

**INSTITUTO FEDERAL GOIANO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *LATO SENSU* EM BIOINSUMOS
CAMPUS CERES**

AILYN DE OLIVEIRA VILELA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL BIOHERBICIDA DO ÓLEO ESSENCIAL DAS
FOLHAS DE *Eugenia dysenterica* (MART.) DC**

CERES, GO

2026

AILYN DE OLIVEIRA VILELA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL BIOHERBICIDA DO ÓLEO ESSENCIAL DAS
FOLHAS DE *Eugenia dysenterica* (MART.) DC**

Monografia apresentada à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação *lato sensu* em Bioinsumos do Instituto Federal Goiano como exigência parcial para obtenção do título de Especialista em Bioinsumos.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Marcela Carmen de Melo Burger.

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Joelma Abadia Marciano de Paula.

CERES, GO

2026

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

V699a Vilela, Ailyn de Oliveira
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL BIOHERBICIDA DO ÓLEO
ESSENCIAL DAS FOLHAS DE Eugenia dysenterica (MART.)
DC / Ailyn de Oliveira Vilela. Ceres 2026.

21f.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Marcela Carmen de Melo Burger.
Coorientadora: Prof^ª. Dra. Joelma Abadia Marciano de Paula.
Monografia (Especialista) - Instituto Federal Goiano, curso de
0330426 - Especialização em Bioinsumos - Ceres (Campus
Ceres).

1. Cerrado. 2. Cagaita. 3. Bioinsumos. 4. Fotossistema II. 5.
Fluorescência da clorofila a. I. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 158/2026 - GE-CE/DE-CE/CMPCE/IFGOIANO

Regulamento de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) 3 CEBIO/IF Goiano

ANEXO V - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos vinte e cinco dias do mês de março de dois mil e vinte e seis, às 15:40 horas, reuniu-se a Banca Examinadora composta por: Prof^ª. Dra. Marcela Carmen de Melo Burger (orientadora), Prof^ª. Dra. Fabiana Aparecida Marques (membro interna) e Prof^ª. Dra. Monica Lau da Silva Marques (membro interna) para examinar o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “Avaliação do potencial bioherbicida do óleo essencial das folhas de *Eugenia dysenterica* (Mart.) DC”, da estudante do curso de Especialização em Bioinsumos do IF Goiano – Campus Ceres, sob Matrícula nº 2024103304260001. A palavra foi concedida à estudante para a apresentação oral do TC, em seguida houve arguição do candidato pelos membros da Banca Examinadora. Após tal etapa, a Banca Examinadora decidiu pela APROVAÇÃO da estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata, que, após apresentação da versão corrigida do TC, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Campus Ceres, 27 de março de 2026.

(Assinado eletronicamente)

Marcela Carmen de Melo Burger

Orientadora

(Assinado eletronicamente)

Fabiana Aparecida Marques

Membro da Banca Examinadora

(Assinado eletronicamente)

Mônica Lau da Silva Marques

Membro da Banca Examinadora

Documento assinado eletronicamente por:

- **Marcela Carmen de Melo Burger**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 31/03/2026 11:22:40.
- **Fabiana Aparecida Marques**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 31/03/2026 12:28:57.
- **Monica Lau da Silva Marques**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 31/03/2026 13:52:45.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 31/03/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 806105
Código de Autenticação: 85ffed3e3d



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Ceres
Rodovia GO-154, Km 03, SN, Zona Rural, CERES / GO, CEP 76300-000
(62) 3307-7100

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO

PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS

NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Ailyn de Oliveira Vilela

Matrícula:

2024103304260001

Título do trabalho:

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL BIOHERBICIDA DO ÓLEO ESSENCIAL DAS FOLHAS DE Eugenia dysenterica (MART.) DC

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 15 /04 / 2026

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Ceres, GO

14 /04 / 2026

Documento assinado digitalmente
 AILYN DE OLIVEIRA VILELA
Data: 14/04/2026 17:41:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Local

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

Documento assinado digitalmente



MARCELA CARMEN DE MELO BURGER
Data: 14/04/2026 16:53:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dedico este trabalho ao meu marido, Leidiomar Rodrigues Santos, por estar sempre ao meu lado, apoiando meus sonhos e incentivando minha busca constante pelo conhecimento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as bênçãos em minha vida e por sempre me proporcionar oportunidades de aprendizado e crescimento.

Ao meu marido, Leidiomar Rodrigues Santos, por todo o apoio, incentivo e compreensão ao longo dessa jornada.

À minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Marcela Carmen de Melo Burger, e à minha coorientadora Prof^a. Dr^a. Joelma Abadia Marciano de Paula, pela orientação, dedicação e valiosas contribuições para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Instituto Federal Goiano e a toda a equipe do CEBIO, pelo suporte e pela estrutura disponibilizada para a realização desta especialização.

Às instituições de fomento e apoio à pesquisa, FAPEG e FUNAPE, pelo incentivo e suporte à especialização em Bioinsumos.

À Universidade Estadual de Goiás e à Universidade Federal de Mato Grosso, pela colaboração institucional e contribuição para o desenvolvimento deste trabalho, por meio das Prof^{as}. Dr^{as}. Joelma Abadia Marciano de Paula e Olívia Moreira Sampaio, respectivamente.

À Rúbia de Almeida, mestranda do Programa de Pós-Graduação em Química (PPGQ) da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), pelo apoio e contribuições durante a realização desta pesquisa.

E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta pesquisa.

“NO CAMPO DA OBSERVAÇÃO, O
ACASO FAVORECE APENAS A MENTE
PREPARADA.”

Louis Pasteur

BIOGRAFIA DO ALUNO

Ailyn de Oliveira Vilela, brasileira, filha de Maria Antônia Ferreira Oliveira Souza e de Samuel Vilela de Souza, é Engenheira Agrícola e Ambiental e mestre em Engenharia Agrícola, com atuação voltada para pesquisa e desenvolvimento de tecnologias aplicadas à agricultura sustentável. Ao longo de sua trajetória acadêmica e profissional, tem se dedicado ao estudo de recursos naturais, manejo sustentável e desenvolvimento de bioinsumos, com ênfase em alternativas que contribuam para sistemas produtivos mais eficientes e ambientalmente responsáveis. Possui experiência em atividades de ensino, pesquisa e elaboração de trabalhos técnico-científicos, especialmente nas áreas de pós-colheita e aproveitamento de recursos do Cerrado. Seu interesse científico está relacionado à busca por soluções inovadoras baseadas em processos naturais que promovam a sustentabilidade da produção agrícola.

RESUMO

O controle de plantas daninhas representa um desafio crítico na agricultura, respondendo por perdas estimadas em 34% na produtividade global. Embora o uso de herbicidas sintéticos seja a estratégia predominante, crescentes preocupações ambientais e o surgimento de resistência em plantas invasoras têm impulsionado a busca por bioherbicidas baseados em metabolismos naturais. Nesse contexto, os óleos essenciais surgem como fontes promissoras de compostos fitotóxicos capazes de interferir em processos vitais como a fotossíntese. O presente trabalho avaliou o potencial bioherbicida do óleo essencial das folhas de *Eugenia dysenterica* (Mart.) DC, espécie nativa do Cerrado brasileiro com reconhecida relevância ecológica e fitoquímica. O material vegetal foi coletado em Rianópolis-GO e o óleo extraído por hidrodestilação em aparelho Clevenger. A caracterização química foi realizada por CG/EM e identificou predominância de (E)-cariofileno, mirceno, α -humuleno, β -selineno e (E)- β -ocimeno. A atividade fitotóxica foi analisada via ensaios de fluorescência da clorofila *a* em discos foliares de *Spinacia oleracea*. Os resultados demonstraram que o óleo essencial de *E. dysenterica* causa danos severos ao aparato fotossintético de forma dose-dependente, por meio de redução drástica nos índices de desempenho (PI_{ABS} e PI_{CS_0}) e do fluxo de transporte de elétrons (ET_0/CS_0), e por meio da desativação dos centros de reação (RC/CS_0), apresentando, em concentrações superiores a 100 mg L⁻¹, eficácia comparável ao herbicida comercial DCMU. Os efeitos inibitórios sugerem uma interferência direta no Fotossistema II (FSII), possivelmente pelo bloqueio do transporte eletrônico no sítio receptor da quinona. Dessa forma, conclui-se que o óleo essencial de *E. dysenterica* possui expressivo potencial para o desenvolvimento de bioinsumos voltados ao manejo sustentável de plantas daninhas, aliando eficiência biológica à redução de impactos ambientais.

Palavras-chave: Cerrado. Cagaita. Bioinsumos. Fotossistema II. Fluorescência da clorofila *a*.

ABSTRACT

Weed control represents a critical challenge in agriculture, accounting for estimated losses of about 34% in global productivity. Although the use of synthetic herbicides remains the predominant strategy, increasing environmental concerns and the emergence of resistance in invasive plants have driven the search for bioherbicides based on natural metabolites. In this context, essential oils emerge as promising sources of phytotoxic compounds capable of interfering with vital processes such as photosynthesis. The present study evaluated the bioherbicidal potential of the essential oil from the leaves of *Eugenia dysenterica* (Mart.) DC, a species native to the Brazilian Cerrado with recognized ecological and phytochemical relevance. The plant material was collected in Rianópolis, Goiás, Brazil, and the oil was extracted by hydrodistillation. Chemical characterization was performed using GC/MS and revealed the predominance of (E)-caryophyllene, myrcene, α -humulene, β -selinene, and (E)- β -ocimene. Phytotoxic activity was analyzed through chlorophyll *a* fluorescence assays in leaf discs of *Spinacia oleracea*. The results demonstrated that the essential oil of *E. dysenterica* causes severe damage to the photosynthetic apparatus in a dose-dependent manner, through a drastic reduction in performance indices (PI_{ABS} and PI_{CS_0}) and in electron transport flux (ET_0/CS_0), as well as through the deactivation of reaction centers (RC/CS_0). At concentrations above 100 mg L⁻¹, its efficacy was comparable to the commercial herbicide DCMU. The inhibitory effects suggest direct interference with Photosystem II (PSII), possibly through blockage of electron transport at the quinone acceptor site. Therefore, it is concluded that the essential oil of *E. dysenterica* has significant potential for the development of bioinputs aimed at the sustainable management of weeds, combining biological efficiency with reduced environmental impacts.

Keyword: Cerrado. Cagaita. Bioinputs. Photosystem II. Chlorophyll *a* fluorescence.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. OBJETIVOS	5
3. CAPÍTULO I	7
3.1 INTRODUÇÃO	8
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	9
3.2.1 Coleta do material vegetal e extração do óleo essencial.....	9
3.2.2 Extração e identificação do óleo essencial	10
3.2.3 Ensaio de fluorescência da clorofila <i>a</i> (Chl <i>a</i>)	10
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	16
3.5 REFERÊNCIAS	16
4. CONCLUSÃO GERAL	19
5. REFERÊNCIAS	20

1. INTRODUÇÃO GERAL

O controle de plantas daninhas constitui um dos principais desafios na produção agrícola, uma vez que essas espécies competem diretamente com as culturas por recursos essenciais como água, luz, nutrientes e espaço, podendo reduzir significativamente a produtividade das lavouras. Estima-se que as plantas daninhas causam perdas de cerca de 34% na produtividade das principais culturas agrícolas e um prejuízo econômico de US\$ 32 bilhões por ano na produção vegetal (Kumar et al., 2022; Kubiak et al., 2022). Para o controle, a estratégia mais difundida é o uso de herbicidas sintéticos devido à sua elevada eficiência e facilidade de aplicação (Kumar et al., 2016; Paul et al., 2024). Entretanto, o uso intensivo e contínuo desses produtos tem gerado preocupações ambientais e agronômicas, incluindo contaminação de solos e recursos hídricos, impactos sobre organismos não alvo e o surgimento de populações de plantas daninhas resistentes aos herbicidas (Kubiak et al., 2022; Das et al., 2024).

Diversos estudos propõem alternativas mais sustentáveis para o manejo de plantas daninhas (Kubiak et al., 2022; Paul et al., 2024). Entre essas alternativas destacam-se os bioherbicidas, que são produtos derivados de organismos vivos ou de metabólitos naturais capazes de interferir no crescimento e desenvolvimento das plantas. Compostos naturais produzidos por plantas, microrganismos e fungos têm sido amplamente investigados por apresentarem atividade fitotóxica e potencial aplicação no controle de plantas indesejáveis (Nath et al., 2024). Esses compostos podem atuar em diferentes processos fisiológicos, como germinação, crescimento radicular, respiração celular e fotossíntese.

Entre os produtos naturais de interesse agronômico, os óleos essenciais têm recebido destaque devido à sua ampla diversidade química e às múltiplas atividades biológicas que apresentam. Os óleos essenciais são misturas complexas de substâncias voláteis produzidas por diversas espécies vegetais, sendo compostos principalmente por terpenos, monoterpenos, sesquiterpenos e compostos fenólicos. Essas substâncias desempenham funções ecológicas importantes nas plantas, atuando na defesa contra herbívoros, patógenos e na competição com outras espécies vegetais por meio de mecanismos alelopáticos. Estudos têm demonstrado que diversos óleos essenciais possuem capacidade de interferir no crescimento de plantas, afetando processos fisiológicos e bioquímicos fundamentais (Raveau et al., 2020).

Os efeitos fitotóxicos dos óleos essenciais podem estar associados a diferentes mecanismos de ação, incluindo alterações na atividade mitótica e interferência em processos fotossintéticos (Fagodia et al., 2017). A fotossíntese, por sua vez, é um dos processos fisiológicos mais importantes para o crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo responsável pela conversão da energia luminosa em energia química. Esse processo ocorre em duas etapas principais: a fase luminosa, que ocorre nos tilacoides dos cloroplastos, e a fase escura, associada ao ciclo de Calvin (Taiz et al., 2017). Na fase luminosa da fotossíntese, Fotossistema II (FSII) e Fotossistema I (FSI) atuam em série, convertendo energia luminosa em energia química (ATP e NADPH) e produzindo O_2 a partir da água.

O FSII é um complexo formado por proteínas e pigmentos localizado na membrana dos tilacoides dos cloroplastos que captam a energia luminosa para iniciar o processo da fotossíntese (Amerongen e Croce, 2013; Shevela et al., 2023). Nesse sistema, as moléculas de clorofila e carotenoides presentes nas antenas absorvem fótons e transferem essa energia para o centro de reação denominado P680. Quando excitado pela luz, o P680 doa um elétron para uma sequência de moléculas transportadoras constituída pela feofitina, plastoquinona A e plastoquinona B, dando início à cadeia transportadora de elétrons. Após perder o elétron, o P680 torna-se altamente oxidante ($P680^+$) que será reduzido novamente, a partir da molécula de água via complexo de evolução de oxigênio (OEC). O OEC, por sua vez, catalisa a fotólise da água em quatro etapas, conhecidas como ciclo de Kok, acumulando 4 oxidações. Ao final desse processo, ocorre a liberação de oxigênio molecular (O_2), além de prótons e elétrons. Os elétrons liberados voltam a abastecer o centro de reação, enquanto a plastoquinona reduzida transporta elétrons e prótons até o complexo citocromo b_6/f . Esse transporte contribui para a formação de um gradiente de prótons no interior do tilacoide, o qual será utilizado pela enzima ATP sintase para produzir ATP. Dessa forma, o FSII atua como uma oxidorreductase dependente de luz, promovendo a transferência de elétrons da água para a plastoquinona.

Devido à importância do FSII no processo de fotossíntese e, conseqüentemente, no metabolismo vegetal, diversos herbicidas comerciais amplamente utilizados na agricultura tem como principal alvo o FSII, sendo conhecido como herbicidas da classe “inibidores do Fotossistema II”. Quando aplicado, o herbicida dessa classe bloqueia o fluxo de elétrons na fotossíntese, gerando estresse oxidativo e morte dos tecidos foliares. Isso se dá pelo fato de que o herbicida se liga ao sítio QB da proteína D1 no centro de reação do FSII, competindo com a plastoquinona e bloqueando a transferência de elétrons

de QA para QB (Battaglino et al., 2021). Com isso, ocorre uma rápida queda na eficiência fotossintética causando alterações OJIP, queda do índice de desempenho e aumento de dissipação em calor, antes mesmo dos sintomas visíveis na planta (Leal et al., 2023). Assim, a avaliação da inibição do FSII tem sido amplamente utilizada como ferramenta para identificar compostos com potencial atividade herbicida (Veiga et al., 2008; Battaglino et al., 2021; Pádua et al., 2024).

Nesse contexto, compostos naturais capazes de interferir na atividade do FSII têm despertado grande interesse científico, uma vez que podem representar uma fonte promissora para o desenvolvimento de herbicidas de base biológica. A identificação de metabólitos vegetais com capacidade de inibir processos fotossintéticos contribui para o avanço do conhecimento sobre mecanismos naturais de defesa das plantas, além de ampliar as possibilidades de aplicação desses compostos na agricultura sustentável. Entre as espécies vegetais com potencial para a produção de compostos bioativos destaca-se a *Eugenia dysenterica*, popularmente conhecida como cagaita. Essa espécie pertence à família Myrtaceae e é amplamente distribuída no bioma Cerrado, onde apresenta grande importância ecológica e econômica. A planta produz frutos comestíveis amplamente utilizados na alimentação humana e possui diversas propriedades farmacológicas e nutraceuticas já descritas na literatura científica (Alves et al., 2017; Donado- Pestana et al., 2018; Araújo et al., 2021).

Além de sua importância alimentar, diferentes partes da planta de *E. dysenterica*, como folhas, frutos e cascas, apresentam elevada concentração de metabólitos secundários, incluindo compostos fenólicos, flavonoides e terpenoides. Esses compostos estão frequentemente associados a atividades biológicas como propriedades antioxidantes, antimicrobianas, anti-inflamatórias e inseticidas (Lima et al., 2010; 2011; Galheigo et al., 2016; Panche et al., 2016; Silva et al., 2018). Estudos recentes têm indicado que os óleos essenciais extraídos de espécies da família Myrtaceae apresentam potencial bioativo significativo, sugerindo que essas plantas podem representar uma fonte promissora de compostos naturais com aplicação no desenvolvimento de bioinsumos agrícolas (Barbosa et al., 2024; Santos et al., 2024).

Dessa forma, a investigação do potencial bioherbicida de óleos essenciais obtidos de espécies nativas do Cerrado representa uma estratégia relevante para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis voltadas à agricultura. A avaliação da capacidade de inibição do FSII por compostos presentes no óleo essencial de *Eugenia dysenterica* pode contribuir para a identificação de moléculas com potencial aplicação no

manejo de plantas daninhas, ampliando as possibilidades de utilização de recursos naturais no desenvolvimento de bioherbicidas.

2. OBJETIVOS

GERAL: Avaliar o potencial do óleo essencial de folhas de *E. dysenterica* como bioherbicida.

ESPECÍFICOS:

Realizar a extração de óleo essencial a partir de folhas de *E. dysenterica*.

Identificar a composição química do óleo essencial de *E. dysenterica*.

Determinar a influência da aplicação do óleo essencial de *E. dysenterica* nos parâmetros da fluorescência da clorofila *a* (Chl *a*).

FOLHA DE ROSTO

Após a conclusão do trabalho, o manuscrito será submetido a um periódico científico da área, cujas normas editoriais orientaram a organização e formatação deste artigo. A escolha da revista considerará sua classificação no sistema Qualis CAPES e, quando aplicável, o fator de impacto definido pelo Journal Citation Reports (JCR).

3. CAPÍTULO I

PROSPECÇÃO DE BIOHERBICIDA A PARTIR DO ÓLEO ESSENCIAL DE FOLHAS DE *Eugenia dysenterica* (MART.) DC

Resumo: *Eugenia dysenterica* (Mart.) DC (Myrtaceae), popularmente conhecida como cagaiteira, é uma espécie nativa do Cerrado com reconhecida importância biológica e econômica. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo identificar os constituintes químicos do óleo essencial das folhas de *E. dysenterica* e avaliar sua capacidade de inibição do Fotossistema II (FSII), visando o desenvolvimento de alternativas sustentáveis aos herbicidas sintéticos. O material vegetal foi coletado em Rianópolis/GO e o óleo essencial extraído por hidrodestilação em aparelho tipo Clevenger. A caracterização química foi realizada via cromatografia em fase gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG/EM), onde foram identificados compostos como o (E)-cariofileno e o mirceno como os principais constituintes da substância. A atividade fitotóxica foi avaliada por meio de ensaios de fluorescência da clorofila *a* em discos foliares de *Spinacia oleracea*, utilizando concentrações entre 50 e 1000 mg L⁻¹. Os resultados demonstraram que o óleo essencial causa danos severos ao aparato fotossintético de forma dose-dependente, apresentando eficácia semelhante à do herbicida comercial DCMU. Conclui-se que o óleo essencial de *E. dysenterica* possui um expressivo potencial para o desenvolvimento de novos bioherbicidas, contribuindo para o manejo integrado e sustentável de plantas daninhas.

Palavras-chave: Compostos secundários. Bioinsumos. Fotossistema II. Fluorescência da clorofila *a*.

PROSPECTION OF A BIOHERBICIDE FROM THE ESSENTIAL OIL OF LEAVES OF *Eugenia dysenterica* (MART.) DC

Abstract: *Eugenia dysenterica* (Mart.) DC (Myrtaceae), popularly known as “cagaiteira”, is a species native to the Brazilian Cerrado with recognized biological and economic importance. Therefore, the present study aimed to identify the chemical constituents of the essential oil extracted from the leaves of *E. dysenterica* and to evaluate its inhibitory capacity on Photosystem II (PSII), aiming at the development of sustainable alternatives to synthetic herbicides. The plant material was collected in Rianópolis, Goiás, Brazil, and the essential oil was extracted by hydrodistillation using a Clevenger-type apparatus. Chemical characterization was performed by gas chromatography coupled with mass spectrometry (GC/MS), which identified compounds such as (E)-caryophyllene and myrcene as the main constituents of the substance. Phytotoxic activity was evaluated through chlorophyll *a* fluorescence assays in leaf discs of *Spinacia oleracea*, using concentrations ranging from 50 to 1000 mg L⁻¹. The results showed that the essential oil causes severe damage to the photosynthetic apparatus in a dose-dependent manner, presenting efficacy similar to that of the commercial herbicide DCMU. It is concluded that the essential oil of *E. dysenterica* has significant potential for the development of new bioherbicides, contributing to integrated and sustainable weed management.

Key-words: Secondary compounds. Bioinputs. Photosystem II. Chlorophyll *a* fluorescence.

3.1 INTRODUÇÃO

O Cerrado constitui o segundo maior bioma do Brasil, ocupando aproximadamente 22% do território nacional, com área em diversos estados, incluindo Goiás. Esse bioma possui ampla importância na produção de espécies frutíferas que contribuem para a conservação da biodiversidade, são parte da riqueza cultural, apresentam diversas aplicações medicinais e aromáticas e são fonte de renda para muitas famílias (Mota et al., 2016; Chuba et al., 2019). Entre essas espécies destaca-se a *Eugenia dysenterica* (Mart.) DC., pertencente à família Myrtaceae, que tem seus frutos conhecidos como cagaita e podem ser consumidos *in natura* ou processados.

Para além do aproveitamento dos frutos, as folhas da árvore de *E. dysenterica* representam uma fonte expressiva de metabólitos secundários com reconhecida bioatividade. Estudos fitoquímicos relatam a presença de terpenos, flavonóides (como catequina, quercetina e derivados elágicos), taninos (elagitaninos e proantocianidinas), além de folatos e carotenoides. Esses compostos estão associados a propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, antimutagênicas, anticarcinogênicas, antidiarreicas, antidiabéticas (Lima et al., 2010; 2011; Galheigo et al., 2016; Panche et al., 2016; Silva et al., 2018), o que justifica o interesse crescente das indústrias farmacêutica, cosmética e alimentícia. No caso específico do óleo essencial extraído das folhas, diferentes investigações têm demonstrado atividades biológicas relevantes, incluindo ação repelente contra mosquitos vetores (*Aedes aegypti* e *Culex quinquefasciatus*), atividade antifúngica frente a espécies de *Cryptococcus* e efeito antimicrobiano contra *Streptococcus* spp., bem como atividade tripanocida dose-dependente (Costa et al., 2000; Santos et al., 2019; Silva et al., 2022).

Apesar do amplo espectro de atividades biológicas já descritas, não foi encontrado registros sobre o potencial herbicida do óleo essencial de *E. dysenterica*. A prospecção de metabólitos bioativos com atividade fitotóxica tem ganhado destaque como estratégia para o desenvolvimento de bioherbicidas mais seletivos e ambientalmente seguros, especialmente diante da crescente resistência de plantas daninhas a herbicidas sintéticos e dos impactos ambientais associados ao seu uso intensivo. Pesquisas com terpenoides e compostos fenólicos de óleos essenciais de plantas tem demonstrado que o modo de ação desses compostos como bioherbicida age alterando membranas celulares e os processos de fotossíntese, respiração, divisão celular e síntese

de proteínas e ácidos nucleicos (Verdeguer et al., 2020; Hasan et al., 2021; Dolianitis et al., 2025).

Estudos sobre a interação de produtos naturais com os sítios da fotossíntese têm como objetivo descobrir modelos de herbicidas baseados em substâncias isoladas de plantas, os quais tem tido resultados promissores. Nesse processo, os herbicidas ligam-se, em geral, ao sítio QB da proteína D1, competindo com a plastoquinona, bloqueando o fluxo de elétrons, acumulando espécies reativas de oxigênio e, conseqüentemente, levando à morte da planta (Battaglino et al., 2021).

Pouresmaeil et al. (2020) realizaram o estudo do uso do óleo essencial de *Artemisia fragrans* no controle da planta daninha *Convolvulus arvensis*, e verificaram que o óleo inibiu a germinação e reduziu o crescimento de *C. arvensis*, afetando a biossíntese de pigmentos fotossintéticos, e interrompendo o fluxo de elétrons do FSII, o que levou ao estresse oxidativo da planta daninha. Veiga et al. (2008) mostraram que os alcaloides flindersina e N-metil-flindersina se comportam de maneira semelhante ao herbicida comercial DCMU (3-(3,4-diclorofenil)-1,1-dimetilureia), sendo que a N-metil-flindersina apresenta ainda um segundo mecanismo de ação que interfere na oxidação de plastoquinona (PQH₂).

Para identificar se novos compostos bloqueiam o FSII, medidas de fluorescência de clorofila *a*, como a curva OJIP, PI, ET/RC, Fv/Fm, entre outras, são amplamente empregadas, sinalizando atividade herbicida em potencial da substância (Battaglino et al., 2021; Pádua et al., 2024). Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo identificar os principais compostos do óleo essencial de *Eugenia dysenterica*, e avaliar a sua capacidade de inibição do Fotossistema II, por meio de medidas de fluorescência de Chl *a*, visando sua aplicação como uma alternativa sustentável aos herbicidas comerciais.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Coleta do material vegetal e extração do óleo essencial

As folhas de *Eugenia dysenterica* foram coletadas no mês de maio de 2025, no município de Rianópolis/GO (15°29'18"S 49°27'57"W), cadastro SISGEN n° A1D543E, pertencente a região do Vale de São Patrício, em áreas com vegetação típica dos Cerrados. A exsiccata, n° 15.137, do material vegetal está depositada no herbário do departamento de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Goiás.

O material foi submetido à secagem em estufa com circulação forçada de ar (MARCONI, modelo MA035/5) à 40 °C até atingir peso constante, conforme especificação da Farmacopeia Brasileira 7ª edição (Brasil, 2024) e triturados em liquidificador doméstico.

3.2.2 Extração e identificação do óleo essencial

A extração do óleo essencial foi conduzida no Laboratório de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação de Produtos da Biodiversidade (PD&I Bio) da Universidade Estadual da UEG. Para isso, \pm 500 g de folhas secas e trituradas foram submetidas à hidrodestilação, por 3h, em aparelho tipo Clevenger. O óleo essencial foi separado da água, coletado, dessecado em sulfato de sódio anidro (Na_2SO_4), acondicionado em recipiente fechado e protegido da luz, e estocado em freezer à -20 °C até a utilização.

A identificação dos compostos do óleo essencial foi realizada por cromatografia em fase gasosa, acoplada à espectrometria de massas (CG/EM). As análises foram conduzidas no Núcleo de Estudos e Pesquisas Tóxico-Farmacológicas (NEPET) da Universidade Federal de Goiás. Para tanto, uma amostra do óleo volátil foi diluída em hexano ($1 \text{ mg } 20 \text{ mL}^{-1}$) e submetida à análise CG/EM em aparelho GCMS-QP2010 Plus munido de coluna capilar de sílica fundida (CBP – 5; 30 m x 0,25 mm x 0,25 μm) a uma temperatura programada (60 °C/min; 240 °C/3 min; 280 °C/10min) e temperatura de injeção de 225 °C. Como gás de arraste foi utilizado hélio a um fluxo de 1 mL min^{-1} . O modo de injeção foi do tipo *splitless*. O espectrofotômetro foi programado para temperatura da fonte de íons de 240 °C, temperatura da interface de 240 °C, m/z 40 e m/z 350 e energia de ionização de 70 eV.

A identificação dos constituintes dos óleos essenciais foi realizada por comparação dos espectros de massas e Índices de Retenção (IR) calculados com os da literatura (Adams, 2007). Os Índices de Retenção foram calculados através da co-injeção de uma mistura de hidrocarbonetos, C8–C32 (Sigma, USA), e com aplicação da equação de Van den Dool e Kratz (1963).

3.2.3 Ensaios da fluorescência da clorofila *a* (Chl *a*)

Os ensaios da fluorescência da Chl *a* foram conduzidos no Laboratório de Estudo e Desenvolvimento de Herbicidas (LAEDH) da Universidade Federal de Mato Grosso.

Para a realização do ensaio, dez discos foliares de *Spinacia oleracea* (1,0 cm de diâmetro) foram colocados em placa de Petri contendo 20 mL de solução de Krebs. As amostras foram mantidas sob agitação constante, em ausência de luz, por 12 horas, à temperatura ambiente. Após o fotoperíodo, as soluções de óleo essencial foram adicionadas a cada placa de Petri e incubadas por mais seis horas.

As soluções de óleo essencial de folhas de *E. dysenterica* foram preparadas com 0,05% de Tween e 1% de dimetilsulfóxido (DMSO) em concentrações de 50, 100, 300, 600 e 1000 mg L⁻¹. Como controle negativo foram utilizadas placas de Petri contendo 0,05% de Tween e 1% de DMSO e como controle positivo foram utilizadas placas de Petri contendo o herbicida comercial DCMU (3-(3,4-diclorofenil)-1,1-dimetilureia).

Após o período de incubação, os discos foliares foram transferidos para condições de escuridão por 30 minutos para adaptação. Então, as medidas de fluorescência da Chl *a* foram registradas usando um fluorímetro da marca Handy PEA (*Plant Efficient Analyzer*) (Xiao et al., 2020; Yang et al., 2024) e processadas por meio do software Biolyzer[®]-HP3.

Os resultados das medições foram expressos como médias \pm erros padrões. Os dados foram analisados por meio da análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey B ao nível de 5% de significância. A análise estatística foi realizada no software IBM SPSS Statistics.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A hidrodestilação simples em aparelho Clevenger das folhas de *E. dysenterica* produziu um óleo límpido e incolor a amarelo pálido. O óleo obtido teve rendimento de 0,48% (m/m) e era formado por 37 compostos, sendo os majoritários os hidrocarboneto sesquiterpenos (E)-cariofileno, α -humuleno e β -selineno, e os hidrocarbonetos monoterpenos mirceno e (E)- β -ocimeno. Os constituintes majoritários e seus percentuais estão listados em ordem de eluição na Tabela 1.

O (E)-cariofileno (20,82%) foi o principal hidrocarboneto sesquiterpeno e o mirceno (15,23%) foi o principal hidrocarboneto monoterpeno, sendo os dois compostos encontrados em maior quantidade no óleo essencial seguidos do α -humuleno (14,66%), β -selineno (10,45%) e (E)- β -ocimeno (9,50), representando 70,66% da composição do óleo. Costa et al. (2000) também encontraram esses constituintes no óleo essencial de folhas de *E. dysenterica*, contudo, em proporções diferentes. O óleo obtido por esses

autores continha 14,8% de (E)-cariofileno, 1,1% de mirceno, 11,0% de α -humuleno, 0,5% de β -selineno e 0,2% de (E)- β -ocimeno, e concentrações maiores de δ -cadineno (5,8%) e de limoneno (5,5%). Silva et al. (2022) também encontraram altas concentrações de α -humuleno (12,53%) e de β -cariofileno (10,95%) no óleo essencial dessa espécie.

Tabela 1. Constituintes marjoritários do óleo essencial extraído, por hidrodestilação do tipo Clevenger, das folhas de *E. dysenterica*.

Nº Composto	TR	%	IR _{calculado}	IR _{literatura}	Constituinte
7	7,625	15,23	991,52	990	Mirceno
9	9,196	9,50	1036,90	1050	(E)- β -ocimeno
17	25,033	20,82	1424,32	1419	(E)-cariofileno
19	26,400	14,66	1458,14	1454	α -humuleno
22	27,712	10,45	1490,60	1490	β -selineno

Nota: TR = Tempo de Retenção; IR = Índice de Retenção.

A fluorescência da Chl *a* permite avaliar parâmetros estruturais, conformacionais e funcionais do FSII (Chen et al., 2015). Desta forma, os resultados obtidos dos ensaios de fluorescência da Chl *a* evidenciaram os efeitos tóxicos do óleo essencial de *E. dysenterica* em dose-dependente. O óleo essencial reduziu o parâmetro PI_{ABS} em 94% na concentração de 100 mg L⁻¹ chegando a uma redução de 100% em concentrações a partir de 600 mg L⁻¹ (Tabela 2). Da mesma forma, o parâmetro PI_(CS₀) reduziu em 94% após contato com o óleo essencial na concentração de 100 mg L⁻¹ chegando, também, a uma redução de 100% em concentrações a partir de 600 mg L⁻¹.

O índice de desempenho fotossintético (PI) é um indicador multiparamétrico da vitalidade e do comportamento do FSII, descrevendo sua atividade geral. O PI pode ser expresso como seção transversal (PI_{CS₀}), calculado com base na densidade de centros de reação redutores de Q_A⁻ do FSII (em t₀ ou t_{max}), ou como absorção (PI_{ABS}), determinado a partir da energia absorvida. O PI_{ABS} é uma das principais variáveis avaliadas, pois é a mais sensível para a detecção e quantificação de danos causados às plantas, e relaciona a eficiência de absorção, captura e transferência de energia de excitação do FSII, proporcionando uma melhor definição do grau de efeito do ambiente estressante. Dessa forma, a redução desses parâmetros indica que o óleo essencial causou estresse e danos irreversíveis ao aparato fotossintético, ao comprometer a eficiência do FSII (Slabbert e Kruger, 2011; Silva et al., 2024). Tais efeitos, em concentrações a partir de 100 mg L⁻¹,

apresentaram similaridade estatística aos observados para o herbicida comercial DCMU, empregado no experimento como controle positivo.

Tabela 2. Valores dos parâmetros da fluorescência da clorofila *a* (Chl *a*) obtidos por leitura no fluorímetro, após aplicação dos tratamentos.

	Controle	DCM U	50 mg L ⁻¹ 1	100 mg L ⁻¹ 1	300 mg L ⁻¹	600 mg L ⁻¹	1000 mg L ⁻¹
PI_{ABS}	100 ± 7,8 a*	0 ± 0,1 c	89 ± 5,8 b	6 ± 1,5 c	2 ± 0,6 c	0 ± 0,0 c	0 ± 0,0 c
PI_{CS₀}	100 ± 8,0 a	0 ± 0,0 c	81 ± 5,1 b	6 ± 1,4 c	1 ± 0,5 c	0 ± 0,1 c	0 ± 0,0 c
ABS/C So	100 ± 1,4 abc	331 ± 15,6 d	92 ± 1,4 c	100 ± 2,2 abc	96 ± 2,6 abc	103 ± 2,0 ab	110 ± 1,1 b
TR₀/CS o	100 ± 2,5 a	77 ± 14,4 b	90 ± 1,9 ab	53 ± 5,4 c	37 ± 4,3 c	14 ± 1,7 d	10 ± 1,8 d
ET₀/CS o	100 ± 3,6 ab	8 ± 1,1 d	84 ± 2,7 b	25 ± 3,9 c	14 ± 2,5 cd	6 ± 0,9 d	4 ± 0,8 d
DI₀/CS o	100 ± 4,5 a	1084 ± 54,2 d	96 ± 4,8 a	239 ± 16,9 b	338 ± 374 21,9 c	± 374 11,2 c	± 401 ± 6,7 c
RC/CS o	100 ± 3,2 a	43 ± 8,0 b	92 ± 2,6 a	44 ± 4,0 b	32 ± 3,6 b	15 ± 1,8 c	12 ± 2,1 c
V_J	100 ± 3,4 a	223 ± 10 c	113 ± 24,0 a	181 ± 30 b	182 ± 32 b	182 ± 35 b	195 ± 31 b

Nota: PI_{ABS} = Índice de desempenho por energia absorvida; PI_{CS₀} = Índice de desempenho por seção transversal; ABS/CS₀ = fluxo de absorção por seção transversal; TR₀/CS₀ = fluxo de energia aprisionada por seção transversal; ET₀/CS₀ = fluxo de transporte de elétrons por seção transversal; DI₀/CS₀ = fluxo de energia dissipada; RC/CS₀ = densidade de centros de reação ativos por seção transversal; V_J = fluorescência variável relativa na etapa J.

Outros parâmetros avaliados foram os de fluxos fenomenológicos de energia, sendo eles o fluxo de absorção por seção transversal (ABS/CS₀), o fluxo de energia aprisionada por seção transversal (TR₀/CS₀), o fluxo de transporte de elétrons por seção

transversal (ET_0/CS_0), o fluxo de energia dissipada (DI_0/CS_0), os centros de reação ativos por seção transversal (RC/CS_0).

O parâmetro ABS/CS_0 não apresentou, estatisticamente, redução ou aumento em relação ao controle. Esse comportamento indica que o óleo essencial não interfere no processo de absorção de energia. Já os parâmetros TR_0/CS_0 e ET_0/CS_0 apresentaram redução em dose-dependente; onde TR_0/CS_0 sofreu redução de 10, 47, 63, 86 e 90% nas concentrações de 50, 100, 300, 600 e 1000 mg L⁻¹, respectivamente, e; ET_0/CS_0 sofreu redução de 16, 75, 86, 94 e 96% nas concentrações de 50, 100, 300, 600 e 1000 mg L⁻¹, respectivamente.

Em condições favoráveis, o processo de fotossíntese ocorre a partir da absorção de energia no completo antena por meio dos pigmentos fotossintéticos, e os resultados de ABS/CS_0 indicam que esse processo não foi danificado com o uso do óleo essencial. Depois, os pigmentos fotossintéticos excitam os elétrons, iniciando o processo de transferência eletrônica. De acordo com os resultados, esses últimos processos foram comprometidos com o uso do óleo essencial como pode ser observado pela redução dos parâmetros TR_0/CS_0 e ET_0/CS_0 . A redução do parâmetro TR_0/CS_0 causada pelo óleo essencial de *E. dysenterica* chegou a ser maior que a redução causada pelo herbicida DCMU, enquanto o parâmetro ET_0/CS_0 foi igualmente reduzido a partir da concentração de 300 mg L⁻¹ do óleo essencial.

A diminuição do fluxo de elétrons, representada pelo parâmetro ET_0/CS_0 , demonstra que os efeitos no FSII estão diretamente relacionados ao processo de transporte eletrônico, indicando que o óleo essencial de *E. dysenterica* compromete o funcionamento normal da fotossíntese (Silva et al., 2024). A redução deste parâmetro de rendimento quântico, o qual mensuram a eficiência da transferência de elétrons, sugere interferência no sítio acceptor de elétrons da Quinona A–Quinona B (Hasan et al., 2021).

A presença do óleo essencial causou redução, também, no parâmetro RC/CS_0 , que apresentou decréscimos de 8%, 56%, 68%, 85% e 88% com o aumento da concentração a partir de 50 mg L⁻¹ até 1000 mg L⁻¹. Esse parâmetro descreve a quantidade de centros reacionais em atividade no aparato fotossintético e, quando diminuído, o processo da fotossíntese fica interrompido, pois os centros de reação do FSII foram desativados com a ação do óleo essencial (Hasan et al., 2021). Aplicações do óleo essencial de *E. dysenterica* a partir da concentração de 100 mg L⁻¹ causaram o mesmo efeito do herbicida comercial DCMU nos ensaios de chl *a*. Com o bloqueio do transporte de elétrons nessas seções, toda energia que seria gasta no processo de fotossíntese foi

dissipada, efeito corroborado pelos resultados do parâmetro DI_0/CS_0 que apresentou aumentos de 139, 238, 274 e 301% com as concentrações de 100, 300, 600 e 1000 mg L⁻¹, respectivamente. Nesse sentido, nenhuma das concentrações testadas apresentou o mesmo efeito do DCMU, que contribuiu com um aumento de 984% no fluxo de energia dissipação.

A aplicação de óleo essencial também afetou a fluorescência variável relativa na etapa J (V_J), aumentando-a em 13, 81, 82, 82 e 95%, conforme o aumento da concentração, em comparação com o controle. Esse parâmetro reflete o tamanho do pool de plastoquinona (PQ) e a eficiência do transporte de elétrons além do FSII (Jiang et al., 2022). Um aumento em V_J sugere uma perturbação do aparato fotossintético, potencialmente indicando efeitos inibitórios no transporte de elétrons do PSII para o pool de PQ (Cheng et al., 2016).

Araniti et al. (2016), estudando o potencial do (E)-cariofileno, observaram que esse sesquiterpeno afetou a germinação, o alongamento radicular, o metabolismo e o crescimento de sementes e plantas adultas de *Arabidopsis thaliana*. Em um outro estudo, o (E)-cariofileno (100 mg L⁻¹) contribuiu para uma diminuição de 50% no fluxo de energia retida por centro de reação (TR_0/CS_0) e no transporte de elétrons por seção transversal (ET_0/CS_0) nos centros de reação do PSII em plantas de *Physalis ixocarpa*. (Sánchez-Muñoz et al., 2012). Essas pesquisas corroboram com o observado no presente trabalho, onde também houve uma diminuição de 47% e 75% no TR_0/CS_0 e no ET_0/CS_0 , respectivamente, quando utilizada a mesma concentração de 100 mg L⁻¹.

Em relação ao mirceno, pesquisas relatam que esse monoterpene apresenta atividade fitotóxica por estresse oxidativo em raízes e alteração de defesas (Singh et al., 2009), porém não há evidência na literatura de que ele seja um inibidor do FSII. Singh et al. (2009) relataram que o óleo essencial de *Artemisia scoparia*, rico em mirceno (29%), inibe germinação e crescimento de várias ervas daninhas em ensaios dose-respostas e que o próprio mirceno isolado também é fitotóxico, porém menos potente que o óleo completo, sugerindo efeito sinérgico com outros hidrocarbonetos.

Também, não há evidências na literatura que relatam que os compostos α -humuleno, β -selineno e (E)- β -ocimeno isolados, ou até mesmo em grande concentração em óleo essencial de origem vegetal, seja inibidores do FSII. No presente trabalho o mirceno, o α -humuleno, o β -selineno e o (E)- β -ocimeno juntos são responsáveis por quase 50% do óleo essencial de *E. dysenterica*, e, portanto, estudos adicionais devem ser

realizados para verificar a ação desses compostos isolados como inibidor do FSII, além de estudos que avaliem a sinergia com foco na otimização da atividade bioherbicida.

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O óleo essencial de *Eugenia dysenterica* apresentou efeito inibitório expressivo sobre a fotossíntese, reduzindo o transporte de elétrons e danificando os centros reacionais do Fotossistema II da espécie *Spinacia oleracea*, de forma semelhante ao herbicida comercial DCMU. Esses resultados indicam seu potencial como alternativa sustentável no desenvolvimento de bioherbicidas para o manejo integrado de plantas daninhas.

3.5 REFERÊNCIAS

- ADAMS, R. P. 2007. **Identification of essential oil components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry**. 4th ed. Carol Stream, Illinois: Allured Publishing Corporation.
- ARANITI, F. et al. 2016. Terpenoid trans-caryophyllene inhibits weed germination and induces plant water status alteration and oxidative damage in adult *Arabidopsis*. **Plant Biology**, v. 19, n. 1, p. 79-89. <https://doi.org/10.1111/plb.12471>
- BATTAGLINO, B. et al. 2021. Binding properties of photosynthetic herbicides with the QB site of the D1 protein in plant Photosystem II: A combined functional and molecular docking study. **Plants**, v. 10, n. 8, p. 1501. <https://doi.org/10.3390/plants10081501>
- BRASIL, 2024. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Farmacopeia Brasileira**. 7.ed., v.1, Brasília, DF: ANVISA. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/ptbr/assuntos/farmacopeia/farmacopeia-brasileira>.
- CHEN, S. et al. 2015. Differential sensitivity to the potential bioherbicide tenuazonic acid probed by the JIP-test based on fast chlorophyll fluorescence kinetics. **Environmental and Experimental Botany**, v. 112, p. 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.11.009>
- CHENG, D. D. 2016. Photoinhibition and photoinhibition-like damage to the photosynthetic apparatus in tobacco leaves induced by *Pseudomonas syringae* pv. *Tabaci* under light and dark conditions. **BMC Plant Biology**, v. 16, n. 1, p. 29. <http://doi.org/10.1186/s12870-016-0723-6>.
- CHUBA, C. A. M. et al. 2019. Development of a device to pulping fruits of bocaiuva (*Acrocomia aculeate* sp.): Intended for the communities that practice sustainable agriculture or strativism. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 2, p. 397-407.

- COSTA, T. R. et al. 2000. Antifungal activity of volatile constituents of *Eugenia dysenterica* leaf oil. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 72, n. 1-2, p. 111-117. [https://doi.org/10.1016/s0378-8741\(00\)00214-2](https://doi.org/10.1016/s0378-8741(00)00214-2)
- DOLIANITIS, B. M. et al. 2025. Plant-Based Bioherbicides: Review of eco-friendly strategies for weed control in organic bean and corn farming. **AgriEngineering**, v. 7, n. 9, p. 288. <https://doi.org/10.3390/agriengineering7090288>
- GALHEIGO, M. R. U. et al. 2016. Antidiarrhoeic effect of *Eugenia dysenterica* DC (Myrtaceae) leaf essential oil. **Natural Product Research**, v. 30, p. 1182. <https://doi.org/10.1080/14786419.2015.1043633>
- HASAN, M. et al. 2021. Bioherbicides: An eco-friendly tool for sustainable weed management. **Plants**, v. 10, n. 6, p. 1212. <https://doi.org/10.3390/plants10061212>
- JIANG, M. et al, 2022. Effect of mycotoxin cytochalasin A on Photosystem II in *Ageratina adenophora*. **Plants**, v. 11, n. 20, p. 2797. <http://doi.org/10.3390/plants11202797>
- LIMA, T. B. et al. 2010. Identification of *E. dysenterica* laxative peptide: A novel strategy in the treatment of chronic constipation and irritable bowel syndrome. **Peptides**, v. 31, p. 1426-1433. <https://doi.org/10.1016/j.peptides.2010.05.003>
- LIMA, T. B. et al. 2011. In vivo effects of cagaita *Eugenia dysenterica* (DC) leaf extracts on diarrhea treatment. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, p. 1-10. <https://doi.org/10.1155/2011/309390>
- MOTA, C. S. M. et al. 2016. Use of physiological parameters to assess seedlings quality of *Eugenia dysenterica* DC. grown in different substrates. **Australian Journal of Crop Science**, v. 1, n.2, p. 842-851. <https://doi.org/10.21475/ajcs.2016.10.06.p7501>
- PADUÁ, G. M. S. et al. 2024. Synthesis and evaluation of new phytotoxic fluorinated chalcones as Photosystem II and seedling growth inhibitors. **Chemistry & Biodiversity**, v. 21, n. 4, p. e202301564. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202301564>
- PANCHE, A. N. et al. 2016. Flavonoids: an overview. **Journal of Nutritional Science**, v. 5, p. e47. <https://doi.org/10.1017/jns.2016.41>
- POURESMAEIL, M. et al. 2020. Exploring the bio-control efficacy of *Artemisia fragrans* essential oil on the perennial weed *Convolvulus arvensis*: Inhibitory effects on the photosynthetic machinery and induction of oxidative stress. **Industrial Crops and Products**, v. 155. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112785>
- SÁNCHEZ-MUÑOZ, B. A. et al. 2012. The sesquiterpenes β -caryophyllene and caryophyllene oxide isolated from *Senecio salignus* act as phyto-growth and photosynthesis inhibitors. **Molecules**, v. 17, n. 2, p. 1437-1447. <https://doi.org/10.3390/molecules17021437>
- SANTOS, L. S. et al. 2019. Chemical Composition, in vitro Trypanocidal and Antibacterial Activities of the Essential Oil from the Dried Leaves of *Eugenia*

dysenterica DC from Brazil. **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v. 22, n. 2, p. 347-355. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2019.1626293>

SILVA, A. et al. 2024. Inibidores do fotossistema II: Uma perspectiva aleloquímica. **Química nova**, v. 47, n. 2. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20230097>

SILVA, R. L. et al. 2022. Brazilian Cerrado biome essential oils to control the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus*. **Industrial Crops and Products**, v. 178. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114568>

SILVA, S. M. M. et al. 2018. Wound healing effect of essential oil extracted from *Eugenia dysenterica* DC (Myrtaceae) leaves. **Molecules**, v. 24, n. 1, p. 2. <https://doi.org/10.3390/molecules24010002>

SINGH, H. P. et al. 2009. Essential oil of *Artemisia scoparia* inhibits plant growth by generating reactive oxygen species and causing oxidative damage. **Journal of Chemical Ecology**, v. 35, p. 154-162. <https://doi.org/10.1007/s10886-009-9595-7>

SLABBERT, R. M. & KRÜGER, G. H. J. 2011. Assessment of changes in photosystem II structure and function as affected by water deficit in *Amaranthus hypochondriacus* L. and *Amaranthus hybridus* L. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 49, n. 9, p. 978-894. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2011.05.001>

VEIGA, T. A. M. et al., 2008. Alkaloids isolated from *Hortia superba* (Rutaceae) interact with spinach thylakoids inhibiting the electron transport chain. **Allelopathy Journal**, v. 21, p. 134-144.

VERDEGUER, M. et al. 2020. Phytotoxic effects and mechanism of action of essential oils and terpenoids. **Plants**, v. 9, n. 11, p. 1571. <https://doi.org/10.3390/plants9111571>

XIAO, W. et al. 2020. Action of alamethicin in photosystem II probed by the fast chlorophyll fluorescence rise kinetics and the JIP-test. **Photosynthetica**, v. 58, p. 358-368.

YANG, Q. et al. 2024. Action of the fungal compound citrinin, a bioherbicide candidate, on photosystem II. **Pest Management Science**, v. 80, p. 133–148, 2024. <https://doi.org/10.1002/ps.7513>

4. CONCLUSÃO GERAL

O presente estudo demonstrou o potencial supressor de plantas daninhas do óleo essencial de folhas de *Eugenia dysenterica*. Tais estudos podem contribuir para uma melhor compreensão do modo de ação de produtos naturais com potencial fitotóxico. Os óleos essenciais são facilmente biodegradáveis devido à sua natureza volátil, reduzindo assim a carga química no meio ambiente e resolvendo o problema da bioacumulação de substâncias químicas sintéticas em organismos vivos.

Portanto, vale a pena utilizar esses novos compostos de origem vegetal em diferentes formulações herbicidas em programas de manejo sustentável de plantas daninhas. Contudo, para o uso comercial de *E. dysenterica* como herbicida natural, são necessários estudos adicionais para determinar sua atividade em condições de campo, custo-benefício e os possíveis impactos em espécies não-alvo.

5. REFERÊNCIAS

- ALVES, A. M. et al. 2017. Ascorbic acid and phenolic contents, antioxidant capacity and flavonoids composition of Brazilian Savannah native fruits. **Food Science and Technology**, v. 37, n. 4, p. 564–569. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.26716>.
- AMERONGEN, H. & CROCE, R. 2013. Light harvesting in photosystem II. **Photosynthesis Research**, v. 116, p. 251-263. <https://doi.org/10.1007/s11120-013-9824-3>
- ARAUJO, R. L. et al. 2021. Postprandial glucose-lowering effect of cagaita (*Eugenia dysenterica* DC) fruit juice in dysglycemic subjects with metabolic syndrome: An exploratory study. **Food Research International**, v. 142, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110209>.
- BARBOSA, F. G. et al. 2024. Potencial fármaco-biológico e outras aplicações das cagaiteiras do cerrado: Uma revisão de escopo sobre *Eugenia dysenterica* (Mart.) DC. (Myrtaceae). **Revista Sapiência: sociedade, saberes e práticas educacionais**, v. 13, n. 5, p. 37-83.
- BATTAGLINO, B. et al., 2021. Binding properties of photosynthetic herbicides with the QB site of the D1 protein in plant Photosystem II: A combined functional and molecular docking study. **Plants**, v. 10, n. 8, p. 1501. <https://doi.org/10.3390/plants10081501>
- DAS, T. K. et al. 2024. Herbicides use in crop production: An analysis of cost-benefit, non-target toxicities and environmental risks. **Crop Protection**, v. 181, p. 106691. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.106691>
- DONADO-PESTANA, C. M. et al. 2018. Cagaita fruit (*Eugenia dysenterica* DC.) and obesity: Role of polyphenols on already established obesity. **Food Research International**, v. 103, p. 40-47. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.011>.
- FAGODIA, S. K. et al. 2017. Phytotoxicity and cytotoxicity of *Citrus aurantiifolia* essential oil and its major constituents: Limonene and citral. **Industrial Crops and Products**, v. 108, p. 708-715. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.07.005>
- GALHEIGO, M. R. U. et al. 2016. Antidiarrhoeic effect of *Eugenia dysenterica* DC (Myrtaceae) leaf essential oil. **Natural Product Research**, v. 30, p. 1182.
- KUBIAK, A. et al. 2022. The problem of weed infestation of agricultural plantations vs. the assumptions of the European biodiversity strategy. **Agronomy**, v. 12, n. 8, p. 1818. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081808>
- KUMAR, N. et al. 2022. Long-term impact of zero-till residue management in post-rainy seasons after puddled rice and cropping intensification on weed seedbank, above-ground weed flora and crop productivity. **Ecological Engineering**, v. 176. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106540>

- LEAL, J. F. L. et al. 2023. Photosystem II- and photosystem I-inhibitor herbicides-driven changes in the dynamics of photosynthetic energy dissipation of *Conyza spp.* **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 45, n. 94. <https://doi.org/10.1007/s11738-023-03572-1>
- LIMA, T. B. et al., 2010. Identification of *E. dysenterica* laxative peptide: A novel strategy in the treatment of chronic constipation and irritable bowel syndrome. **Peptides**, v. 31, p. 1426-1433.
- LIMA, T. B. et al., 2011. In vivo effects of cagaita *Eugenia dysenterica* (DC) leaf extracts on diarrhea treatment. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine. **Hindawi Publishing Corporation**, 2011, p. 1-10.
- NATH, C. P. et al. 2024. Challenges and Alternatives of Herbicide-Based Weed Management. **Agronomy**, v. 14, p. 126. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010126>
- PADUÁ, G. M. S. et al. 2024. Synthesis and evaluation of new phytotoxic fluorinated chalcones as Photosystem II and seedling growth inhibitors. **Chemistry & Biodiversity**, v. 21, n. 4, p. e202301564. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202301564>
- PANCHE, A. N. et al. 2016. Flavonoids: an overview. **Journal of Nutritional Science**, v. 5, p. e47.
- PAUL, S. K. et al. 2024. Herbicidal weed management practices: History and future prospects of nanotechnology in an eco-friendly crop production system. **Heliyon**, v. 10, n. 5, p. e26527. <https://doi-org.ez163.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.heliyon.2024.e26527>
- RAVEAU, R. et al. 2020. Essential oils as potential alternative biocontrol products against plant pathogens and weeds: A review. **Foods**, v. 9, n. 3, p. 365. <https://doi.org/10.3390/foods9030365>
- SANTOS, E. J. B. et al. 2024. Exploring the potential of *Myrcia* genus essential oils: A review of biological activities and recent advances. **Molecules**, v. 29, n. 12, p. 2720. <https://doi.org/10.3390/molecules29122720>
- SHEVELA, D. et al. 2023. Solar energy conversion by photosystem II: principles and structures. **Photosynthesis Research**, v. 156, p. 279-307. <https://doi.org/10.1007/s11120-022-00991-y>
- SILVA, S. M. M. et al., 2018. Wound healing effect of essential oil extracted from *Eugenia dysenterica* DC (Myrtaceae) leaves. **Molecules**, v. 24, n. 2.
- TAIZ, L. et al. 2017. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. Artmed Editora.
- VEIGA, T. A. M. et al., 2008. Alkaloids isolated from *Hortia superba* (Rutaceae) interact with spinach thylakoids inhibiting the electron transport chain. **Allelopathy Journal**, v. 21, p. 134-144.