas e a permeabilidade da membrana, podendo ainda alterar o metabolismo antioxidante em uma variedade de plantas. As velocidades de germinação das sementes são mostradas na Tabela 2.

**Tabela 2** - Velocidades de germinação de sementes as sementes de melancia (*Citrullus lanatus*), couve (*Brassica oleracea*), alface (*Lactuca sativa*), tomate (*Solanum lycopersicum*) e milho (*Zea mays*) por 12 dias

		Melancia	Couve	Alface	Tomate	Milho
Controle	Água	0.39	0.29	0.19	0.39	0.59
	Água + tween (1:1)	0.85	0.68	0.38	0.48	0.28
	Etanol 70%	0.42	0.36	0.26	0.46	0.26
Extrato (%)	1	0.35	0.31	0.21	0.41	0.23
TiO <sub>2</sub> -NPs (%)	1	0.38	0.47	0.37	0.37	0.47
	0,1	0.63	0.43	0.33	0.23	0.23
	0,01	0.68	0.37	0.27	0.37	0.47
	0,001	0.52	0.31	0.11	0.81	0.31
Ti (OCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>		0.48	0.38	0.28	0.38	0.48

Fonte: A autora, 2024.

Na Tabela 3, são apresentados os valores do tempo médio de germinação frente aos diferentes tratamentos testados. O tempo de germinação das sementes pode variar com base em vários fatores, incluindo temperatura, condições do solo e qualidade das sementes.

**Tabela 3** - Tempo médio de germinação das sementes de melancia (*Citrullus lanatus*), couve (*Brassica oleracea*), alface (*Lactuca sativa*), tomate (*Solanum lycopersicum*) e milho (*Zea mays*) por 12 dias

		Melancia	Couve	Alface	Tomate	Milho
Controle	Água	2.66	2.59	2.19	2.79	2.89
	Água + tween (1:1)	2.37	2.67	2.37	2.67	3.37
	Etanol 70%	2.91	3.87	3.27	3.17	3.17
Extrato (%)	1	2.96	3.09	3.15	3.75	3.65
TiO <sub>2</sub> -NPs (%)	1	2.8	7.42	6.41	4.41	6.81
	0,1	2.86	3.4	3.23	3.23	3.83
	0,01	3.39	2.71	2.81	2.71	3.81
	0,001	2.96	3.3	3.29	3.9	3.19
Ti (OCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>		0.48	3.17	3.12	3.43	3.12

Fonte: A autora, 2024.

Normalmente, as sementes de melancia (*Citrullus lanatus*) levam cerca de 7 a 10 dias para germinar em condições ideais de 24 a 30 °C, enquanto que as sementes de couve

(*Brassica oleracea*) geralmente germinam em 5 a 10 dias quando mantidas em temperaturas em torno de 18 a 24 °C. Por sua vez, as sementes de alface (*Lactuca sativa*) podem germinar em menos tempo, isto é, cerca de 2 a 7 dias, com a faixa de temperatura ideal sendo de 16 a 21 °C. Sobre as sementes de tomate (*Solanum lycopersicum*), as suas sementes geralmente germinam em 5 a 10 dias sob condições ideais de 21 a 27 °C, enquanto o Milho (*Zea mays*) normalmente levam de 5 a 12 dias para germinar, com a temperatura ideal do solo em torno de 18 a 24 °C.

Para o teste com nanopartículas de titânio o tempo médio de germinação das sementes reduziu para 2 a 3 dias para as sementes de melancia na concentração de TiO<sub>2</sub>-NPs, 0,1% e couve, alface e tomate quando exposto a TiO<sub>2</sub>-NPs, 0,01%. Para o milho, o menor valor de TMG foi de 3,8 dias para o tratamento TiO<sub>2</sub>-NPs, 0,01% (Ternus *et al.*, 2021).

O comprimento médio da radícula (raiz embrionária) das sementes é uma medida crucial na agricultura. Radículas mais longas indicam sementes mais vigorosas, levando a sistemas radiculares fortes e melhor estabelecimento e crescimento das mudas. Ademais, radículas mais longas se correlacionam com maiores taxas de germinação e podem acessar camadas mais profundas do solo com mais umidade e nutrientes disponíveis, melhorando a resiliência do crescimento inicial. Rendimento da Cultura: O vigor e a saúde das mudas, indicados pelo comprimento da radícula, impactam diretamente o rendimento da cultura, com mudas mais vigorosas provavelmente produzindo rendimentos mais altos. Portanto, medir o comprimento da radícula é um método padrão em testes de qualidade de sementes, ajudando a selecionar as melhores sementes para plantio. Os valores do comprimento médio radicular (CRM) encontram-se na Tabela 4.

**Tabela 4** - Comprimento médio radicular das sementes de melancia (*Citrullus lanatus*), couve (*Brassica oleracea*), alface (*Lactuca sativa*), tomate (*Solanum lycopersicum*) e milho (*Zea mays*), por 12 dias

		Melancia	Couve	Alface	Tomate	Milho
Controle	Água	<b>13.6</b>	<b>12.8</b>	<b>19.8</b>	<b>14.8</b>	<b>15.9</b>
	Água + tween (1:1)	8.2	7.67	4.67	5.37	6.67
	Etanol 70%	0.422	0.789	0.389	0.28	0.39
Extrato (%)	1	5.245	4.67	6.42	4.12	6.82
	1	0.249	0.76	0.36	0.26	0.86
TiO <sub>2</sub> -NPs (%)	0,1	4.6	4.9	3.12	2.92	3.92
	0,01	4.71	5.3	3.12	3.19	3.32
	0,001	2.4	2.9	3.92	3.32	3.42
Ti (OCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>		0.48	0.248	0.456	0.235	0.04

Fonte: A autora, 2024.

Os resultados mostram que sob a influência do grupo controle **T0** as cultivares apresentaram maior CRM em comparação com os outros tratamentos. Por sua vez, etanol 70% isolado não foi eficaz para esse parâmetro. Para as sementes de *Brassica oleracea* (couve), em comparação com o tratamento contendo TiO<sub>2</sub>-NPs nas concentrações 0,1% e 0,01%, o tratamento contendo extrato de jucá (*Libidina férrea*) foi menos efetivo no processo de CRM, com valores de 4,67cm, e 4,9 cm e 5,3 cm, respectivamente. Em contrapartida, para as outras cultivares estudadas nesse trabalho, os valores de CRM foram maiores no extrato vegetal em comparação com TiO<sub>2</sub>-NPs.

Por fim, observa-se a diminuição do CRM com o aumento da concentração de TiO<sub>2</sub>-NPs, com valores de CRM abaixo de 1,0 cm. Possivelmente, a razão para a supressão do crescimento da raiz primária pode ser devido ao aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) a partir da transferência de elétrons de energia pelas TiO<sub>2</sub>-NPs. Os ROS mais comuns são oxigênio singlete (<sup>1</sup>O<sub>2</sub>), radical superóxido (O<sub>2</sub>•<sup>-</sup>), radical hidroxila (OH•) e peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Essas moléculas altamente reativas podem se transformar umas nas outras.

Um estudo realizado por Tuan e colaboradores (2019) descreve o mecanismo geral de germinação o qual caracteriza o processo de germinação da semente como o primeiro passo adaptativo no ciclo de vida da maioria das plantas superiores. O processo de germinação em si começa com a embebição ou absorção de água pela semente seca e termina com a penetração da radícula através das camadas de cobertura da semente.

O mecanismo de germinação envolve uma série de eventos fisiológicos e moleculares, divididos em três fases distintas de absorção de água. Onde a Fase I caracteriza-se pela absorção inicial rápida de água, causando inchaço e mudança de forma da semente. Membranas são perturbadas pela reidratação rápida, levando ao vazamento de metabólitos de baixo peso molecular e solutos celulares para fora da semente; no entanto, a estrutura da membrana é reparada após um curto período de hidratação. Durante esta fase, vários processos fisiológicos são iniciados, incluindo a síntese de proteínas a partir de mRNA existente e a retomada das atividades respiratórias, como as vias respiratórias glicolítica e oxidativa da pentose fosfato, caracterizadas por um grande aumento no consumo de oxigênio e liberação de dióxido de carbono minutos após a embebição (Tuan *et al*, 2019).

Na Fase II a taxa de absorção de água pela semente diminui e se estabiliza. Durante esta fase, ocorrem a continuidade do reparo do DNA e das mitocôndrias existentes, a síntese de novas mitocôndrias e a síntese de proteínas a partir de transcritos de genes recém-sintetizados. Além disso, a iniciação da expansão do embrião e o enfraquecimento das

camadas de cobertura da semente acontecem nesta fase. A protrusão da radícula através da testa/camada da semente marca o fim da Fase II e o início da Fase III, sendo definida como germinação (ARC *et al*, 2013).

Já na Fase III (Estágio Pós-germinação) ocorre principalmente a mobilização das reservas de armazenamento depositadas em órgãos de armazenamento (como o endosperma em cereais), o que desencadeia aumentos adicionais na absorção de água, seguido pelo crescimento da plântula. A divisão celular, a síntese de DNA e o alongamento das células da radícula também ocorrem durante esta fase (Barrero *et al*, 2014).

Alguns aleloquímicos, como a cianamida, induzem o acúmulo de  $^1\text{O}_2$  na ponta da raiz, na zona de alongamento e na zona de diferenciação de raízes de cebola (*Allium cepa* L.), levando à supressão do crescimento da raiz. O peróxido de hidrogênio é mais estável do que outros subprodutos tóxicos do metabolismo aeróbico e pode migrar do local de síntese para diferentes compartimentos celulares ou mesmo para outras células nas proximidades, causando danos celulares.

Em contrapartida, as cultivares de couve (*Brassica oleracea*), alface (*Lactuca sativa*), tomate (*Solanum lycopersicum*) e milho (*Zea mays*) apresentaram maiores valores de CRM quando expostos ao tratamento com  $\text{TiO}_2$ -NPs 1%, mostrando serem mais resistentes em comparação com a melancia. Essa efetiva atividade alelopática do jucá potencializada pela NPs de titânio podem estar associadas por sua capacidade de fixar nitrogênio no solo, o que pode beneficiar outras plantas ao enriquecer o solo com esse nutriente essencial (Rizvi *et al*, 2011). Desse modo destaca-se a capacidade promissora para o uso desta nanoestrutura no manejo de produtos agropecuários como melancia, couve, tomate, alface e milho. Indicando um potencial agente na otimização do plantio e germinação destes vegetais.

Para além das análises descritas devido ao crescente interesse no uso e aplicação de nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  (NPs $\text{TiO}_2$ ), torna-se crucial avaliar sua biocompatibilidade e toxicidade. Isso é especialmente relevante dado que manipuladores, trabalhadores e consumidores podem estar expostos diretamente ou indiretamente a produtos que contenham ou sejam baseados em nanopartículas. Os estudos em nanotoxicologia buscam modelos biológicos que possam simular condições reais de exposição, uma tarefa desafiadora devido às variações imprevisíveis nos períodos, concentrações e frequência de exposição.

Desde a década de 1980, o  $\text{TiO}_2$  em microescala é descrito como um material biologicamente e fisiologicamente inerte para humanos e animais (Chen *et al*, 1988; Hart *et al*, 1998). Porém, segundo estudos realizados pela IARC (International Agency for Research

on Cancer) no ano de 2006, as NPsTiO<sub>2</sub> e seus derivados possuem diferente reação frente aos sistemas biológicos sendo inseridas na classe de potenciais carcinógenos (grupo 2B) principalmente quando veiculados através da via inalatória.

O FDA (*Food and Drug Administration*) também determinou a aprovação de limites para uso das NPsTiO<sub>2</sub> em bloqueadores solares de até 25% (w/w) baseado em avaliações de toxicidade considerando uma ingestão acidental do produto em exposição a modelos animais. Esses valores justificam o uso de diluições menos concentradas do TiO<sub>2</sub> também em produtos de interesse agrônômico, visando a proteção de manipuladores e consumidores no seu manejo e comércio.

### 5.5 Estudo de Atividade Antioxidante e Teor de Fenólicos Totais

A seguir foi determinado o potencial antioxidante das nanoparticulas por meio de teste de DPPH, ABTS, FENÓLICOS E FRAP. Demonstramos a curva e cálculos para determinar sua atividade conforme os gráficos. Os valores também se encontram apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5** - Atividade antioxidante do extrato e da Nanopartícula TiO<sub>2</sub>

ATIVIDADE ANTIOXIDANTE <i>in vitro</i>				
Amostra	DPPH μM TE	ABTS μM TE	FRAP μM Fe <sup>2+</sup> /g	FT mg EAG g <sup>-1</sup>
<b>Extrato 1%</b>	1879,1 ± 33,24	1856 ± 23,5	2969,7 ± 43,4	480 ± 0
<b>Np</b>	82,46 ± 17,00	664,8 ± 15,3	320 ± 22,9	3

Média ± Desvio

μM TE: micromolares equivalentes de Trolox

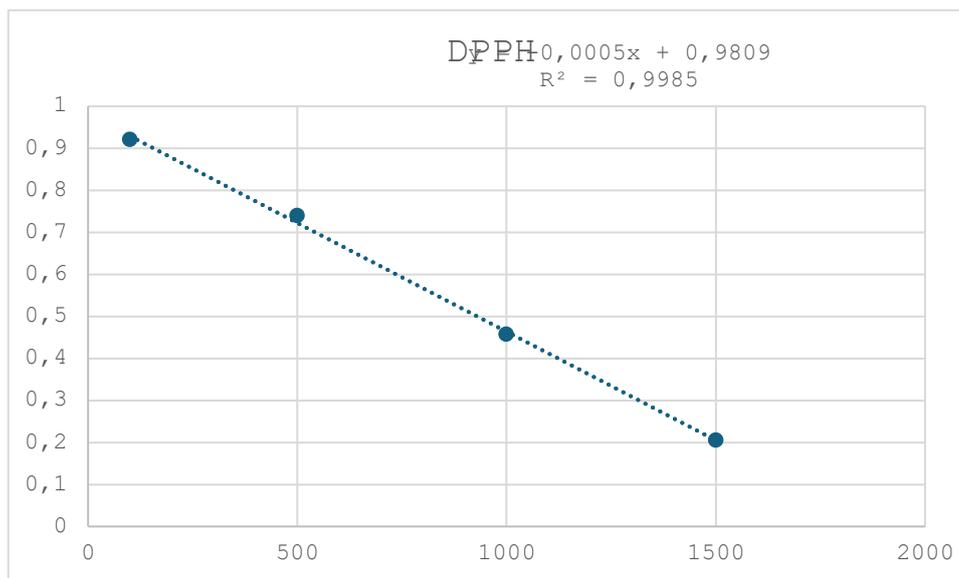
μM Fe<sup>2+</sup>/g: micromolares equivalentes de sulfato ferroso por grama de amostra

mg EAG g<sup>-1</sup>: miligramas de equivalentes de ácido gálico por grama de amostra

#### 5.5.1 Teste de DPPH

O Figura 12 o gráfico demonstrado a seguir mostra a atividade antioxidante da TiO<sub>2</sub>-NPS mediada pelo extrato de jucá frente o radical DPPH.

**Figura 12** - Atividade Antioxidante TiO<sub>2</sub>-NPS mediada pelo extrato de jucá frente o radical DPPH



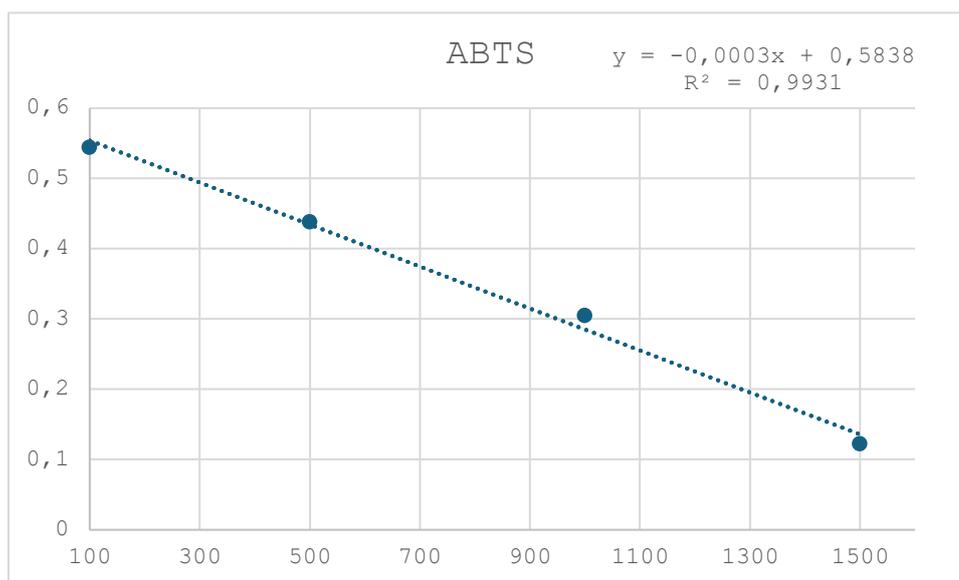
**Fonte:** A autora, 2024.

Tanto a técnica DPPH quanto a de ABTS são realizadas para avaliar a capacidade sequestradora de radicais livres dos extratos de *Libidibia ferrea*. Sendo determinada a capacidade de redução dos radicais foi medida por uma curva de calibração com soluções de Trolox nos dois metodos. Por meio da curva de calibração é possível observar que o extrato a 1% demonstrou  $1879,1 \pm 33,24 \mu\text{M}$  em Trolox. Para DPPH. E valor de  $82,46 \mu\text{M}$  em Trolox para nanoparticula.

### 5.5.2 Teste de ABTS

O gráfico da figura 13 a seguir mostra a atividade antioxidante da TiO<sub>2</sub>-NPS mediada pelo extrato de jucá frente o radical ABTS

**Figura 13** - Atividade Antioxidante TiO<sub>2</sub>-NPS mediada pelo extrato de jucá frente o radical ABTS



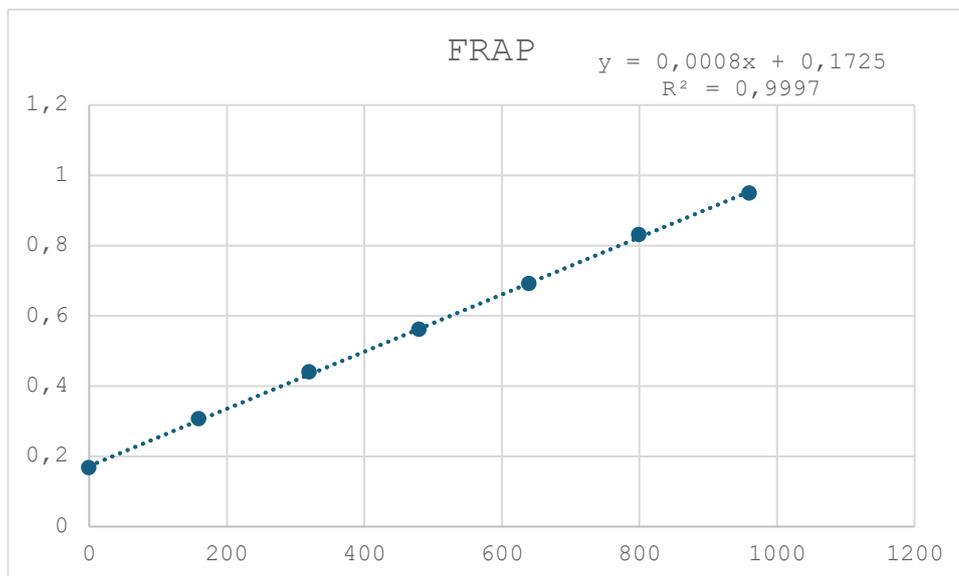
**Fonte:** A autora, 2024.

Para o ensaio ABTS, tanto o extrato quanto a NP apresentaram capacidade antioxidante: 1856 μM em Trolox para o extrato e 664,8 μM em Trolox para a NP. Na literatura, diversas evidências confirmam a atividade antioxidante do extrato de jucá; porém, não há relatos sobre sua incorporação em nanopartículas. Pesquisadores demonstraram que extratos do fruto de *L. ferrea* possuem efeitos anti-inflamatórios, antioxidantes e antinociceptivos. Esses efeitos estão associados à presença de ácidos fenólicos, como ácido gálico e elágico, com aumento da viabilidade celular in vitro (Araújo et al, 2019). Segundo Oliveira et al (2019) O extrato aquoso das folhas de *L. ferrea* reduziu inflamação e níveis de radicais livres em ratos com artrite induzida, além de aumentar os níveis de glutathiona total.

### 5.5.3 Teste de FRAP

O gráfico da Figura 14 a seguir mostra a atividade do poder de redução de ferro da TiO<sub>2</sub>-NPS mediada pelo extrato de jucá através do método de FRAP.

**Figura 14** - Atividade Antioxidante TiO<sub>2</sub>-NPS mediada pelo extrato de jucá pelo método de FRAP

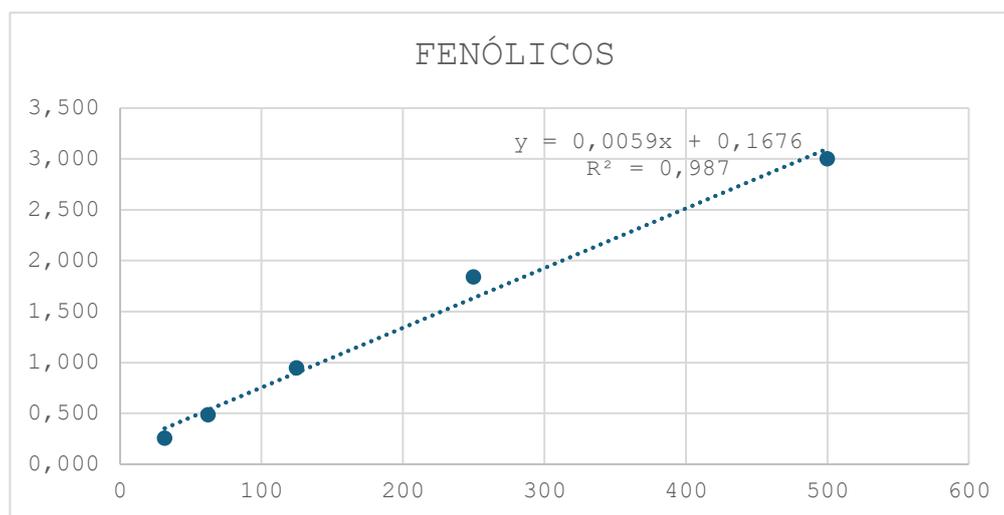


Fonte: A autora, 2024.

#### 5.5.4 Teor de Fenólicos Totais

O gráfico da figura 15 a seguir apresenta o teor de fenólicos totais existentes no extrato aquoso de *Libidibia ferrea*.

**Figura 15** - Teor de fenólicos totais extrato de *Libidibia férrea*



Fonte: A autora, 2024.

Apesar dos compostos fenólicos demonstrarem uma grande quantidade de propriedades biológicas, e estas substâncias estarem ligadas à sua ação antioxidante (Rossa, 2013; Degáspari, 2004, neste estudo não foram encontradas correlações entre o teor de fenólicos e a atividade antioxidante tanto para o extrato de jucá quanto para a nanopartícula.

Grisi et al 2020 avaliou o potencial antioxidante e estabilidade do bioaditivo de jucá (*Libidibia ferrea*) a partir dos extratos tanto *in vitro* quanto *in vivo*. Os quais apresentaram elevados teores de compostos fenólicos: 166,59 mgEAG/g de fruto e 179,55 mgEAG/g de casca do caule. Esses teores foram mais estáveis ao longo de 90 dias de armazenamento refrigerado (5°C) e ao abrigo da luz, com perdas de apenas 25% e 20%, respectivamente, em comparação com os extratos aquosos que apresentaram maiores perdas. O estudo do grupo corroborou para uma boa atividade antioxidante dos extratos hidroalcoólicos, avaliada pelos métodos DPPH (sequestrador de radical livre) e FRAP (reduzidor de ferro), também se mostrou elevada ao final de 90 dias. No método DPPH, os extratos hidroalcoólicos apresentaram valores de 1,92 molTrolox/g para o fruto e 1,96 molTrolox/g para a casca do caule no dia 90. Os extratos hidroalcoólicos demonstraram maior estabilidade da atividade antioxidante neste método em comparação com os extratos aquosos.

No estudo de Grisi os valores do extrato demonstram maior atividade quando comparado aos observados neste estudo. No método FRAP do grupo de Grisi, os extratos hidroalcoólicos apresentaram valores de 313,17 mmol Fe<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/g para o fruto e 329,30 mmol Fe<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/g para a casca do caule no dia 90. Similarmente ao DPPH, os extratos hidroalcoólicos mantiveram uma atividade antioxidante significativamente maior ao longo do tempo em comparação com os extratos aquosos. Porém quando comparamos estes dados à nanopartícula sintetizada por síntese verde nesta pesquisa, ela se demonstrou superior no perfil de atividade antioxidante. Assim, os valores de NP corresponderam a 82,46 µM TE para DPPH e apesar de altos os valores de ABTS e FRAP para as nanopartículas (664,8 µM TE e 320 mmol Fe<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/g, respectivamente), os valores ainda são superiores para a fração hidroalcoólica deste estudo.

Neste estudo os valores obtidos quanto à capacidade antioxidante das amostras evidenciam a necessidade de testes comparativos para a comprovação da existência de atividade antioxidante, já que os resultados alteraram conforme a metodologia aplicada. Conforme, Alam *et al*, (2013) a atividade antioxidante deve ser avaliada por mais de um método de avaliação antioxidante, uma vez que há variações deles em diferentes condições de testes e para diferentes amostras.

## 5.6 Estudo de Atividade Larvicida

Os resultados do potencial larvicida das frações demonstram que a fração NP\_LF apresentou atividade contra larvas de *A. aegypti*, causando 100% de mortalidade. As demais amostras não têm atividade, com mortalidade variando de 0 a 8 ± 3.

**Tabela 6** - Resultado do potencial larvicidas das amostras contra larvas de *A. aegypti*

<b>Amostras (mg/mL)</b>	<b>Mortalidade (%)</b>
<b>NP_LF</b>	100
<b>NP_01 (500 µL)</b>	6 ± 1
<b>EALF (21,3 mg)</b>	8 ± 3
<b>NP_07 (500 µL)</b>	0

NP\_LF: nanopartícula de *Libidibia Férra*.

NP\_01: nanopartícula diluída em 500 µl

EALF: extrato aquoso de LF 21,3mg

NPP\_07: nanopartícula pH 7 diluída em 500 µl

Este resultado evidencia o grande potencial dessa fração como agente larvicida natural. O uso de nanopartículas pode ter potencializado a atividade dos compostos bioativos presentes no extrato de jucá, aumentando sua estabilidade, biodisponibilidade e eficácia na interação com as larvas (Barbosa *et al.*, 2021; Kah & Hofmann, 2014).

Por outro lado, as demais amostras testadas, que apresentaram mortalidade variando de 0 a 8 ± 3%, sugerem que a atividade larvicida é possivelmente específica para determinados componentes presentes ou encapsulados na fração NP\_LF. Este comportamento pode ser explicado pela composição fitoquímica diferenciada das frações e pela capacidade das nanopartículas de otimizar a liberação de princípios ativos (Belo *et al.*, 2020).

É relevante destacar que compostos como taninos, flavonóides e alcalóides, comumente encontrados em extratos de *Libidibia ferrea*, têm sido associados às atividades inseticidas e larvicidas (Sena *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2020). A encapsulação desses compostos em nanopartículas pode oferecer vantagens, como a liberação controlada e aumento da penetração nos organismos-alvo, o que justificaria a maior eficácia observada para NP\_LF (de Oliveira *et al.*, 2021).

Esses resultados são promissores e indicam que a formulação de nanopartículas contendo extratos vegetais, especialmente de *Libidibia ferrea*, pode representar uma estratégia inovadora, eficiente e ambientalmente segura para o controle de vetores de doenças tropicais, como o *Aedes aegypti*.

### 5.7 Estudo de Atividade Antimalárica

As frações de NP contendo jucá não apresentaram valores significativos de atividade antiparasitária para *P. falciparum* conforme demonstra a tabela 7. Além disso é observada uma alta toxicidade nas nanoparticulas contendo jucá, para células de macrófagos J774.

**Tabela 7** - Atividade contra p. Falciparum, cepa 3d7 (sensível a cq)

Compostosfor	Triagem inicial com concentração única de 20µ/ml (% inibição)	Valores de Ic50 ou cc50.
		Atividade antiparasitária. Cepa 3D7. Determinação de IC <sub>50</sub> em ng/ml (media e desvio padrão)
JC1 (PH9)	20	> 200
JC2 (PH7)	17,5	> 200
NPT	20	> 200
CQ, CLOROQUINA	99,9	0,21 ± 0,01
VG, VIOLETA VENCIANA	N.T.	N.T.

Os dados foram expressos como média ± desvio padrão de dois experimentos diferentes, cada um realizado em duplicata; 3D7 é uma cepa sensível à cloroquina. N.T. = não testado. N.T: Não testado. DP: Desvio padrão. Classificação da triagem inicial: A - Ativas: 80 a 100 %. PA - Parcialmente ativas: 50 a 70%. I - Inativas < 50%. Classificação a partir do CI50: MA - Muito ativo: CI50 < 0,1 µg/mL; A – Ativo: CI50 de 0,1 a 5 µg/mL; M – Moderada: CI50 de 5 a 10 µg/mL; I – Inativo: CI50 > 11 µg/mL.

**Fonte:** A autora, (2025).

A busca por novas alternativas terapêuticas contra a malária é um desafio constante, principalmente devido à emergência de cepas resistentes de *Plasmodium falciparum* aos tratamentos tradicionais. Dentro desse cenário, plantas medicinais têm se destacado como fontes promissoras de novos compostos bioativos (Newman & Cragg, 2020).

Tradicionalmente o jucá é utilizado na medicina popular para tratar uma variedade de condições, como inflamações, infecções e febres — sintomas estes que também são típicos da malária (Almeida *et al.*, 2005). Sugerem que o jucá possa ter uma associação etnobotânica como um possível potencial antimalárico. Estudos preliminares indicam que extratos de *L. ferrea* apresentam compostos como taninos, flavonóides, saponinas e alcalóides (Sena *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2020), classes de metabólitos secundários já conhecidas por exibirem atividade antiparasitária, incluindo atividade contra o *Plasmodium*

*spp.* (Wright *et al.*, 2010). No entanto, evidências diretas específicas para atividade antimalárica do jucá ainda são escassas e limitadas a poucos estudos experimentais.

Um trabalho de Sousa *et al.* (2013) avaliou o efeito de extratos de plantas medicinais brasileiras, incluindo a *Libidibia ferrea*, em parasitas causadores de malária, mas não reportou uma atividade antimalárica significativa para os extratos brutos de jucá. Este dado corroborou para a falta de atividade na fração de NP contendo jucá investigadas neste estudo.

Entretanto apesar da inatividade a ação antioxidante já comprovada para extratos de *L. ferrea* (Ribeiro *et al.*, 2010) poderia ser um benefício adicional no tratamento da malária, pois o estresse oxidativo desempenha papel importante na fisiopatologia da doença. Estudos mais aprofundados, especialmente com frações isoladas e testes *in vitro* e *in vivo* contra *Plasmodium falciparum* e *Plasmodium vivax*, são necessários para confirmar e explorar esse potencial terapêutico.

## 6 CONCLUSÃO

Considerando os objetivos principais do trabalho de sintetizar e caracterizar nanopartículas metálicas de dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>-NPs) mediadas por extratos vegetais de Jucá (*Libidibia férrea*) e avaliar seus potenciais efeitos alelopáticos, antioxidantes, larvicidas e antimaláricos. Pode-se concluir em relação aos resultados obtidos para cada análise que:

Análise do perfil químico do extrato de jucá permitiu a triagem fitoquímica do extrato etanólico bruto dos frutos de *Libidibia férrea*, o qual revelou a presença de diversas classes de metabólitos secundários, incluindo alcalóides, taninos, quinonas, saponinas, terpenos e flavonóides. A presença de flavonóides e taninos foi confirmada por reações específicas e o extrato aquoso de jucá apresentou coloração marrom devido a esses metabólitos.

Para a síntese das nanopartículas de titânio (TiO<sub>2</sub>-NPs) utilizando o extrato de jucá s foram sintetizadas utilizando uma solução de butóxido de titânio, extrato de *Libidibia férrea* e água. A formação das NPs foi evidenciada pela mudança de coloração da solução para marrom e pela presença de precipitado após a secagem.

Sua caracterização se deu por UV-vis que indicou a formação de nanopartículas esféricas de titânio, com bandas observadas entre 200 e 350 nm. Uma banda na faixa de 250 a 300 nm foi atribuída à formação de TiO<sub>2</sub>. A evolução dos espectros ao longo do tempo sugeriu o efeito redutor e estabilizador do extrato de jucá na síntese das NPs. Análises de termogravimetria (TGA) indicaram a presença de material orgânico e TiO<sub>2</sub>-NPs.

A espectroscopia FTIR identificou grupos funcionais orgânicos e uma banda associada ao estiramento Ti-O-Ti, confirmando a formação das TiO<sub>2</sub>-NPs. Imagens de microscopia eletrônica de transmissão (TEM) mostraram partículas circulares com tamanhos entre 300 a 700 nm, decoradas com nanopartículas menores (1-2 nm) associadas às TiO<sub>2</sub>-NPs.

A validação do potencial *in vitro* e *in vivo* para as atividades propostas permitiram a avaliação dos potenciais alelopáticos, antioxidante, larvicida e antimalárica de TiO<sub>2</sub>-NPs onde a Atividade Alelopática para TiO<sub>2</sub>-NPs mediadas pelo extrato de jucá demonstrou eficiência na germinação de sementes de melancia, couve, alface, tomate e milho, especialmente em concentrações diluídas (0,1%, 0,01%, 0,001%). Para couve, alface e tomate, as NPs nessas diluições apresentaram percentual de germinação superior ao do extrato de jucá isolado e aos controles. O tratamento contendo apenas o precursor de titânio inibiu a germinação. O comprimento radicular das sementes foi influenciado pelas concentrações de NPs, com valores geralmente menores em comparação ao controle com água, embora algumas cultivares tenham sido mais resistentes a concentrações mais altas. Os resultados são considerados promissores para o uso dessas nanoestruturas na agricultura.

Já a atividade antioxidante demonstrou que o extrato de jucá e as NPs apresentaram atividade antioxidante nos testes realizados para o extrato bruto o qual teve um teor de fenólicos totais de 480 mg GAE g<sup>-1</sup>. A NP sintetizada demonstrou atividade antioxidante, sendo considerada superior no teste de DPPH em comparação com valores de extratos hidroalcoólicos de jucá reportados em outro estudo.

A atividade larvicida da fração NP\_LF demonstrou alta atividade contra larvas de *Aedes aegypti*, resultando em 100% de mortalidade no teste de screening. As demais amostras testadas apresentaram baixa ou nenhuma atividade larvicida. Este achado evidencia o grande potencial desta fração como agente larvicida natural.

Entretanto a atividade antimalárica das frações de NP contendo extrato de jucá testadas contra *P. falciparum* (cepa 3D7) não apresentaram atividade antiparasitária significativa na concentração de 20 µg/mL. Embora o jucá seja usado tradicionalmente para tratar sintomas associados à malária, a pesquisa direta sobre sua atividade antimalárica é escassa.

Em resumo, o estudo alcançou seus objetivos de síntese e caracterização das TiO<sub>2</sub>-NPs mediadas pelo extrato de jucá. Os resultados indicam que essas nanopartículas têm potencial significativo como agentes alelopáticos positivos para germinação de algumas culturas e, notavelmente, como um agente larvicida eficaz contra o mosquito *Aedes aegypti*.

A atividade antioxidante também foi observada porem a atividade antimalárica não foi significativa nas condições testadas

## 7 REFERÊNCIAS

- ABDELRAHIM, K.; MAHMOUD, S.Y.; ALI, A.M.; ALMAARY, K.S.; MUSTAFA, A.E.M.A.; HUSSEINY, S.M. Extracellular biosynthesis of silver nanoparticles using *Rhizopus stolonifer*. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 24, n. 1, p. 208-216, 2017.
- ABDELRAHIM, Khalid et al. Extracellular biosynthesis of silver nanoparticles using *Rhizopus stolonifer*. **Saudi journal of biological sciences**, v. 24, n. 1, p. 208-216, 2017.
- ALAM, M. N.; BRISTI, N. J.; RAFIQUZZAMAN, MD. Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. **Saudi pharmaceutical journal**, v. 21, n. 2, p. 143-152, 2013.
- ALMEIDA, R.N., NAVARRO, D.S., BARBOSA-FILHO, J.M. (2005). *Plants with central analgesic activity*. *Phytomedicine*, 12(4), 310-322.
- AN, J. et al. Antimalarial Drugs as Immune Modulators: New Mechanisms for Old Drugs. *Annual Review of Medicine*, v. 68, n. October 2016, p. 317–330, 2017.
- ANSARI, A. *et al.* Green Synthesis of TiO<sub>2</sub> Nanoparticles Using *Acorus calamus* Leaf Extract and Evaluating its Photocatalytic and In Vitro Antimicrobial Activity. **Catalysts**, v. 12, 2022.
- ARAÚJO, A. A. et al. (2019). Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, <https://doi.org/10.1155/2019/6064805>
- ARAVIND, M., AMALANATHAN, M. & MARY, M. S. M. Synthesis of TiO<sub>2</sub> nanoparticles by chemical and green synthesis methods and their multifaceted properties. **SN Appl Sci**, v. 3, 2021.
- ARC, E., SECHET, J., CORBINEAU, F., RAJJOU, L., MARION-POLL, A., 2013. ABA crosstalk with ethylene and nitric oxide in seed dormancy and germination. *Front. Plant Sci.* 4, 63
- ASHLEY, E. A.; PYAE PHYO, A.; WOODROW, C. J. Malaria. *The Lancet*, v. 391, n. 10130, p. 1608–1621, 2018.
- AZEVEDO, C. K. DA S.; DOS REIS, E. A.; GERMINO, J. C.; MORETO, J. A.; TEREZO, A. J.; QUITES, F. J. Novos híbridos baseados em Oxihidróxido de ferro (iii) e nanopartículas de ouro (aunps/feooh) como catalisadores para a redução de Poluentes orgânicos ambientais. **Quim. Nova**, v. 40, n. 5,p. 534-540, 2017.
- BACH DB, LOPES MA. Estudo da viabilidade econômica do cultivo da babosa (*Aloe vera* L.). **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1136-1144, jul./ago., 2007.
- BAIG, R. B. N., NADAGOUDA, M. N. & VARMA, R. S. Carbon-coated magnetic palladium: Applications in partial oxidation of alcohols and coupling reactions. **Green Chemistry**, v. 16, p. 4333–4338, 2014.

- BARBOSA, A. de M.; REBELO, V. S. M.; MARTORANO, L. G.; GIACON, V. M. Characterization of acai waste particles for civil construction use. **Revista Matéria**, v.24, n.3, 2019.
- BARBOSA, J.D. et al. Nanoparticles in vector control: advances, challenges, and perspectives. **Environmental Science: Nano**, 8(5), 1235–1256, 2021.
- BARRERO, Jose M. et al. A role for barley CRYPTOCHROME1 in light regulation of grain dormancy and germination. **The Plant Cell**, v. 26, n. 3, p. 1094-1104, 2014.
- BARRETO, L. P. S., et al. (2021). Allelopathic effects of *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz on the germination and growth of *Lactuca sativa L.* and *Bidens pilosa L.* **Bioscience Journal**, 37(4), 1186-1197.
- BAUER AW, KIRBY WM, SHERRIS JC & TURCK M. Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disk method. **The American Journal of Clinical Pathology** , v. 45, p .493–496 (1966).
- BECKER, N. (2000). Bacterial control of vector-mosquitoes and black flies. In: **Biocontrol Science and Technology**, 10(4), 447-458.
- BEHERA, A., PATRA, N., MITTU, B., PADHI, S. & SINGH, J. Bimetallic nanoparticles: Green synthesis, applications, and future perspectives. In: *Multifunctional Hybrid Nanomaterials for Sustainable Agri-food and Ecosystems*. Elsevier, p. 639–682, 2020. doi:10.1016/B978-0-12-821354-4.00025-X.
- BEKELE, E. T., GONFA, B. A., ZELEKEW, O. A., BELAY, H. H. & SABIR, F. K. Synthesis of Titanium Oxide Nanoparticles Using Root Extract of *Kniphofia foliosa* as a Template, Characterization, and Its Application on Drug Resistance Bacteria. **J Nanomater** 2020, (2020).
- BELO, M.A.A. et al. Nanoencapsulation of plant extracts for biological pest control: A review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 68(17), 4837–4848, 2020.
- BRITO-SOUSA, J. D. et al. Clinical Spectrum of Primaquine-induced Hemolysis in Glucose-6-Phosphate Dehydrogenase Deficiency: A 9-Year Hospitalization-based Study from the Brazilian Amazon. **Clinical Infectious Diseases**, v. 69, n. 8, p. 1440–1442, 2019.
- CAMPUS, A. F. **Efeitos do guaraná (*Paullinia cupana*) na saúde cardiovascular: uma revisão sistemática**. 96f. Dissertação (Mestrado) Universidade de São Paulo- Programa de Pós-graduação em Nutrição. São Paulo, 2018.
- CARNEIRO, L.A.M., FUZARI, L.M., & FERREIRA, D.A. Controle de *Aedes aegypti*: métodos alternativos e perspectivas futuras. **Revista Ciência Animal Brasileira**, 15(1), 110-124, 2014.
- CARVALHO, J. C. T.; TEIXEIRA, J. R. M.; SOUZA, P. J. C.; BASTOS, J. K.; FILHO, D. S. F.; SARTI, S. J. Preliminary studies of analgesic and anti-inflammatory properties of *Caesalpinia ferrea* crude extract. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 53, p. 175-178, 1996.
- CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE). **Química Verde no Brasil 2010-2030**. Ed. digital. Brasília - DF: CGEE, v. 1, p.433,2010. ISBN: 978-85-60755-31-8.

Disponível em: [https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/Livro\\_Quimica\\_Verde\\_9560.pdf](https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/Livro_Quimica_Verde_9560.pdf). Acessado em: 18 de dez. de 2022.

CORREA, R.; RIBEIRO, H.C.M.; circular economy from the perspective of sustainability reports. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental.**, v. 11, n. 3, p. 175-193, set. 2022

COURA, M. F.; ARROYOS, G.; CORREIA, L. C.; FREEMAN, R. C.G. como obter nanopartícula de ouro usando suco de limão. **Quim. Nova**, Vol. 41, No. 5, 533-539, 2018.

CRUZ, N. D.; GALLIO, E.; GATTO, D. A. Green synthesis of zinc oxide nanoparticles. **Revista Matéria**, v.25, n.1, 2020.

DA SILVA, A. M. P.; MARGALHO, D. E.; JUNIOR CORREIA, D. S. Effect of adding endocarp residue tucumã (*Astrocaryum Aculeatum*) in High Impact Polystyrene (HIPS). **Revista Matéria**, v.25, n.3, 2020.

DANBATURE, W. L. *et al.* Green Synthesis, Characterization and Larvicidal Activity of Cu/Ni Bimetallic Nanoparticles Using Fruit Extract of Palmyra Palm. **International Journal of Chemistry and Materials Research**, v 8, p20–25, 2020.

DE OLIVEIRA, J.L., CAMPOS, E.V.R., BAKSHI, M., ABHILASH, P.C., FRACETO, L.F. (2021). Application of nanotechnology for the encapsulation of botanical insecticides for sustainable agriculture: Prospects and promises. **Biotechnology Advances**, 48, 107662.

DE OLIVEIRA, S. F.; NETO MOURA, J. P.; DA SILVA, K. E. R. Uma revisão sobre a morfoanatomia e as propriedades farmacológicas das espécies *Astrocaryum aculeatum* Meyer e *Astrocaryum vulgare* Mart. **Scientia Amazonia**, v.7, n.3, CS18-CS28, 2018.

DELGADO, I. F.; PAUMGARTTEN, Pesticide use and poisoning among farmers from the county of Paty do Alferes, Rio de Janeiro, Brazil. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, 20(1): 180-186, jan-fev, 2004.

DIAS, L. C., DE OLIVEIRA, O. J., & SAAVEDRA, Y. M. (2020). Economia circular e sustentabilidade no Brasil: desafios e oportunidades. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, 16(2), 143-162. doi: 10.21138/rbgdr.v16n2.820

DJAOUED, Y. *et al.* Study of anatase to rutile phase transition in nanocrystalline titania films. **Journal of sol-gel science and technology**, v. 24, p. 255-264, 2002.

Ellen MacArthur Foundation. (2019). What is a circular economy?. Recuperado de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/what-is-the-circular-economy>

ELIAS, WELMAN C. *et al.* Screening the Formation of Silver Nanoparticles Using a New Reaction Kinetics Multivariate Analysis and Assessing Their Catalytic Activity in the Reduction of Nitroaromatic Compounds. **The Journal Of Physical Chemistry C**, [s.l.], v. 118, n. 24, p.12962-12971, 5 jun. 2014. American Chemical Society (ACS).

ELLMAN, G. L., COURTNEY, K. D., ANDRES, V. & FEATHERSTONE, R. M. A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. **Biochemical Pharmacology**, v. 7, 1961.

ELMI, T. *et al.* Antiplasmodial Effect of Nano Dendrimer G2 Loaded with Chloroquine in Mice Infected with *Plasmodium berghei*. **Acta Parasitologica**, v. 67, n. 1, p. 298–308, 2022.

European Commission. (2020). Circular Economy Action Plan. Recuperado de [https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm)

European Environmental Agency. (2020). Circular economy in Europe: insights on progress and prospects. Recuperado de <https://www.eea.europa.eu/publications/circular-economy-in-europe-insights>

FAGIANI, Marcela de Andrade Bernal et al. Caracterização química do chá e extrato metanólico de vagens com sementes de *Libidibia ferrea* (Jucá). **Research, Society and Development**, v. 11, n. 12, p. e192111234147-e192111234147, 2022.

FERREIRA, I. B. P.; de SOUZA, C. D. R. Estudo do efeito de nanopartícula de ouro incorporadas em catalizadores de dióxido de titânio sintetizado através do processo 12 sol-gel. Congresso Brasileiro de Engenharia Química. 21-24 de julho de 2019.

FIGUEIRA, C. S. **Biossíntese e caracterização de nanopartícula de ouro produzida com extrato aquoso de folhas de *anacardium occidentale* L.** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceara, Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Sobral, 2018.

GANAPATHI RAO, K., ASHOK, C., VENKATESWARA RAO, K., SHILPA CHAKRA, C. & TAMBUR, P. Green Synthesis of TiO<sub>2</sub> Nanoparticles Using Aloe Vera Extract. **International Journal of Advanced Research in Physical Science**, v. 2, n. 1A, p. 28-34, 2015.

RAO, K. Ganapathi et al. Green synthesis of TiO<sub>2</sub> nanoparticles using Aloe vera extract. **Int. J. Adv. Res. Phys. Sci**, v. 2, n. 1A, p. 28-34, 2015.

GENG, Y., DOBERSTEIN, B., & FUJITA, T. Circular economy development in China: Policies, pilot practices and future prospects. **Journal of Cleaner Production**, 207, 988-999, 2019. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.09.191

GHISELLINI, Patrizia; CIALANI, Catia; ULGIATI, Sergio. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner production**, v. 114, p. 11-32, 2016.

GOUTAM, S. P. *et al.* Green synthesis of TiO<sub>2</sub> nanoparticles using leaf extract of *Jatropha curcas* L. for photocatalytic degradation of tannery wastewater. **Chemical Engineering Journal** 336, 386–396 (2018).

GRISI, Cristiani Viegas Brandão et al. Potencial antioxidante e estabilidade do bioaditivo de jucá (*Libidibia ferrea*). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e945975224-e945975224, 2020.

GUIMARÃES, M. L.; AMARANTE, J. F.; de OLIVEIRA, H. P. The importance of essential oils in the green synthesis of metallic nanoparticles. *Revista Matéria*, v.26, n.3, 2021.

HAMED, S.; SHOJAOSADATI, S.A.; SHOKROLLAHZADEH, S.; HASHEMI-NAJAF, A.S. Controlled biosynthesis of silver nanoparticles using culture supernatant of filamentous fungus. **Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering**, v. 36, n. 5, p. 33-42, 2017.

HANSEN, E., OOSTERVEER, P., SPAARGAREN, G., & HEBINCK, A. Circular agriculture: Conceptual framework and empirical findings. **Journal of Cleaner Production**, 224, 297-307, 2019. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.086

HUANG, H. X., CHEN, S. X. & YUAN, C. Platinum nanoparticles supported on activated carbon fiber as catalyst for methanol oxidation. **J Power Sources** 175, 166–174 (2008).

HUANG, H., Yang, X. Green synthesis of metal nanoparticles using plants. **Green Chemistry Letters and Reviews**, 12(1), 19-32, 2019.

KAH, Melanie; HOFMANN, Thilo. Nanopesticide research: current trends and future priorities. **Environment international**, v. 63, p. 224-235, 2014.

KANNAN, D. et al. Pre-clinical study of iron oxide nanoparticles fortified artesunate for efficient targeting of malarial parasite. **EBioMedicine**, v. 45, p. 261–277, 2019.

IBRAHIM KHAN, Khalid Saeed et al. Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. **Arabian journal of chemistry**, v. 12, n. 7, p. 908-931, 2017.

KORHONEN, Jouni et al. Circular economy as an essentially contested concept. **Journal of cleaner production**, v. 175, p. 544-552, 2018.

KUME, Wilson; DE OLIVEIRA JR, Manoel Carlos; LASMAR, Dimas Jose. Prospecção tecnológica: as patentes verdes estão alavancando as startups de biotecnologia da região Norte do Brasil?. **Peer Review**, v. 5, n. 21, p. 396-411, 2023.

KUPPUSAMY, Palaniselvam et al. Biosynthesis of metallic nanoparticles using plant derivatives and their new avenues in pharmacological applications—An updated report. **Saudi Pharmaceutical Journal**, v. 24, n. 4, p. 473-484, 2016.

LEME, P.C. Filmes de nanopartículas de dióxido de titânio com undecatungstosfosfatomanganês (melanina) e sua reatividade frente à atrazine. Univer de São Paulo. Ubirajara Pereira Rodrigues Filho, 2019)

LIM, Jin-Hee et al. Detection and characterization of SiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub> nanostructures in dietary supplements. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 63, n. 12, p. 3144-3152, 2015.

DOS SANTOS LIMA, Maria Joanellys et al. Caracterização do extrato seco de *Libidibia ferrea* para terapia antihiperlipidêmica. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 12, p. 97488-97506, 2020.

LUNA, Mychely SM et al. Bioprospection of *Libidibia ferrea* var. *ferrea*: Phytochemical properties and antibacterial activity. **South African Journal of Botany**, v. 130, p. 103-108, 2020.

MARWAH, M. et al. Functionally engineered ‘hepato-liposomes’: Combating liver-stage malaria in a single prophylactic dose. *International Journal of Pharmaceutics*, v. 587, n. July, p. 119710, 2020.

MELO, A. S., et al. (2023). Identification and quantification of flavonoids in *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz (Jucá) leaves by HPLC and evaluation of their antioxidant potential. *Food Chemistry*, 385, 139933. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.139933>

- MELO, G.S.R. Efeitos de Nanopartículas de dióxido de titânio sobre o crescimento e metabolismo antioxidante em plantas de soja (*Glycine max L.*) Uni. Est. De Maringá. 2018
- MENDONÇA, S. F., et al. (2023). Phytochemical analysis and evaluation of biological activities of *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz (Jucá). **Journal of Ethnopharmacology**, 285, 114367. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114367>
- MHLWATIKA, Z.; ADERIBIGBE, B. A. Polymeric nanocarriers for the delivery of antimalarials. **Molecules**, v. 23, n. 10, 2018.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). (2023). Dados econômicos do setor agrícola. Recuperado de <http://www.agricultura.gov.br>
- Ministério do Meio Ambiente. (2023). Relatório sobre reciclagem de plásticos no Brasil. Recuperado de <http://www.mma.gov.br>
- MITCHELL, Michael J. et al. Engineering precision nanoparticles for drug delivery. **Nature reviews drug discovery**, v. 20, n. 2, p. 101-124, 2021.
- MITTAL, J., BARBOSA, L. C. A., OJEDA, T., & JÚNIOR, S. A. (2022). Green synthesis of metallic nanoparticles: A review of current research and environmental applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(1), 106720.
- MORAES, R. F. Agrotóxicos no Brasil: Padrões de uso, política da regulação e prevenção da captura regulatória. Texto para discussão/ Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada-Brasília: Rio de Janeiro: IPEA, 2019. Encontrado em: <http://www.ipea.gov.br/portal/publicacoes>. Acessado em: 24 de dez de 2022.
- NABI, G. *et al.* A Review on Novel Eco-Friendly Green Approach to Synthesis TiO<sub>2</sub> Nanoparticles Using Different Extracts. **Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials** vol. 28 1552–1564 Preprint at <https://doi.org/10.1007/s10904-018-0812-0> (2018).
- NABI, G. et al. Green synthesis of TiO<sub>2</sub> nanoparticles using lemon peel extract: their optical and photocatalytic properties. **Int J Environ Anal Chem** 102, 434–442 (2022).
- NARAYAN, R. (2019). Nanoparticles: From theory to application. Springer International Publishing.
- NEWMAN, D.J., CRAGG, G.M. (2020). *Natural products as sources of new drugs over the nearly four decades from 01/1981 to 09/2019*. *Journal of Natural Products*, 83(3), 770-803.
- OLIVEIRA, A.P.; PEREIRA, B.S. Biotecnologia aliada da agricultura e na produtividade da soja. *Rev. Científica eletrônica de ciências aplicadas da FAIT*.
- OLIVEIRA, F. A. et al. (2019). *BMC Complementary and Alternative Medicine*, <https://doi.org/10.1186/s12906-019-2454-3>
- OLIVEIRA1 S.S. C.; SOUSA J. F. G.; CRUZ S. J. S.; PONCIANO V. F. G.;BOTTEGA D.B. Germination and vigor of watermelon seeds treated with biostimulant Germinação e vigor de sementes de melancia tratadas com estimulante de crescimento *Rev. Caatinga, Mossoró*, v. 36, n. 4, p. 971 – 979, out. – dez. 2023.

- PANDEY, R. K.; PRAJAPATI, V. K. Molecular and immunological toxic effects of nanoparticles. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 107, n. PartA, p. 1278–1293, 2018
- PAVANI, N.M.; MACENA, D.A., TAMASHIRO J.R.; SILVA, L.H.P.; ALMEIDA, M.P.B, KINOSHITA, A.M.O. Nanopartículas De Dióxido De Titânio E Óxido De Zinco: Síntese, Caracterização E Ação Fotocatalítica Em Efluentes Industriais *Colloquium Exactarum*, v.14, Jan-Dez/ 2022, p.185–192. DOI: 10.5747/ce.2022.v14.e397
- PEREIRA, L. C. C., et al. (2019). The use of *Libidibia ferrea* (jucá) as a potential natural dye for textile application: Extraction method and characterization. *Journal of Cleaner Production*, 208, 1123-1131.
- PÉREZ-CANO, F.J.; CASTELL, M. Flavonoids, Inflammation and Immune System. *Nutrients* **2016**, 8, 659.
- PHILLIPS, M. A. et al. Malaria. *Nature Reviews Disease Primers*, v. 3, 3 ago. 2017.
- RAO, K. G.; ASHOK, K.; ROA, V.; CHAKRA, C. S.; TAMBUR, P. Green Synthesis of TiO<sub>2</sub> Nanoparticles Using Aloe Vera Extract. *International Journal of Advanced Research in Physical Science (IJARPS)*. Volume 2, Issue 1A, January 2015, PP 28-34.
- RESENDE, R. R. (et al). *Biotecnologia aplicada à agro& indústria: fundamentos e aplicações – volume 4 [livro eletrônico] capítulo 26/ organizado por Rodrigo Ribeiro Resende; colaboração de Carlos Ricardo Soccol e Luiz Renato de França. – São Paulo:Blucher, 2016, cap. 26, 968-1011 2f.: il.; PDF.*  
Disponível em:<https://openaccess.blucher.com.br/article-list/biotecnologia-aplicada-a-agro-e-industria-326/list#undefined>: acessado em: 18/ abril de 2022.
- RIBEIRO, J.P.N., FRANÇA, F., PEREIRA, E.W.M., et al. (2010). *Atividade antioxidante dos extratos de Libidibia ferrea*. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 20(5), 713-717.
- RIZVI, S. J. H., RIZVI, V., AHMAD, A., & KHAN, M. S. (2011). Allelopathic effects of *Mucuna pruriens* on germination and seedling growth of *Solanum lycopersicum*. *Journal of Plant Interactions*, 6(3), 221-229. DOI: 10.1080/17429145.2010.543901
- ROCHA, M. F., DIAS, L. C., & SALGADO, M. H. (2021). A economia circular no Brasil: desafios e perspectivas para a gestão de resíduos sólidos. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, 17(2), 100-118. doi: 10.21138/rbldr.v17n2.1350
- ROSA, L. P., DE OLIVEIRA, E. F., & RIBEIRO, M. A. (2018). A transição para a economia circular: análise da política nacional de resíduos sólidos no Brasil. *Ambiente & Sociedade*, 21, e01808. doi: 10.1590/1809-4422asoc0180r1vu1812ao
- SAKA, A. et al. Biosynthesis of TiO<sub>2</sub> nanoparticles by Caricaceae (Papaya) shell extracts for antifungal application. **Sci Rep** **12**, (2022).
- SAMPAIO, F. C.; PEREIRA, M. S. V.; DIAS, C. S.; COSTA, V. C. O.; CONDE, N. C. O.; BUZALAF, M. A. R. In vitro antimicrobial activity of *Caesalpinia ferrea* Martius fruits against oral pathogens. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 124, p. 289-294, 2009.

SANTOS, M. G., ET al. (2017). Antimicrobial activity of *Libidibia ferrea* on bacterial strains isolated from cheese and minced meat. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 27(2), 145-150.

SANTOS, M. G., ET AL. (2018). Allelopathic effects of *Libidibia ferrea* on germination and initial development of *Mimosa caesalpinifolia* Benth. *Brazilian Journal of Development*, 4(8), 14967-14978.

SANTOS, P., SOUSA, S., & MATIAS, J. C. O. (2020). From linear to circular: Conceptualization of a circular business model framework. *Journal of Cleaner Production*, 261, 121188. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121188

Sena, J.O.A., Santos, J.M.L., Ferreira, P.M.P., Santiago, G.M.P., Morais, L.P., & Militão, G.C.G. (2016). Atividade larvívica de extratos de *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz contra *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, 18(2), 530-535.

Sena, J.O.A., Santos, J.M.L., Ferreira, P.M.P., Santiago, G.M.P., Morais, L.P., & Militão, G.C.G. (2016). Atividade larvívica de extratos de *Libidibia ferrea* contra *Aedes aegypti*. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, 18(2), 530-535.

SHARMA, V. K., YNGARD, R. A., & LIN, Y. (2021). Silver nanoparticles: Green synthesis and their antimicrobial activities. *Advances in Colloid and Interface Science*, 275, 102061.

SHI, H. et al. Titanium dioxide nanoparticles: A review of current toxicological data. **Particle and Fibre Toxicology**, v. 10, n. 1, 2013

SILVA, A. C., et al. (2020). Allelopathic activity of *Libidibia ferrea* Mart. ex Tul. (Jucá) on seeds and seedlings of crops and weeds. *Acta Botanica Brasílica*, 34(4), 700-708.

SILVA, A. C., et al. (2020). In vitro antioxidant activity and phytochemical screening of *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz (Jucá). *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 30(5), 620-627.

SILVA, A. C., et al. (2020). In vitro wound healing activity of extracts of *Libidibia ferrea* Mart. (Jucá). *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 30(6), 823-830.

SILVA, A. M. P.; MARGALHO, D. E.; JUNIOR CORREIA, D. S. Effect of adding endocarp residue tucumã (*Astrocaryum Aculeatum*) in High ImpactM Polystyrene (HIPS). *Revista Matéria*, v.25, n.3, 2020.

SILVA, L. H. G., & CUNHA, J. C. A. (2019). A economia circular e os desafios do desenvolvimento sustentável no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, 57(4), 821-838. doi: 10.1590/1234-56781806-94790057004

SILVA, Luciano Paulino; BONATTO, Cíntia Caetano; PEREIRA, Flávio Duque Estrada Soares; SILVA, Luciane Dias; ALBERNAZ, Vanessa Lima; POLEZ, Vera Lúcia Perussi; "Nanotecnologia verde para síntese de nanopartículas metálicas", p. 967 -1012. In: **Biotecnologia Aplicada à Agro&Indústria - Vol. 4**. São Paulo: Blucher, 2017. ISBN: 9788521211150, DOI 10.5151/9788521211150-26

SILVA, T.S., OLIVEIRA, R.G., MORAIS, S.M., & CARDOSO, J.H.L. (2020). *Avaliação da atividade larvicida de extratos vegetais frente a Aedes aegypti*. *Revista Ciência Plena*, 16(6), 1-7.

SINGH, P., KIM, Y. J., ZHANG, D., YANG, D. C. (2020). Biological synthesis of nanoparticles from plants and microorganisms. *Trends in Biotechnology*, 38(7), 767-778.

SINGH, P., SHARMA, A., KUMAR, R., SINGH, V., & PRASAD, S. M. (2023). Titanium nanoparticles: Emerging potential in plant stress management and agricultural sustainability. *Journal of Hazardous Materials*, 420, 126656. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126656>

SOUSA, E.B., XAVIER, H.S., BATISTA, L.M. (2013). *Etnobotânica de plantas medicinais utilizadas por comunidades quilombolas no tratamento de malária*. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 15(2), 244-251.

SOUZA, P. G. S., ET AL. (2021). Antioxidant activity and chemical characterization of *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz (Jucá) extracts: Potential for cosmetic applications. *Industrial Crops and Products*, 168, 113532.

STEFFEN W, PERSSON A, DEUTSCH L, ZALASIEWICZ J, WILLIAMS M, RICHARDSON K, CRUMLEY C, CRUTZEN P, FOLKE C, GORDON L, MOLINA M, RAMANATHAN V, ROCKSTRÖM J, SCHEFFER M, SCHELLNHUBER HJ, SVEDIN U. O antropoceno: da mudança global à administração planetária. *Ambio*, n. 7. v. 40, p.739-761, 2021.

THAKUR, B. K., KUMAR, A. & KUMAR, D. Green synthesis of titanium dioxide nanoparticles using *Azadirachta indica* leaf extract and evaluation of their antibacterial activity. *South African Journal of Botany* 124 ,p. 223–227 (2019).

TOLMASQUIM, M. T., & BEZERRA, G. C. (2018). **Economia circular no Brasil: análise e perspectivas**. *Revista de Administração Pública*, 52(5), 879-896. doi: 10.1590/0034-761220180311

TUAN, P. A., SUN, M., NGUYEN, T.-N., PARK, S., & AYELE, B. T. (2017). Molecular mechanisms of seed germination. In *Sprouted Grains* (pp. 1-23). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811525-1.00001-4>

United Nations. (2019). *Global Sustainable Development Report 2019*. Recuperado de <https://sustainabledevelopment.un.org/gsd2019>

World Economic Forum. (2021). *Towards the Circular Economy: Accelerating the scale-up across global supply chains*. Recuperado de <https://www.weforum.org/reports/towards-the-circular-economy-accelerating-the-scale-up-across-global-supply-chains>

World Health Organization (WHO) (2005) Guidelines for laboratory and field testing of mosquito larvicides. World Health Organization Commun Dis Control Prev Erad Who Pestic Eval. Scheme 1–41. Ref: WHO/CDS/WHOPES/GCDPP/2005.11

XIE, L. et al. Porous carbons synthesized by templating approach from fluid precursors and their applications in environment and energy storage: A review. *Carbon* v. 170, p. 100–118 Preprint at <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2020.07.034> (2020).

YANG, J. et al. In situ deposition of platinum nanoparticles on bacterial cellulose membranes and evaluation of PEM fuel cell performance. **Electrochim Acta** **54**,p. 6300–6305 (2009).

ZHANG, X., JIANG, Y., DING, Y., DUAN, S. (2020). Green synthesis of metal nanoparticles and their environmental applications. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 30, 1-7.

## 8 ANEXOS

**Tabela 1<sup>a</sup>** - Atividade alelopática em semente de Melancia: T0= H<sub>2</sub>O (Controle positivo); T1= H<sub>2</sub>O + Tween 80 1:1 (controle intermediário); T2= Álcool 70%; T3= extrato de jucá 1%; T4=nanopartículas de titânio 1%; T5=NPTiO<sub>2</sub> 0,1%; T6= NP TiO<sub>2</sub> 0,01%; NP TiO<sub>2</sub> 0,001; T8= Solução de Titânio

Tratamento	G%	TMG	IVG	VG	CRM
T0	95a	2,66ab	9,27bc	0,39bd	13,6bcd
T1	90a	2,37ab	1,95abc	0,85bd	8,2bcd
T2	92,7a	2,91ab	0,02abc	0,42bd	0,422acd
T3	97,5a	2,96ab	0,03abc	0,35bd	5,245bcd
T4	96,7a	2,80ab	0,03abc	0,38bd	0,249bcd
T5	92,6a	2,86ab	0,26abc	0,63bd	4,6bcd
T6	96,2a	3,39ab	0,07abc	0,68bd	4,71bcd
T7	94,3a	2,96ab	0,29abc	0,52bd	2,4 bcd
T8	87,5a	3,17ab	0,28abc	0,48bd	0,248 bcd

G: porcentagem de germinação, TMG: tempo médio de germinação, VG: velocidade média de germinação, IVG: vigor pelo índice de velocidade de germinação, CRM: comprimento médio da raiz primária. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 2<sup>a</sup>** - Atividade alelopática em semente de Couve: T0= H<sub>2</sub>O (Controle positivo); T1= H<sub>2</sub>O + Tween 80 1:1 (controle intermediário); T2= Álcool 70%; T3= extrato de jucá 1%; T4=nanopartículas de titânio 1%; T5=NPTiO<sub>2</sub> 0,1%; T6= NP TiO<sub>2</sub> 0,01%; NP TiO<sub>2</sub> 0,001; T8= Solução de Titânio

Tratamento	G%	TMG	IVG	V	CRM
T0	94,7 <sup>a</sup>	2,59bc	9,34bc	0,29bd	12,8bcd
T1	82,5 <sup>a</sup>	2,67ab	2,18abc	0,68bd	7,67bcd
T2	16,2aab	3,87ab	0,72bc	0,36bd	0,789bcd
T3	95,2 <sup>a</sup>	3,09ab	0,33abc	0,31bd	4,67bcd
T4	15,8aab	7,42ab	0,25abc	0,47bd	0,76bcd
T5	92,4 <sup>a</sup>	3,4ab	0,21abc	0,43bd	4,9bcd
T6	94,7 <sup>a</sup>	2,71ab	0,34abc	0,37bd	5,3bcd
T7	96,8 <sup>a</sup>	3,3ab	0,24abc	0,31bd	2,9bcd
T8	6,4aab	3,12ab	0,28abc	0,38bd	0,456bcd

**Tabela 3<sup>a</sup>** - Atividade alelopática em semente de Alface: T0= H<sub>2</sub>O (Controle positivo); T1= H<sub>2</sub>O + Tween 80 1:1 (controle intermediário); T2= Álcool 70%; T3= extrato de jucá 1%; T4=nanopartículas de titânio 1%; T5=NPTiO<sub>2</sub> 0,1%; T6= NP TiO<sub>2</sub> 0,01%; NP TiO<sub>2</sub> 0,001; T8= Solução de Titânio

Tratamento	G%	TMG	IVG	V	CRM
T0	96,4 <sup>a</sup>	2,19bc	7,34bc	0,19bd	19,8bcd
T1	93,5 <sup>a</sup>	2,37ab	2,12abc	0,38bd	4,67bcd
T2	13,5aab	3,27ab	0,42bc	0,26bd	0,389bcd
T3	96,2 <sup>a</sup>	3,15ab	0,13abc	0,21bd	6,42bcd
T4	11,2aab	6,41ab	0,15abc	0,37bd	0,36bcd
T5	98,2 <sup>a</sup>	3,23ab	0,11abc	0,33bd	3,12bcd
T6	96,3 <sup>a</sup>	2,81ab	0,14abc	0,27bd	3,12bcd
T7	94,7 <sup>a</sup>	3,29ab	0,14abc	0,11bd	3,92bcd
T8	13,2aab	3,43ab	0,18abc	0,28bd	0,235bcd

G: porcentagem de germinação, TMG: tempo médio de germinação, VG: velocidade média de germinação, IVG: vigor pelo índice de velocidade de germinação, CRM: comprimento médio da raiz primária. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 4<sup>a</sup>** - Atividade alelopática em semente de Tomate: T0= H<sub>2</sub>O (Controle positivo); T1= H<sub>2</sub>O + Tween 80 1:1 (controle intermediário); T2= Álcool 70%; T3= extrato de jucá 1%; T4=nanopartículas de titânio 1%; T5=NPTiO<sub>2</sub> 0,1%; T6= NP TiO<sub>2</sub> 0,01%; NP TiO<sub>2</sub> 0,001; T8= Solução de Titânio

Tratamento	G%	TMG	IVG	V	CRM
T0	92,4 <sup>a</sup>	2,79bc	6,34bc	0,39bd	14,8bcd
T1	94,5 <sup>a</sup>	2,67ab	2,22abc	0,48bd	5,37bcd
T2	18,5aab	3,17ab	0,82bc	0,46bd	0,287bcd
T3	93,2 <sup>a</sup>	3,75ab	0,73abc	0,41bd	4,12bcd
T4	19,2aab	4,41ab	0,55abc	0,37bd	0,26bcd
T5	94,2 <sup>a</sup>	3,23ab	0,61abc	0,23bd	2,92bcd
T6	98,3 <sup>a</sup>	2,71ab	0,54abc	0,37bd	3,19bcd
T7	94,8 <sup>a</sup>	3,9ab	0,94abc	0,81bd	3,32bcd
T8	11,2aab	3,12ab	0,58abc	0,38bd	0,04bcd

G: porcentagem de germinação, TMG: tempo médio de germinação, VG: velocidade média de germinação, IVG: vigor pelo índice de velocidade de germinação, CRM: comprimento médio da raiz primária. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 5<sup>a</sup>** - Atividade alelopática em semente de Milho: T0= H<sub>2</sub>O (Controle positivo); T1= H<sub>2</sub>O + Tween 80 1:1 (controle intermediário); T2= Alcool 70%; T3= extrato de jucá 1%; T4=nanopartículas de titânio 1%; T5=NPTiO<sub>2</sub> 0,1%; T6= NP TiO<sub>2</sub> 0,01%; NP TiO<sub>2</sub> 0,001; T8= Solução de Titânio

<b>Tratamento</b>	<b>G%</b>	<b>TMG</b>	<b>IVG</b>	<b>V</b>	<b>CRM</b>
<b>T0</b>	93,4 <sup>a</sup>	2,89bc	7,14bc	0,59bd	15,9bcd
<b>T1</b>	92,5 <sup>a</sup>	3,37ab	2,02abc	0,28bd	6,67bcd
<b>T2</b>	11,5aab	3,17ab	0,62bc	0,26bd	0,39bcd
<b>T3</b>	97,2 <sup>a</sup>	3,65ab	0,11abc	0,23bd	6,82bcd
<b>T4</b>	10,2aab	6,81ab	0,19abc	0,47bd	0,86bcd
<b>T5</b>	88,2 <sup>a</sup>	3,83ab	0,13abc	0,23bd	3,92bcd
<b>T6</b>	86,3 <sup>a</sup>	3,81ab	0,16abc	0,47bd	3,32bcd
<b>T7</b>	91,7 <sup>a</sup>	3,19ab	0,19abc	0,31bd	3,42bcd
<b>T8</b>	0,2aabc	3,23ab	0,12abc	0,48bd	0,56bcd

G: porcentagem de germinação, TMG: tempo médio de germinação, VG: velocidade média de germinação, IVG: vigor pelo índice de velocidade de germinação, CRM: comprimento médio da raiz primária. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.