



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

JOÃO PAULO IZIDIO DA SILVA

ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE
***Lippia alba* APÓS ELICITAÇÃO COM ÁCIDO ACÉTICO E**
RESTRIÇÃO HÍDRICA

Recife
2025

JOÃO PAULO IZIDIO DA SILVA

**ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE *Lippia alba*
APÓS ELICITAÇÃO COM ÁCIDO ACÉTICO E RESTRIÇÃO HÍDRICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de bacharelado em ciências biológicas da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas .

Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinicius Loss Sperandio

Coorientadora: Mirella Larissa Lima da Silva

Recife
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecária Suely Manzi – CRB4 / 809

S586a Silva, João Paulo Izidio da
Análise da composição do óleo essencial de *Lippia alba* após
elicitación com ácido acético sob restrição hídrica / João Paulo Izidio
da

Silva. – 2025.
36 f.: il.

Orientador: Marcus Vinicius Loss Sperandio.
Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciências
Biológicas) – Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Departamento de Biologia, Recife, BR-PE, 2025.
Inclui bibliografia.

1. Biociências – Estudo e ensino 2. Essências e óleos essenciais
3. Ácido acético 4. Plantas – Metabolismo 5. Fisiologia vegetal
6. Compostos orgânicos 7. Compostos químicos I. Sperandio,
Marcus Vinicius Loss, orient. II. Título

CDD 574

João Paulo Izidio da Silva

**ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE *Lippia alba* APÓS
ELICITAÇÃO COM ÁCIDO ACÉTICO SOB RESTRIÇÃO HÍDRICA**

Aprovado em: 04/08/2025

BANCA EXAMINADORA

ORIENTADOR

Dr. Marcus Vinícius Loss Sperandio
Universidade Federal Rural de Pernambuco

MEMBRO INTERNO DA BANCA

Maria Eduarda Magalhães de Paula
Universidade Federal Rural de Pernambuco

MEMBRO EXTERNO DA BANCA

Msc. Rodrigo José da Silva
Universidade Federal Rural de Pernambuco

A todos que contribuíram, de qualquer forma, para a realização deste trabalho.

Às estrelas que ouvem e aos sonhos que são atendidos

AGRADECIMENTOS

A Deus, por guiar meus passos e me permitir estar vivo e com saúde durante a condução e apresentação desta monografia.

Aos meus familiares, em especial aos meus pais, Lúcia e Paulo, a minha sobrinha, Luiza, meus irmãos Pedro, Paula e Luana e minha cunhada Kássia por todo apoio durante a graduação, por todos os momentos vividos e por me ajudarem muito no processo. Amo vocês para todo o sempre.

Ao meu orientador, professor Marcus Vinicius Loss Sperandio, pelo acolhimento, acompanhamento e cuidado durante todo o período de orientação. Seus ensinamentos foram fundamentais para a elaboração deste trabalho.

À Mirella Larissa, por ser uma excelente co-orientadora, colega de análises químicas e amiga. Minha eterna gratidão por todo apoio e companheirismo para a realização deste trabalho.

Aos meus amigos do Laboratório de Fisiologia Vegetal (LFP) da UFRPE, no qual estive vinculado durante toda a realização deste TCC, em especial às Profas. Cláudia e Flávia. Agradeço pelas conversas, encontros quinzenais e todos os momentos produtivos dos quais participei.

Ao Laboratório de Produtos Naturais Bioativos (LPN) da UFRPE, e em especial ao professor Marcílio pelo auxílio na condução das análises químicas e na realização desta monografia.

Aos meus amigos de turma, minha querida SB3, por me motivarem a permanecer na caminhada e por me darem apoio em momentos essenciais. Quatro anos passaram voando ao lado de vocês.

Ao Programa de Educação Tutorial em Ecologia por me fazer evoluir pessoalmente e academicamente, além de me permitir vivenciar a tríade universitária de forma tão intensa, especialmente à Profª. Jacqueline Cavalcanti e aos meus amigos petianos. Uma vez petiano, sempre petiano.

Aos meus amigos do curso de inglês por todas as conversas, desabafos e aprendizados que tive com vocês. Que sorte a minha por ter conhecido pessoas tão incríveis durante um hobby.

Aos meus amigos que conheci na universidade e que levarei por toda a vida. Kennedy, Emilly, Ranuzia, Sebastião. Vocês são o melhor presente que a UFRPE me deu.

Aos professores da graduação nos quais tive o prazer de ser aluno e poder aprender ao máximo sobre esse universo tão incrível que é a biologia. O conhecimento que me forneceram foi essencial para a escrita desta monografia.

RESUMO

As plantas são essenciais para a vida na Terra, no entanto são altamente sensíveis às condições limitantes, como restrição hídrica. Este trabalho analisa um experimento realizado em casa de vegetação da UFRPE com o objetivo de analisar a composição do óleo essencial em plantas de *Lippia alba* (Verbenaceae) cultivadas sob restrição hídrica, utilizando-se de ácido acético como elicitador exógeno e buscando uma correlação entre a aplicação do elicitador e a composição do óleo essencial. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, com posterior coleta, extração do óleo essencial e identificação dos componentes realizados no laboratório de produtos naturais e bioativos da UFRPE. Dentre os compostos mais abundantes identificados, têm-se os monoterpenos majoritários Geranial (45%) e Neral (28%), além dos outros monoterpenos encontrados em menor quantidade, como Limoneno (7%) e Carvona (3%), correspondendo a aproximadamente 90% do rendimento do óleo essencial. O grupo dos sesquiterpenos, por outro lado, correspondeu a aproximadamente 5% do rendimento do óleo essencial, e os compostos encontrados foram β -cariofileno (1,3%), Germacreno D (1%) e β -selineno (0,2%). Diante disso, pode-se concluir que os compostos monoterpênicos apresentaram resultados diferentes mediante o tratamento no qual foram submetidos, como o caso do Geranial, que apresentou sensibilidade à restrição hídrica, mas não a elicitação com ácido acético, ou o Neral, que não apresentou respostas estatisticamente significativas independente do tratamento realizado. Em relação aos sesquiterpenos, foi visto sensibilidade para todos os fatores testados, principalmente para o tratamento combinado entre restrição hídrica e elicitação, influenciando na produção dos compostos do metabolismo secundário. A Análise de Cluster Hierárquico (AHC) indicou que a elicitação com ácido acético 0,5% é capaz de modular o perfil dos principais componentes do óleo essencial de *L. alba*, ocorrendo maior diferenciação do perfil do óleo essencial com a elicitação com ácido acético 0,5% e restrição hídrica. O ácido acético apresentou resultados eficazes na modulação de metabólitos em parceria com restrição hídrica, sendo um potencial agente para a mitigação da seca e conservação da biodiversidade.

Palavras-chave: Metabolismo secundário; Monoterpenos; Sesquiterpenos

ABSTRACT

Plants are essential for life on Earth, but they are highly sensitive to limiting conditions such as water restriction. This paper analysis on an experiment carried out in a greenhouse at UFRPE with the aim of analyzing the composition of the essential oil in *Lippia alba* (Verbenaceae) plants grown under water restriction, using acetic acid as an exogenous elicitor and seeking a correlation between the application of the elicitor and the composition of the essential oil. The experiment was carried out in a greenhouse, and the essential oil was subsequently collected, extracted and the components identified at UFRPE's natural and bioactive products laboratory. Among the most abundant compounds identified were the major monoterpenes Geranial (45%) and Neral (28%), as well as other monoterpenes found in smaller quantities, such as Limonene (7%) and Carvone (3%), corresponding to approximately 90% of the essential oil yield. The sesquiterpene group, on the other hand, accounted for approximately 5% of the essential oil yield, and the compounds found were β -caryophyllene (1.3%), Germacrene D (1%) and β -selinene (0.2%). It can be concluded from the above that the monoterpene compounds showed different results depending on the treatment to which they were subjected, as in the case of Geranial, which showed sensitivity to water restriction but not to elicitation with acetic acid, or Neral, which did not show statistically significant responses regardless of the treatment. With regard to sesquiterpenes, sensitivity was seen for all the factors tested, especially for the combined treatment of water restriction and elicitation, which influenced the production of secondary metabolism compounds. Hierarchical Cluster Analysis (HCA) indicated that elicitation with 0.5% acetic acid is capable of modulating the profile of the main components of *L. alba* essential oil, with greater differentiation of the essential oil profile with elicitation with 0.5% acetic acid and water restriction. Acetic acid showed effective results in modulating metabolites in conjunction with water restriction, making it a potential agent for drought mitigation and biodiversity conservation.

Keywords: Secondary metabolism; Monoterpenes; Sesquiterpene

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA - Ácido Acético

AHC - Análise de Cluster Hierárquico

ATP - Adenosina Trifosfato

CG - Cromatografia Gasosa

CG-EM - Cromatografia Gasosa e Espectrometria de Massa

CoA - Coenzima A

CP - Capacidade de pote

IPP - Isopentenil Difosfato

MEP - Via do Metileritritol
fosfato

MVA- Via do ácido
Mevalônico

OE - Óleo Essencial

Sumário

1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 Plantas medicinais	12
2.2 Síntese de terpenos	13
2.3 Óleos essenciais	16
2.4 Efeitos da elicitação na produção de óleo essencial em plantas	16
2.5 Efeito da restrição hídrica no metabolismo secundário vegetal	17
3. JUSTIFICATIVA	19
4. OBJETIVOS	20
Objetivo Geral	19
Objetivos Específicos	19
5. METODOLOGIA	21
5.1 Condução do experimento	21
5.2 Extração do óleo essencial	21
5.3 Análise por Cromatografia Gasosa de óleos essenciais	22
5.4 Análise HS-GC-MS	22
5.5 Identificação de componentes	22
5.6 Análises Estatísticas	22
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
7. CONCLUSÃO	34
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

1. INTRODUÇÃO

As plantas, seres vivos essenciais para manutenção da vida na Terra por desempenharem o papel de produtores, apresentam dois tipos de metabolismo: primário e secundário, de modo que o metabolismo classificado como primário corresponde a reações químicas responsáveis por fotossíntese e respiração, enquanto o metabolismo secundário corresponde a produtos gerados por vias biossintéticas que não estão diretamente relacionadas ao metabolismo primário, e conferem ações adaptativas, como propriedades de defesa (Barreto *et al.*, 2020).

A *Lippia alba* (Mill.) N.E. Br. ex Briton & P. Wilson, é uma planta da família Verbenaceae, conhecida popularmente como erva-cidreira, falsa melissa e cidreira-brasileira, é uma espécie nativa da América do sul, tendo a Mata Atlântica como um dos seus centros de origem e apresentando ocorrências no cerrado brasileiro (Moraes e Povh, 2024).

Os terpenoides, uma das classes de metabólitos secundários sintetizados pelas plantas, são hidrocarbonetos constituídos por unidades de isopreno, podendo ser classificados de acordo com a quantidade de isopreno presente na molécula, enquanto os óleos essenciais são derivados quimicamente dos terpenos e constituem-se por substâncias voláteis e lipofílicas, geralmente com odor e cor bastante característicos (Scapinello *et al.*, 2023).

Os elicitores, por sua vez, são agentes que podem ter origem biótica ou abiótica, e atuam alterando as vias metabólicas e bioquímicas, induzindo estresses químicos ou físicos na planta com o objetivo de estimular a produção de determinados compostos, como hormônios vegetais ou metabólitos secundários (Amani *et al.*, 2024).

A condição de restrição afeta negativamente o desenvolvimento das plantas, principalmente por promover estresse oxidativo e acúmulo de agentes oxidantes, no entanto, um dos mecanismos de mitigação de restrição hídrica adotado pelas plantas é a síntese de metabólitos secundários, capazes de atenuar o efeito do estresse e proporcionar maior tolerância por meio de respostas adaptativas (Jogawat *et al.*, 2021).

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo investigar os efeitos da elicitação com ácido acético sobre parâmetros fisiológicos em plantas de *L. alba* submetidas à condição de restrição hídrica.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PLANTAS MEDICINAIS

No Brasil, o Governo Federal através do Ministério da Saúde aprovou a Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos em 22 de junho de 2006, pautando-se em políticas públicas de saúde, meio ambiente e desenvolvimento socioambiental, visando promover melhorias na qualidade de vida da população brasileira. O Programa Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos, por sua vez, foi aprovado em 9 de dezembro de 2008, com o objetivo de garantir à população brasileira o acesso seguro e o uso racional de plantas medicinais e fitoterápicos, promovendo o uso sustentável da biodiversidade (Ministério da Saúde, 2009).

No estado de Pernambuco, a utilização de plantas medicinais como potenciais anti-histamínicos, explorando um entre os inúmeros benefícios fornecidos por estas plantas, faz-se presente nos habitantes das cidades de Garanhuns e Santa Cruz do Capibaribe, de modo que em um estudo realizado, 50 entrevistados relataram consumir algum tipo de planta medicinal, como camomila, hortelã-pimenta, gengibre e curcuma no tratamento de alergias, alegando que o conhecimento da utilização dessas plantas como agentes medicinais foi repassado por profissionais de saúde (Silva et al., 2020).

Na cidade de Goiás, as plantas medicinais são popularmente manipuladas no intuito de tratar principalmente doenças estomacais, gastrite e gripe, de acordo com os 40 entrevistados em um estudo realizado acerca da percepção sobre o uso de plantas medicinais na região, com *L. alba* sendo uma das espécies mais citadas dentre os entrevistados (Bezerra et al., 2020).

Aprofundando-se em *L. alba* e evidenciando o seu potencial terapêutico, Oliveira e colaboradores (2024) observaram que além dos óleos essenciais, outros compostos secundários como alcaloides e flavonoides também apresentam caráter bioativo capaz de conferir atividade antimicrobiana, antioxidante, antiparasitária e anti-inflamatória, reforçando a importância dos metabólitos secundários.

Em relatos de literatura, *L. alba* é descrita macroscopicamente como um subarbusto que pode alcançar aproximadamente um metro e meio de altura, apresentando ramos finos e longos, com folhas inteiras, opostas, de bordos serrados e ápice agudo, de 3-6 cm de comprimento, enquanto em análise histológica, ou seja, utilizando-se de microscopia, é possível destacar a presença de caracteres anatômicos comuns à família Verbenaceae, como tricomas tectores e glandulares, responsáveis pela defesa da planta e secreção de óleo essencial, respectivamente (Rebouças e Ferreira, 2024).

2.2 SÍNTESE DE TERPENOS

As vias metabólicas responsáveis pela produção de compostos secundários geralmente ativam-se em momentos específicos, como em condições de deficiência nutricional ou em resposta a ataques de patógenos. Nesses casos atuam como uma via de resposta fisiológica, levando à síntese de compostos como os terpenos ---- um grupo de metabólitos secundários derivados do 2-metil-1,3-butadieno, conhecido como isopreno, composto por cinco átomos de carbono. (Barreto *et al.*, 2020)

A partir das unidades de isopreno, os compostos terpênicos são classificados de acordo com o número de carbonos em suas moléculas, conforme a seguinte categorização: Monoterpenos (10 carbonos na composição), sesquiterpenos (15 carbonos na composição), diterpenos (20 carbonos na composição), triterpenos (30 carbonos na composição) e tetraterpenos (40 carbonos na composição) (Barreto *et al.*, 2020).

Os terpenos representam a maior e mais complexa classe de produtos naturais, com mais de 55.000 moléculas já identificadas. Essa classe abrange, por exemplo, hormônios vegetais, como o ácido abscísico e as giberelinas, que são cruciais para a mitigação do estresse abiótico e a regulação do crescimento. Os terpenos são biossintetizados principalmente por duas vias: a do ácido mevalônico e a do metileritritol-fosfato (Figura 1) (Borges e Amorim, 2020).

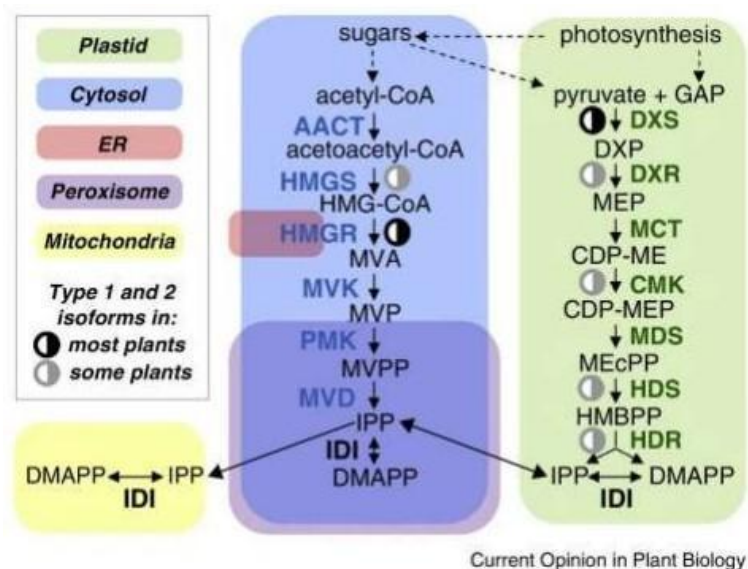
A via do Ácido mevalônico (MVA) tem início através da enzima Acetoacetyl-CoA tiolase,

que catalisa a condensação de duas moléculas de acetil-CoA, formando Acetoacetil-CoA. Em seguida, a enzima 3-hidroxi-3-metil-glutaril-CoA sintase promove a condensação de molécula de Acetoacetil-CoA com outra molécula de Acetil-CoA, originando o 3-hidroxi-3-metil-glutaril-CoA (HMG-CoA). Esse composto é então reduzido a MVA pela enzima 3-hidroxi-3-metil-glutaril-CoA redutase, utilizando duas moléculas de NADPH como doadora de elétrons (Silva, 2020).

A seguir, o MVA é convertido em Isopentenil difosfato (IPP) por meio da ação sequencial de três enzimas: mevalonato quinase, fosfomevalonato quinase e mevalonato difosfato descarboxilase. A mevalonato quinase fosforila o MVA, formando o fosfomevalonato (MVP); este, por sua vez, é novamente fosforilado pela fosfomevalonato quinase, originando difosfato de mevalonato (MVPP). Por fim, a mevalonato difosfato descarboxilase catalisa uma reação descarboxilativa, acoplada à hidrólise de trifosfato de adenosina (ATP), resultando na formação de IPP (Silva, 2020).

Posteriormente, o IPP é isomerizado em dimetilalil difosfato (DMAPP) pela enzima isopentenil difosfato isomerase. A partir dessas unidades, são biossintetizados os sesquiterpenos e triterpenos, compostos específicos da via MVA (Silva, 2020).

Figura 1: Via de biossíntese de isoprenoides citosólica (MVA) e plastídica (MEP) em plantas. As enzimas da via MVA são mostradas em azul e as enzimas da via MEP em verde. As setas marcam as etapas das vias. AACT: acetoacetil-CoA tialose, HMGS: HMG-CoA sintase, HMGR: HMG-CoA redutase, MVA: ácido mevalônico, MVK: mevalonato quinase, MVP: fosfomevalonato, PMK: fosfomevalonato quinase, MVPP: difosfato mevalonato, MVD: mevalonato difosfato descarboxilase, IPP: isopentenil difosfato, DMAPP: dimetilalil difosfato, GAP: gliceraldeído 3- fosfato, DXS: DXP sintase, DXP: 1-desoxi-D-xilulose 5-fosfato, DXR: DXP redutoisomerase, MEP: 2-C- metil-D-eritritol 4-fosfato, MCT: MEP citidiltransferase, CDP-ME: 4-difosfocitidil-2-C-metil-D-eritritol, CMK: CDP-ME quinase, CDP-MEP: 4- difosfocitidil-2-C-metil-D-eritritol 2-fosfato, MDS: 2-C-metil-D- eritritol-2,4-ciclodifosfato sintase, MEcPP: 2-C-metil-D-eritritol-2,4-ciclodifosfato, HDS: 4-hidroxi-3- metilbut-2-enil difosfato sintase, HMBPP: 4-hidroxi-3-metilbut-2-enil difosfato, HDR: HMBPP reductase.



A via do metileritritol-fosfato (MEP) ocorre em uma cascata de 7 reações enzimáticas. Ela se inicia com a condensação do piruvato e do gliceraldeído-3-fosfato pela enzima 1-desoxi-d-xilulose-5-fosfato sintase, originando 1-desoxi-d-xilulose-5 fosfato (DXP) (Bergman *et al.*, 2019; Mesquita, 2023).

Em seguida, a enzima 1-desoxi-xilulose-5-fosfato reducto isomerase catalisa a conversão de DXP em 2-C-metil-d-eritritol-4-fosfato (MEP). Este composto é então convertido em 4-difosfocitidil-2-C-metil-D-eritritol pela ação da enzima 2-C-metil-d-eritritol-4-fosfato citidiltransferase (Bergman *et al.*, 2019; Mesquita, 2023).

Na sequência, a enzima 4-difosfocitidil-2-C-metil-D-eritritol quinase fosforila esse intermediário,, gerando 4- difosfocitidil-2-C-metil-D-eritritol-2-fosfato. Esse composto, por sua vez, é transformado em 2-C-metil-D- eritritol-2,4-ciclodifosfato, pela enzima

2-C-metil-D-eritritol-2,4- ciclodifosfato sintase (Bergman *et al.*, 2019; Mesquita, 2023).

A etapa seguinte envolve a conversão desse intermediário em 4-hidroxi-3-metilbut-2-enil difosfato (HMBPP) pela enzima 4-hidroxi-3-metilbut-2-enil difosfato sintase. Finalmente, a enzima 4-hidroxi-3-metilbut-2-enil difosfato redutase catalisa a reação de redução do HMBPP, originando Isopentenil difosfato (IPP) e dimetilalil difosfato (DMAPP), precursores essenciais para a biossíntese de terpenos (Bergman *et al.*, 2019; Mesquita, 2023).

2.3 ÓLEOS ESSENCIAIS

Os óleos essenciais, presentes em plantas aromáticas, são misturas complexas de substâncias voláteis e lipofílicas, geralmente derivados de terpenoides. Eles são sintetizados em estruturas especializadas da planta, como tricomas glandulares, células modificadas do parênquima e idioblastos secretores (Zanetti, 2023).

Em plantas de “Salva-do-campo”, (família Verbenaceae) do gênero *Lippia* e de nome científico *Lippia sidoides* Cham, foi possível identificar pelo menos 20 compostos em seu óleo essencial por meio de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas. Entre os principais constituintes em maior proporção, destacam-se: α -Guaieno (30,79%), Timol (22,64%), óxido de cariofileno(6,81%), p-Cimeno (6,54%), 8,9-Guaiadieno (5,77%) e Linalol (3,14%) (Santos *et al.*, 2024).

No mesmo estudo, foram avaliadas as atividades biológicas do óleo essencial. Em relação a atividade antioxidante, no ensaio com o radical DPPH revelou uma inibição de 93,8%, enquanto o ensaio com ABTS indicou 99,8% de inibição, evidenciando o elevado potencial antioxidante do óleo essencial de *L. sidoides*. A atividade antimicrobiana foi avaliada pelo método de Halo de inibição. Os resultados demonstraram ação eficaz contra a espécie *Staphylococcus aureus* com formação de um halo com 24mm, superando o halo de 12mm produzido pela Amoxicilina. Para *Escherichia coli*, o óleo essencial gerou um halo de 10mm de diâmetro, também superior ao antibiótico comercial, evidenciando a ação promissora dos compostos secundários como agentes antimicrobianos. (Santos *et al.*, 2024).

2.4 EFEITOS DA ELICITAÇÃO NA PRODUÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL EM PLANTAS

No contexto das plantas medicinais, a elicitação é uma estratégia utilizada para estimular

a produção de metabólitos secundários. Bosisio (2024) analisou a elicitação com ácido salicílico em plantas de alecrim, os resultados indicaram um aumento de 46,04% no rendimento do óleo essencial em comparação ao tratamento controle .

Em relação a utilização de ácido acético como elicitor, Kim e colaboradores (2017), em um estudo com aplicação exógena desse composto, obtiveram resultados positivos para *Arabidopsis*, milho, arroz e trigo. A aplicação exógena promoveu um aumento na tolerância à seca nas espécies avaliadas, sugerindo, segundo os autores, um papel epigenético do elicitor na modulação de vias metabólicas secundárias associadas à resposta de defesa .

Em um estudo com plantas de *L. alba*, Silva-Santos e colaboradores (2023) verificaram um aumento no rendimento de óleo essencial, com uma produtividade entre 0,57 e 0,87% em comparação ao tratamento controle (0,45%) por meio da aplicação dos elicitores Metil jasmonato e Ácido salicílico. Além do aumento no rendimento, também foi observada a indução de compostos na composição do óleo essencial: o Metil jasmonato induziu a produção de 76 compostos, enquanto o ácido salicílico induziu 35. Esses resultados evidenciam o potencial de elicitores na estimulação do metabolismo secundário.

2.5 EFEITO DA RESTRIÇÃO HÍDRICA NO METABOLISMO SECUNDÁRIO VEGETAL

Apesar da restrição hídrica causar efeitos negativos nas plantas, também pode desencadear alterações fisiológicas associadas a respostas adaptativas. Dentre elas destaca-se o aumento na produção de metabólitos secundários, resultado do redirecionamento do CO₂ assimilado para a síntese de compostos carbonados, contribuindo para o sistema de defesa da planta (Sharma *et al.*, 2025).

Em um estudo fitohistológico realizado por Balasubramanian e colaboradores (2024) com plantas de *Populus spp.* sob restrição hídrica, foi observado um acúmulo específico de flavonóides no mesófilo paliçádico, além do aumento de determinados compostos fenólicos, como a tremulacina. Esses resultados indicam que, sob estresse hídrico, diferentes compostos do metabolismo secundário podem apresentar uma atividade metabólica espacialmente distinta nos tecidos vegetais.

Ao submeter plantas de *Rosa damascena* a condições de restrição hídrica, Hessini e colaboradores (2022) observaram uma redução de 29% na biomassa vegetal e de 18% na clorofila total. Em contrapartida, houve um aumento significativo nos compostos fenólicos totais, com elevação nos níveis de ácidos benzoicos (+32%), ácidos cinâmicos (+19%) e

flavonóides (+15%). Esses resultados indicam que a planta adota mecanismos de redirecionamento metabólico, priorizando a síntese de metabólitos secundários em resposta ao déficit hídrico.

Diferentes estudos indicam que sob restrição hídrica, as plantas podem ativar mecanismos fisiológicos e bioquímicos de mitigação. Dentre eles, destaca-se o redirecionamento metabólico, que favorece a produção de metabólitos secundários com funções adaptativas, contribuindo para a sobrevivência em condições adversas (Yang *et al.*, 2018; Figueiredo, 2024).

3. JUSTIFICATIVA

O metabolismo secundário das plantas compreende vias metabólicas alternativas, frequentemente ativadas como mecanismos de defesa frente a condições de estresse, estresse, promovendo a produção de compostos essenciais à sobrevivência, como o óleo essencial.

A escolha desta temática justifica-se pela importância ecológica e científica envolvida, especialmente diante dos crescentes desafios ambientais, como o estresse hídrico. Nesse contexto, torna-se cada vez mais necessário investigar estratégias que auxiliem as plantas a mitigar tais distúrbios. Entre essas estratégias, destaca-se o uso de elicitores, cujo potencial modulador do metabolismo secundário vem sendo evidenciado em diversos estudos.

O ácido acético, embora ainda pouco explorado como elicitor, já demonstrou resultados promissores, como a modulação de vias secundárias de defesa e o acúmulo de osmólitos, apontando para sua aplicabilidade em futuras práticas agronômicas e fármacos botânicos.

Além disso, as plantas medicinais apresentam ampla diversidade de vias biossintéticas relacionadas a produção de metabólitos secundários e apresentam grande importância social, econômica e cultural. Muitas são utilizadas como fitoterápicos, ou em contextos religiosos, como nas religiões de matriz africana, nas quais cumprem papel simbólico e ritualístico.

A *L. alba*, espécie nativa da América do Sul e com a Mata Atlântica como um dos centros de origem, destaca-se por sua ampla utilização e valor medicinal. Assim, este trabalho contribui para o conhecimento da fisiologia e do metabolismo de uma espécie nativa de relevância, reforçando a importância da conservação e do uso sustentável da biodiversidade brasileira.

4. OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Avaliar a modulação na composição do óleo essencial de *Lippia alba* submetida a elicitação com ácido acético e à restrição hídrica, com foco na alteração das vias do metabolismo secundário envolvidas na síntese de monoterpenos e sesquiterpenos.

Objetivos Específicos

- Identificar os diferentes compostos químicos presentes no óleo essencial;
- Avaliar a eficácia do ácido acético na biossíntese de óleo essencial;

5. METODOLOGIA

5.1 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido em uma casa de vegetação do departamento de Biologia da Universidade Federal Rural de Pernambuco. As análises químicas foram realizadas no laboratório de fisiologia vegetal.

Foram utilizadas 16 mudas de *Lippia alba*, obtidas por meio de estacas, inicialmente cultivadas em sistema hidropônico por 15 dias, visando melhor desenvolvimento radicular. A água do cultivo foi trocada semanalmente. Após esse período, as estacas foram transferidas para tubetes de plástico contendo uma mistura de areia, condicionante vegetal e substrato comercial, para aclimação em ambiente de cultivo controlado.

Posteriormente as plantas foram transferidas para sacos de polietileno contendo a mesma mistura de areia, condicionante vegetal e substrato, nas proporções 3:2:1 respectivamente. Após a transferência, as mudas foram irrigadas diariamente e a luminosidade total monitorada.

Decorridos 30 dias de cultivos em sacos de polietileno, foram aplicados os tratamentos controle (sem elicitação) e elicitação com ácido acético. O processo de elicitação foi realizado uma única vez, enquanto as plantas submetidas receberam aplicação via spray com 85 mL de ácido acético a 0,5%, quantidade e concentração recomendadas pela literatura consultada, enquanto que as plantas do grupo controle receberam 85 mL de água destilada. Ambas as soluções continham duas gotas de tween 20 como espalhante adesivo.

Quinze dias após a aplicação do elicitor, iniciou-se o tratamento de restrição hídrica, com irrigação correspondente a 5% da capacidade de pote (5% CP). Após oito dias com restrição hídrica, as plantas submetidas ao estresse apresentaram murcha foliar, sendo então coletadas e armazenadas em freezer a -20°C para análises.

Todas as folhas foram retiradas pelo pecíolo, pesadas em balança analítica e maceradas com 5 mL de nitrogênio líquido, visando preservar os compostos químicos. O material vegetal foi transferido para microtubos do tipo Eppendorf e armazenado em freezer a -20°C até as análises posteriores.

5.2 EXTRAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL

As folhas de *Lippia alba* foram submetidas ao processo de hidrodestilação em aparelho do

tipo Clevenger. O óleo essencial extraído foi separado da água pela diferença de densidade entre os compostos. Para a completa remoção de traços de umidade, foi adicionado sulfato de sódio anidro como agente dessecante.

5.3 ANÁLISE POR CROMATOGRAFIA GASOSA DE ÓLEOS ESSENCIAIS

A análise por cromatografia gasosa (CG) utilizou o equipamento PerkinElmer Clarus 500 CG. A temperatura estava programada para elevar-se de 60 °C para 240 °C, com alteração de 3°C por minuto. O hidrogênio foi utilizado como gás de arraste, com fluxo de 1,0 mL min⁻¹ e modo split para injeção. Uma solução diluída na proporção de 1:100 do óleo em n-hexano foi acrescentada no total de 0,5 µL. A quantidade de cada composto determinado foi calculada com base nas áreas obtidas no cromatograma de GC-FID. Os resultados foram fornecidos de acordo com uma porcentagem relativa na área total dos cromatogramas.

5.4 ANÁLISE HS-GC-MS

A análise por cromatografia gasosa e espectrometria de massa com Headspace (HS-GC-MS) foi realizada utilizando o sistema CG-EM QP2010 SE Plus Shimadzu Chromatograph com um detector de massa. O espectrômetro de massa teve sua atividade em modo de ionização por impacto eletrônico (EI) a 70 elétrons-volts (70 eV), com varredura de aproximadamente 0,5 segundos e faixa de fragmentação entre 40 e 550 Daltons (Da).

5.5 IDENTIFICAÇÃO DE COMPONENTES

A identificação dos componentes presentes no óleo essencial foi realizada baseando-se nos índices de retenção calculados por Cromatografia gasosa e espectrometria de massa, usando a equação de Van den Dool e Kratz (1963).

5.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A normalidade dos dados foi verificada por meio do teste de Shapiro Wilk. Em seguida, procedeu-se à análise de variância (ANOVA), considerando o nível de significância de 5% . As médias que apresentaram diferença significativa foram comparadas pelo teste de SNK, adotando-se $p < 0,05$. Para a comparação geral entre os tratamentos e visualização de similaridade entre os perfis químicos, foi realizada uma análise de agrupamento hierárquico (Cluster). Todas

as análises estatísticas foram conduzidas utilizando o software R.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A restrição hídrica afetou significativamente os teores de sesquiterpenos, geranial, β -cariofileno e β -selineno; enquanto a aplicação do elicitador ácido acético 0,5% afetou significativamente os teores de monoterpenos, sesquiterpenos, limoneno, carvona, β -cariofileno, germacreno D e β -selineno. A interação entre a restrição hídrica e ácido acético afetou significativamente os teores de sequiterpenos, limoneno, carvona, β -cariofileno, germacreno D e β -selineno (Tabela 1). Dentre os compostos analisados, somente o teor de neral não foi afetado pela restrição hídrica e/ou elicitação com ácido acético, apresentando um padrão constitutivo em folhas de *L. alba*.

Tabela 1. Análise de variância (ANOVA) para monoterpenos, sesquiterpenos e para os principais compostos do metabolismo secundário em folhas de *L. alba*. RH - restrição hídrica, ns - não significativo ($p > 0,05$); * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Compostos	RH	Elicitor	RH*E
Monoterpenos	ns	**	ns
Sesquiterpenos	***	***	***
Limoneno	ns	**	*
Neral	ns	ns	ns
Carvona	ns	**	***
Geranial	***	ns	ns
β -Cariofileno	***	***	***
Germacreno D	ns	***	***
β -Selineno	**	**	**

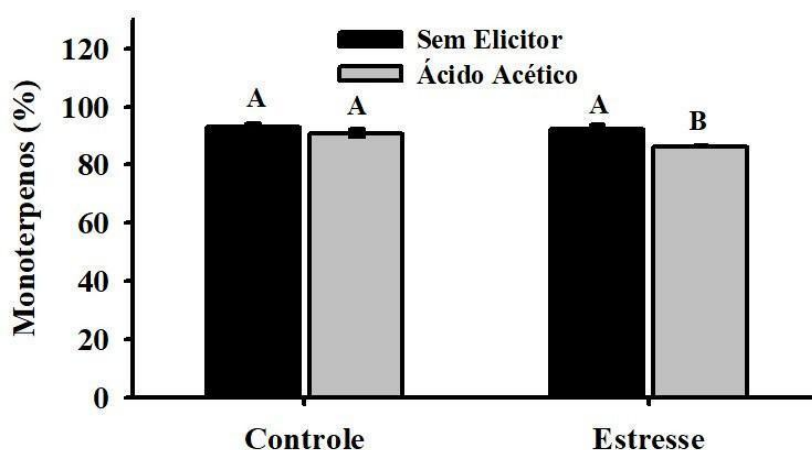
Fonte: Autor (2025).

Os monoterpenos constituíram a maior parte dos compostos do metabolismo secundário analisados, representando, em média, 90% da composição total (Figura 2).

Folhas de *L. alba* sob condição de boa disponibilidade hídrica (70% CP) não apresentaram variações nos teores de monoterpenos com a aplicação de ácido acético 0,5%, no

entanto, sob condições de estresse hídrico (5% CP) a quantidade de monoterpenos diminuiu nas plantas que receberam elicitação com ácido acético 0,5% (Figura 2).

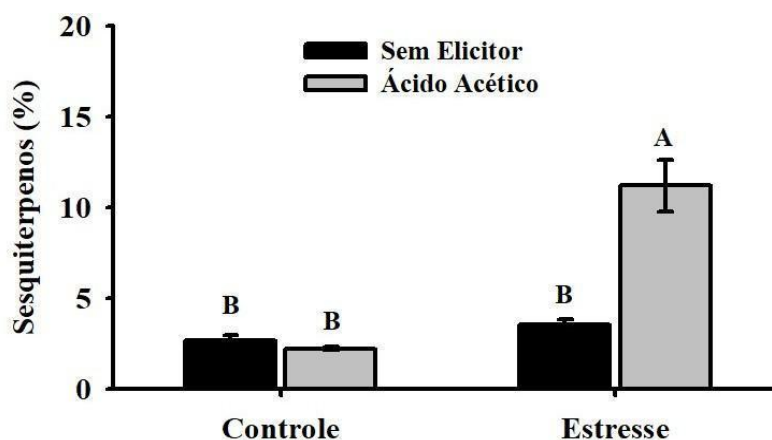
Figura 2. Média do Teor de monoterpenos em folhas de *Lippia alba* após elicitação com ácido acético 0,5% e submetidas a estresse por restrição hídrica. Letras diferentes representam diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$).



Fonte: Autor (2025).

De forma semelhante ao teor de monoterpenos, os teores de sesquiterpenos não apresentaram variação significativa sob condições de irrigação com 70% da capacidade de pote (70% CP) e elicitação, no entanto, sob restrição hídrica (5% CP) os teores de sesquiterpenos aumentaram no tratamento com elicitação (Figura 3). Os resultados demonstram a ação modulatória da elicitação no metabolismo de terpenos em folhas de *L. alba* sob estresse.. Adicionalmente, os resultados sugerem sinergismo entre os efeitos modulatórios do ácido acético e as vias de respostas ao estresse hídrico.

Figura 3. Média dos Teores de sesquiterpenos em folhas de *Lippia alba* após elicitação com ácido acético 0,5% e submetidas a estresse por restrição hídrica. Letras diferentes representam diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$).

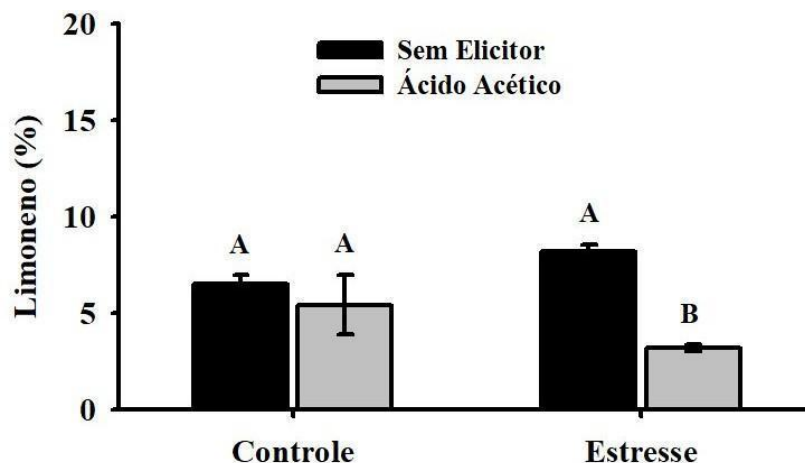


Fonte: Autor (2025).

Para os monoterpenos e sesquiterpenos, destaca-se atividade anti-inflamatória, antimicrobiana, anticancerígena e antisséptica devido a ação de seus compostos, como o β -cariofileno (Machado et al., 2022; Sá et al., 2015).

Para o Limoneno, é possível observar diferença significativa apenas no tratamento com elicitação sob restrição hídrica, resultando em um decréscimo na modulação do composto quando em comparação com o tratamento controle (figura 4). Os resultados indicam que o Limoneno é sensível à presença de ácido acético em situação de restrição hídrica.

Figura 4. Média do Teor de Limoneno em folhas de *L. alba* após elicitação com ácido acético 0,5% e estresse por restrição hídrica. Letras diferentes representam diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$).

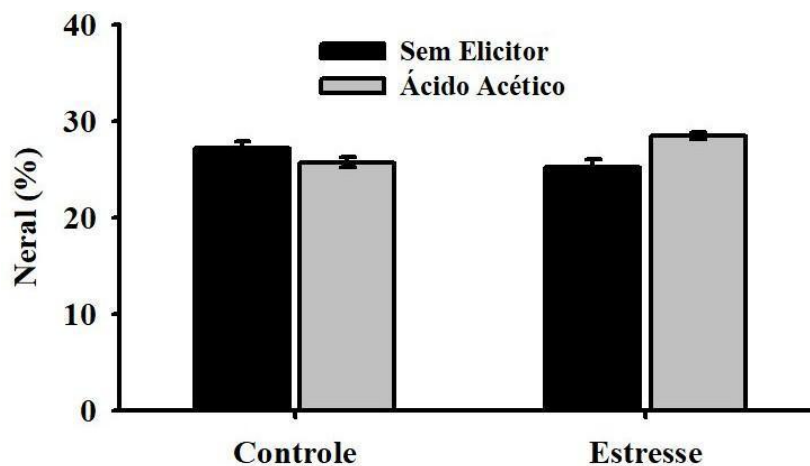


Fonte: Autor (2025).

Trindade e colaboradores (2021) verificaram em um estudo com óleo essencial que o Limoneno é responsável por conferir efeito antimicrobiano satisfatório contra *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* sp. e *Candida albicans*, o que indica que plantas com maiores concentrações de limoneno na composição do OE apresentam maior resistência contra os microrganismos supracitados.

Em relação ao Neral, nota-se que os três tratamentos apresentam resultado não significativo, o que indica que a produção desse composto não sofreu alterações em nenhum dos tratamentos testados durante a condução do experimento (Figura 5). Desse modo, pode-se afirmar que a biossíntese de Neral em plantas de *L. alba* não sofre alteração independentemente da presença de ácido acético, restrição hídrica e a combinação de ambos, diferente do observado nos outros monoterpenos.

Figura 5. Média do Teor de Neral em folhas de *L. alba* após elicitação com ácido acético 0,5% e estresse por restrição hídrica. Letras diferentes representam diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$).

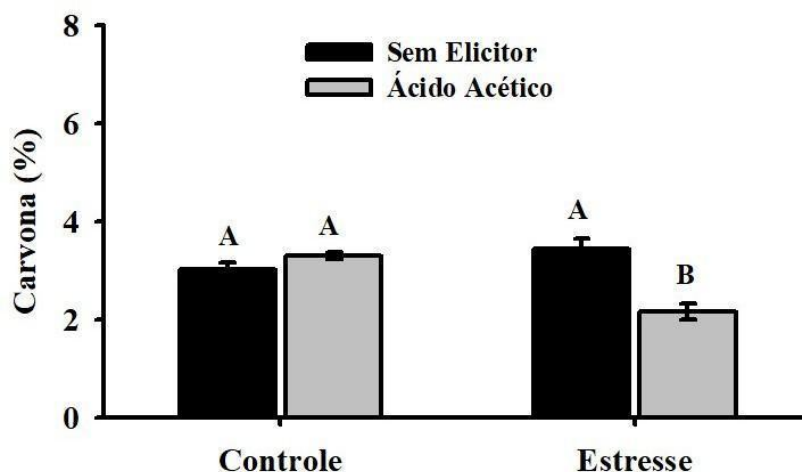


Fonte: Autor (2025).

Gomes e colaboradores (2022) verificaram que o composto Neral apresenta um satisfatório efeito antiparasitário contra vermes adultos e jovens de *Schistosoma mansoni*. Dois anos depois, Magalhães e colaboradores (2024) reforçaram que o Neral possui efeito antiparasitário à nível reprodutivo, tendo em vista que a presença do composto inibiu a oviposição de fêmeas e causou danos aos testículos de machos adultos de *S. mansoni*, indicando que plantas que apresentem Neral na composição do OE, como o caso da *Lippia alba*, podem tornar-se ferramentas poderosas de controle biológico.

Em relação ao Carvona, é possível observar um comportamento semelhante ao Limoneno, com diferenças significativas apenas no tratamento com elicitação sob restrição hídrica (Figura 6), com uma diminuição da concentração do composto em relação ao controle.

Figura 6. Média do Teor de Carvona em folhas de *L. alba* após elicitação com ácido acético 0,5% e estresse por restrição hídrica. Letras diferentes representam diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$).

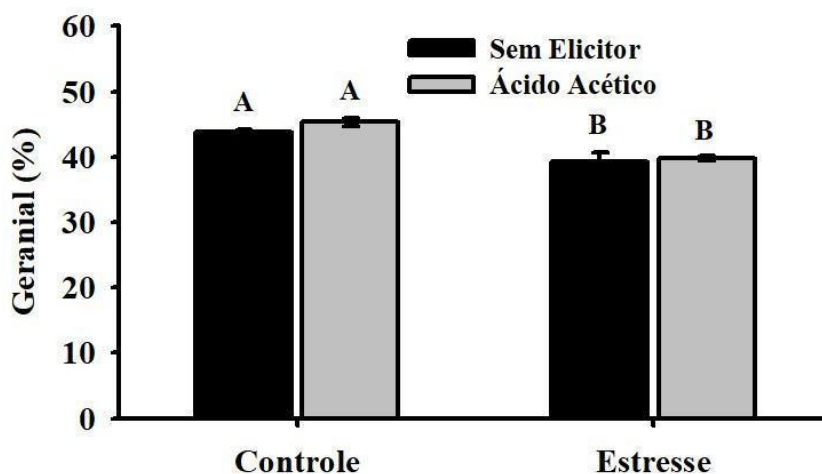


Fonte: Autor (2025).

O uso da carvona tem uma importante relevância para a indústria farmacêutica por apresentar um latente potencial neuroativo, atuando como analgésico e ansiolítico através da estimulação dos receptores de GABA e modulação de canais de sódio dependentes de voltagem, podendo atuar como um fitofármaco após a realização de mais estudos que comprovem a utilização segura deste bioativo como medicamento (Oliveira., *et al.* 2024).

Para o composto Geranial, observa-se que os tratamentos controle e os tratamentos sob restrição hídrica apresentam simultaneamente teores similares entre si e similares com o outro tratamento (Figura 7). Esses resultados indicam que não houve diferença significativa após aplicação do elicitor, e que o Geranial é sensível à restrição hídrica, mas não ao ácido acético.

Figura 7. Média do Teor de Geranial em folhas de *L. alba* após elicitação com ácido acético 0,5% e estresse por restrição hídrica. Letras diferentes representam diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$).

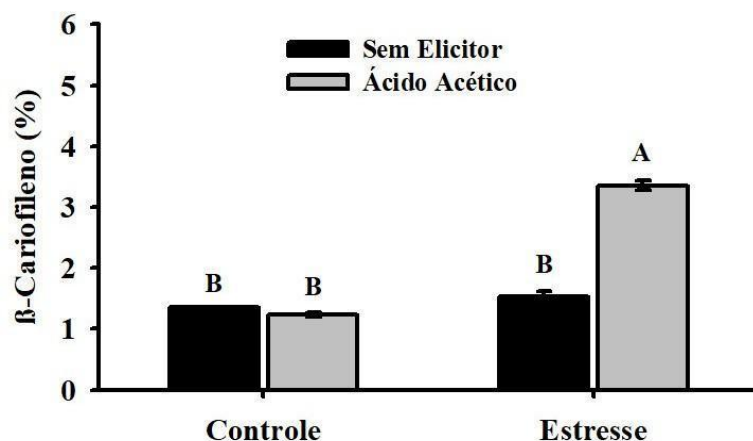


Fonte: Autor (2025).

Para o Geranial, destaca-se a atividade antifúngica contra *Aspergillus flavus*, verificada por Santos (2021), de modo que a presença do composto resultou na inibição de 100% da germinação dos esporos do fungo. Esse resultado indica que o Geranial confere resistência à ataques de patógenos, especialmente *A. flavus*, para plantas que apresentem o composto na composição do OE, como a *L. alba*.

Entrando no grupo dos sesquiterpenos, a produção de β -cariofileno apresentou diferença significativa em todos os tratamentos testados (Figura 8). É possível observar um pico no teor do composto no tratamento com ácido acético sob restrição hídrica, indicando uma combinação entre estresse hídrico e elicitor, que atuam diretamente na biossíntese de β -cariofileno.

Figura 8. Média do Teor de β -cariofileno em folhas de *L. alba* após elicitação com ácido acético 0,5% e estresse por restrição hídrica. Letras diferentes representam diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$).



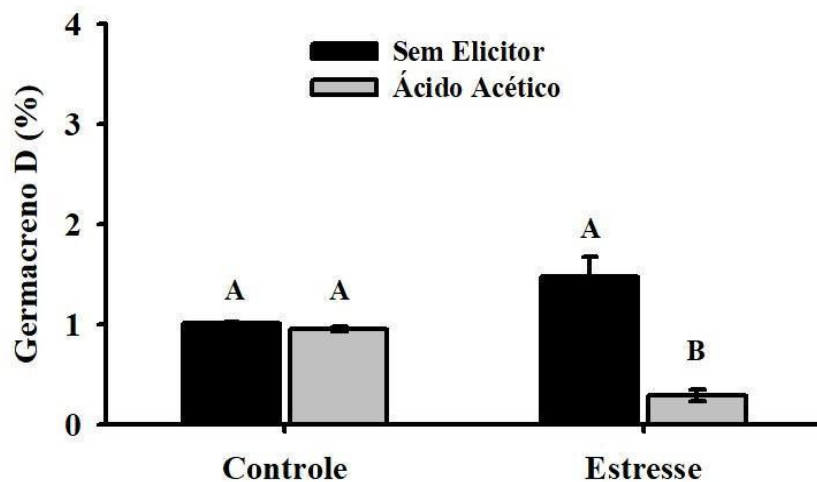
Fonte: Autor (2025).

A significância expressa pelo β -cariofileno não é coincidência, estudos descrevem ação antitumoral em células cancerígenas do cólon, epiderme e tecido mamário através da indução da apoptose via condensação nuclear e fragmentação, além de combater patologias neurológicas, levando em consideração o potencial antioxidante e antiinflamatório que o β -cariofileno desempenha (Machado, 2019).

Estudos realizados também destacaram a atividade do β -cariofileno no combate de obesidade e consequentemente doenças cardiovasculares através da diminuição do índice de gordura visceral, colesterol total, LDL, VLDL e citocininas pós-inflamatórias, além do combate a diabetes, diminuindo os níveis de glicose no sangue e aumentando a insulina plasmática, ambos os estudos realizados em ratos (Scandiffio, *et al.* 2020). Os trabalhos acima descritos evidenciam o potencial farmacológico que *L. alba* apresenta, sendo capaz de revolucionar a indústria farmacêutica através da utilização inteligente dos seus compostos medicinais.

Em relação ao Germacreno D, o grupo controle e o tratamento sem elicitor sob restrição hídrica apresentaram resultados estatisticamente semelhantes entre si, no entanto, o tratamento com ácido acético sob restrição, apresentou redução no teor do composto (Figura 9). Esses resultados sugerem que além do Germacreno D não ser sensível à restrição hídrica, a presença do ácido acético reduz o teor do composto.

Figura 9. Média do Teor de Germacreno D em folhas de *L. alba* após elicitação com ácido acético 0,5% e estresse por restrição hídrica. Letras diferentes representam diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$).

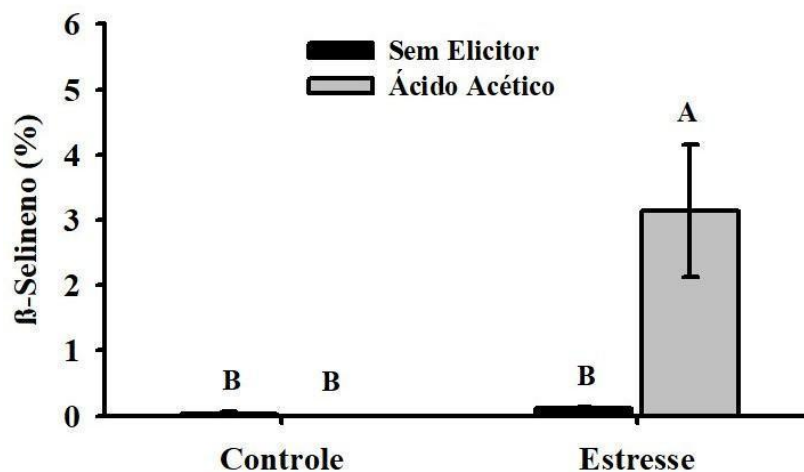


Fonte: Autor (2025).

Analisando as atividades farmacológicas do Germacreno D, destaca-se a atividade antidiabética através dos componentes encontrados em óleo essencial, sendo verificada a eficiência do composto na inibição de enzimas (como α -amilase e α -glicosidase) que atuam no metabolismo de carboidratos em indivíduos diabéticos; além disso, também nota-se um poderoso potencial antimicrobiano que confere resistência as plantas que possuam o Germacreno D na composição do OE. (Soares., *et al.* 2023).

Por fim, em relação ao β -selineno, o grupo controle e o tratamento sob restrição hídrica sem elicitor, apresentaram uma produção reduzida para o composto, não diferindo estatisticamente entre os tratamentos. Em contrapartida, o tratamento com estresse hídrico e elicitor apresentou a maior produção do composto entre os tratamentos testados (Figura 10). Os resultados apontam que apesar dos três tratamentos apresentarem significância, a produção do composto é fortemente modulada apenas na combinação de restrição hídrica e elicitação com ácido acético.

Figura 10. Média do Teor de β -selineno em folhas de *L. alba* após elicitação com ácido acético 0,5% e estresse por restrição hídrica. Letras diferentes representam diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$).



Fonte: Autor (2025).

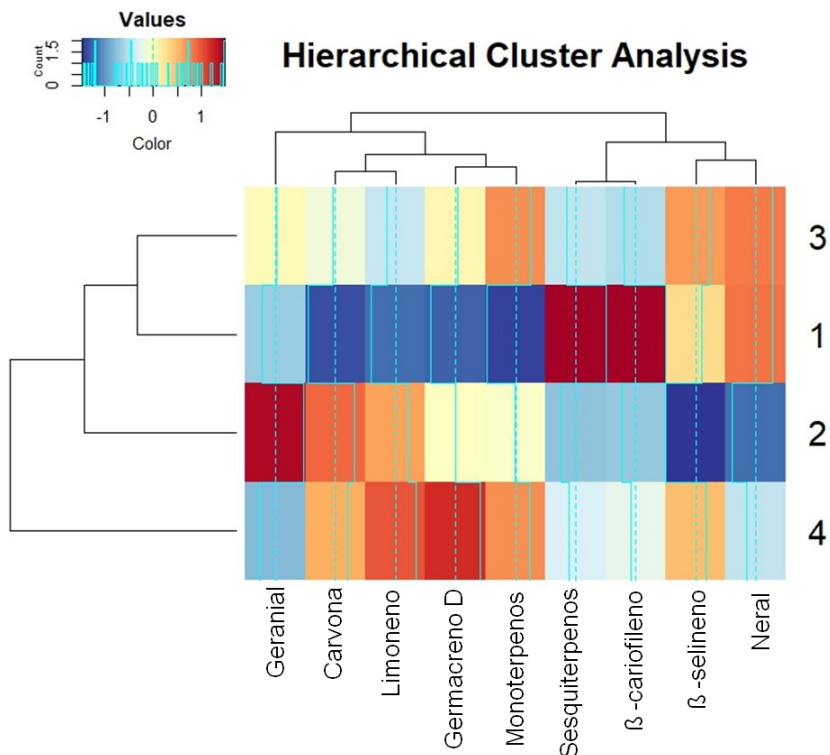
Para o β -selineno, Oliveira e colaboradores (2023) verificaram ação antifúngica deste composto contra *Candida albicans*, com os resultados indicando ação inibitória ao crescimento do fungo. Esses resultados apontam que o efeito antimicrobiano do β -selineno confere uma maior resistência para as plantas que possuam o composto na composição do OE, como a *L. alba*.

A análise de cluster hierárquico (AHC) mostrou o agrupamento dos monoterpenos e sesquiterpenos, evidenciando a modulação do metabolismo secundário em *L. alba* entre a via dos monoterpenos e sesquiterpenos (Figura 11). Os tratamentos formaram dois grupos principais, sendo o primeiro grupo apresentando dois subgrupos, sendo um subgrupo com os tratamentos sem elicitor (sem e com restrição hídrica) e um subgrupo com o tratamento com elicitor e sem restrição hídrica. O outro grupo principal contém o tratamento com elicitor e com restrição hídrica. Dessa forma, a AHC indica que a elicitação com ácido acético 0,5% é capaz de modular o perfil dos principais componentes do óleo essencial de *L. alba*, ocorrendo maior diferenciação do perfil do óleo essencial com a elicitação e restrição hídrica.

As vias do metabolismo secundário em plantas sofrem forte modulação pelo estresse hídrico (Mulugeta e Radácsi, 2022). Dessa forma, sugerimos que a elicitação com ácido acético 0,5% em folhas de *L. alba* submetidas à restrição hídrica modulam diferencialmente as vias de

produção de óleo essencial, aumentando a produção de sesquiterpenos.

Figura 11. Análise de Cluster Hierárquico (AHC) com os agrupamentos dos tratamentos aplicados e compostos do óleo essencial identificados após elicitação com ácido acético 0,5% e restrição hídrica em *Lippia alba*.



1. sem elicitor e sem restrição hídrica; 2. com elicitor e sem restrição hídrica; 3. sem elicitor e com restrição hídrica; 4. com elicitor e com restrição hídrica.

Fonte: Autor (2025).

7. CONCLUSÃO

Em virtude dos fatos mencionados, conclui-se que a elicitação com ácido acético em plantas de *Lippia alba* configura-se como uma eficaz ferramenta na modulação de sesquiterpenos, metabólitos responsáveis por diversas funções biológicas e fisiológicas devido a ação de seus compostos. Em relação aos monoterpenos, os resultados indicaram melhor aproveitamento na utilização de ácido acético como elicitor foliar quando em condições plenas de status hídrico.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMANI, S. et al. Modifications in gene expression and phenolic compounds content by methyl jasmonate and fungal elicitors in *Ficus carica*. Cv. Siah hairy root cultures. **BMC Plant Biol**, v. 24, n. 520, 2024.

BALASUBRAMANIAN, V. K. et al. Spatiotemporal metabolic responses to water deficit stress in distinct leaf cell-types of poplar. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, n. 1346853, 2024.

BARRETO, F. et al. Estudo químico das principais vias do metabolismo secundário vegetal: uma revisão bibliográfica. **Revista Científica da FHO|Uniararas**, v. 8, n. 1, 2020.

BERGMAN, M. E. et al. Medically Useful Plant Terpenoids: Biosynthesis, Occurrence, and Mechanism of Action. **Molecules**, v. 1, n. 24, 2019.

BEZERRA, D. G. et al. Percepção sobre o uso de plantas medicinais e impactos no Cerrado na região da Cidade de Goiás (GO). **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 15, n. 5, 2020.

BORGES, L. P. AMORIM, V. A. Metabólitos secundários de plantas. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v.11, n.1, 2020.

BOSISIO, M. M.. **Compostos elicitores em alecrim: efeitos sobre a produção de biomassa, atividade antioxidante e síntese de óleo essencial e ácido carnósico**. 2024. 56f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2024.

FIGUEIREDO, V. M. A. **Agentes promotores da mitigação do déficit hídrico em mudas de *Talisia esculenta* (A. St. Hil) Radlk.** 2024. 78 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2024.

GOMES, D. S. et al. *Lippia alba* and *Lippia gracilis* essential oils affect the viability and oviposition of *Schistosoma mansoni*. **Acta Tropica**, v. 231, 2022.

HESSINI, K. et al. Graded Moisture Deficit Effect on Secondary Metabolites, Antioxidant, and Inhibitory Enzyme Activities in Leaf Extracts of *Rosa damascena* Mill. var. trigintipetala. **Horticulturae**, v. 8, n. 177, 2022.

HOSSEINI, M. S. et al. Melatonin alleviates drought impact on growth and essential oil yield of *Lemon verbena* by enhancing antioxidant responses, mineral balance, and abscisic acid content. **Physiologia plantarum**, v. 172, n. 2, 2021.

JOGAWAT, A. *et al.* Crosstalk between phytohormones and secondary metabolites in the drought stress tolerance of crop plants: A review. **Physiologia Plantarum**, v. 172, n. 2, 2021.

KIM, J. M. *et al.* Acetate-mediated novel survival strategy against drought in plants. **Nature Plants**, v. 3, n. 17097, 2017.

MACHADO, K. C. **ESTUDOS FARMACOLÓGICOS DO BETA-CARIOFILENO EM MODELOS ANIMAIS PARA EPILEPSIA E ANSIEDADE**. 2019. 183f. Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2019.

MACHADO, T. Q. *et al.* A narrative review of the antitumor activity of monoterpenes from essential oils: An update. **Biomed research international**, v. 6317201, 2022.

MAGALHÃES, L. G. A. *et al.* Potencial terapêutico do quimiotipo II da *Lippia alba* (Mill.) N. E. Brown - citral-limoneno: uma revisão integrativa. **Revista Brasileira de Práticas Integrativas e Complementares em Saúde**, v. 3, n. 6, 2024.

MESQUITA, F. de A. **ANÁLISE IN SILICO DO POTENCIAL GENÔMICO PARA PRODUÇÃO DE TERPENOS EM BACTÉRIAS AERÓBIAS FORMADORAS DE ENDÓSPOROS**. 2023. 84f. Dissertação (Mestrado em Biologia Microbiana) – Universidade de Brasília, Brasília, 2023.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Programa Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos. Brasília. **Ministério da Saúde**, 2009. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/programa_nacional_plantas_medicinais_fitoterapicos.pdf. Acesso em: 16/fev/2025.

MORAIS, P. F; POVH, J. A. Potencial antioxidante da espécie *Lippia alba* (Mill.) N.E. Br. ex Britton & P. Wilson (Verbenaceae) ocorrente na região do Pontal do Triângulo Mineiro, MG. **Revista Contemporânea**, v. 4, n. 4, 2024.

MULUGETA, S. M; RADÁCSI, P. Influence of Drought Stress on Growth and Essential Oil Yield of *Ocimum* Species. **Horticulturae**, v. 8, n. 2, 2022.

OLIVEIRA, D. P. de. *et al.* Therapeutic potential of *Lippia alba* (Mill.) N.E.Br. ex Britton & P. Wilson. **Research, Society and Development**, v. 13, n. 1, 2024.

OLIVEIRA, J. M. D. *et al.* AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ANTIMICROBIANO DE ÓLEOS ESSENCIAIS, FRENTE AS CEPAS *K. pneumoniae* e *C. albicans*. **Revista Contemporânea**, v. 3, n. 10, 2023.

REBOUÇAS N. P. B.; FERREIRA, D. L.. Estudo da anatomia foliar de *Lippia alba* (MILL.) N.E. BR. (Verbenaceae) no município de Itacoatiara, Amazonas. **Revista Biodiversidade** - v. 23, n. 3, 2024.

SÁ, R. C. S. *et al.* Sesquiterpenes from essential oils and anti-inflammatory activity. **Natural product communications**, v. 10, n. 10, 2015.

SANTOS, R. V. M. dos. *et al.* Composição química e atividades biológicas do óleo essencial das folhas de *Lippia sidoides cham.* (Verbenaceae) encontradas no lavrado de Boa Vista – RR. **Revista Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 9, 2024.

SANTOS, C. H. S. da. **Avaliação da atividade antifúngica do citral sobre *Aspergillus flavus*.** 2021. 76f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2021.

SCANDIFFIO, R. Protective Effects of (*E*)- β -Caryophyllene (BCP) in Chronic Inflammation. **Nutrients**, v. 12, n. 3273, 2020.

SCAPINELLO, J. *et al.* Aplicação de óleos essenciais em alimentos: Uma revisão sobre desafios e perspectivas. **Revista Acta Ambiental Catarinense**, v. 21, n. 1, 2024.

SHARMA, S. *et al.* The Effects of Water-Deficit Stress on *Cannabis sativa L.* Development and Production of Secondary Metabolites: A Review. **Horticulturae**, v. 11, n. 646, 2025.

SILVA, E. S. da. *et al.* Plantas com atividade anti-histamínica/Plants with anti-histaminic activity. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 12, 2020.

SILVA, N. **Passos iniciais do metabolismo de isoprenoides em angiospermas: Genômica evolutiva e análises moleculares em *Coffea spp.*** 2020. 75f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2020.

SILVA-SANTOS, L. *et al.* Elicitation with Methyl Jasmonate and Salicylic Acid Increase Essential Oil Production and Modulate Physiological Parameters in *Lippia alba* (Mill) N.E. Brown (Verbenaceae). **J Plant Growth Regul**, v. 42, 2023.

SOARES, M. L. L. R. *et al.* Avaliação da composição química e atividade antidiabética in vitro dos óleos essenciais de *Algrizea minor* (Myrtaceae) e *Eugenia brejoensis* (Myrtaceae). **Evidência: Biociências, saúde e inovação**, v. 23, n. 1, 2023.

TRINDADE, J. K. M. *et al.* Perfil químico e atividade antimicrobiana do óleo essencial de variedades de *Psidium guajava L.* (Myrtaceae). **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, 2021.

YANG, L. *et al.* Response of plant secondary metabolites to environmental factors. **Molecules**, v. 23, n. 762, 2018.

ZANETTI, N. N. S. **Metabolismo secundário de plantas: Uma abordagem investigativa de ensino baseada em evidências e contextualização.** 2024. 166f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Biologia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2024.