



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DA BAHIA – IFBA  
CAMPUS VITÓRIA DA CONQUISTA  
DIRETORIA ACADÊMICA - DAC  
COORDENAÇÃO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA - CLIQUI**

**IRANILDO ARAÚJO OLIVEIRA**

**TÉCNICAS DE EXTRAÇÃO, COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ATIVIDADES  
BIOLÓGICAS DOS ÓLEOS ESSENCIAIS DE MAIOR INTERESSE  
ECONÔMICO NO BRASIL**

Vitória da Conquista – BA

2022

**IRANILDO ARAÚJO OLIVEIRA**

**TÉCNICAS DE EXTRAÇÃO, COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ATIVIDADES  
BIOLÓGICAS DOS ÓLEOS ESSENCIAIS DE MAIOR INTERESSE  
ECONÔMICO NO BRASIL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à coordenação de Licenciatura em Química, como requisito para a obtenção do título de Licenciado em Química pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia *campus* Vitória da Conquista.

Orientador: Prof. Dr. Anderson Marques de Oliveira

Vitória da Conquista – BA

2022

O48t Oliveira, Iranildo Araújo.

Técnicas de extração, composição química e atividades biológicas dos óleos essenciais de maior interesse econômico no Brasil./Iranildo Araújo Oliveira.- – Vitória da Conquista, 2022.

79f.: il.: color.

Orientador: Anderson Marques de Oliveira

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)- Licenciatura em Química.  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - Campus de Vitória da Conquista - BA, 2022.

1. Óleos Essenciais - Extração. 2.Óleos Essenciais - Composição. 3.Atividades biológicas; I. Oliveira, Anderson Marques de. II. Título.

CDD: 615.321

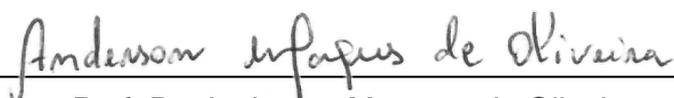
Catálogo na fonte: Sônia Iraína Roque Andrade – CRB 5/1203  
IFBA – Campus Vitória da Conquista – BA

IRANILDO ARAÚJO OLIVEIRA

**TÉCNICAS DE EXTRAÇÃO, COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ATIVIDADES  
BIOLÓGICAS DOS ÓLEOS ESSENCIAIS DE MAIOR INTERESSE  
ECONÔMICO NO BRASIL**

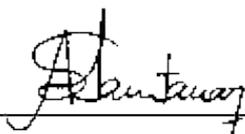
Trabalho de Conclusão de graduação apresentado à coordenação de Licenciatura em Química, como requisito para a obtenção do título de Licenciado em Química pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia campus Vitória da Conquista, sob orientação do Prof. Dr. Anderson Marques de Oliveira.

Aprovado em **09 de agosto de 2022**, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:



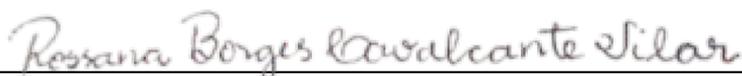
---

Prof. Dr. Anderson Marques de Oliveira  
Orientador – IFBA *campus* Vitória da Conquista



---

Prof. Msc. Alessandro Santos Santana  
IFBA *campus* Vitória da Conquista



---

Prof. Dra. Rossana Borges Cavalcante Vilar  
IFBA *campus* Vitória da Conquista

## AGRADECIMENTOS

Gratidão, virtude tão importante, vale muito a pena ser expressada e compartilhada; trata-se de reconhecer graças ao quê ou a quem nos tornamos ou alcançamos algo. Ter gratidão, para mim, é ter sobretudo humildade. Por toda esta experiência vivida nesta jornada e toda graça alcançada, agradeço primeiramente a Deus por ter me dado forças, saúde e ajudado a alcançar cada objetivo. Toda honra e glória ao Senhor!

Sou muito grato à minha família, especialmente aos meus pais pelo apoio e incentivo para persistir estudando. Também tenho muita gratidão à minha irmã, Juliana, pelo apoio e por acreditar em mim desde a preparação para o vestibular e início estando torcendo sempre pelo meu sucesso.

Não posso deixar de expressar também a gratidão ao meu professor e orientador, Anderson, por me acolher prontamente para o desenvolvimento deste trabalho, além da confiança depositada em mim e da paciência. Desde já, expresso admiração por este excelente professor, que é para mim uma inspiração de docente e profissional da querida Química Orgânica.

Aos professores da banca, pelas contribuições e por aceitarem participar deste momento da minha formação. Agradeço também aos professores do IFBA *campus* de Vitória da Conquista, por colaborar para meu desenvolvimento e amadurecimento docente. Vale destacar aqui o professor Alessandro, pelo apoio, suas contribuições como profissional, em atividades experimentais, em sala de aula e durante o PIBID como supervisor; também pela confiança e valiosos conselhos.

Meus sinceros agradecimentos, aos meus caros amigos e colegas de curso, que vivenciaram comigo momentos de estudos, avaliações, seminários, produções acadêmicas, fases fáceis e difíceis, mas que juntos as superamos. Destaco aqui o agradecimento a Danilo, pela cumplicidade acadêmica e todo apoio e amizade durante o curso; também aos colegas e amigos de turma que acompanharam de perto a jornada da graduação, Lidiane, Ana Beatriz, Adriana, Graciele, Patrick; colega de curso Nilson; além do meu amigo e ex-colega de graduação, Wilson.

Por fim, agradeço ao Instituto Federal da Bahia pela oferta do curso, bem como os profissionais servidores desta grande instituição. A todos que me ajudaram de alguma forma, sou muito grato.

OLIVEIRA, Iranildo Araújo. **Técnicas de extração, composição química e atividades biológicas dos óleos essenciais de maior interesse econômico no Brasil**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) 79 f. 2022. Curso de Licenciatura em Química. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Vitória da Conquista, 2022.

## RESUMO

Neste trabalho, foi realizada uma pesquisa bibliográfica acerca das técnicas de extração de óleos essenciais visando obter melhor rendimento e menor uso de reagentes e, de forma concomitante, uma revisão e comparação da composição química e atividades biológicas dos óleos essenciais de maior interesse econômico no Brasil. Frente a isso, foi possível evidenciar, que as denominadas técnicas de extração verde e híbridas são as alternativas que colaboram para aumentar a eficiência da produção de óleo essencial, sendo, ainda, mais sustentáveis. Além disso, foram identificadas as principais plantas utilizadas para extrair os cinco óleos voláteis mais comercializados no país: limão (*Citrus limon*), eucalipto (*E. globulus*, *E. camaldulensis*, *E. citriodora* e *E. staigeriana*), laranja (*Citrus Sinensis*), hortelã-pimenta (*Mentha piperita*) e menta japonesa (*Mentha arvensis*). Assim, por meio da literatura especializada, foram feitos o levantamento de dados da pesquisa e estudo referentes à composição química e atividades biológicas dos óleos essenciais selecionando artigos mais atualizados que atendessem aos assuntos de interesse. Assim, foram identificados um total de 98 compostos químicos, sendo estes, principalmente, metabólitos secundários pertencentes às classes de terpenoides (monoterpenoides e sesquiterpenoides) e fenilpropanoides. Também foram encontrados estudos constatando diferentes atividades biológicas nos óleos essenciais, dentre as quais podemos destacar as atividades: antimicrobiana, antibacteriana, antifúngica, antioxidante e inseticida. Os óleos essenciais possuem grande importância com enorme margem de produção e, devido à vasta riqueza e diversidade biológica do Brasil, aliada a condições climáticas favoráveis, possuem elevado potencial a ser explorado, portanto, o estudo destes e de novos metabólitos contribuem para desenvolvimento científico e econômico sustentável da nação.

**Palavras-chaves:** Óleos essenciais; extração; composição; atividades biológicas; revisão bibliográfica.

OLIVEIRA, Iranildo Araújo. **Extraction techniques, chemical composition, and biological activities of essential oils of most significant economic interest in Brazil.** Undergraduate – Chemistry Degree. 79 p. 2022. Federal Institute of Education, Science and Technology of Bahia, Vitória da Conquista, 2022.

### **ABSTRACT**

In this work, bibliographic research was carried out on essential oil extraction techniques to obtain better yield and less use of reagents and, at the same time, a review and comparison of the chemical composition and biological activities of essential oils of greater economic interest in Brazil. Given this, it was possible to show that the so-called green and hybrid extraction techniques are the alternatives that collaborate to increase the efficiency of essential oil production, being even more sustainable. In addition, the main plants used to extract the five most traded volatile oils in the country were identified: lemon (*Citrus limon*), eucalyptus (*E. globulus*, *E. camaldulensis*, *E. citriodora*, and *E. staigeriana*), orange (*Citrus Sinensis*), peppermint (*Mentha piperita*) and Japanese mint (*Mentha arvensis*). Thus, through the specialized literature, a survey of research and study data regarding the chemical composition and biological activities of essential oils was carried out, selecting the most up-to-date articles that met the subjects of interest. Thus, a total of 98 chemical compounds were identified, these being mainly secondary metabolites belonging to the terpenoid classes (monoterpenoids and sesquiterpenoids) and phenylpropanoids. Studies were also found noting different biological activities in essential oils, of which we can highlight the activities: antimicrobial, antibacterial, antifungal, antioxidant, and insecticide. Essential oils are of great importance with a huge production margin and, due to the vast wealth and biological diversity of Brazil, combined with favorable climatic conditions, have a high potential to be explored, therefore, the study of these and new metabolites contribute to scientific and economic development. nation's sustainability.

**Keywords:** Essential oils; extraction; composition; biological activities; literate review.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CG-EM	Cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa
CIM	Concentração inibitória mínima
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
DPPH	1,1-difenil-2-picril-hidrazil
EAM	Extração assistida por micro-ondas
EAU	Extração assistida por ultrassom
HMG CoA	3-hidroxi-3-metilglutaril coenzima A
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio Exterior e Serviços
MEP	Metileritritol fosfato
MIT	Michigan Institute Technology
NADPH	Nicotinamida adenina dinucleótido fosfato
OEC	Observatório de Complexidade Econômica
OE-NPs	Óleos essenciais em nanopartículas
PEG	Polietilenoglicol

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Rotas de biossíntese dos terpenos .....	19
<b>Figura 2:</b> Biossíntese do ácido cinâmico e p-cumárico a partir de alcaloides .....	23
<b>Figura 3:</b> Aparato Clevenger (à esquerda) e extrator Soxhlet (à direita) .....	29
<b>Figura 4:</b> Extração Clevenger de micro-ondas .....	34
<b>Figura 5:</b> Esquema da técnica de extração: Queda de pressão controlada instantânea.....	35
<b>Figura 6:</b> Técnica de extração de Fluido supercrítico .....	36
<b>Figura 7:</b> Frutos e folhas de limão ( <i>Citrus limon</i> ).....	37
<b>Figura 8:</b> Imagens das espécies: A) <i>Eucalyptus globulus</i> , B) <i>Eucalyptus citriodora</i> , C) <i>Eucalyptus camaldulensis</i> e D) <i>Eucalyptus staigeriana</i> .....	38
<b>Figura 9:</b> Flores, frutos e folhas de laranja ( <i>Citrus sinensis</i> ) .....	39
<b>Figura 10:</b> Flores e folhas de Hortelã-pimenta ( <i>Mentha piperita</i> ) .....	39
<b>Figura 11</b> Flores e folhas de menta japonesa ( <i>Mentha arvensis</i> ).....	40

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Classes de terpenos.....	17
<b>Tabela 2:</b> Principais óleos essenciais comercializados no Brasil (2010–2021).....	25

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1 OBJETIVO GERAL</b> .....	<b>14</b>
<b>2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	<b>14</b>
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>15</b>
<b>3.1 ÓLEOS ESSENCIAIS</b> .....	<b>15</b>
3.1.1 Características gerais dos óleos essenciais .....	16
3.1.2 Biossíntese dos terpenos .....	19
3.1.3 Biossíntese dos fenilpropanoides .....	22
<b>3.2 MERCADO DOS ÓLEOS ESSENCIAIS</b> .....	<b>24</b>
3.2.1 Mercado dos óleos essenciais no Brasil .....	25
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	<b>27</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>29</b>
<b>5.1 EXTRAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS</b> .....	<b>29</b>
5.1.1 Métodos convencionais de extração de óleos essenciais .....	29
5.1.2 A extração verde e técnicas híbridas .....	31
<b>5.2 ÓLEOS ESSENCIAIS DE MAIOR INTERESSE ECONÔMICO NO BRASIL</b> .....	<b>38</b>
<b>5.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ATIVIDADES BIOLÓGICAS DOS ÓLEOS ESSENCIAIS</b> .....	<b>41</b>
5.3.1 Óleo essencial de limão ( <i>Citrus limon</i> ) .....	41
5.3.2 Óleo essencial de eucalipto ( <i>E. globulus</i> , <i>E. citriodora</i> , <i>E. camaldulensis</i> e <i>E. staigeriana</i> ) .....	47
5.3.3 Óleo essencial de laranja ( <i>Citrus sinensis</i> ) .....	56
5.3.4 Óleo essencial de hortelã-pimenta ( <i>Mentha piperita</i> ) .....	59
5.3.5 Óleo essencial de menta japonesa ( <i>Mentha arvensis</i> ) .....	64
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>67</b>
<b>7 REFERÊNCIAS</b> .....	<b>70</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os óleos essenciais podem ser compreendidos como produtos aromáticos concentrados pertencentes ao metabolismo secundário das plantas, são responsáveis por sua sobrevivência, autodefesa, atração de polinizadores, proteção contra perda de água, aumento de temperatura foliar e adaptação ao meio ambiente. Caracterizam-se pelo forte aroma e propriedade lipofílica. São pouco solúveis em água, mas solúveis em solventes orgânicos, sendo extraídos por técnicas como a maceração, extração por solvente, enfleurage, gases supercríticos e hidrodestilação (WOLFFENBÜTTEL, 2011; RIBEIRO, 2018).

Há um grande número de conglomerados internacionais que negociam óleos essenciais, movendo uma parcela econômica em diversos setores. As estatísticas do Banco de Dados de Estatísticas do Comércio de Commodities das Nações Unidas revelaram que em 2014 a importação de óleos essenciais gerou entre US\$ 3,43 e US\$ 3,91 bilhões em exportação.

O Brasil ocupava em 2017 o 4º lugar no ranking em exportações mundiais destes produtos, sendo os óleos cítricos predominantes no país. Segundo dados divulgados pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE, 2017), a estimativa é de que a produção nacional de óleos essenciais seja equivalente a 13,5% da produção total (RIBEIRO, 2018; NORA E BORGES, 2017). De acordo com dados do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (COMEX STAT/MDIC), em 2021, na categoria “óleos essenciais, matérias de perfume e sabor”, o Brasil movimentou internacionalmente 587,11 milhões US\$ (68.072,31 toneladas).

O Brasil possui vasta riqueza biológica e diversidade botânica, que colocam o país em posição privilegiada para a ciência de produtos naturais, além de possuir um amplo corpo de pesquisadores de química de produtos naturais (BERLINCK *et al.*, 2017). O cenário é, neste sentido, de grande potencial para a promessa no estudo dos óleos essenciais.

Apesar dos avanços econômicos e colaborações de diversas pesquisas envolvendo o segmento de óleos essenciais, ainda há muito a avançar e, portanto, a busca e reflexão das técnicas alternativas que dão os resultados de extração com qualidade elevada, maiores rendimentos e menor uso de reagentes e energia, devem ser consideradas.

Os óleos essenciais podem apresentar centenas de componentes, em razão dessa composição química diversificada, e grande abrangência terapêutica, atua em diversos sistemas no corpo, como também na psique. As suas propriedades têm sido cada vez mais exploradas em diversos campos, principalmente: farmacêutico, perfumaria, cosmético e alimentício (NASCIMENTO; PRADE, 2020).

As pesquisas científicas têm estudado e comprovado a ação dos óleos essenciais como anti-inflamatória, bactericida, analgésica, sedativa, estimulante, antifúngica, antidepressiva, repelente de insetos e diversas outras atividades.

Dessa forma, será realizado neste trabalho um levantamento na literatura específica e serão descritas as principais técnicas de extração utilizadas na obtenção de óleos essenciais, de forma a obter melhor rendimento e menor uso de reagentes; assim como, de modo concomitante, uma revisão e comparação da composição dos óleos essenciais de maior comércio e interesse econômico para o Brasil, bem como de suas atividades biológicas.

Vale ressaltar que trabalhos desse caráter são importantes tanto para definir bem o problema, como também atualizar o estado do conhecimento visando a sua expansão, além de permitir a postulação de hipóteses ou interpretações que servirão de ponto de partida para outras pesquisas. Assim, utilizando esse conhecimento como instrumento de reflexão pode-se traçar estratégias que colaborem ao desenvolvimento de estudos e técnicas na produção dos óleos essenciais considerando os impactos no meio ambiente e as necessidades econômicas destes produtos; além de colaborar com conhecimento das propriedades químicas desses produtos e a interação de seus constituintes químicos com os organismos.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

➤ Realizar um levantamento, na literatura, das principais técnicas de extração utilizadas na obtenção de óleos essenciais, fazendo, concomitantemente, uma revisão e comparação da composição dos óleos essenciais de maior comércio e interesse econômico no Brasil, bem como de suas atividades biológicas.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

➤ Apresentar as principais técnicas de extração utilizadas na obtenção de óleos essenciais de forma a obter melhor rendimento e menor uso de reagentes;

➤ Identificar, por meio de dados econômicos, os principais óleos essenciais que geram maior interesse comercial no Brasil.

➤ Realizar uma revisão bibliográfica dos constituintes dos óleos essenciais de maior comércio e interesse econômico no país, bem como de suas atividades biológicas.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 ÓLEOS ESSENCIAIS

A utilização de plantas e outros produtos naturais é uma prática de origem milenar, ascendida nas várias culturas em diferentes contextos historiográficos. Esta prática se constituiu nas sociedades ao longo da história por meio da associação dos conhecimentos populares, rituais e médicos. Os primitivos, por necessidade, desempenharam então um papel similar ao etnobotânico no que diz respeito à classificação daquelas plantas: se seriam úteis para a alimentação, alívio de doenças e enfermidades, se psicoativas ou mesmo letais, poderiam matar caso ingeridas (FERNANDES, 2004; LEITÃO, 2002).

Há indícios do uso de fitoterápicos antes ainda do desenvolvimento da escrita, sendo, dessa forma, desenvolvido por meio do conhecimento empírico e transmitido pela oralidade por sucessivas gerações. “Acredita-se que o registro mais antigo de todos é o “*Pen Ts’ao*”, de 2800 a.C., escrito pelo herborista chinês, Shen Numg, que descreve o uso de centenas de plantas medicinais na cura de várias moléstias” (ALMEIDA, 2011, p. 35).

Desde a antiguidade, por meio de aquecimento suave e destilação de vapor de materiais de origem vegetal, são separadas substâncias denominadas óleos essenciais ao longo de milênios na história. Antigos sacerdotes queimavam madeira juntamente com folhas e materiais de origem animal para acompanhar suas preces aos deuses. Na Bíblia os unguentos citados eram fabricados amassando-se flores e folhas em óleos ou gorduras. Flores e folhas passaram a ser aquecidas em água posteriormente, para que o vapor destilado trouxesse consigo seus aromas característicos, assim, surgia o processo de preparação dos chamados óleos essenciais (essência significando aroma) (SANTOS E MOL, 2016).

Não há registros que datem precisamente a primeira extração por destilação de óleos essenciais, no entanto sabe-se que seu uso tem origem e repercutiu desde as antigas civilizações. Já a expressão ‘Óleo essencial’ foi usada pela primeira vez no século XVI pelo médico suíço Paracelsus von Hohenheim (1493-1541), representando para o estudioso o componente eficaz de cada medicamento: a “Quinta essência”, e que o isolamento deste extrativo deve ser o objetivo da farmácia. Essa teoria, certamente, configurou-se a base para a pesquisa na preparação de óleos essenciais após o seu tempo. O próprio termo “óleos essenciais” lembra o conceito paraceliano

da “*Quinta essentia*” (GUENTHER, 1948, p. 4).

O termo paraceliano (quintessência) remonta ainda as ideias alquimistas que compreendiam o produto obtido por extração dos vegetais como “a alma das plantas”. A teoria aristotélica compreendia que “a matéria é composta de quatro elementos, a saber, fogo, ar, terra e água. O quinto elemento, ou quintessência, era considerado espírito ou força vital” (SELL, 2010, p. 121), então ao extrair o óleo acreditavam estar removendo a força vital da planta. Hoje em dia, sabemos que os óleos essenciais são de natureza física e compostas por misturas complexas de produtos químicos. Um legado que vemos dos conceitos antigos é que os componentes químicos dos óleos essenciais devem ser voláteis, pois eles são removidos por destilação.

Esses primeiros estudos foram muito importantes para o desenvolvimento de novas técnicas e teorias sobre os produtos naturais.

A revolução na ciência da Química, que começou no final do século XVIII, representado pelo trabalho de A. Lavoisier (1743-1794), resultou em uma abordagem nova e esclarecedora para a investigação da natureza dos óleos essenciais. É interessante que a primeira investigação moderna realmente importante no campo tenha sido dedicada ao óleo essencial mais antigo conhecido, o óleo de aguarrás. Submetendo o óleo à análise elementar, J. J. Houton de la Billardiere descobriu que a proporção de carbono e hidrogênio é de cinco a oito mesma proporção que foi estabelecida posteriormente para todos os hemiterpenos, terpenos, sesquiterpenos e politerpenos. O investigador publicou seus resultados em um periódico farmacêutico, o *Journal de Pharmacie* (GUENTHER, 1948, p. 7).

Na literatura podemos encontrar os conceitos referentes aos óleos essenciais, os quais mostram uma visão mais moderna e progresso científico. De acordo com Franz e Novak (2010, p. 39), “os óleos essenciais são misturas complexas de compostos voláteis produzidos por organismos vivos e isolado apenas por meios físicos (prensagem e destilação) de uma planta inteira ou parte de planta de origem taxonômica”. Já Miranda *et al.* (2016, p. 214), descreve: “são metabólitos secundários extraídos de diversas partes de plantas, possuem composição química complexa e garantem aos vegetais vantagens adaptativas no meio em que estão inseridos”. São, portanto, produtos concentrados do metabolismo secundário de plantas, caracterizados pela alta volatilidade e composição química diversificada.

### 3.1.1 Características gerais dos óleos essenciais

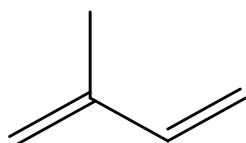
Os óleos voláteis podem ser sintetizados nas plantas pelos canais secretores, bolsas secretoras ou células secretoras dentro dos vacúolos, também podem ser produzidos pelas papilas epidérmicas ou pelos tricomas glandulares que estão

presentes nas flores, folhas, caules, raízes, rizomas, frutos e sementes. Encontram-se presentes nas várias partes das plantas: flores, sementes, frutos, raízes, folhas, cascas e caules. Desempenham funções de proteção e autodefesa contra microrganismos, polinização das espécies, proteção contra desidratação e adaptação ao meio ambiente (RIBEIRO, 2018; WOLFFENBÜTTEL, 2011).

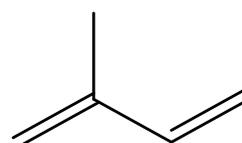
As propriedades sensoriais e funcionais e variedades de aplicações conferidas aos óleos essenciais são atribuídas aos princípios ativos presentes em decorrência de seus variados componentes químicos. Os óleos essenciais, quimicamente, são misturas naturais complexas que podem conter dezenas de constituintes em diferentes concentrações que determinam suas propriedades sensoriais e funcionais, sendo caracterizados por um ou dois constituintes majoritários (BAKKALI, *et al.*, 2008). Esses componentes químicos são caracterizados por apresentarem baixo peso molecular que confere sua volatilização, responsável pelo aroma característico e outras propriedades.

Os óleos voláteis podem ser constituídos principalmente por uma mistura de compostos classificados como: monoterpenos, sesquiterpenos ou compostos aromáticos (RIBEIRO, 2018; BASER, BUCHBAUER, 2010).

Os terpenos são os principais constituintes desses óleos e são classificados em função do número de átomos de carbono em suas moléculas chamadas isopreno (2-metil-buta-1,3-dieno) (1), também chamada de unidade isoprênica, pois, unindo-se a 2, 3, 4... n moléculas iguais, forma moléculas múltiplas  $(C_5H_8)_n$  de cadeias, denominadas terpenos.



2-metil-buta-1,3-dieno (1)



Unidade de isopreno

Os principais terpenos são: os monoterpenos (C10) (formados por duas cadeias de isoprenos) e sesquiterpenos (C15) (por três cadeias de isoprenos), mas os hemiterpenos (C5), diterpenos (C20), triterpenos (C30) e tetraterpenos (C40) também existem. Muitos autores preferem utilizar o termo terpenoides, que incluiria também os compostos oxigenados (BAKKALI, *et al.*, 2008).

**Tabela 1:** Classes de terpenos.

Número de Átomos de Carbono	Classe
10	Monoterpenos
15	Sesquiterpenos
20	Diterpenos
30	Triterpenos
40	Tetraterpenos

**Fonte:** Adaptado de Carey (2011).

Os compostos aromáticos derivados do fenilpropano ocorrem com menos frequência do que os terpenos. As vias biossintéticas relacionadas a terpenos e derivados fenilpropânicos geralmente são separadas em plantas, mas podem coexistir em alguns com uma via principal assumindo o controle. Componentes nitrogenados ou sulfurados também são característicos como metabólitos secundários de plantas diversas ou produtos torrados, grelhados ou assados (BAKKALI, *et al.*, 2008).

Além dos óleos voláteis, há os óleos vegetais fixos que podem ser confundidos, pois também são produtos importantes usados com fins farmacológicos, industriais e nutricionais. Nesse sentido, é importante ressaltar que apesar de ambos originarem de extratos vegetais suas propriedades e constituição química possuem distinções. As principais características que diferenciam o óleo essencial são a volatilidade e forte aroma em relação ao óleo fixo. Os óleos fixos também são extraídos de diferentes partes de vegetais, no entanto, geralmente são extraídos de frutos e sementes conhecidas como oleaginosas.

As diferenças acentuadas das características entre os dois tipos de óleos têm relação com suas composições químicas, que afetam diretamente as propriedades físicas e organolépticas (aparência, cheiro, viscosidade) e suas aplicações. Em relação as composições químicas, os óleos vegetais fixos são formados predominantemente por triglicerídeos ou triacilgliceróis, isto é, “moléculas que provêm do metabolismo primário, formadas por três ácidos graxos esterificados com glicerol e com pelo menos um deles insaturado” (OLIVEIRA, 2013, p. 27). Em razão desta natureza físico-química, estes óleos, portanto, apresentam-se em estado líquido e viscoso nas condições normais de temperatura e pressão, devido ao baixo ponto de fusão.

Os óleos essenciais possuem ampla aplicação devido às suas propriedades químicas e organolépticas características. Suas principais aplicações concentram-se

no ramo alimentício (conservantes, aromatizantes, etc.), farmacológico, cosmético (perfumes, óleos corporais) e medicinal. Destacando seu uso medicinal e terapêutico, os óleos essenciais, de forma geral, “são utilitários para fins analgésicos, fungicida e antiviral, anti-inflamatório, antiespasmódico, anticatarral, equilibrante, descongestionante, cicatrizante, diurético, desintoxicante, digestivo, imunestimulante, relaxante e sedativo” (CAVAGLIERI; PADILHA; PRADO, 2018, p. 198).

Essas misturas complexas podem ser extraídas por diferentes processos, sendo os mais comuns: destilação por arraste de vapor, hidrodestilação, enfloração (enfleurage), extração com solventes orgânicos, fluido supercrítico e líquido subcrítico.

A caracterização química dos componentes dos óleos essenciais geralmente é realizada por meio da técnica cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (CG-EM), sendo que as regiões de pico são analisadas e seus constituintes definidos.

### 3.1.2 Biossíntese dos terpenos

Os voláteis cumprem importante papel na comunicação e defesa da planta, pois é através desses compostos orgânicos voláteis que as plantas estão em constante diálogo com os organismos em seu ambiente e, assim, permite que as plantas e os organismos com os quais interagem sintonizem seu crescimento, desenvolvimento, defesa, propagação e ciclo de vida para alcançar a máxima aptidão. As próprias plantas e também os organismos em seu ambiente produzem esses compostos, que pertencem a várias classes químicas, como: os terpenoides, os benzenoides e os fenilpropanoides, moléculas derivadas de ácidos graxos, incluindo os voláteis das folhas verde e classes menores como nitrilos (oxima e sulfetos) (BOUWMEESTER *et al.*, 2019).

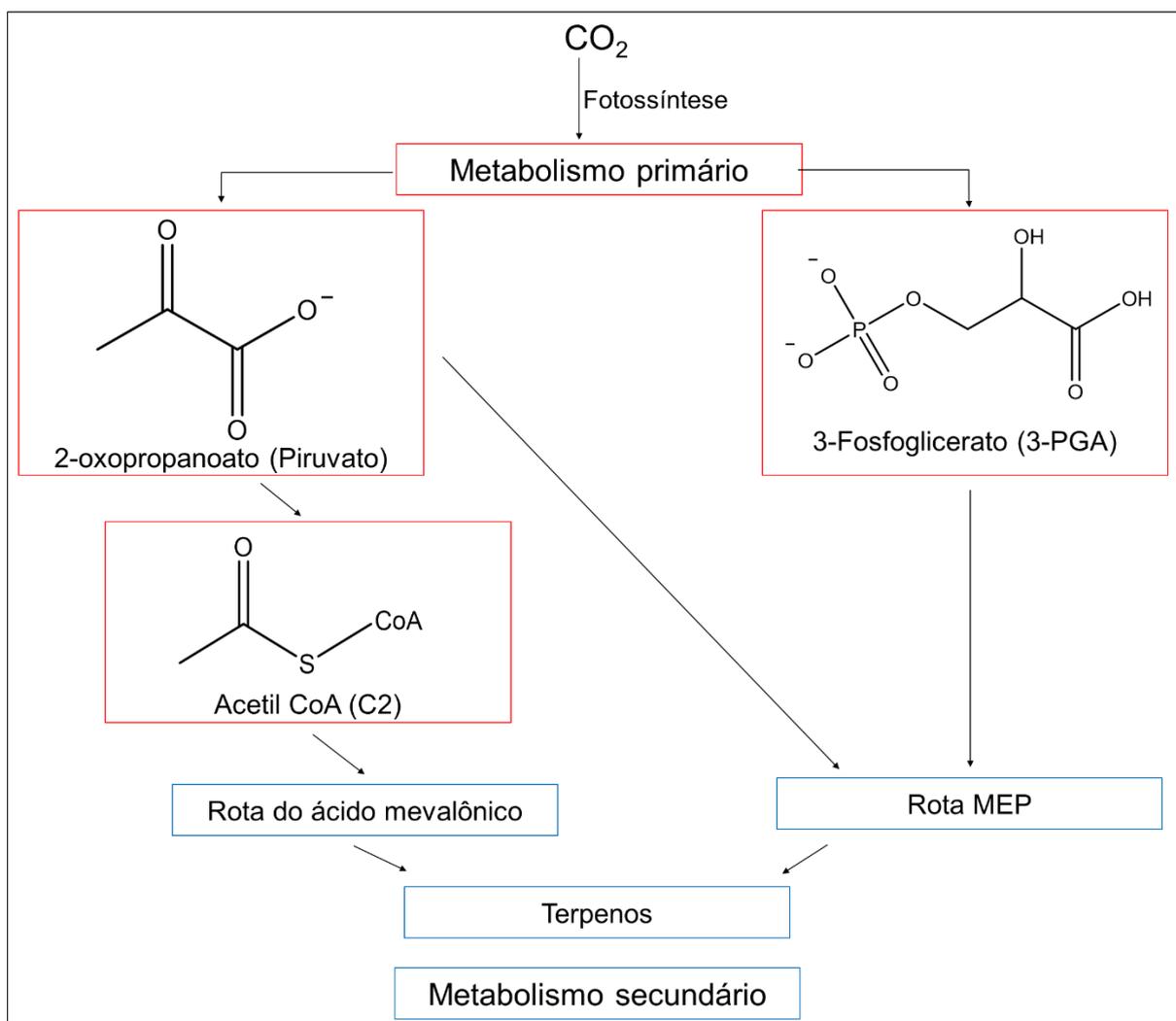
As funções biológicas atribuídas aos óleos voláteis na planta são variadas e incluem: a) a defesa contra o ataque de predadores, mutualistas, pragas e antagonistas patogênicos; b) a proteção contra perda de água e aumento de temperatura e a inibição de germinação e c) a interação com polinizadores, microrganismos e, ainda, com outras plantas (BOUWMEESTER *et al.*, 2019; JAKIEMI, 2008).

Com muita frequência, o principal componente volátil de um óleo essencial pertence a uma classe de substâncias químicas chamadas de terpenos. Esta classe

de substâncias constitui-se como um extenso grupo de moléculas orgânicas produzidas por biossíntese como metabólitos secundários, principalmente em plantas, por meio dos seus metabólitos primários (FELIPE; BICAS, 2006).

Os terpenos são biossintetizados a partir de metabólitos primários por no mínimo duas rotas diferentes (Figura 1): a partir da rota do ácido mevalônico (2) ou de intermediários básicos da glicólise, rota metileritritol fosfato (MEP).

**Figura 1:** Rotas de biossíntese dos terpenos.

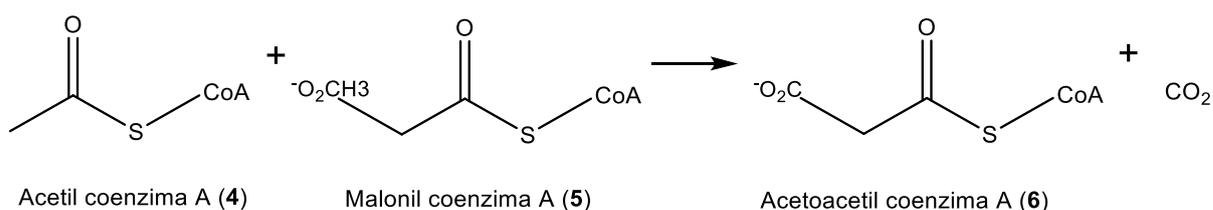


**Fonte:** Adaptado de (TAIZ, ZEIGER, 2002, p. 286)

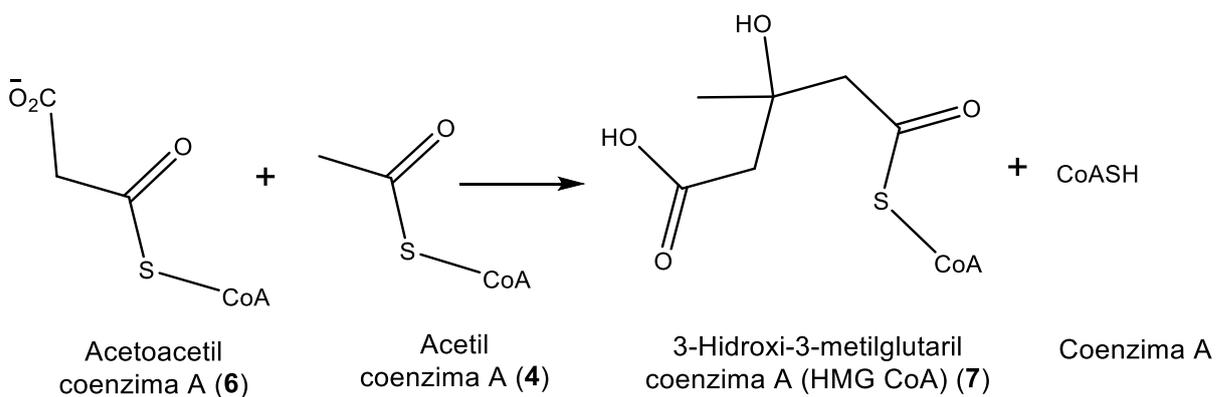
No que se refere a rota do ácido mevalônico (2), o precursor biossintético do difosfato de isopentenila (3), as etapas iniciais da biossíntese do mevalonato ocorrem a partir de três moléculas de ácido acético, e cada etapa em sua biossíntese é catalisada por uma enzima diferente. Os processos iniciais é a mesma condensação de Claisen análogos aos da biossíntese dos ácidos graxos (CAREY, 2011).

A condensação de Claisen é seguida por uma adição aldólica com uma segunda molécula de malonil-CoA (coenzima). O tioéster resultante é reduzido com dois equivalentes de NADPH (nicotinamida adenina dinucleótido fosfato) (coenzima) para formar o ácido mevalônico (BRUICE, 2006).

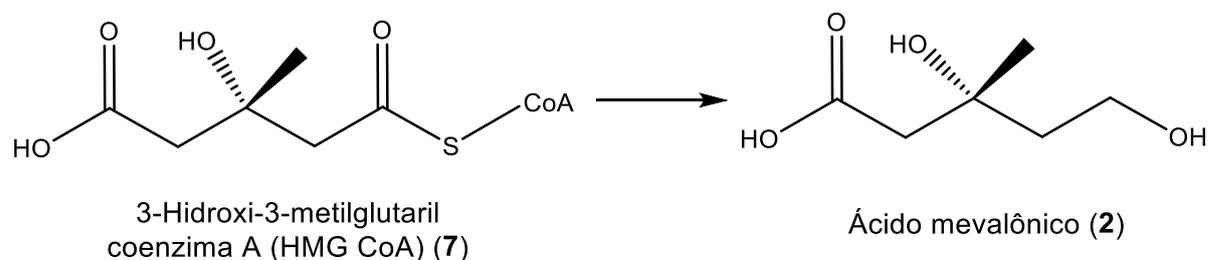
Inicialmente temos a formação do ácido mevalônico (2) a partir de reações pela acetil coenzima A (4) com a malonil coenzima A (5), conforme o mecanismo ilustrado abaixo.



Entre a carbonila cetônica da acetoacetil coenzima A (6) e o carbono  $\alpha$  de uma molécula de acetil coenzima A (4), ocorre a formação de uma ligação carbono-carbono:



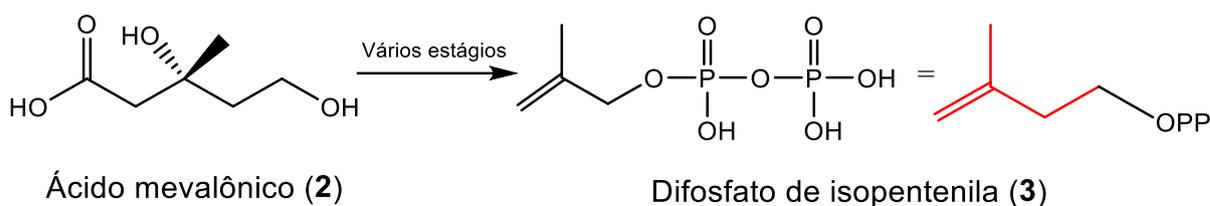
O produto dessa reação, 3-hidroxi-3-metilglutaril coenzima A (HMG CoA) (7), tem o esqueleto carbônico do ácido mevalônico e é convertido nele por redução enzimática (CAREY, 2011).



Leopold Ruzicka, do Instituto Federal de Tecnologia Suíço (Zurique), a fim de refinar a regra do isopreno original de Wallach, desenvolveu uma regra do isopreno biológico na qual ele conectou as diversas classes de terpenos de acordo com seus

precursores biológicos, já que o isopreno (unidade estrutural fundamental dos terpenos e compostos relacionados) não ocorre naturalmente, pelo menos em locais nos quais a biossíntese está ocorrendo. Dessa forma surgiu a ideia da unidade de isopreno biológico: o difosfato de isopentenila (**3**) (CAREY, 2011).

O ácido mevalônico (**2**) é convertido em difosfato de isopentenila (**3**):



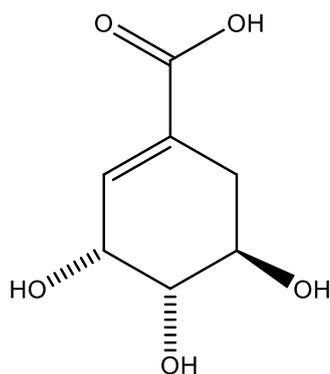
É conveniente usar o símbolo (— OPP) para representar o grupo difosfato. O difosfato também é conhecido como pirofosfato.

### 3.1.3 Biossíntese dos Fenilpropanoides

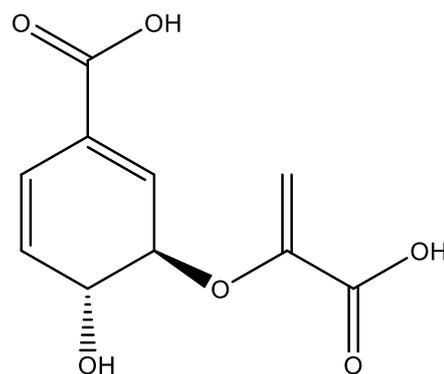
Além dos compostos terpênicos, os constituintes predominantes, os óleos essenciais das plantas também podem ser compostos de outros produtos químicos como os fenilpropanoides.

A estrutura básica dos fenilpropanoides é formada por um anel benzênico ou fenólico e uma cadeia carbônica lateral. Estes podem conter oxigênio na cadeia lateral, pertencendo a classes como aldeído, cetona ou álcoois. Em função da sua natureza e suas propriedades, alteram significativamente as características sensoriais do óleo quando ocorrem em sua composição (NOGUEIRA, 2019; JAKIEMIU, 2008).

Assim como ocorre em outros metabólitos secundários, o precursor básico dos fenilpropanóides é a glicose. O catabolismo da glicose pela via do chiquimato ou ácido chiquímico (**8**) dá origem a taninos hidrolisáveis, cumarinas, alcaloides derivados de aminoácidos aromáticos e fenilpropanóides (NOGUEIRA, 2019).



Ácido chiquímico (8)



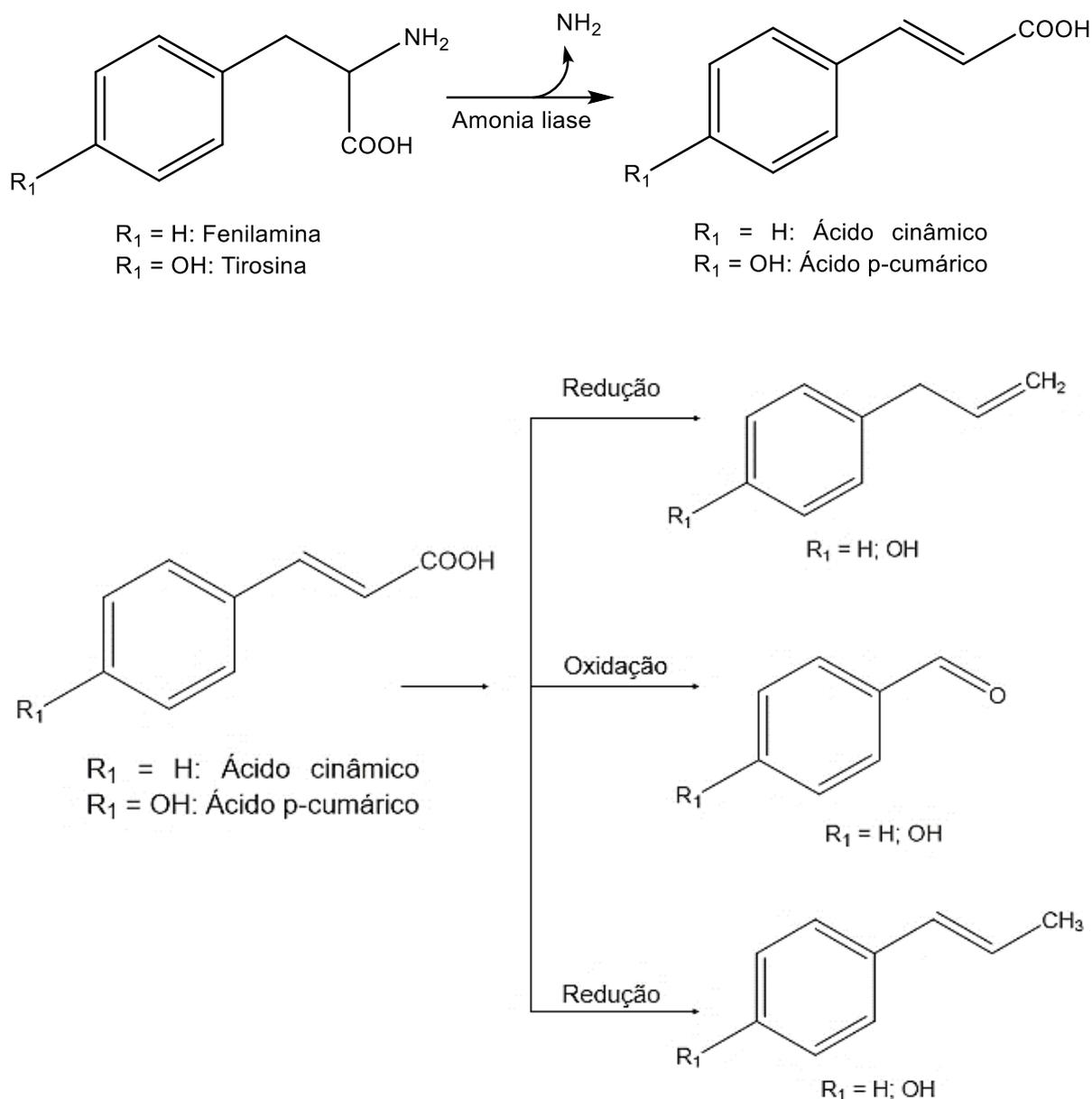
Ácido corísmico (9)

O caminho do chiquimato, empregado por micro-organismos e plantas, fornece uma rota alternativa para compostos aromáticos. Um intermediário central nessa via é o ácido chiquímico, um composto que foi isolado de plantas de espécies de *Illicium 'Shikimi'* muitos anos antes de seu papel no metabolismo ser descoberto (DEWICK, 2009).

O ácido chiquímico é formado após uma série de etapas de desidratação e redução, que se iniciam pela condensação aldólica do fosfoenolpiruvato e da eritrose-4-fosfato, ambos metabolitos da glicose. Uma vez sintetizado, o ácido chiquímico pode ser convertido em ácido corísmico, após a adição de outra molécula de fosfoenolpiruvato, catalizada pela enzima ácido 3-fosfato-3-enolpiruvilchiquímico sintase. Os aminoácidos fenilalanina e tirosina, precursores dos fenilpropanoides, originam-se do ácido prefênico (produto do rearranjo intramolecular do ácido corísmico, com o deslocamento do grupo -OC(CH<sub>2</sub>)COOH). (EPSP) (NOGUEIRA, 2019, p. 32).

Por meio da junção do ácido chiquímico (8) e de uma molécula de fosfoenolpiruvato ocorre a formação do ácido corísmico (9). Este ácido é responsável por gerar aminoácidos aromáticos que são precursores de vários alcaloides. Esses aminoácidos sofrem ação enzimática, dando origem ao ácido cinâmico ou ao ácido p-cumárico, também chamado de p-hidroxicinâmico (Figura 2). O ácido cinâmico é o precursor da maioria dos fenilpropanoides. Reações nas cadeias laterais dos ácidos cinâmico e cumárico suscitam os fenilpropanóides (JAKIEMIU, 2008; NOGUEIRA, 2019).

**Figura 2:** Biossíntese do ácido cinâmico e p-cumárico a partir de alcaloides.



**Fonte:** Adaptado de Nogueira (2019, p. 35).

Assim, a “redução enzimática produz propenil ou alilbenzenos, ao passo que a oxidação com degradação das cadeias laterais leva à formação de aldeídos aromáticos. Esses ácidos também podem sofrer ciclizações enzimáticas e produzir compostos cíclicos com características aromáticas” (NOGUEIRA, 2019, p. 33).

### 3.2 MERCADO DOS ÓLEOS ESSENCIAIS

Os óleos essenciais apresentam grande importância econômica para diversos ramos da indústria mundial, seu mercado é segmentado com base no produto, aplicação e região.

O Observatório de Complexidade Econômica (OEC) é uma ferramenta do MIT (Michigan Institute Technology) que permite aos usuários compor rapidamente uma narrativa visual sobre os países e os produtos, fornecendo acesso a dados comerciais bilaterais. Esta página contém os dados comerciais mais recentes de óleos essenciais. De acordo o sistema, em 2020, foi o 454º produto mais negociado do mundo, com um comércio total de US\$ 5,41 bilhões. O comércio de óleos essenciais representa 0,032% do comércio mundial total.

Em 2020, os principais exportadores de óleos essenciais foram: Estados Unidos (US\$ 816 milhões), Índia (US\$ 712 milhões), França (US\$ 480 milhões), China (US\$ 403 milhões) e Brasil (US\$ 274 milhões). No mesmo ano, os principais importadores foram Estados Unidos (US\$ 1,05 bilhão), França (US\$ 414 milhões), China (US\$ 364 milhões), Alemanha (US\$ 350 milhões) e Holanda (US\$ 295 milhões).

Há pelo menos 300 óleos essenciais de importância comercial no mundo. Entre os principais óleos essenciais do mercado mundial, podemos destacar: laranja, menta, Eucalipto, citronelal, hortelã-pimenta, limão, cravo-da-Índia, cedro, lima destilada, lavanda, camomila, óleo de melaleuca, gerânio, jasmim, rosa e alecrim (BIZZO, 2009; DJILANI E DICKO, 2012; OEC, 2022).

### 3.2.1 Mercado de óleos essenciais no Brasil

O Banco de Dados de Estatísticas de Comércio de *Commodities* das Nações Unidas (UN Comtrade) contém estatísticas detalhadas de importações e exportações relatadas por autoridades estatísticas de cerca de 200 países ou áreas. Refere-se a dados comerciais anuais de 1962 ao ano mais recente. Este banco de dados é atualizado continuamente. Sempre que os dados comerciais são recebidos das autoridades nacionais, eles são padronizados pela Divisão de Estatísticas da ONU e então adicionados ao banco de dados. Em 2020, O Brasil importou US\$ 86.777.052 (peso em quilogramas: 2.527.501) e exportou US\$ 270.190.417 com peso 66.555.231 kg. Assim, o país, de acordo a plataforma, ocupa a 39ª posição dentre os maiores exportadores de óleos essenciais no mundo.

Dados do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (COMEX STAT/MDIC), mostram que o setor nacional de óleos essenciais, em 2020, foi responsável pela exportação de cerca de US\$ 330,75 milhões. Em 2021, na categoria “óleos essenciais, matérias de perfume e sabor”, o Brasil exportou 347,34 milhões US\$ (53.927,4 toneladas) em óleos essenciais enquanto importou 239,77 milhões US\$

correspondendo à 14.144,91 toneladas da categoria (COMEX STAT/MDIC, 2020). Os principais óleos essenciais mais produzidos e comercializados no Brasil são descritos na tabela abaixo.

**Tabela 2:** Principais óleos essenciais mais comercializados no Brasil (2010-2021).

Descrição NCM	Valor FOB (US\$)	Quilograma Líquido
Óleo essencial, de limão	101.553.857	4.730.174
Óleo essencial, de eucalipto	68.145.859	4.500.867
Óleo essencial, de laranja, de petit grain	2.686.745	286.769
Óleo essencial, de hortelã-pimenta ( <i>Mentha piperita</i> )	1.214.831	45.555
Óleo essencial, de menta japonesa ( <i>Mentha arvensis</i> )	1.411.427	40.540
Óleo essencial, de pau-rosa	5.360.155	23.953
Óleo essencial, de citronela	234.493	11.695
Óleo essencial, de cedro	304.188	5.514
Óleo essencial, de mentha spearmint ( <i>Mentha viridis L.</i> )	220.545	4.549
Óleo essencial, de pau-santo ( <i>Bulnesia sarmientol</i> )	24.600	1.145
Óleo essencial, de palma rosa	73.512	765
Óleo essencial, de cabreúva (cabriúva)	18.068	320
Óleo essencial, de lemongrass	15.086	230
Óleo essencial, de coriandro	16.113	118
Óleo essencial, de outras mentas	576.661	27.395

**Fonte:** COMEX STAT/MDIC (2022). Link da consulta: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral/57253>.

São utilizados como matéria-prima principalmente no ramo alimentício e de bebidas, como aromatizantes, na produção de cosméticos, podendo ser aplicado como fragrância em perfumes, sabonetes, detergentes e velas, além de crescente utilização na área farmacêutica e medicinal devido às suas propriedades aromáticas e academicamente reconhecidas cujos fins terapêuticos incluem: o tratamento de estresse, insônia, depressão e ansiedade.

Há dessa forma um crescente aumento da demanda das plantas aromáticas produtoras de óleos essenciais, exigindo assim uma garantia de qualidade desses produtos e de maior disponibilidade comercial dos óleos essenciais.

## 4 METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos deste trabalho, optou-se pela utilização da revisão bibliográfica, a revisão sistemática da literatura especializada, tendo como ferramenta norteadora o levantamento bibliográfico de conhecimentos científicos publicados por meios confiáveis como técnica principal (GIL, 2002).

Trata-se, portanto, de uma pesquisa bibliográfica, uma vez que se caracteriza pela busca de informações ou conhecimentos prévios sobre o problema a respeito do qual se procura a resposta (FONSECA, 2002). O procedimento compromete-se ao uso exclusivo de fontes bibliográficas. Este permite ao pesquisador a cobertura mais ampla; é relevante quando o problema de pesquisa requer dados muito dispersos (ZANELLA, 2013).

A revisão acerca dos métodos de extração de óleos essenciais a fim de se produzir com maiores rendimentos e qualidade concordando com a segurança ambiental foi feita utilizando o Google acadêmico (*Google Scholar*), selecionando os materiais mais relevantes já publicados sobre o tema que atendessem à pesquisa.

A revisão sobre a composição química e atividades biológicas dos óleos essenciais de maior interesse econômico do Brasil se deu em duas fases: Primeiramente realizou-se a consulta dos óleos essenciais mais negociados desde 2010, utilizando a plataforma de dados do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviço “*Comex stat*” (disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>), sistema para consultas e extração de dados do comércio exterior brasileiro com filtro de buscas baseado no sistema harmonizado e nomenclatura comum do Mercosul. A partir daí foram encontrados estes óleos e elencados os principais óleos essenciais.

Após análise dos dados e da seleção dos óleos essenciais mais comercializados no país, realizou-se uma busca pelo assunto, introduzindo o nome científico da planta desses óleos, além dos termos: “*essential oil*” AND “*Biological activity*”. Foram estudados os artigos revisados por pares publicados no intervalo de tempo de 2000-2022, descartando os resultados que não eram de interesse da busca. O levantamento de dados dessa etapa da pesquisa foi feito por meio do Portal de Periódicos da CAPES.

O programa *ChemDraw Prime*, versão 18.1, devidamente autorizado e desenvolvido pela Perkin Elmer® foi utilizado para desenhar as estruturas dos compostos orgânicos. Estruturas dos compostos químicos nos quais não estavam

especificadas quanto a sua estereoisomeria, foram considerados os enantiômeros dextrogiros para a sua ilustração.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 EXTRAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS

#### 5.1.1 Métodos convencionais de extração de óleos essenciais

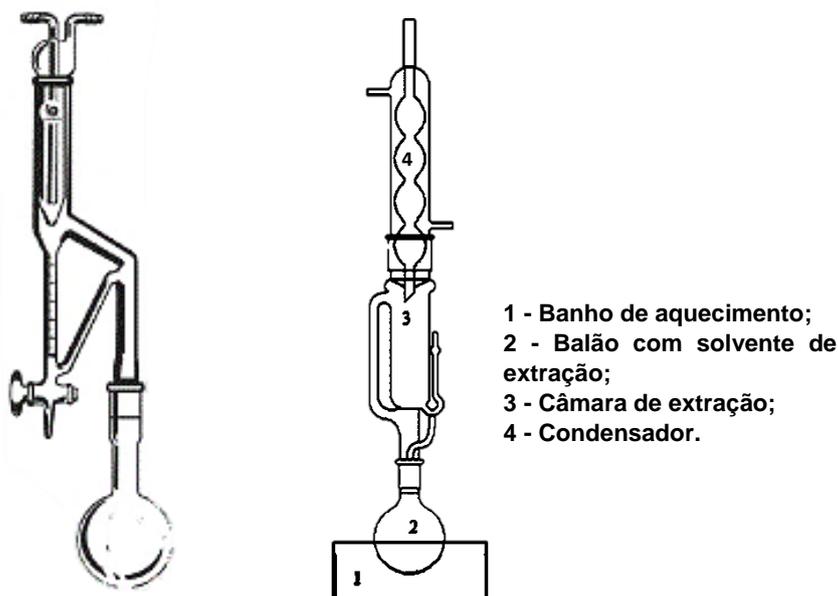
O processo de extração de óleos essenciais baseia-se principalmente nos princípios de destilação e arraste dos componentes voláteis do material vegetal. Dada a variedade de técnicas de extração e influência destes na qualidade, a escolha do método é fundamental e depende da localização do óleo essencial na planta e sua finalidade.

Entre as técnicas mais utilizadas para a extração de óleos essenciais estão: a hidrodestilação e seus derivados, a extração por arraste a vapor, a extração com solventes orgânicos, prensagem a frio e a extração com fluido supercrítico (SOUZA, 2016).

A destilação por arraste a vapor é uma operação unitária, utilizada principalmente para materiais sensíveis à temperatura, sendo baseada na diferença de volatilidade de determinados compostos presentes na matéria-prima vegetal. A indústria prefere a destilação por arraste a vapor devido à sua maior simplicidade e economia, pois permite tratar de uma única vez quantidades significativas de material vegetal (SARTOR, 2009).

A técnica por hidrodestilação consiste em manter a matriz vegetal em contato com água durante o seu aquecimento; o material vegetal então é aquecido até a água entrar em ebulição, resultando na formação de vapor aquoso que arrasta o óleo volátil até o sistema de condensação. Após o arrefecimento, por diferença de densidade e imiscibilidade, o óleo essencial e a fase aquosa condensada (também chamada de hidrolato) são separados (RIBEIRO, 2018; SOUZA, 2016). O método Clevenger (Figura 3) é uma variação da Hidrodestilação, em que somente a aparelhagem é diferenciada. Nele a matriz da qual se quer extrair o óleo é imersa em água. O aquecimento até a ebulição resulta a formação de vapor que arrasta os compostos mais voláteis. Após condensação, estes compostos separam-se da água por decantação. Esta técnica, considerando os custos e impactos ambientais, é o melhor método, uma vez que a extração é realizada com água ao invés de solvente orgânico (NASCIMENTO, 2015).

**Figura 3:** Aparato Clevenger (à esquerda) e extrator Soxhlet (à direita).



**Fonte:** Adaptado de (SPECTRUM CHEMICAL MFG. CORP; CAETANO, 201-).

Determinados tipos de óleos são muito instáveis, não suportando aumentos de temperatura. Neste caso, pode-se utilizar solventes orgânicos para sua extração. A extração com solventes orgânicos é usada no mundo todo para obter maior rendimento ou produtos que não podem ser obtidos por nenhum outro processo. Geralmente são utilizados solventes apolares como o diclorometano e éter, mas possuem o inconveniente de extrair composto lipofílicos, além dos óleos voláteis. Dentre as principais características que o solvente deve ter, destaca-se: a seletividade, uma baixa temperatura de ebulição, ser quimicamente inerte e possuir um baixo custo. O processo consiste em colocar um solvente orgânico em contato com a matriz vegetal. Após um intervalo de tempo, suficiente para que ocorra a transferência dos constituintes solúveis presentes na planta, efetua-se a separação das fases sólida e líquida. O óleo é obtido pela evaporação do solvente presente na fase líquida (SILVEIRA *et al.*, 2012; JAKIEMIU, 2008). Para realizar a extração contínua sólido-líquido, comumente se utiliza o extrator Soxhlet (Figura 3).

Soxhlet é nome atribuído ao aparelho de laboratório inventado em 1879 por Franz von Soxhlet. Este aparato consiste no tratamento sucessivo e intermitente da amostra imersa em um solvente puro (éter de petróleo, éter dietílico ou n-hexano), graças à sifonagem e subsequente condensação do solvente aquecido dentro do balão que está na base do aparelho. O conjunto extrator Soxhlet realiza ciclos que

permitem que uma quantidade de solvente passe várias vezes sobre a substância a que será extraída (LEMES, 2018).

Já a prensagem é recomendada para extração de óleo essencial de frutas cítricas, que é encontrado nos tecidos periféricos, no caso nas cascas. Estas são prensadas e a camada que contém o óleo essencial separada por decantação, centrifugação ou destilação fracionada (SIMÕES *et al.*, 2000).

O tempo de extração do óleo essencial é um dos principais parâmetros físico-químicos da indústria de essências. Desta forma, uma destilação rápida pode resultar a um produto contendo predominantemente constituintes mais voláteis, contudo, destituído de qualidades desejadas; já uma extração prolongada valoriza o produto e também pode sobrecarregá-lo de compostos de aromas indesejáveis (BARROS-GOMES *et al.*, 2018). Então, o emprego e estudo dos métodos mais eficientes no contexto e aplicação de outras técnicas é muito importante para a obtenção mais rentável de óleos essenciais, sustentável e de melhor qualidade.

#### 5.1.2 Métodos de extração verde e técnicas híbridas

O escopo da Química Verde, na definição proposta por Anastas e Warner (2009, p. 117), é baseado, mas não limitado à: “Química verde, definida como o design de produtos químicos e processos que reduzem ou eliminam o uso e geração de substâncias perigosas”. A obra do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE, 2010) assevera que a química verde é um campo emergente que tem como objetivo final conduzir as ações científicas e/ou processos industriais ecologicamente corretos, sendo também mencionada como química ambiental ou química para o desenvolvimento sustentável.

Esse desafio pode ser superado inicialmente pela conscientização e, também, pela reflexão da conduta Química no que se refere ao refinamento de processos. Pois é apenas treinando futuros químicos e projetistas que a química como disciplina terá a perspectiva e a estrutura necessárias para projetar produtos, processos, metodologias e técnicas que minimizem os riscos ambientais gerando quantidades mínimas de resíduos (LENARDÃO, *et al.*, 2003; ANASTAS E WARNER, 2009). Portanto, é atribuindo-a à tecnologia limpa na culminância desses processos que a Química Verde ou Química Sustentável se alicerceia.

A fim de nortear essa tecnologia limpa e sustentável, os produtos ou processos da Química Verde podem ser divididos em três grandes categorias:

- I) o uso de fontes renováveis ou recicladas de matéria-prima;
- II) aumento da eficiência de energia, ou a utilização de menos energia para produzir a mesma ou maior quantidade de produto;
- III) evitar o uso de substâncias persistentes, bioacumulativas e tóxicas (LENARDÃO, *et al.*, 2003, p. 124).

Os métodos convencionais utilizados nos processos de extração possuem desvantagens consideráveis, como a perda de alguns componentes, a degradação de alguns compostos insaturados pelos efeitos térmicos ou por hidrólise. Também exigem maior tempo de extração e consomem grande quantidade de energia, e às vezes, até incluem uso de solventes tóxicos. Além disso, a alta temperatura de operação durante o processo de extração convencional pode danificar os compostos ativos termolábeis presentes no extrato prejudicando a qualidade. Essas limitações não estão de acordo com os princípios da Química Verde, além de serem financeiramente caras.

É neste sentido que surge então termos como a extração verde, uma vez que essa visão sustentável mudou a abordagem das pesquisas recentes e estimulou a intensificação, otimização e aprimoramento das técnicas de extração “verdes” existentes e novas. Chemat e colaboradores (2012, p. 8616) introduz o conceito de “extração verde de produtos naturais” referindo-se a processos sustentáveis modernos: “a extração verde é com base na descoberta e projeto de processos de extração que reduzirá o consumo de energia, permitirá o uso de solventes alternativos e produtos naturais renováveis e garantirá uma segurança e extrato/produto de alta qualidade”. Os autores ainda estabelecem seis princípios da extração verde:

- Princípio 1: Inovação por seleção de variedades e uso de recursos vegetais renováveis.
- Princípio 2: Uso de solventes alternativos e principalmente água ou agrossolventes.
- Princípio 3: Reduzir o consumo de energia recuperando energia e usando tecnologias inovadoras.
- Princípio 4: Produção de co-produtos, em vez de resíduos, para incluir a refinação biológica e indústria agro-refinada.
- Princípio 5: Reduzir as operações da unidade e favorecer processos seguros, robustos e controlados.
- Princípio 6: Procure um extrato não desnaturado e biodegradável sem contaminantes (CHEMAT, VIAN, CRAVOTTO, 2012, p. 8617).

Alternativas aos procedimentos convencionais de processamento, preservação e extração podem aumentar a eficiência da produção e contribuir para a preservação ambiental, reduzindo o uso de água e solventes, a eliminação de águas residuais, a energia fóssil e a geração de substâncias perigosas.

Portanto, o foco e os requisitos atuais com os métodos de extração estão mudando para a extração verde, que é ecologicamente correta com menor consumo de energia e emissões de CO<sub>2</sub> (BORA *et al.* 2020; CHEMAT *et al.*, 2020).

Usando técnicas de extração ecológica, os processos completos agora podem ser concluídos em minutos em vez de horas, com alta reprodutibilidade, consumo reduzido de solvente, manipulação simplificada, maior pureza do produto final, eliminação do pós-tratamento de águas residuais e consumo de apenas uma fração da energia normalmente necessária para método de extração convencional. Alguns desses métodos a fim de superar as limitações das técnicas convencionais são: a extração assistida por ultrassom (EAU), a extração assistida por micro-ondas (EAM), queda de pressão controlada, campo elétrico de pulso e a extração supercrítica de CO<sub>2</sub> (MORADI, FAZLALI, HAMED, 2018; CHEMAT *et al.*, 2020).

O uso do ultrassom em baixa frequência é empregado para extrair alguns compostos principalmente por agitação molecular, aquecimento, formação de micro jatos e fenômeno de cavitação. Componentes à base de plantas e alimentos, como óleos, proteínas, polissacarídeos e produtos naturais bioativos podem ser efetivamente recuperado pela sua aplicação (CHEMAT *et al.*, 2020).

Nora e Borges (2017), em sua revisão sobre a extração de óleos essenciais utilizando ultrassom como pré-tratamento, concluiu que os melhores resultados obtidos empregam baixas frequências, que variam de 20 a 50kHz e tempos de extração entre 20 a 40 min. Ainda de acordo com as autoras, a utilização de ultrassom como pré-tratamento possibilita também uma redução de tempo de cerca de 70% em relação à hidrodestilação convencional; além de permitir um aumento na extração de compostos bioativos e, assim, melhorar a atividade antioxidante e antimicrobiana dos óleos essenciais obtidos. A hidrodestilação assistida por ultrassom pode contribuir para intensificar e melhorar a eficiência de extração de óleo essencial, alcançando maiores rendimentos que o método convencional, além de poder reduzir consideravelmente o tempo de extração e a energia utilizada. Com este processo o rendimento de extração é 44% maior que o método convencional (CHEMAT, VIAN, CRAVOTO, 2012; CHEMAT, 2012).

A hidrodestilação é utilizada em todo o mundo por conta de sua simplicidade, em contrapartida, requer alto consumo de energia para aquecimento e resfriamento. Assim, a literatura mostra processos para otimizar essa técnica clássica, como por exemplo, a realização sob pressão moderada, nela o tempo de destilação é reduzido

por um fator de 2 ou 3, com um consumo reduzido de vapor e, conseqüentemente, menor consumo de energia (CHEMAT, VIAN, CRAVOTO, 2012).

Visando superar as limitações dos métodos de extração convencionais, outra técnica inovadora de extração com papel importante na promoção de compostos naturais sustentáveis para as indústrias alimentícia, cosmética e farmacêutica é a tecnologia de extração assistida por micro-ondas (*Microwave Assisted Extraction - MAE*), pois usam ou produzem menos solvente, energia, e oferecem menos perigos ao ser humano e meio ambiente e ainda propicia bons rendimentos.

O aquecimento dielétrico, como não pertence a radiação não ionizante, pode ser usado para maximizar a extração de compostos naturais, fitonutrientes e ingredientes funcionais dos alimentos, economizando tempo e solventes. Não afeta as ligações químicas e nem causa alterações moleculares devido à remoção de elétrons. Nas últimas duas décadas, a extração assistida por micro-ondas tem sido amplamente aplicada na extração de compostos voláteis e não voláteis de matrizes vegetais (CHEMAT *et al.*, 2020).

Na extração assistida por micro-ondas, a energia eletromagnética convertida em calor aumenta a temperatura interna das células da matriz, devido ao aquecimento e à evaporação da umidade presente, ocasionando o aumento da pressão interna, rompimento de membranas e liberação do óleo essencial (RIBEIRO, 2018, p. 46).

A extração ocorre como resultado de alterações na estrutura celular causadas por ondas eletromagnéticas.

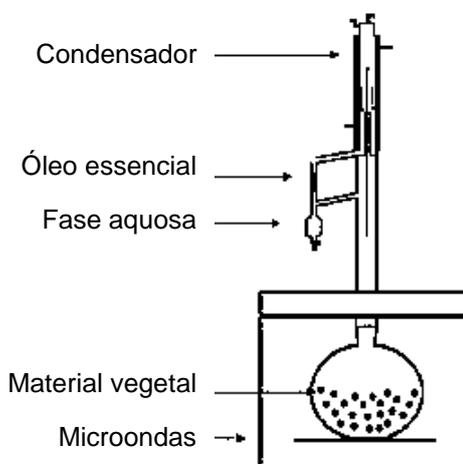
Lucchesi *et al.* (2004) apresentou uma abordagem que produz extratos livres de solventes por meio de aquecimento por micro-ondas de ervas aromáticas. O potencial da técnica foi comparado com a hidrodestilação convencional, mostrando quantidades substancialmente mais altas de compostos oxigenados à custa de hidrocarbonetos monoterpênicos: “foi demonstrada a extração por microondas sem solvente possível, com interesse particular em evitar a necessidade para solventes orgânicos ou água externa em óleo essencial extração de plantas” (LUCCHESI *et al.*, 2004, p. 138).

Uma outra contribuição inovadora foi na destilação a vapor por micro-ondas, desenvolvida por Chemat e colaboradores, em 2008. O processo é baseado no princípio de destilação a vapor convencional, no qual a radiação de micro-ondas é aplicada apenas no reator de extração. O sistema de refrigeração e a parte estimada para recuperar as essências estão situados fora do forno. Este método foi aplicado

para a extração de óleo essencial de flores de lavanda (*L. angustifolia* Mill.) (CHEMAT, VIAN, FERNANDEZ, 2013).

Ferhat *et al.* (2006), propôs um aparelho “Clevenger de micro-ondas” aprimorado (Figura 4) para destilação de óleos essenciais de casca de laranja. A técnica de destilação acelerada por micro-ondas foi comparada com o método convencional de hidro-destilação, para extração de óleo essencial de cascas de laranja frescas.

**Figura 4:** Extração Clevenger de micro-ondas.



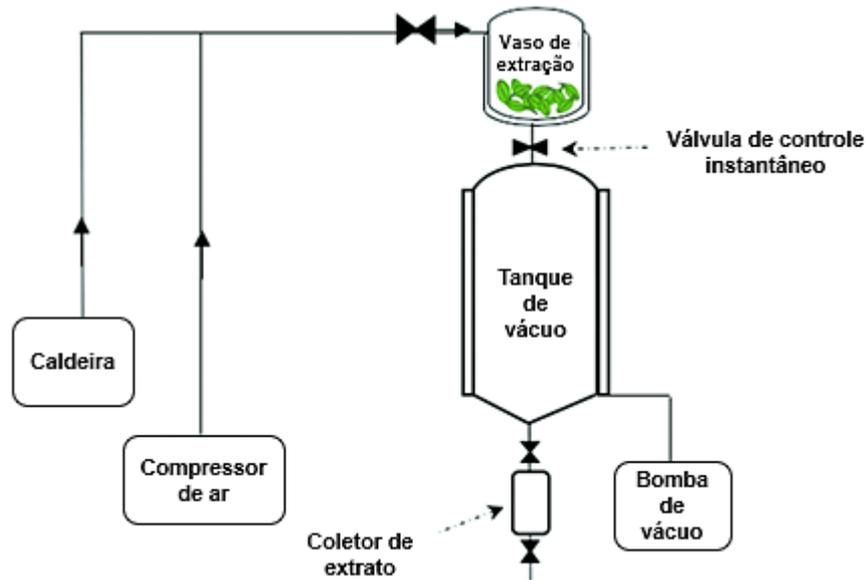
**Fonte:** Adaptado de (FERHAT, *et al.*, 2006, p. 122).

Este método de extração por micro-ondas oferece vantagens importantes sobre a hidrodestilação tradicional: processo livre de água e solvente, tempos de extração mais curtos; melhores rendimentos; compostos oxigenados mais altos; ambientalmente amigável; menor produção de subprodutos (como não há água ou solvente é usado); custo mais baixo; e a possibilidade de um melhor reprodução do aroma natural do óleo essencial (FERHAT, *et al.*, 2006).

O processo de extração por queda de pressão controlada instantânea (Figura 5) foi desenvolvido por Rezzoug e parceiros. A extração de óleo essencial com base neste método foi usada para extrair essências de casca de laranja. Este processo ajuda a eliminar qualquer degradação térmica dos compostos do extrato. Isso aumenta a difusividade geral do produto e melhora a transferência de líquido na planta. Este método foi também utilizado para otimizar o processo de obtenção de óleo de alecrim. Submeteu-se as folhas dessa planta por um curto período de tempo, à ação do vapor a uma pressão entre 50 a 550 (KPa) e aplicando instantaneamente um alívio de pressão de 50 KPa ( 0,5 bar). Assim, a pressão proporcionou uma melhor

distribuição do fluido de aquecimento através da planta e, portanto, melhora da transferência de calor. Neste procedimento, é obtido duas fases diferentes: a fase orgânica (óleo essencial) e uma fase aquosa (MEJRI *et al.*, 2018).

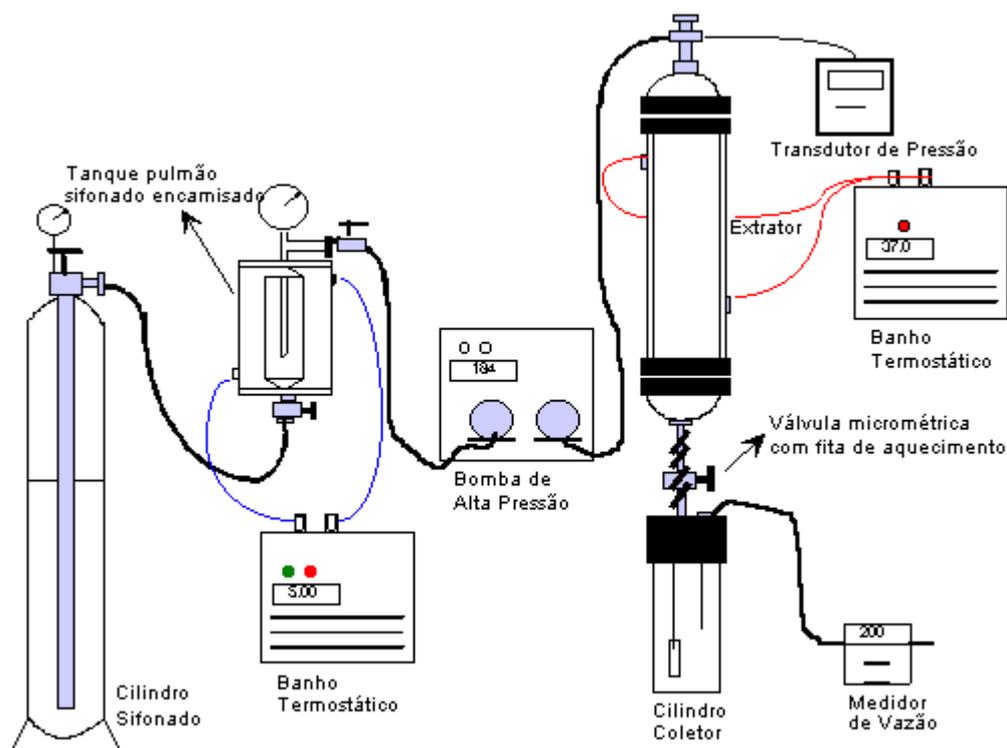
**Figura 5:** Esquema da técnica de extração: Queda de pressão controlada instantânea.



**Fonte:** Adaptado de Chemat *et al.* (2020).

Extração de fluido supercrítico (Figura 6) é o processo de separação de um componente (o extrator) de outro (a matriz) usando fluidos supercríticos como solvente de extração. A extração é geralmente de uma matriz sólida, mas também pode ser de líquidos. A extração por fluidos supercríticos é uma técnica que utiliza o poder do solvente em temperatura e pressão vizinhas ao ponto crítico e baseia-se no princípio da solubilidade dos compostos orgânicos em fluidos supercríticos, em relação à solubilidade dos mesmos em fluidos na fase vapor (SILVEIRA *et al.*, 2012; CHEMAT *et al.*, 2012; RASSEM *et al.*, 2016).

**Figura 6:** Técnica de extração de Fluido supercrítico.



**Fonte:** Retirado de (COELHO, OLIVEIRA e PINTO, 1997).

O solvente mais utilizado nesta técnica é o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), devido ao seu baixo custo, à temperatura crítica considerada baixa ( $31,1^\circ\text{C}$ ) e a pressão crítica facilmente alcançável ( $72,85 \text{ atm}$ ), além de ser um solvente inodoro, quimicamente inerte e sem risco ambiental. Nessas condições, estando o  $\text{CO}_2$  em estado de fluido supercrítico, este recebe as partes da planta que tem o óleo extraído, nas quais age como um solvente. Após o equilíbrio entre a pressão da substância e a pressão do ambiente o  $\text{CO}_2$  volta ao estado gasoso restando apenas o óleo essencial. Esta técnica vem sendo considerada uma das mais promissoras para a área da alimentação. Os extratos supercríticos mostraram-se de qualidade superior, com melhores atividades funcionais e biológicas (SILVEIRA *et al.*, 2012; RASSEM *et al.*, 2016). Sua desvantagem é que o processo demanda custos altos, devido ao preço do equipamento, dificultando a sua implantação, além de não ser fácil de manusear.

Novas técnicas de extração têm sido aprimoradas com o uso do ultrassom e outros instrumentos, conforme elencam Silvani Verruck e Prudencio (2018, p.30):

- a) Extração de Soxhlet assistida por ultrassom;
- b) Destilação de Clevenger assistida por ultrassom;
- c) Combinação de micro-ondas e ultrassom;
- d) Combinação de processo de diminuição de pressão controlada instantânea e ultrassom;

- e) Combinação de ultrassom e extração com fluido supercrítico Combinação de ultrassom e extração com extrusão.

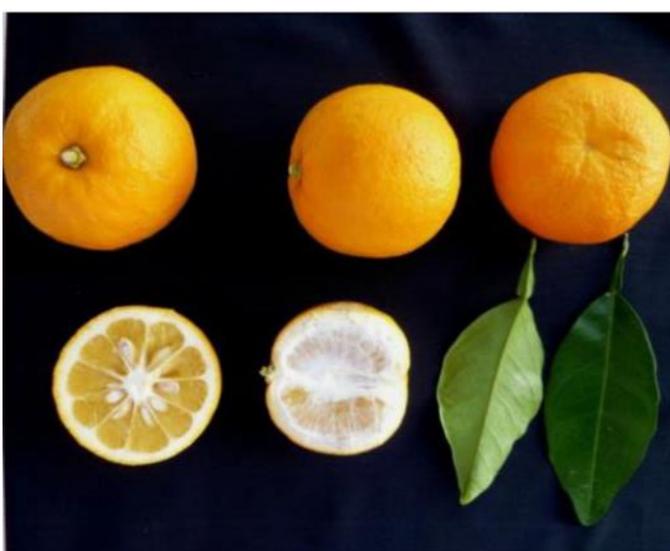
As combinações de métodos como a extração assistida por ultrassom, juntamente com técnicas inovadoras, como a técnica de micro-ondas são consideradas as técnicas híbridas mais promissoras, obedecendo aos princípios da extração verde e sendo, ainda, economicamente viáveis.

## 5.2 ÓLEOS ESSENCIAIS DE MAIOR INTERESSE ECONÔMICO NO BRASIL

Após consulta nos sistemas de dados estatísticos de mercado nacionais, foram selecionadas como objeto de estudo para a presente pesquisa os principais óleos essenciais de maior interesse comercial e econômico no Brasil: limão (*Citrus limon*), eucalipto (*E. globulus*, *E. citriodora*, *E. staigeriana* e *E. camaldunensis*), laranja (*Citrus sinensis*), hortelã-pimenta (*Mentha piperita*) e menta japonesa (*Mentha arvensis*).

O gênero *Citrus* é uma das subunidades taxonômicas mais importantes da família Rutaceae. Os frutos produzidos pelas espécies pertencentes a este gênero são chamados de “cítricos” popularmente, ou frutas cítricas. Uma das espécies mais conhecidas e utilizadas é o limão “*Citrus limon* (L.)” (Figura 7): uma árvore que atinge 2,5-3 m de altura, cuja fruta é uma baga verde alongada, oval e pontiaguda que fica amarela durante o amadurecimento (KLIMEK-SZCZYKUTOWICZ, SZOPA, EKIERT, 2020).

**Figura 7:** Frutos e folhas de limão (*Citrus Limon*).

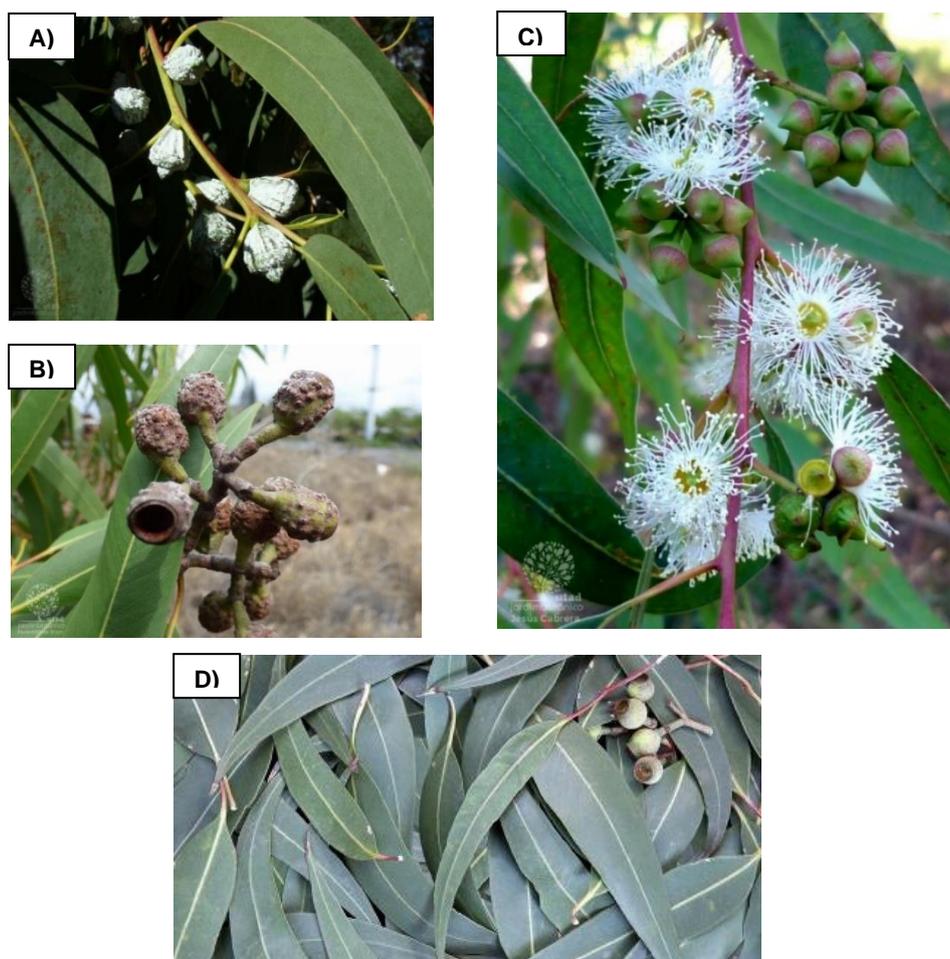


**Fonte:** Retirado de Bitz *et al.* (2020, p 348).

O eucalipto (*Eucalyptus*), da família *Myrtaceae* e nativo da Austrália, é um gênero de árvores altas, perenes e magníficas cultivadas em todo o mundo por seu óleo, goma, polpa, madeira, medicina e valor estético. Dentre os diversos produtos, o óleo essencial encontrado em sua folhagem é um dos mais importantes e encontra amplo uso na indústria alimentícia, perfumaria e farmacêutica. Além disso, o óleo possui um amplo espectro de atividade biológica (BATISH, 2008).

Entre as espécies do gênero *Eucalyptus* (Figura 8) cultivadas no Brasil para a produção de óleo essencial nas quais se encontraram estudos fotoquímicos, estão: o *E. globulus*, *E. citriodora* (*Corymbia citriodora*), *E. staigeriana* (FABROWSKI, 2002; VITTI E BRITO, 2003) e *E. camaldulensis* (VIEIRA, 2004).

**Figura 8:** Imagens das espécies: A) *E. globulus*, B) *E. citriodora*, C) *E. camaldulensis* e D) *E. staigeriana*.



**Fonte:** UTAD: (Forest&Kim Starr, 2017; Jesús Cabrera, 2017); ULTRANL.

A laranja, *Citrus sinensis* L. (Figura 9) da família *Rutaceae*, é uma das frutíferas mais abundantes do mundo e é bem recebida pelos consumidores devido à sua cor atraente, aroma agradável e sabor. Entre as variedades de laranja mais populares, o umbigo de Thomson (*Citrus sinensis* L. Osbeck) é o que mais tem bom valor econômico e é amplamente cultivada em países como Irã, China, Índia, EUA e Brasil (FARAHMANDFAR *et al.*, 2020).

**Figura 9:** Flores, frutos e folhas de laranja (*Citrus sinensis*).



**Fonte:** (OLIVEIRA, SCIVITTARO 2011; Herbário MFS: <https://herbariomfs.uepa.br/familia-e-nome-cientifico-3/citrus-x-sinensis-l-osbeck/>).

*Mentha piperita* L. (Figura 10) é uma planta perene pertencente à família *Lamiaceae*, originárias da Europa, mas espalhadas pelo mundo e cultivadas em diversos climas. É encontrada ao longo da costa marítima e serra brasileira, sendo popularmente conhecida como “hortelã-pimenta” (HEYDARI *et al.*, 2018; SOUSA, *et al.*, 2010).

**Figura 10:** Flores e folhas de *Mentha Piperita*.



**Fonte:** Retirado de UTAD: (Yoan Martin, 2017).

*Mentha arvensis* (Figura 11) é uma espécie vegetal originária dos climas temperados da Europa e da Ásia ocidental e central. Popularmente conhecida como menta japonesa ou hortelã japonesa, tem sua importância ímpar entre a família das mentas devido ao seu alto teor de mentol, sendo principalmente cultivada na Índia, China, Brasil, Japão, EUA, França e Austrália (KALEMBA, SYNOWIEC, 2019; HEYDARI *et al.*, 2018; PANDEY, RAI, ACHARYA, 2003).

**Figura 11** Flores e folhas de *Mentha arvensis*.



**Fonte:** Retirado de UTAD: (Matt Lavin, 2017).

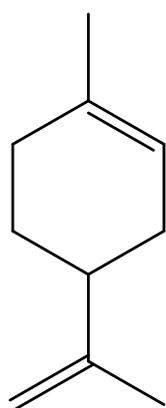
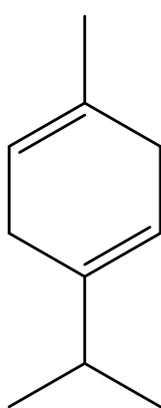
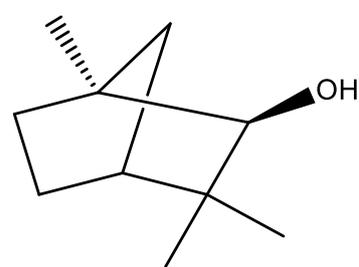
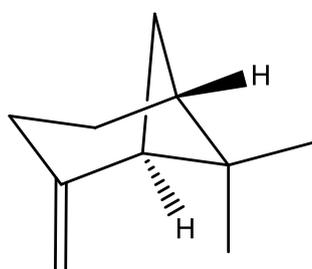
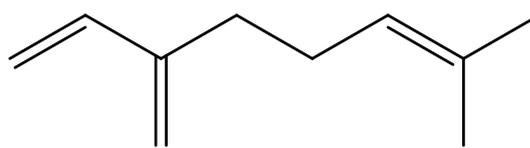
### 5.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ATIVIDADES BIOLÓGICAS DOS ÓLEOS ESSENCIAIS

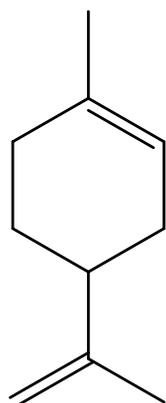
#### 5.3.1 Óleo essencial de limão (*Citrus limon*)

O óleo essencial extraído das cascas de limão (*Citrus limon*) apresenta o maior número de voláteis extraídos em relação a outras plantas do mesmo gênero. É caracterizado pela predominância de limoneno (**10**),  $\gamma$ -terpineno (**11**), álcool  $\beta$ -fenquil (**12**) e  $\beta$ -pineno (**13**) (LAMINE *et al.*, 2019).

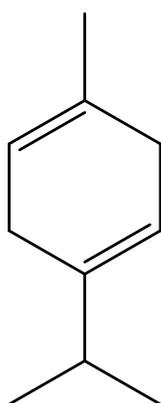
Lamine *et al.* (2019) identificou a presença de  $\beta$ -mirceno (**14**), sabineno (**15**), terpinen-4-ol (**16**), linalol (**17**),  $\alpha$ -pineno (**18**) e limoneno (**10**) em quatro espécies do gênero citrus, incluindo o limão; sendo que os metabólitos: Acetato de nerol (**19**), acetato de geranil (**20**), bergamoteno (**21**), nerol (**22**), E-citral (geranial) (**23**), p-menth-2-en-1,8-diol (**24**),  $\beta$ -bisaboleno (**25**) e geraniol (**26**) foram encontrados somente em *Citrus limon*. Os autores ainda identificaram Z-citral (neral) (**27**),  $\alpha$ -terpineno (**28**),  $\alpha$ -terpinoleno (**29**),  $\alpha$ -tujeno (**30**), cis- $\beta$  ocimeno (Z- $\beta$ -ocimeno) (**31**), trans- $\beta$ -6o (E- $\beta$ -ocimeno) (**32**),  $\beta$ -cariofileno (**33**), m-Mentha-6,8-dieno (**34**) nas cascas da fruta cítrica (LAMINE *et al.*, 2019, p. 5).

O óleo essencial do pericarpo de *C. limon* difere em composição do óleo obtido da folha. No pericarpo, há predominância de limoneno (**10**) (69,9%), p-menta-3,8-dieno (**35**) (18,0%),  $\beta$ -pineno (**13**) (11,2%),  $\gamma$ -terpineno (**11**) (8,21%), mirceno (**14**) (4,4%) e sabineno (**15**) (3,9%). Já no óleo das folhas, seus principais compostos incluem: limoneno (**10**) (31,5%), sabineno (**15**) (15,9%), citronelal (**36**) (11,6%), linalol (**17**) (4,6%), neral (**27**) (4,5%), geranial (**37**) (4,5%), (E)- $\beta$ -ocimeno (**32**) (3,9 %) (KLIMEK-SZCZYKUTOWICZ, SZOPA, EKIERT, 2020).

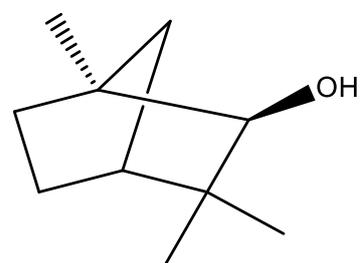
**(10)****(11)****(12)****(13)****(14)**



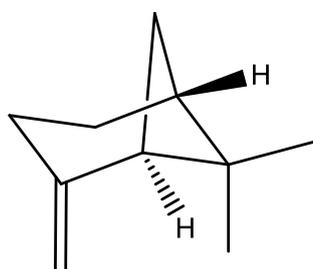
(10)



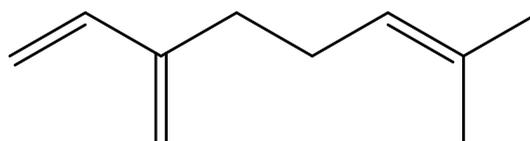
(11)



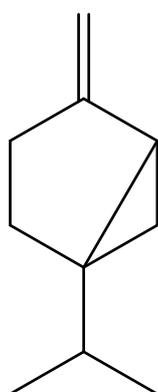
(12)



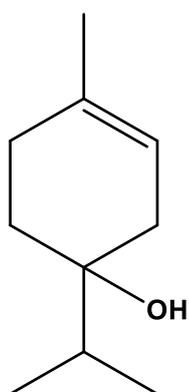
(13)



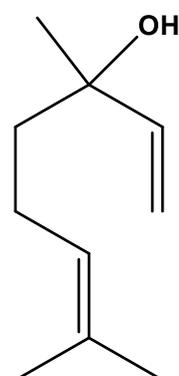
(14)



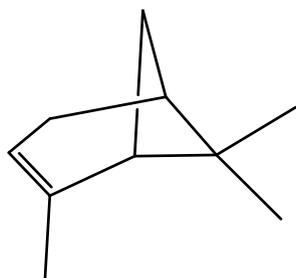
(15)



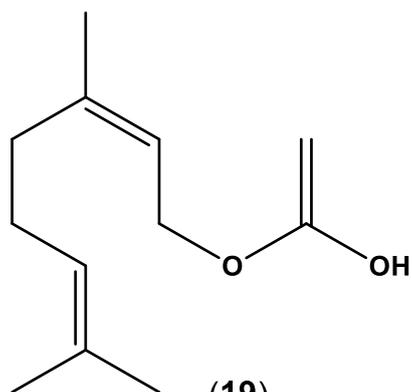
(16)



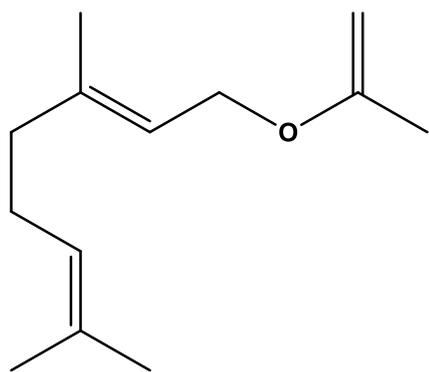
(17)



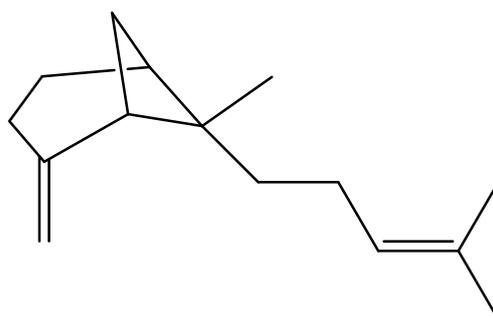
(18)



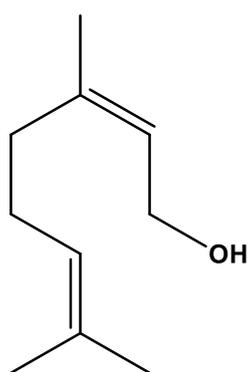
(19)



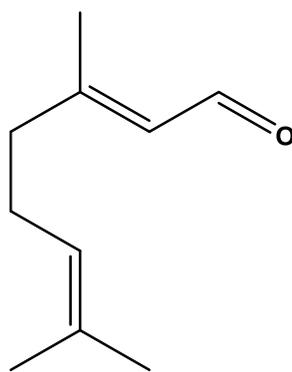
(20)



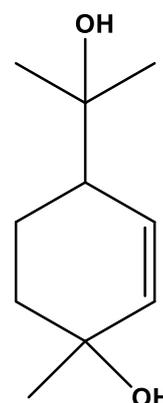
(21)



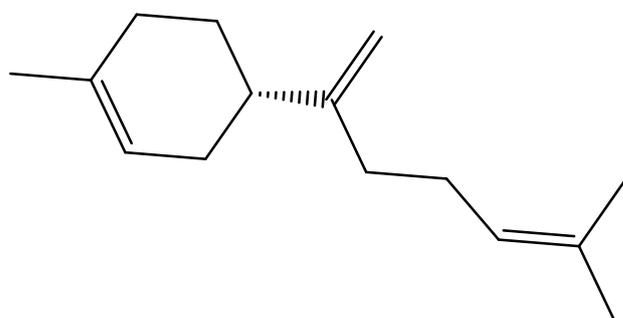
(22)



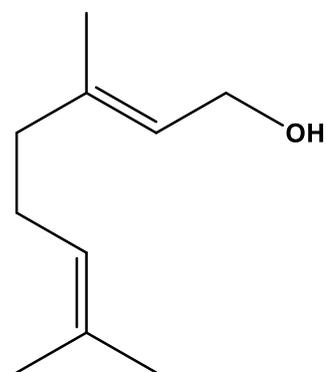
(23)



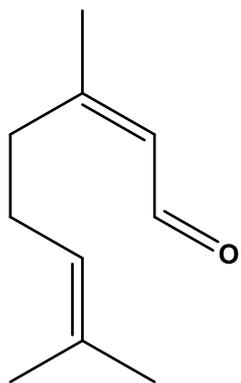
(24)



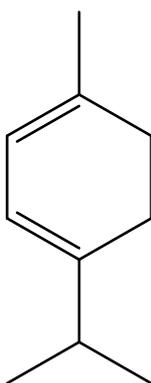
(25)



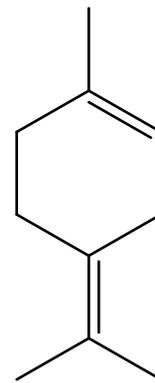
(26)



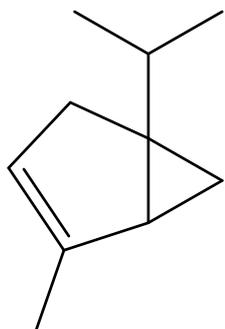
(27)



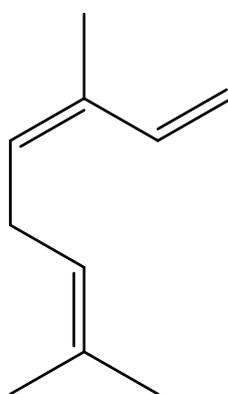
(28)



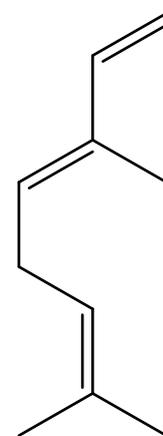
(29)



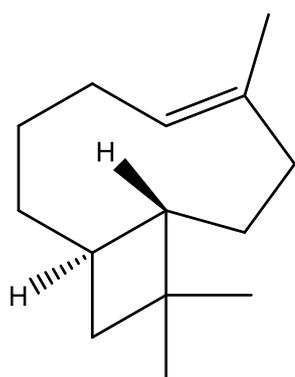
(30)



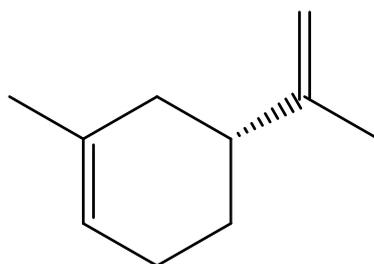
(31)



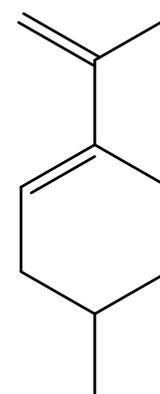
(32)



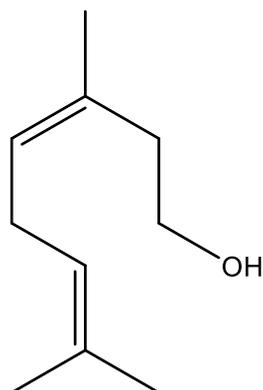
(33)



(34)



(35)



(36)

O limoneno (10) é conhecido por seu efeito anti-inflamatório, antioxidante, quimioterápico antimicrobiano e tratamentos quimiopreventivos e propriedades anticancerígenas (LAMINE et al, 2019). De acordo com Vieira *et al.* (2018), o limoneno apresenta, além dos efeitos anteriores, propriedades antidiabéticas, anticancerígenas, atividades antialérgicas, antinociceptivas e antiestresse, além de efeitos positivos no tratamento de úlcera gástrica, colite, asma e inflamação das vias aéreas, entre outras atividades.

Linalol (17) tem propriedades antimicrobianas e repelentes de insetos comprovadas, o que indica que pode ser útil para o controle de enteropatógenos ou pragas de insetos na produção avícola (LAMINE *et al.* 2019)

Lamine *et al.* (2019) avaliou as atividades antioxidantes e antimicrobianas nos óleos essenciais extraídos das cascas de quatro espécies cítricas. Quanto à atividade antioxidante: constatou-se que *Citrus limon* apresentou-se com maior capacidade antioxidante. Utilizando o radical DPPH (1,1-difenil-2-picril-hidrazil), o óleo essencial de sua casca mostrou perceptível atividade sequestrante, mostrando que *C. limon* apresentou maior atividade sequestrante de radicais livres entre os cítricos estudados. Percebeu-se uma influência significativa da espécie nas atividades antioxidantes do óleo essencial do fruto. Assim concluiu-se que este apresenta alta atividade, revelando assim uma fonte potencial de antioxidantes naturais para substituir os sintéticos nas indústrias de alimentos. Com relação às atividades antimicrobianas: Tanto para bactérias gram-positivas (*Bacillus subtilis*, *Listeria monocytogenes* e *Staphylococcus aureus*) quanto gram-negativas (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella paratyphi B*), o óleo de *C. limon* exibiu as maiores atividades antibacterianas entre todas as amostras. Apresentou ainda a maior atividade antifúngica contra as duas leveduras (*Yeast Candida albicans* e *Aspergillus flavus*).

Mehmood *et al.* (2019) fizeram estudos de inibição de zona usando ensaio de difusão em disco a fim de analisar a atividade antimicrobiana do óleo volátil da casca de *C. limon* amadurecido e não amadurecido contra quatro bactérias patogênicas humanas. Ambos os óleos essenciais isolados exibiram atividade antibacteriana considerável contra *E. coli*, *Bacillus subtilis*, *Salmonella typhimurium* e *Staphylococcus aureus* sem efeitos citotóxicos. Os resultados mostraram que o óleo da casca amadurecida teve a maior atividade antibacteriana.

À atividade letal e subletal do óleo essencial de cascas de cítricos (limão, laranja e tangerina), como emulsões e incluídos em nanopartículas de polietilenoglicol (PEG) (OE-NPs) contra a praga invasora do tomateiro *Tuta absoluta*, foram encontrados resultados que mostraram uma boa atividade inseticida geral dos compostos testados, com maior mortalidade por contato em ovos e larvas por emulsões de óleos essenciais e por ingestão em larvas (CAMPOLO *et al.* 2017).

Outra atividade inseticida do óleo de limão foi determinada por Boodram e Khan (2019) que, em seu estudo, expôs *Callosobruchus maculatus* a óleos essenciais de *Citrus limon*, a fim de determinar a mortalidade de contato, repelência, efeitos de fumigação e atividades de dissuasão de oviposição de diferentes óleos, incluindo o de limão ao longo de um período de 72h. Após o período foi observado para *C. limon*, 50% de mortalidade de adultos de *C. maculatus* em uma concentração de < 1,56 µL/mL. O óleo essencial de limão testado também apresentou nível de repelência a *C. maculatus* após 12h e 24h. Os resultados indicaram que o óleo essencial de limão era o mais tóxico para adultos destes, concluindo, portanto, que o uso do óleo essencial pode ser considerado como alternativa ao uso de inseticidas sintéticos no manejo de *C. maculatus*.

As atividades terapêuticas de *C. limon* recentemente comprovadas cientificamente incluem atividades anti-inflamatórias, anticancerígenas, antifúngicas, antibacterianas, inseticidas e antiparasitárias (LAMINE *et al.* 2019; BORA *et al.* 2020).

### 5.3.2 Óleo essencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus staigeriana*).

Dentre as espécies de eucalipto cultivadas no Brasil para a produção de óleo essencial que apresentam estudos de prospecção fitoquímica, destacamos: *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus citriodora* (*Corymbia citriodora*) e *Eucalyptus staigeriana*.

### *Eucalyptus Globulus*

O óleo proveniente do extrato das folhas de *E. globulus* é altamente composto por monoterpenoides, sendo o 1,8 Cineol (eucaliptol) (**37**) o componente majoritário (61,60%). Os monoterpenos majoritários são p-cimeno (**38**) (12,40%) e limoneno (**10**) (11,50%). Há um nível relativamente baixo de sesquiterpenos e sesquiterpenoides (KOBENAN *et al.*, 2022).

O perfil fitoquímico de *E. globulus*, portanto, inclui: Monoterpenos:  $\alpha$ -pineno (**18**),  $\beta$ -pineno (**13**),  $\alpha$ -Felandreno (**39**), D-Limoneno (**40**), L-limoneno (**41**),  $\gamma$ -Terpineno (**11**), p-Cimeno (**38**), terpinoleno (**29**), p-dimetilestireno (**42**),  $\alpha$ -mirceno (**51**); Monoterpenoides: 1,8-Cineol ou Eucaliptol (**37**), trans-carveol (**43**), terpinen-4-ol (**16**),  $\alpha$ -terpineol (**44**) borneol (**45**), p-Cimen-8-ol (**46**), trans-verbenol (**49**); Sesquiterpenos e sesquiterpenoides: Aromadendreno (**47**); aristoleno (**48**), isosativeno (**50**) e isotiocianato de alila (**52**) (KOBENAN *et al.*, 2022; MOSSI *et al.*, 2010; MAYAUD, CARRICAJÓ, ZHIRI, 2008; CHANDEL *et al.*, 2019; PARK *et al.*, 2011).

A análise por Cromatografia gasosa-Espectrometria de massa mostra que os componentes majoritários do óleo essencial de *E. globulus* incluem: 1,8-cineol (**37**) (22,35%),  $\alpha$ -pineno (**18**) (12,58%), limoneno (**10**) (4,01%), aristoleno (**48**) (3,35%), p-cimeno (**38**) (3,25%), trans-verbenol (**49**) (3,02%), isosativeno (**50**) (2,85%) e  $\alpha$ -mirceno (**51**) (2,15%) (CHANDEL *et al.*, 2019).

O óleo essencial de *E. Globulus* possui atividade antioxidante comprovada. Kobenan *et al.* (2022) mostraram propriedades antioxidantes e capacidades muito boas para inibir acetil (anti-AChE) e butiril colinesterase (anti-BChE) e tirosinase.

O *E. globulus* possui um amplo espectro de atividades biológicas, quanto às suas potencialidades inseticidas, o seu óleo sobre *P. gossypiella* e *T. leucotreta* mostrou considerável atividade (KOBENAN *et al.* 2022); Chandel *et al.* (2019) identificaram forte toxicidade fumigante e também repelente contra adultos de *Rhyzopertha dominica*, concluindo que o óleo essencial pode fornecer uma alternativa simples, barata e ecologicamente correta para o controle de pragas (CHANDEL *et al.*, 2019).

A ação inseticida e dos principais constituintes sobre adultos de *Acanthoscelides obtectus* também já foi avaliada. De acordo com Papachristos *et al.*, (2004), os óleos essenciais de *E. globulus* coletados em diferentes estações do ano apresentaram forte atividade contra adultos de *A. obtectus*, variando dependendo do sexo do inseto e da composição dos óleos essenciais. Foi evidenciada uma correlação

entre o teor de monoterpenoides oxigenados totais e a atividade, com os compostos oxigenados exibindo maior atividade do que os hidrocarbonetos.

Mossi *et al.* (2010), avaliando o efeito inseticida e repelente de óleos essenciais de *Eucalyptus sp.*, no controle da praga em milhos, verificou em *E. globulus* efeito inseticida e repelente contra *Sitophilus zeamais*. A atividade larvicida também é conhecida pelo óleo dessa espécie de eucalipto. Kobenan *et al.* (2022) demonstrou este efeito em estudo com larvas de *H. armígera*. Frente ao *Aedes aegypti*, o óleo essencial das folhas de *E. globulus* apresentou forte atividade larvicida (80% de mortalidade).

Em testes dos constituintes individuais do óleo, também contra o *Aedes Aegypti*, o isotiocianato de alila (**52**),  $\alpha$ -terpineno (**28**), p-cimeno (**38**), (+)-limoneno (**41**), (-)-limoneno (**40**), e  $\gamma$ -terpineno (**11**) resultaram em mortalidade igual ou maior que 95 % mortalidade (PARK *et al.*, 2011).

Moreira (2005) avaliou os parâmetros de atividade antimicrobiana de diferentes óleos essencial na sobrevivência e crescimento de diferentes cepas de *E. coli*. O óleo de *Eucalyptus globulus*, assim como os demais testados, apresentou ação de suscetibilidade apreciável às cepas de *E. coli*, com zonas de inibição de 16 a 30 mm de diâmetro.

A atividade fungicida foi investigada por Martins *et al.* (2013), em estudo do efeito de óleos essenciais extraídos de folhas de *E. globulus* em sistemas terrestres. Testes de crescimento de fungos com espécies conhecidas como colonizadores de folhas (*Mucorhiz malis*, *Alternaria alternata*, *Penicillium sp.*, *Penicillium glabrum* e *Fusarium roseum*) foram realizados para avaliar o efeito antifúngico dos óleos essenciais. O óleo essencial de eucalipto foi letal em concentrações entre 2,5–20  $\mu\text{L/mL}$  e inibiram o crescimento de todas as espécies de fungos entre 1,25–5  $\mu\text{L/mL}$ .

### *Eucalyptus camaldulensis*

Dois extratos de espécies de eucalipto (*Eucalyptus cinerea* e *Eucalyptus camaldulensis*) preparados pelas técnicas de hidrodestilação e extração supercrítica de  $\text{CO}_2$  foram caracterizados por cromatografia gasosa-espectrometria de massa e comparados por Herzi *et al.* (2013): O 1,8-cineol (**37**) e p-menth-1-en-8-ol (**44**) foram os compostos majoritários do óleo essencial de *E. cinerea* obtidos por ambas técnicas. Já no caso de *E. camaldulensis*, o 1,8-cineol (**37**) e p-cimeno (**38**) foram os compostos

majoritários obtidos por hidrodestilação e, por extração supercrítica de CO<sub>2</sub>, o 8,14-cedranóxido (**53**) e elemol (**54**) foram os predominantes. A técnica de extração influi na qualidade do óleo, podendo ter uma constituição química divergente em óleos essenciais de diferentes técnicas.

Uma alta atividade antioxidante foi obtida nos extratos de *E. cinerea* e *E. camaldulensis* obtidos por extração supercrítica de CO<sub>2</sub> (65 mg/L) e (128 mg/L), mas todos os extratos das duas espécies exibiram atividade de eliminação de radicais DPPH muito baixa (468 a 1519 mg/L). A atividade antioxidante é influenciada pela composição fenólica do extrato (HERZI et al. 2013).

#### *Eucalyptus Citriodora (Corymbia citriodora)*

Os principais constituintes dos óleos essenciais envolvidos na espécie *E. citriodora*, identificados pela técnica cromatografia gasosa-espectrometria de massas (CG-EM), incluem:  $\alpha$ -pineno (**18**);  $\beta$ -pineno (**13**); 1,8 cineol (**37**); citronelal (**36**); citronelol (**55**); isopulegol (**56**); acetato de citronelila (**57**) e  $\beta$ -cariofileno (**33**) (HOMA et al., 2015; SALEM et al., 2018).

A caracterização química do óleo de *Eucalyptus citriodora* por meio da análise via CG-EM, de acordo com a pesquisa, inclui:  $\alpha$ -pineno (**18**),  $\beta$ -pineno (**13**), p-cimeno (**38**), eucaliptol/1,8-cineol (**37**), limoneno (**10**), linalol (**17**), isopulegol (**56**), citronelal (**36**), terpinen-4-ol (**16**), citronelol (**55**), acetato de citronelila (**57**),  $\beta$ -cariofileno (**33**), tujena (**30**),  $\alpha$ -Mirceno (**51**), Melonal (**58**), (+)-óxido de rosa (**59**),  $\alpha$ -terpineol (**44**), ácido citronélico (**60**), cubebol (**61**), acetato de citronelol (**57**), espatulenol (**62**), óxido de cariofileno (**63**) (HOMA et al., 2015; LEE et al. 2008; SALEM et al. 2018).

Salem et al. (2018), verificou atividades biológicas do óleo essencial das folhas de *E. citriodora*, tais quais: atividade antibacteriana moderada contra a cepa bacteriana *E. coli*; além de apresentação de potência fungicida contra os fungos (*Aspergillus flavus*, *A. ochraceus*, *A. niger*, *Candida albicans*, *Penicillium funiculosum* e *P. ochrochloron*) estudados; e atividade antioxidante na técnica de eliminação de radicais livres, pelo método utilizando o radical (DPPH).

Citronelal e citronelol encontrados no óleo podem ser responsáveis tanto por sua atividade antimicrobiana quanto pela atividade antioxidante (SALEM et al., 2018).

A espécie *Eucalyptus citriodora* mostrou ligeira atividade antifúngica em estudo contra *Fusarium* (HOMA et al 2015). O óleo essencial também já foi testado quanto à sua atividade antifúngica contra isolados de quatro fungos da podridão da madeira

associados à madeira Casuarina, *Aspergillus sp.*, *Penicillium sp.*, *Fusarium sp.* e *Mucor sp.*. *E. citriodora* exibiu atividade fungicida potente contra os quatro fungos testados (ALFAZAIKY, 2004).

Cupins (*K. flavicollis*) foram expostos a *wafers* de madeira de Casuarina tratados separadamente com diferentes concentrações de óleos essenciais de *E. citriodora*, mostrando uma significativa redução de protozoários e completa ausência por 10 dias pós-tratamento em altas ou baixas concentrações (ALFAZAIKY, 2004).

Óleos essenciais de plantas comerciais obtidos de espécies de *Myrtaceae* foram testados quanto à sua atividade antifúngica contra *Phytophthora cactorum*, *Cryphonectria parasitica* e *Fusarium circinatum*. De acordo com o estudo, *Eucalyptus citriodora* teve taxa de inibição de 35,4% na concentração de  $28 \times 10^{-3}$  mg/ml contra *Phytophthora cactorum*; em um teste com *C. parasitica*, a taxa de inibição foi de 29,4%. A atividade antifúngica dos compostos identificados foi testada individualmente pelos autores: a taxa de inibição de citronelol foi de 100% contra *P. cactorum* (LEE *et al.*, 2008).

#### *Eucalyptus staigeriana*

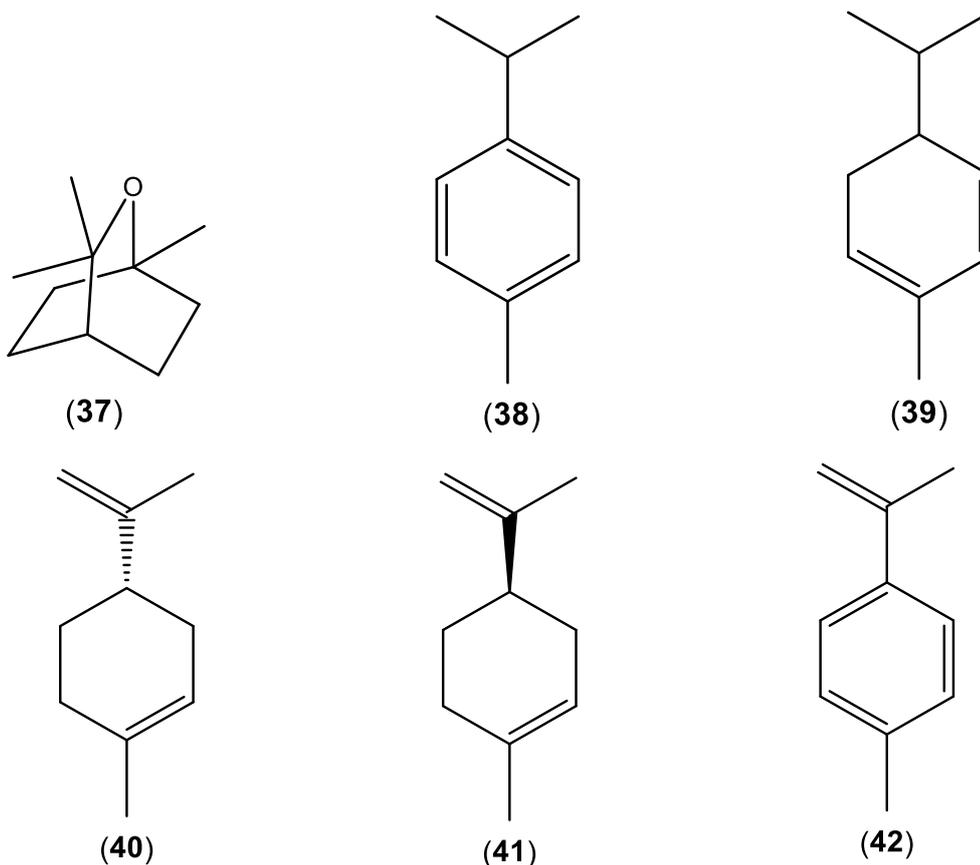
Com a finalidade de determinar a composição química dos óleos essenciais obtidos e avaliar *in vitro* a sua atividade antimicrobiana e de antibiofilme contra *Enterococcus faecalis* isolados de amostras de alimentos e clínicas, Correa *et al.* (2018) estudou as folhas secas de *E. staigeriana*.

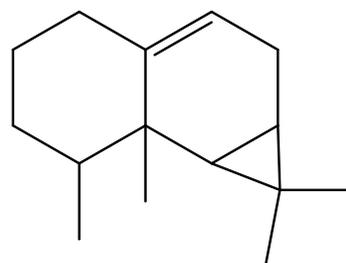
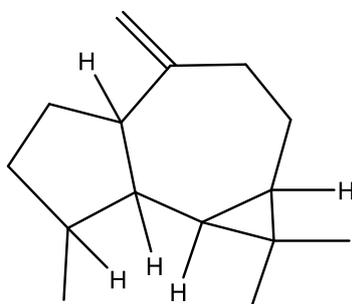
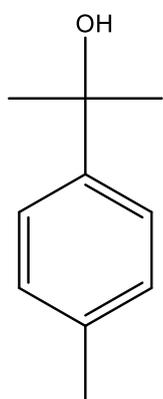
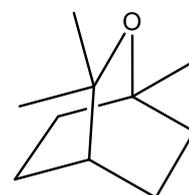
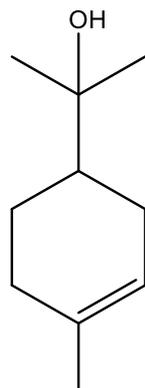
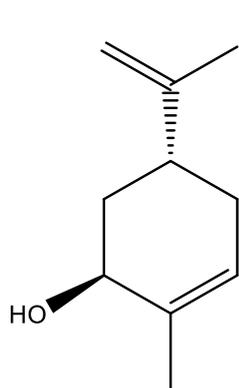
Quanto ao perfil químico: Vinte e um compostos foram identificados a partir da técnica de Cromatografia gasosa-espectrometria de massas (CG-EM), sendo monoterpenos oxigenados (69,58%) a grande família química. Assim, de acordo com os autores, a caracterização, inclui os seguintes compostos:  $\alpha$ -pineno (18),  $\alpha$ -felandreno (39), mirceno (14), limoneno (10), 1.8-cineol (37),  $\beta$ -terpineno (64), cis- $\beta$ -ocimeno (31), o-cimeno (65),  $\delta$ -careno (66), linalol (17), cariofileno (33), terpinen-4-ol (16), neral (27), metil geranato (67), geranial (23), acetato de geranila (20), citronelol (55), nerol (22), geraniol (26), espatulenol (62), eugenol (68) (CORREA *et al.*, 2018).

Utilizando cepas bacterianas de *E. faecalis* resistentes a antibióticos, foi determinada atividade antimicrobiana de *E. staigeriana* contra gram-positivas e gram-negativas da bactéria, além dos efeitos de antibiofilme. Os autores verificaram que o óleo do eucalipto mostrou apenas atividade antimicrobiana contra cepas gram-positivas (CORREA *et al.*, 2018). Ainda segundo os pesquisadores, *E. staigeriana*

apresentou a capacidade de inibir a formação de biofilme, mas pouca ou nenhuma capacidade de inibir o biofilme pré-formado. Concluindo que o óleo essencial obtido de folhas secas é, portanto, uma alternativa promissora para controle importante de bactérias gram-positivas resistentes de origem alimentar e clínicas.

As atividades biológicas dos óleos essenciais podem ser atribuídas a efeitos individuais e/ou combinados dos constituintes bioquímicos contidos neles. A atividade inseticida, por exemplo, está frequentemente relacionada a um ou mais monoterpenoides, e suas características estruturais e tipos de grupos funcionais. Devido ao seu perfil fitoquímico diverso, os óleos voláteis podem atuar como potenciais bioinseticidas com um espectro de compostos biossinteticamente diferentes com vários análogos (HOSSAIN, 2020; BAKKALI, AVERBECK & IDAOMAR, 2008).

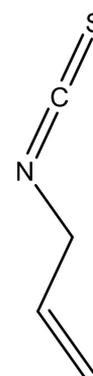
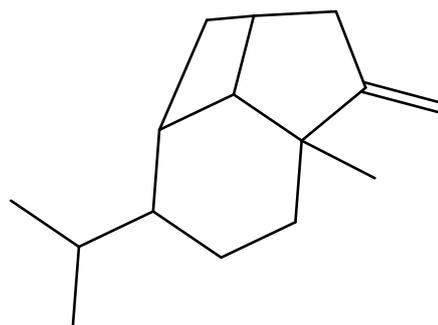
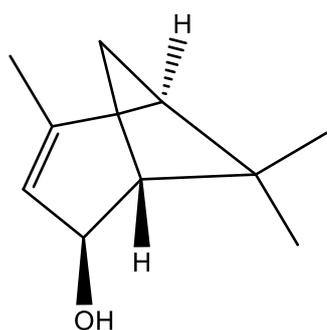




(46)

(47)

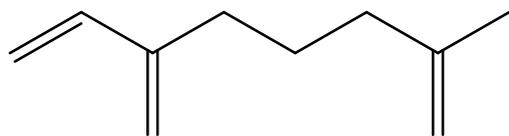
(48)



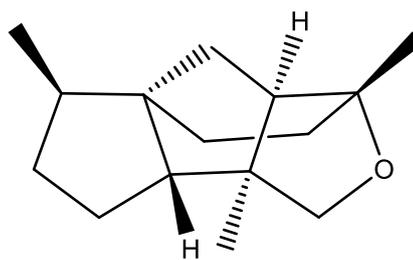
(49)

(50)

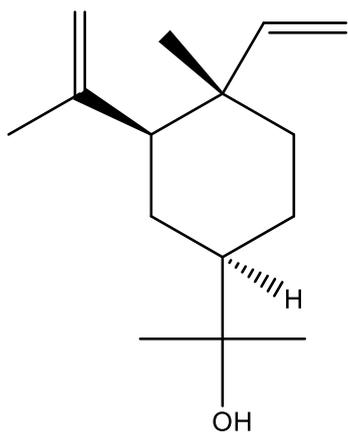
(52)



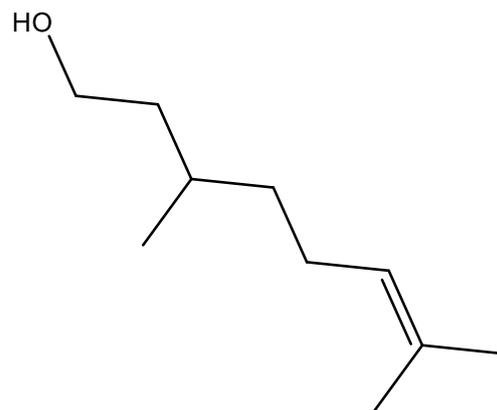
(51)



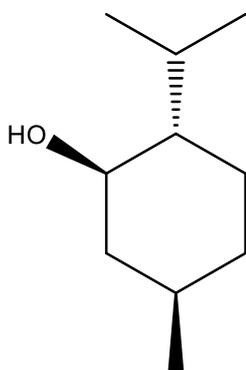
(53)



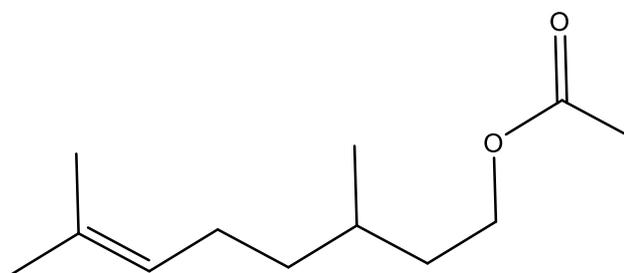
(54)



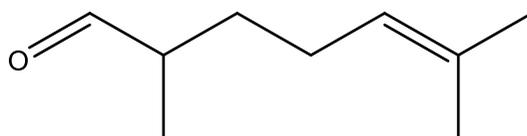
(55)



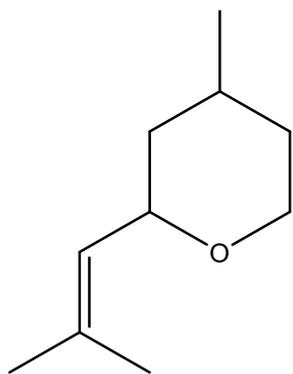
(56)



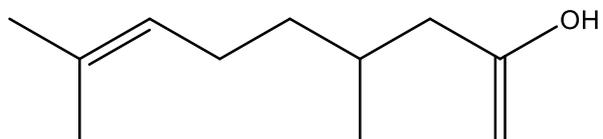
(57)



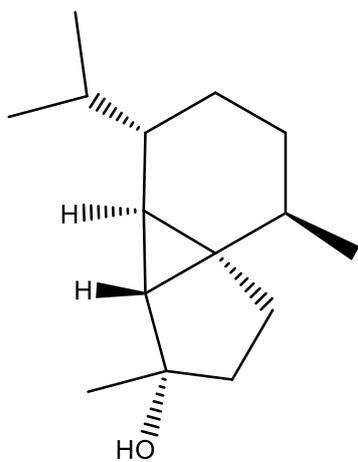
(58)



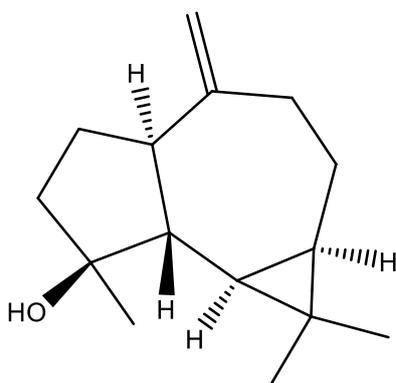
(59)



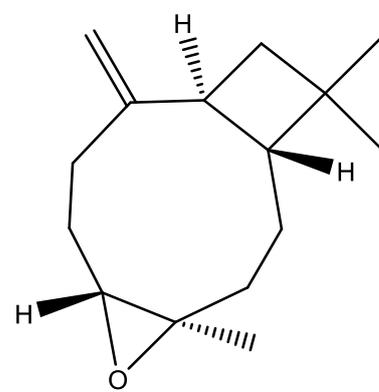
(60)



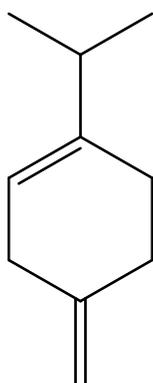
(61)



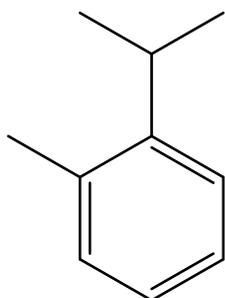
(62)



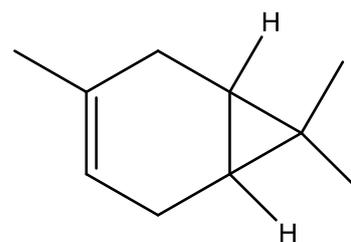
(63)



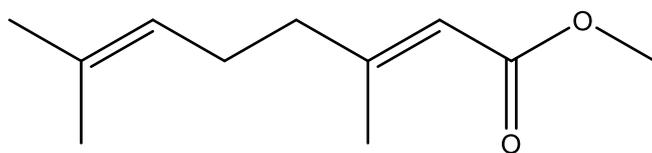
(64)



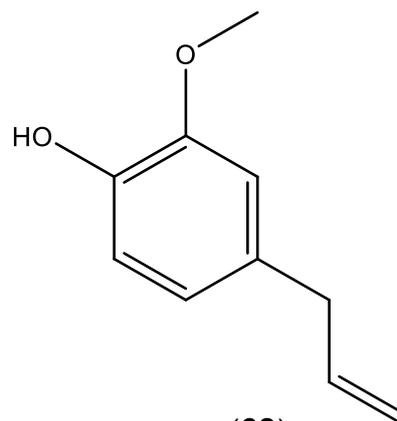
(65)



(66)



(67)



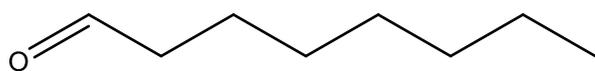
(68)

### 5.3.3 Óleo essencial de laranja (*Citrus sinensis*)

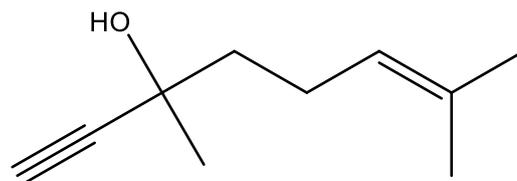
O óleo essencial de *Citrus sinensis* é caracterizado pela presença de: octanal (69), linalol (17), Z-Citral (27),  $\alpha$ -terpineol (44), terpinen-4-ol (16),  $\alpha$ -pineno (18),  $\alpha$ -terpineno (28),  $\alpha$ -terpinoleno (29),  $\alpha$ -thujeno (30),  $\beta$ -cis-ocimeno (31),  $\beta$ -mirceno (14),  $\beta$ -pineno (13),  $\delta$ -3 careno (66),  $\gamma$ -terpineno (11), limoneno (10), sabineno (15), trans- $\beta$ -ocimeno (32), cariofileno (33),  $\delta$ -cadineno (70), l-felandreno (39), valenceno (71) e m-Mentha-6,8-dieno (34) (LAMINE *et al.* 2019); mirceno (14),  $\beta$ -oçimeno (32), desidrolinalol (72), óxido de trans-limoneno (73), 4-terpineol (16) trans-carveol (43), cis-carveol (74), cefrol (citronelol) (55), carvona (75), acetato de citronelol (57), lemonol (geraniol) (26), acetato de linalila (76),  $\beta$ -elemeno (77), decanal (78),  $\alpha$ -farneseno (79), Germacreno-D (80) (TAO, LIU, ZHANG, 2009; TRABOULSI *et al.* 2005).

No óleo proveniente da casca de laranja, o limoneno (10) (92,28%) e linalol (17) (2,34%) são os compostos majoritários, seguidos por  $\beta$ -mirceno (14) (1,05%) e  $\gamma$ -terpineno (11) (0,78%) (LAMINE *et al.*, 2019). Tao, Liu e Zhang (2009), no entanto, elencou o limoneno (10) como composto predominante (77,49%), seguido pelo mirceno (14) (6,27%),  $\alpha$ -farneseno (79) (3,64%),  $\gamma$ -terpineno (11) (3,34%),  $\alpha$ -pineno (18) (1,49%), sabineno (15) (1,29%) e outros componentes menores.

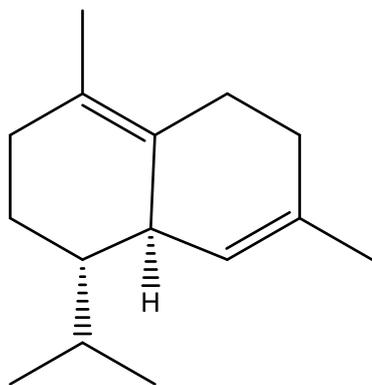
Os compostos voláteis dos óleos essenciais da casca fresca de laranja Thomson, uma variedade de *C. Sinensis*, possuem como componentes principais: limoneno (10) (71,54),  $\beta$ -mirceno (14) (7,20%), linalol (17) (4,11%),  $\alpha$ -pineno (18) (1,85%), sabineno (15) (1,70%) e decanal (78) (1,21%) (FARAHMANDFAR *et al.*, 2020).



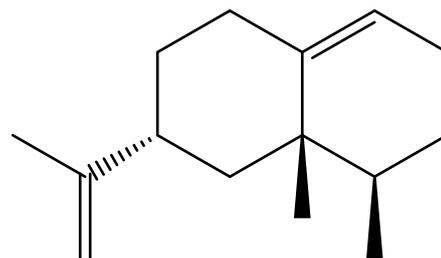
(69)



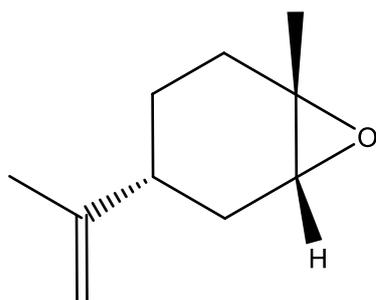
(72)



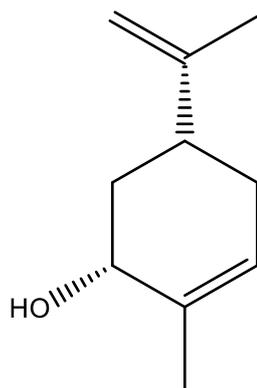
(70)



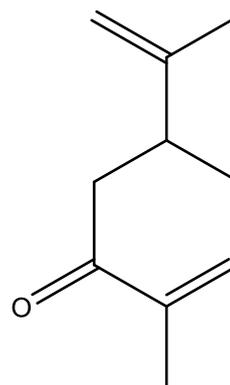
(71)



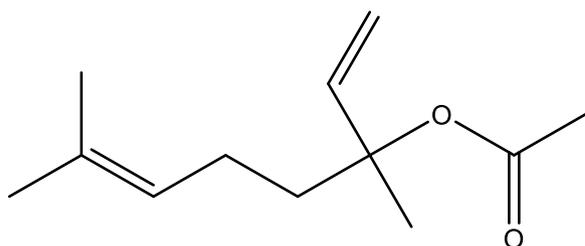
(73)



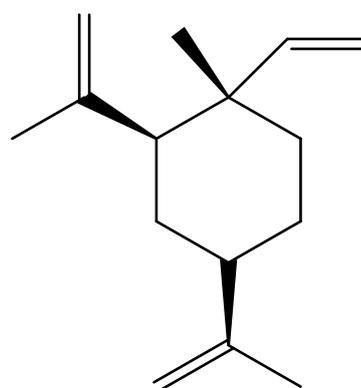
(74)



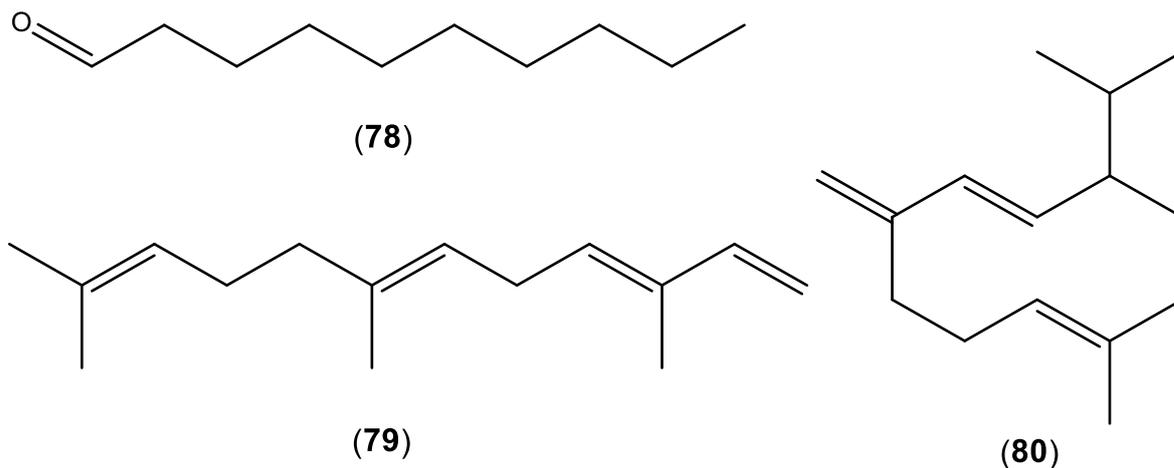
(75)



(76)



(77)



O linalol tem propriedades antimicrobianas e repelentes de insetos comprovadas, por exemplo, pode ser útil para o controle de enteropatógenos ou pragas de insetos na produção avícola (LAMINE et al, 2019).

Magalhães *et al.* (2020), com o objetivo de ampliar a caracterização para obter um melhor entendimento de sua ação em sistemas biológicos, realizou a caracterização química e a avaliação biológica do óleo essencial da casca de laranja. O óleo essencial não apresentou efeitos citotóxicos ou genotóxicos nas concentrações testadas. Lá houve maior redução na viabilidade celular na linhagem tumoral de melanoma com o uso deste óleo. O óleo essencial, apesar de ter valores consideráveis de concentração inibitória mínima (CIM) (125 µl/mL) para os fungos testados (*Aspergillus carbonarius* e *Aspergillus flavus* fungos filamentosos) pelo teste de difusão em disco, não apresentou efeito antioxidante pelos métodos usados. Conclui-se, portanto, que o óleo volátil da laranja Moro é promissor para estudo de tratamento do câncer, podendo ser utilizado como conservante natural em sistemas alimentares. (MAGALHÃES *et al.*, 2020).

Avaliando a atividade antibacteriana de diversos compostos bioativos contra *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus* isolados de alimentos, Benitez *et al.* (2018) concluiu que o óleo essencial de laranja teve um excelente desempenho para inibir bactérias nas menores concentrações testadas, apresentando atividade antimicrobiana contra as bactérias testadas no estudo.

Tao, Liu e Zhang (2009) obtiveram resultados pelo método de difusão em disco e método de determinação da concentração inibitória mínima (CIM), mostrando que o óleo essencial da casca de laranja doce apresentou um amplo espectro de atividades antimicrobianas contra *Staphylococcus aureus*, *Penicillium chrysogenum*, *Bacillus*

*subtilis*, *Escherichia coli* e *Saccharomyces cerevisiae*, com suas zonas de inibição variando de 14,57 mm a 23,37 mm e a CIM variando de 4,66  $\mu\text{LmL}^{-1}$  a 18,75  $\mu\text{LmL}^{-1}$ .

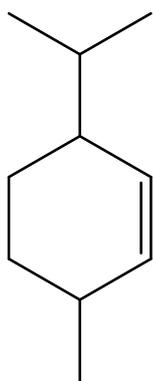
Diánez *et al.*, (2019), em seu estudo, demonstrou a capacidade de diferentes óleos essenciais, incluindo o de laranja (*C. sinensis*) para inibir o crescimento micelial de importantes fito e micopatógenos hortícolas. O óleo essencial de laranja apresentou atividade fungitóxica no ensaio de difusão em disco frente aos fungi: *Botrytis cinerea*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Fusarium oxysporum*, *Phytophthora parasitica*, *Pythium aphanidermatum*, *Alternaria brassicae*, *Cladobotryum mycophilum* e *Trichoderma aggressivum f.sp. europaeum*.

Além disso, a nanoformulação de nanopartículas (OE-NPs) de óleo essencial do cítrico foi testada contra uma broca invasora do tomateiro, *Tuta absoluta*. O ensaio mostrou um resultado impressionante para as propriedades inseticidas dos compostos testados. A maior mortalidade foi observada para emulsão do óleo essencial em ovos e larvas por meio de ensaio de toxicidade de contato e por OE-NPs em larvas por toxicidade de ingestão (CAMPOLO *et al.*, 2017).

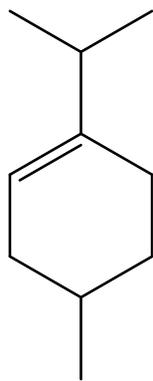
#### 5.3.4 Óleo essencial de hortelã-pimenta (*Mentha piperita*)

O perfil fitoquímico das partes aéreas e folhas de *Mentha piperita* inclui:  $\alpha$ -pineno (18), sabineno (15), p-menth-2-eno (81),  $\beta$ -pineno (13), p-menth-3-eno (82), mirceno (14),  $\beta$ -felandreno (83), limoneno (10), 1,8-cineol (37), mentona (84), mentofurano (85), neomentol (86), mentol (87), pulegona (88), acetato de mentila (89), piperitona (90), óxido de piperitenona (91), isomentona (92),  $\beta$ -cariofileno (33),  $\beta$ -farneseno (93), aloaromadendreno (47), Germacreno D (80), óxido de cariofileno (63), metilcavicol (estragol) (94), furanona de menta I (95) (HEYDARI *et al.*, 2018; AMINIFARD, MOHAMMADI, 2012),  $\alpha$ -pineno (18), terpineno (28), isomentol (96) (ADJOU *et al.*, 2007),  $\alpha$ -terpineol (44), cis-carveol (74) (BARANAUSKIENĖ *et al.*, 2017), acetato de isomentila (97) (DIÁNEZ *et al.*, 2018), neoisomentol (98) (SOUSA, *et al.*, 2010).

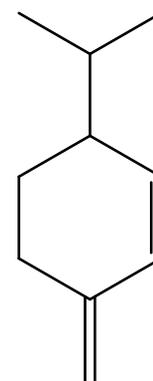
O componente majoritário de hortelã-pimenta é o mentol (87). Assim, os componentes principais dessa planta são: mentol (87), mentona (84), pulegona (88), piperitona (91), acetato de mentila (89), neomentol (86) e 1,8-cineol (37). (AMINIFARD, MOHAMMADI, 2012; RUZAUSKAS *et al.*, 2020; DIÁNEZ *et al.*, 2018; MIMICA-DUKIĆ *et al.*, 2003; LOPEZ-REYES *et al.*, 2010; SOUSA, *et al.*, 2010).



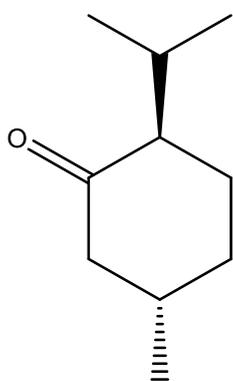
(81)



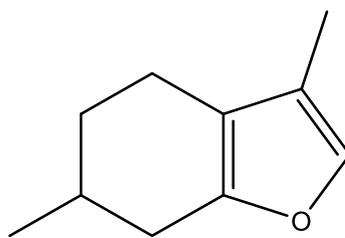
(82)



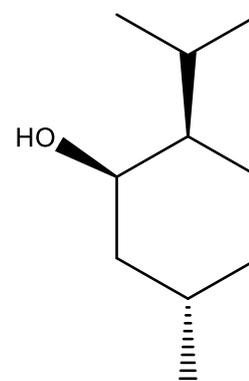
(83)



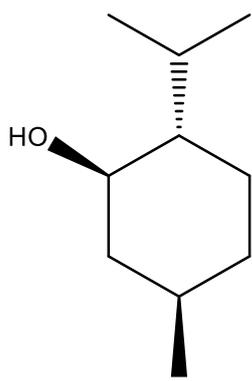
(84)



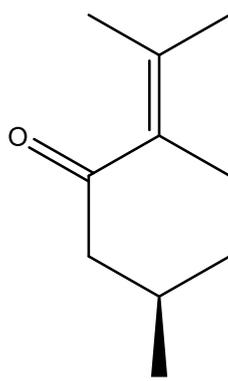
(85)



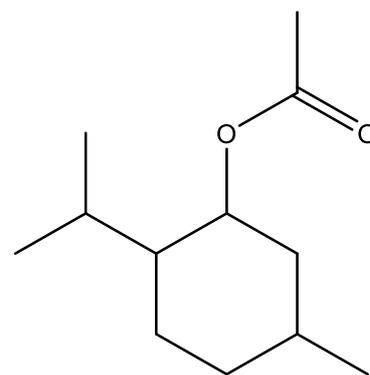
(86)



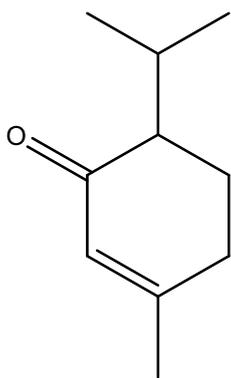
(87)



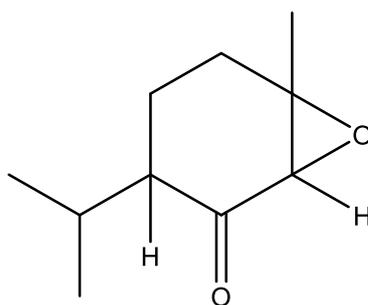
(88)



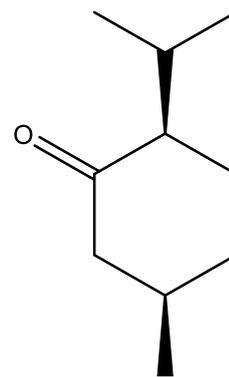
(89)



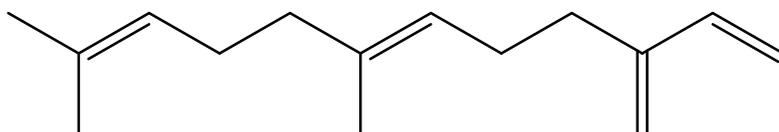
(90)



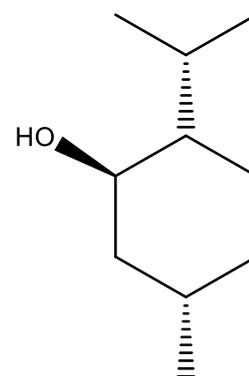
(91)



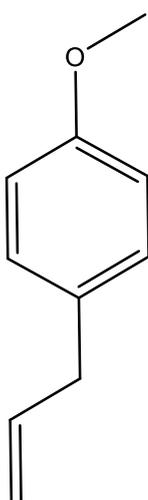
(92)



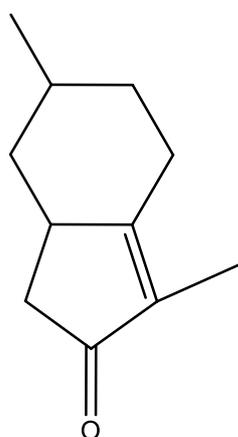
(93)



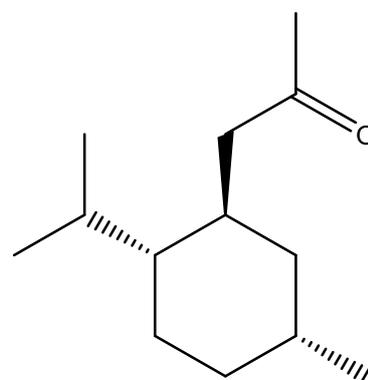
(96)



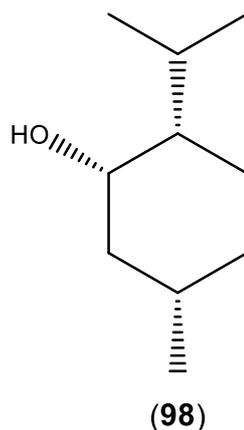
(94)



(95)



(97)



Mentol (86), mentona (84) e seus isômeros, ésteres mentílicos e piperitona são os compostos responsáveis pelo sabor típico de hortelã-pimenta.

O óleo essencial de *Mentha piperita* foi ativo contra *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus* e *Staphylococcus epidermidis* strains em experimentos. Na concentração de 1%, o óleo essencial matou todas as bactérias. Ficou evidente de que o óleo possui maior atividade antibacteriana sobre os bacilos (HEYDARI *et al.*, 2018).

O óleo essencial de *M. Piperita* possui atividade antibacteriana muito forte, em particular contra cepas de *Escherichia coli*. De acordo com Mimica-Dukić *et al.* (2003), o óleo essencial mostrou também atividade frente cepa multirresistente de *Shigella sonnei* e *Micrococcus flavus*. Ainda mostrou capacidade de reduzir os radicais DPPH. O óleo essencial de *M. piperita* também apresentou a maior atividade sequestrante do radical hidroxila (OH). Em zonas de inibição antimicrobiana para óleos essenciais mostram a suscetibilidade de *E. coli* ao óleo de menta, determinada pelo método de difusão em ágar: os resultados descritos por Moreira *et al.*, (2004) mostraram suscetibilidade apreciável do óleo de hortelã-pimenta, com zonas de inibição de 16–30 mm de diâmetro.

A atividade antimicrobiana foi estudada *in vitro* pelo método de difusão em ágar. O óleo essencial de hortelã-pimenta apresenta uma das maiores atividades antimicrobianas contra várias bactérias, exibindo um efeito inibitório significativo (SILVA *et al.*, 2013).

É conhecida a atividade antifúngica do óleo essencial de *Mentha piperita*. Em estudo realizado pelo ensaio de difusão em ágar, constatou-se que o óleo essencial apresenta alta atividade antifúngica contra o crescimento de fungos: Adjou *et. al.* (2007) encontrou uma concentração inibitória mínima (CIM) de 2,0 µL.mL<sup>-1</sup> frente à

*A. parasiticus* e *A. versicolor*; e  $1,0 \mu\text{L}.\text{mL}^{-1}$  para *Mucor spp.* A Concentração Mínima de Fungicida foi registrada como  $2,5 \mu\text{L}.\text{mL}^{-1}$  para *A. parasiticus* e *A. versicolor*; e  $1,5 \mu\text{L}.\text{mL}^{-1}$  para *Mucor spp.* A influência de doses de óleo essencial também foi testada contra vários fungos pelo método de difusão em disco, apresentando atividade antifúngica contra os patógenos de teste e exibindo 100% de inibição de *Phytophthora parasitica* e *Sclerotinia sclerotiorum* nas concentrações de 15 a 30% (DIÁNEZ *et al.*, 2018).

Resultados *in vivo* indicaram que o óleo de hortelã-pimenta em diferentes concentrações aplicadas inibiu o crescimento de *B. cinerea* em frutos de ameixa. O óleo da planta, então, pode ser uma alternativa aos produtos químicos para controlar fungos fitopatogênicos pós-colheita em frutos de ameixa (AMINIFARD, MOHAMMADI, 2012). Grata, Rombel-bryzek e Ziembik (2019), também, demonstrou atividade antifúngica no óleo essencial da planta. Os autores concluíram que o volátil teve um impacto moderado no crescimento micelial linear de *Botrytis cinerea*. O uso da maior dose de óleo (4%) reduziu o crescimento linear do micélio em 31,9%. O óleo de hortelã-pimenta ainda tem mostrado o seu efeito inibitório no crescimento do fungo *Aspergillus ochraceus* testado com fumigação e ensaios de contato (HUA *et al.*, 2014).

A atividade biológica do óleo essencial extraídos de *Mentha piperita* foi avaliada em adultos de *Rhyzopertha dominica* e *Sitophilus oryzae*, mostrando o efeito tóxico à insetos. Os resultados obtidos por Bounoua-Fraoucene, Kellouche e Debras (2019) mostraram que o volátil da planta é mais tóxico para *R. dominica* do que para *S. oryzae*.

Durante o período de observação de 36 dias, animais tratados com óleo de *Mentha piperita* foram completamente curados de dermatomicoses. Na avaliação da atividade toxicológica e antifúngica da *Mentha piperita* L., óleos essenciais e mentol foram testados em ratos Wistar machos de 2 meses de idade. Dessa forma, Sokovic *et al.* (2006), examinando a potência terapêutica contra dermatomicoses induzidas experimentalmente em ratos usando os dermatomicetos: *Trichophyton mentagrophytes*, *T. rubrum* e *T. tonsurans*, obteve resultados significativos: o óleo essencial de *M. piperita* curou completamente os animais infectados com *T. mentagrophytes*. dentro de 15 dias, *T. rubrum* em 30 dias, e *T. tonsurans* em 29 dias; por sua vez, todos os animais tratados com mentol foram curados em 10 dias.

É evidente que o mentol possui maior atividade terapêutica e antifúngica do que o óleo essencial de *M. piperita*. Como o óleo apresentou menor atividade que o mentol, entende-se que as propriedades dos princípios ativos podem ser atribuídas a este componente.

O óleo de hortelã-pimenta com envolvimento de prostaglandinas e óxido nítrico sintase exibiu atividade antiespasmódica in vitro em traqueia isolada de rato contraída com carbacol (SOUSA, *et al.*, 2010). De acordo com os pesquisadores, o óleo [100 e 300 microg/ml] inibiu contrações induzidas pelo carbacol ocasionando o relaxamento do músculo liso traqueal de ratos testados.

Na avaliação do potencial inibitório de óleos essenciais em crescimento de fungos e a produção de micotoxinas de *Fusarium* em trigo natural contaminado, foram comprovados efeitos antifúngicos e antimicotoxinas, bem sua propriedade antioxidante, do óleo essencial de *M. piperita*. Assim, pode ser recomendado como conservantes naturais para cereais armazenados (SUMALAN, ALEXA, POIANA. 2013).

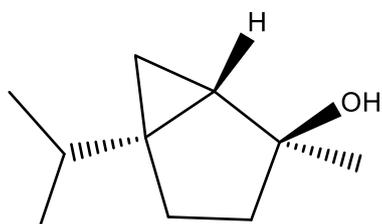
Edris e Farrag (2003) testou os vapores de óleo de hortelã-pimenta e dois de seus principais constituintes (mentol e mentona) contra *Sclerotinia sclerotiorum*, *Rhizopus stolonifer* Vuil e *Mucor sp.* em um sistema fechado. O óleo essencial, seus principais constituintes individuais de aroma e misturas dos principais constituintes individuais em diferentes proporções, inibiram o crescimento dos fungos de maneira dose-dependente. O mentol foi considerado o constituinte do aroma individual responsável pelas propriedades antifúngicas do óleo, enquanto a mentona sozinha não mostrou nenhum efeito em todas as doses.

### 5.3.5 Óleo essencial de menta japonesa (*Mentha arvensis*)

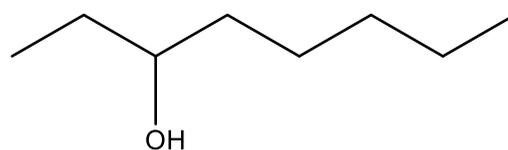
O óleo essencial de *Mentha arvensis*, assim como outras mentas, é caracterizado por uma maior quantidade de monoterpenos oxigenados, seguido por hidrocarbonetos monoterpenicos, hidrocarbonetos sesquiterpenicos, sesquiterpenos oxigenados e outros. O perfil fitoquímico da planta, portanto, inclui:  $\alpha$ -pineno (18), sabineno (15),  $\beta$ -pineno (13), p-3-menteno (82),  $\beta$ -felandreno (83), limoneno (10), 1,8-cineol (37), (Z)-sabineno hidrato (99), mentona (84), mentofurano (85), neomentol (86), mentol (87), pulegona (88), acetato de mentila (89), óxido de piperitona (91), isomentona (92),  $\beta$ -cariofileno (33),  $\beta$ -farneseno (93), aromadendreno (47), Germacreno D (80), óxido de cariofileno (63), metilcavicol (94), furanona de menta I

(95) (HEYDARI *et al.*, 2018), octan-3-ol (100), fenchona (101), endo-fenchol (102), isopulegona (103), eugenol (68), cis-jasmone (104),  $\beta$ -bisaboleno (25), cis-3-hexenil fenil acetato (105),  $\beta$ -eudesmol (106) e ácido 1,2-benzenodicarboxílico (ácido ftálico) (107) (PANDEY, RAI, ACHARYA, 2003).

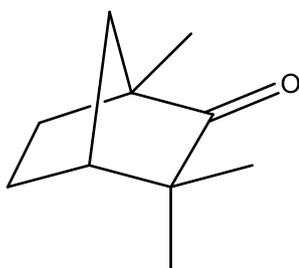
O mentol, componente majoritário do óleo essencial de *Mentha piperita* é amplamente utilizado nas indústrias alimentícia, farmacêutica, cosmética e de perfumaria em todo o mundo. Os principais componentes identificados presentes no volátil dessa planta são mentol, mentona, isomentona e neomentol.



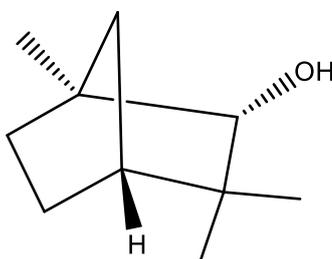
(99)



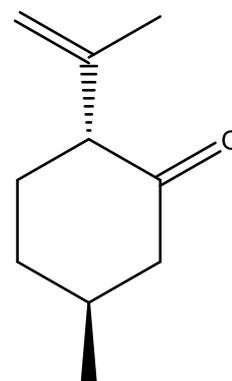
(100)



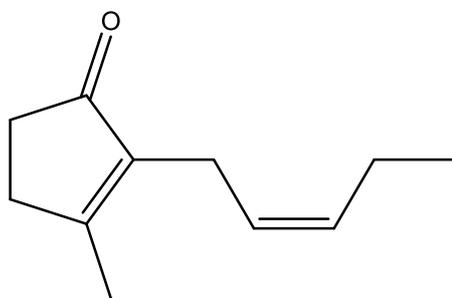
(101)



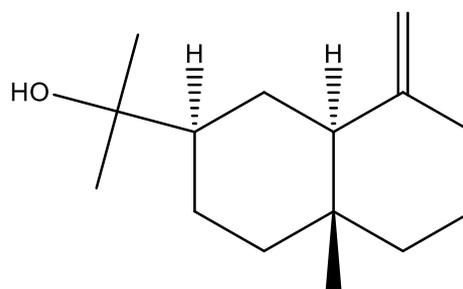
(102)



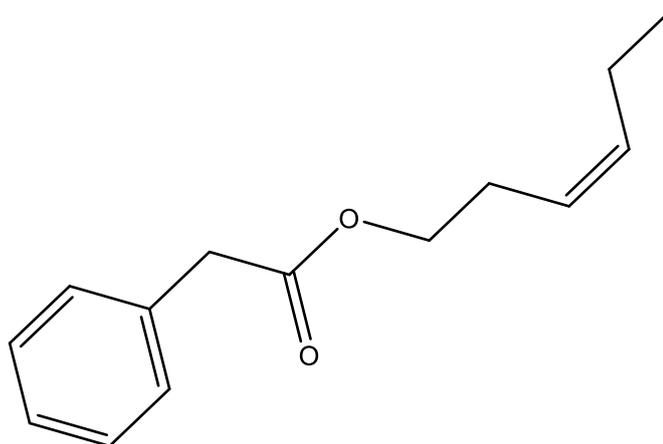
(103)



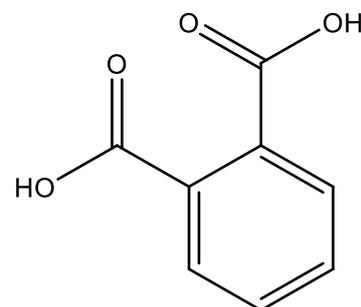
(104)



(106)



(105)



(107)

O óleo volátil de menta japonesa possui atividade antibacteriana. Mostra-se mais ativo nos bacilos (*Bacillus subtilis* e *Bacillus cereus*) do que sobre os cocos (*Staphylococcus aureus* e *Staphylococcus epidermidis*). Este apresenta menor atividade antimicrobiana frente micróbios quando comparado ao óleo de *M. piperita* (HEYDARI *et al.*, 2018).

Outra atividade biológica já constatada no óleo essencial de *Mentha arvensis* é a antifúngica. Reconhece-se a eficácia do óleo e tratamento deste com emulsões em maçãs em pós-colheita para controle de *Botrytis cinerea* e *Penicillium expansum*, com resultados revelando a sua eficácia dependente da cultura e do tempo de armazenamento (LOPEZ-REYES *et al.*, 2010). Também possui efeito fungitóxico em *Fusarium oxysporum*, um patógeno oportunista, e *Trichophyton mentagrophytes*, um potencial patógeno humano: resultados de teste de difusão em disco mostraram uma atividade antimicótica significativamente maior em relação ao controle, o que corrobora na literatura (PANDEY, RAI, ACHARYA, 2003).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste trabalho de revisão bibliográfica das técnicas de extração e dos compostos e atividades biológicas dos principais óleos comercializados no Brasil nos permite relacionar conclusões, das quais são descritas a seguir:

➤ Foi possível evidenciar que entre as técnicas convencionais utilizadas para a extração de óleos essenciais visando obter mais rendimentos, a hidrodestilação e sua variação, método Clevenger, é a mais apropriada se considerado também os custos e impactos ambientais. Contudo, em análise geral, os métodos convencionais possuem desvantagens consideráveis e limitações que não estão de acordo com os princípios da Química Verde. É neste sentido que a extração verde ganhou forças no cenário de produção de óleos essenciais, estimulando a intensificação, otimização e aprimoramento das técnicas de extração “verdes” existentes e novas como o uso do ultrassom em baixa frequência (EAU) e a extração assistida por micro-ondas (*Microwave Assisted Extraction* – MAE).

➤ Dessa forma, a pesquisa mostrou que as combinações de métodos, as técnicas híbridas, são consideradas as mais promissoras, com destaque para a destilação a vapor por micro-ondas, hidrodestilação Clevenger assistida por Ultrassom e micro-ondas e a extração com solventes assistida por ultrassom que oferecem vantagens importantes com maiores rendimentos que os métodos convencionais, além de otimização do tempo de extração, menor uso de energia, água e solventes, tendo custo relativamente mais baixos, isto sem prejudicar a qualidade do produto.

➤ Neste trabalho também identificamos os cinco principais óleos essenciais mais comercializados no Brasil, a saber: limão (*Citrus limon*), eucalipto (*Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus staigeriana* e *Eucalyptus camaldunensis*), hortelã pimenta (*Mentha piperita*) e menta japonesa (*Mentha arvensis*).

➤ Na busca na literatura especializada, do total de noventa e oito compostos identificados nos óleos essenciais pesquisados, foi possível observar a presença predominante dos chamados metabólitos secundários, de relativo baixo peso molecular: monoterpenoides e sesquiterpenoides. Ainda foram encontrados, em menor expressão, relatos de hidrocarbonetos alifáticos, fenilpropanóides, e outros compostos fenólicos.

➤ Os óleos essenciais das espécies de eucalipto, limão e laranja possuem os monoterpenos em maioria na sua composição química; na hortelã *pimenta e menta japonesa*, por sua vez, os monoterpenos oxigenados são predominantes. Foi observado que as espécies do gênero *Eucalyptus* possuem menores números de sesquiterpenoides em relação aos cítricos e mentas.

➤ Em relação aos componentes majoritários, nas espécies do gênero *Eucalyptus*, o 1,8 cineol (eucaliptol) e p-cimeno estão entre os principais, já nos *Citrus* estão o limoneno, mirceno e linalol, enquanto nas do gênero *Mentha*, os componentes majoritários são o mentol e mentona. As espécies do mesmo gênero caracterizam-se ter por perfil fitoquímico mais próximos entre si do que comparados a outros, possuindo também propriedades parecidas.

➤ O estudo bibliográfico também permitiu encontrar, por diferentes métodos de análise e ensaios, diversas atividades biológicas dos óleos essenciais e substâncias neles identificadas. Dentre as quais, estão as atividades: antimicrobiana, antifúngica, inseticida ou repelente e antioxidante.

➤ Os óleos de *C. limon* e *C. sinensis* têm como destaque, respectivamente, a ação antimicrobiana, inseticida e antioxidantes; as espécies do gênero *Eucalyptus* possuem mais estudos demonstrando como maior potencial a atividade inseticida ou repelente e larvicida, além de estudos consideráveis mostrando atividade antioxidante, antifúngica e antibacteriana; as mentas (*M. piperita* e *M. Arvensis*) têm como destaque a sua atividade antifúngica, como principal atividade biológica, de acordo com a pesquisa realizada.

➤ Observa-se que é evidente que o perfil fitoquímico, presença de classes de dados voláteis, está relacionada com as atividades biológicas destes óleos, assim como os seus componentes majoritários desempenhando papel crucial para essas propriedades. A mistura de metabólitos pode potencializar ou reduzir a ação desses componentes majoritários, como também, por sinergia, mostrar outras ações.

➤ O Brasil desempenha papel importante no segmento de óleos essenciais, e possui enorme potencial para se desenvolver ainda mais neste ramo devido a privilegiada diversidade biológica. Pesquisadores podem, beneficiando ainda mais dessa biodiversidade, colaborar para o estudo destes produtos naturais desenvolvendo pesquisas neste ramo, que é uma riqueza nacional para a sociedade e ciência brasileira.

➤ O presente trabalho pode colaborar para definir bem a temática, atualizando e expandindo o estado do conhecimento acerca dos óleos essenciais no Brasil. Dessa forma, pode-se incentivar a postulação de hipóteses ou interpretações que servirão de ponto de partida para outras pesquisas. Por exemplo, um estudo experimental visando a otimização de extração de óleos essenciais empregando técnicas de extração verdes e híbridas comparando com métodos conservadores pode ser um trabalho complementar a este.

## 7 REFERÊNCIAS

ADJOU, S. E.; RENÉ, D.; EDWIGE, D.-A.; SOUMANOU, M. M. Chemical composition and biological activity of essential oil from *Mentha piperita* L. Leaves on the quality of mango puree during storage. **Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences**, 7(2), 97–100. (2017). Disponível em: <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2017.7.2.97-100>. Acesso em jul. 2022.

ALFAZAIRY, A. A. M. *Antimicrobial activity of certain essential oils against hindgut symbionts of the drywood termite Kaloterme flavicollis Fabr. and prevalent fungi on termite-infested wood.* **Journal of Applied Entomology**, 128(8), 554–560. (2004). doi:10.1111/j.1439-0418.2004.00886.x.

ALMEIDA, MZ. **Plantas Medicinais** [online]. 3rd ed. Salvador: EDUFBA, 2011, 221 p. ISBN 978- 85-232-1216-2. Disponível em: <https://static.scielo.org/scielobooks/xf7vy/pdf/almeida-9788523212162.pdf>. Acesso em jul. 2022.

AMINIFARD, M. H.; MOHAMMADI, S. *Essential oils to control Botrytis cinerea in vitro and in vivo on plum fruits.* **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 93(2), 348–353. 2012. doi:10.1002/jsfa.5765.

ANASTAS, Nicholas; WARNER, John C. Linking Hazard Reduction to Molecular Design: Teaching Green Chemical Design. In: ANASTAS, Nicholas; LEVY, Irvin J.; PARENT, Kathryn E. *Green Chemistry Education: Changing the Course of Chemistry*. Ed. Levy, Irv ACS Symposium Series, 2009, 117-136.

BAKKALI, F.; AVERBECK, S.; AVERBECK, D.; IDAOMAR, M. Biological effects of essential oils – a review. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, p. 446-475, 2008.

BARANAUSKIENĖ, R.; BYLAITĖ, E.; ŽUKAUSKAITĖ, J.; VENSKUTONIS, R. P. *Flavor Retention of Peppermint (Mentha piperita L.) Essential Oil Spray-Dried in Modified Starches during Encapsulation and Storage.* **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 55(8), 3027–303. 6. 2007. doi:10.1021/jf062508c.

BARROS-GOMES, P.R, *et al.* Alves-Fontenele, Caracterização química e citotoxicidade do óleo essencial do cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum*), **Rev. Colomb. Cienc. Quím. Farm.**, 47(1), 37-52 (2018).

BASER, K. Hüsnü Can; BUCHBAUER, Gerhard; **Handbook of essential oils: science, technology, and applications**. 2010, p. 975.

BATISH, Daizy R.; HARMINDER Pal Singh, RAVINDER Kumar Kohli, SHALINDER Kaur. Eucalyptus essential oil as a natural pesticide, **Forest Ecology and Management**. Volume 256, Issue 12, 2008, 2166-2174, ISSN 0378-1127, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.08.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112708006166>. Acesso em jun. 2022.

BERLINCK, Roberto Gomes de Souza *et al.* A química de produtos naturais do Brasil do século XXI. **Química Nova**, v. 40, n. 6, p. 706-710, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170070>. Acesso em jul. 2022.

BENITEZ, Lisianne Brittes; SANTOS, Ariana Pereira Do; MULLER, Ana Paula; SOUZA, Thamires Klein De. Bioproducts against Food-borne Pathogenic

- Bacteria. **Comunicata Scientiae**. 9(3), 519–526. (2018). Disponível em: <https://www.comunicatascientiae.com.br/comunicata/article/view/2382>. Acesso em jul. 2022.
- BITZ, L., Malidzan, S., Stajner, N. *et al.* Identification of Citruses from Montenegro Based on Microsatellite Clustering Analyses. *Erwerbs-Obstbau* 62, 347–354 (2020). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10341-020-00508-8>. Acesso em jun. 2022.
- BIZZO, H.R. *et al.* **Óleos essenciais** no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. *Química Nova*, v.32, n.3, p.588-594, **2009**.
- BOODRAM, Rayanna; KHAN, Ayub. Bioactivity of Citrus aurantifolia, Citrus limon and Piper nigrum essential oils on Callosobruchus maculatus (F.) (Coleoptera:Bruchidae). **Journal of Biopesticides**,12(1):76–82. 2019.
- BORA, H.; KAMLE, M.; MAHATO, D. K.; TIWARI, P.; KUMAR, P. *Citrus Essential Oils (CEOs) and Their Applications in Food: An Overview*. **Plants**, 9(3), 357. (2020). doi:10.3390/plants9030357.
- BOUNOUA-FRAOUCENE, S.; KELLOUCHE, A.; DEBRAS, J.F. "Toxicity of Four Essential Oils Against Two Insect Pests of Stored Grains, Rhyzopertha dominica (Coleoptera: Bostrychidae) and Sitophilus oryzae (Coleoptera: Curculionidae)". **African Entomology** 27(2), 344-359, (4 October 2019). Disponível em: <https://doi.org/10.4001/003.027.0344>. Acesso em jul. 2022.
- BOUWMEESTER, Harro; SCHUURINK, Robert C.; BLEEKER, Petra M.; SCHIESTL, Florian. The role of volatiles in plant communication. **The Plant Journal**, 100, 892–907. doi: 10.1111/tpj.14496. Ago. 2019. Disponível em: [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/tpj.14496%4010.1111/%28ISSN%291365-313x.focused\\_reviews](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/tpj.14496%4010.1111/%28ISSN%291365-313x.focused_reviews). Acesso em abr. 2022.
- BRUICE, P. Y. **Química Orgânica**, v.2, 4ª. Ed., 2006.
- CAETANO, Mário J. L. **Ciência e a Tecnologia da Borracha (CTB): Identificação da borracha**. (Site). 201-. Disponível em: <https://www.ctborracha.com/borracha-sintesehistorica/identificacao-de-borrachas/ensaios-de-confirmacao/>. Acesso em abr. 2022.
- CAMPOLO, O., CHERIF, A., RICUPERO, M. *et al.* Citrus peel essential oil nanoformulations to control the tomato borer, *Tuta absoluta*: chemical properties and biological activity. **Sci Rep** 7, 13036. (2017). Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13413-0>. Acesso em jun. 2022.
- CAREY, Francis A. **Química orgânica: volume 2**. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. Tradução: Kátia A. Roque, Jane de Moura Menezes, Telma Regina Matheus.
- CAVAGLIERI, Marcelo; PADILHA, Tamara de Souza e PRADO, Jorge Moisés Kroll do. Implantação de uma aromateca de óleos essenciais em uma biblioteca especializada. **InCID: R. Ci. Inf. e Doc.**, Ribeirão Preto, v. 8, n. 2, p. 192-204, set. 2017/fev. 2018.
- CGEE. **Química verde no Brasil: 2010 – 2030**. Ed. rev. e atual. - Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.
- CHANDEL, Rahul Kumar, *et al.*. Insecticidal and repellent activities of Eucalyptus oil against lesser grain borer Rhyzopertha dominica (Fabricius). Article type:

Biotechnology of Biotechnology. DOI:10.15414/jmbfs.2019/20.9.3.525-529. December – January, 2019, vol. 9, no. p. 525-529.

CHEMAT, F., VIAN, MA, & CRAVOTTO, G. *Extração Verde de Produtos Naturais: Conceito e Princípios*. **International Journal of Molecular Sciences**, 13 (7), 8615-8627. 2012. doi: 10.3390 / ijms13078615. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3430255/>. Acesso em abr. 2022.

CHEMAT, F.; *et al.* . A review of sustainable and intensified techniques for extraction of food and natural products. **Green Chem.** 2020,**22**, 2325-2353. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/C9GC03878G>. Acesso em abr. 2022.

CHEMAT, Farid; VIAN, Maryline Albert; FERNANDEZ, Xavier. Microwave-Assisted Extraction of Essential Oils and Aromas. In: Chemat, Farid; Cravotto, Giancarlo (Eds). **Microwave-assisted Extraction for Bioactive Compounds: Theory and Practice**. Springer: New York, 2013.

COELHO, L. A. F; OLIVEIRA, J. V. e PINTO, J. C. MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO SUPERCRÍTICA DO ÓLEO ESSENCIAL DE ALECRIM. **Food Science and Technology** [online]. 1997, v. 17, n. 4, pp. 446-448. Epub 17 Dez 1998. ISSN 1678-457X. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-20611997000400020>. Acessado em jul. 2022.

COMEX STAT. **Sistema de Estatísticas do Comércio exterior**. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>. Acesso em abr. 2022.

COMEXSTAT/MDIC. **Plataforma de Consultas e Extrações de Dados Estatísticos do Comércio Exterior Brasileiro**. Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral>. Acesso em jul. 2022.

CORREA, Marcos Saldanha *et al.*. Antimicrobial and antibiofilm activity of the essential oil from dried leaves of *Eucalyptus staigeriana*. Arquivos do Instituto Biológico [online]. 2019, v. 86, ISSN 1808-1657. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1808-1657000202018>. Acesso em jul. 2022.

DEWICK, Paul M. **Medicinal natural products: a biosynthetic approach**. 3 ed.. ISBN 978-0-470-74168-9. 2008.

DIÁNEZ, F., SANTOS, M., PARRA, C., NAVARRO, M. J., BLANCO, R., & GEA, F. J. *Screening of antifungal activity of twelve essential oils against eight pathogenic fungi of vegetables and mushroom*. **Letters in Applied Microbiology**. (2018). doi:10.1111/lam.13053.

DJILANI, A.; DICKO, A. The therapeutic benefits of essential oils. **Nutrition, Well-Being and Health**, p. 1, 2012.

EDRIS, AE; FARRAG, ES. Antifungal activity of peppermint and sweet basil essential oils and their major aroma constituents on some plant pathogenic fungi from the vapor phase. **Nahrung**. 2003 Apr;**47**(2):117-21. doi: 10.1002/food.200390021. PMID: 12744290.

FABROWSKI, F.J. ***Eucalyptus smithii* R. T. Baker (Myrtaceae) como espécie produtora de óleo essencial no sul do Brasil**. (2002). Curitiba, 225f. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Paraná.

- FARAHMANDFAR, R., TIRGARIAN, B., DEHGHAN, B., & NEMATİ, A. *Changes in chemical composition and biological activity of essential oil from Thomson navel orange (Citrus sinensis L. Osbeck) peel under freezing, convective, vacuum, and microwave drying methods.* **Food Science & Nutrition**, 8(1), 124–138. 2019. doi:10.1002/fsn3.1279
- FELIPE, Lorena O.; BICAS, Juliano L.. Terpenos, aromas e a química dos compostos naturais. *Química e Sociedade*, v. 39, p. 120–130, 2017. Disponível em: [http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc39\\_2/04-QS-09-16.pdf](http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc39_2/04-QS-09-16.pdf). Acesso em abr. 2022.
- FERHAT, M. A., MEKLATI, B. Y., SMADJA, J., & CHEMAT, F. An improved microwave Clevenger apparatus for distillation of essential oils from orange peel. **Journal of Chromatography A**, 1112(1-2), 121–126. 2006.
- FERNANDES, TM. **Plantas medicinais: memória da ciência no Brasil** [online]. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 2004. 260 p. ISBN 978-85-7541-348-7. Disponível em: <https://static.scielo.org/scielobooks/bg6yw/pdf/fernandes-9788575413487.pdf>. Acesso em jul. 2022.
- FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002.
- FRANZ, Chlodwig e NOVAK, Johannes. Sources of Essential Oils. In: BUCHBAUER, Gerhard; **Handbook of essential oils: science, technology, and applications**. 2010, p. 975.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo, SP: Atlas, 2002.
- GRATA, K.; ROMBEL-BRYZEK, A.; ZIEMBIK, Z. Bacillus subtilis BS-2 and Peppermint Oil as Biocontrol Agents Against Botrytis cinerea. **Ecological Chemistry and Engineering S**, Vol.26 (Issue 3), 2019, pp. 597-607. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/eces-2019-0044>. Acesso em jul. 2022.
- GUENTHER, E.. **In The Essential Oil**. vol. I. D.Van Nostrand: New York. 1948.
- HERZI, N., Bouajila, J.; CAMY, S.; CAZAUX, S.; ROMDHANE, M.; CONDORET, J. S. *Comparison between Supercritical CO<sub>2</sub> Extraction and Hydrodistillation for Two Species of Eucalyptus: Yield, Chemical Composition, and Antioxidant Activity.* **Journal of Food Science**, 78(5), C667–C672. (2013). doi:10.1111/1750-3841.12113.
- HEYDARI M, *et al.*. Effect of Heat Stress on Yield, Monoterpene Content and Antibacterial Activity of Essential Oils of *Mentha x piperita* var. Mitcham and *Mentha arvensis* var. *piperascens*. **Molecules**. 2018 Jul 30;23(8):1903. doi: 10.3390/molecules23081903. PMID: 30061551; PMCID: PMC6222296.
- HOMA, M., *et al.* Antifungal Effect of Essential Oils against Fusarium Keratitis Isolates. *Planta Medica*, 81(14), 1277–1284. doi:10.1055/s-0035-1546272. (2015).
- HOSSAIN, F., FOLLETT, P., SALMIERI, S., VU, K. D., HARICH, M., & LACROIX, M. (2019). *Synergistic Effects of Nanocomposite Films Containing Essential Oil Nanoemulsions in Combination with Ionizing Radiation for Control of Rice Weevil Sitophilus oryzae in Stored Grains.* *Journal of Food Science*. doi:10.1111/1750-3841.14603.

HUA, H., *et al.* *Inhibitory Effect of Essential Oils on Aspergillus ochraceus Growth and Ochratoxin A Production*. **PLoS ONE**, 9(9), e108285. (2014). doi:10.1371/journal.pone.0108285.

JAKIEMIU, Elizabete Aparecida Ruzza. **Uma contribuição ao estudo do óleo essencial e do extrato de tomilho (Thymus vulgaris L.)**. Orientadora: Profa. Dra. Agnes de Paula Scheer Co-orientadores: Dr. Juarez Souza de Oliveira Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Curso de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos. Curitiba, 2008.

KALEMBA, D; SYNOWIEC, A. Agrobiological Interactions of Essential Oils of Two Menthol Mints: *Mentha piperita* and *Mentha arvensis*. **Molecules**. 2019 Dec 23;25(1):59. doi: 10.3390/molecules25010059. PMID: 31878007; PMCID: PMC6983130

KLIMEK-SZCZYKUTOWICZ, Marta, SZOPA, Agnieszka; EKIERT, Halina.. "*Citrus limon* (Lemon) Phenomenon—A Review of the Chemistry, Pharmacological Properties, Applications in the Modern Pharmaceutical, Food, and Cosmetics Industries, and Biotechnological Studies". **Plants**, 9, no. 1: 119. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants9010119>. Acesso em jun. 2022.

KOBENAN, KC, *et al.* Chemical Composition, Antioxidant Activity, Cholinesterase Inhibitor and in Vitro Insecticidal Potentiality of Essential Oils of *Lippia multiflora* Moldenke and *Eucalyptus globulus* Labill. on the Main Carpophagous Pests of Cotton Plant in Ivory Coast. **Chem Biodivers**. 2022 Apr;19(4):e202100993. doi: 10.1002/cbdv.202100993. Epub 2022 Feb 28. PMID: 35108453.

LAMINE, M., RAHALI, F. Z., HAMMAMI, M., & MLIKI, A.. *Correlative metabolite profiling approach to understand antioxidant and antimicrobial activities from citrus essential oils*. **International Journal of Food Science & Technology**, 54(8), 2615–2623. 2019. doi:10.1111/ijfs.14173.

LEE, Y.-S.; KIM, J.; SHIN, S.-C.; LEE, S.-G.; PARK, I.-K. *Antifungal activity of Myrtaceae essential oils and their components against three phytopathogenic fungi*. **Flavour and Fragrance Journal**, 23(1), 23–28. (2008). doi:10.1002/ffj.1850

LEITÃO, Suzana Guimarães. **A etnobotânica e a etnofarmacologia como ferramentas para a busca de novas drogas de origem vegetal**. 2002. Disponível em: <http://www6.ensp.fiocruz.br/visa/?q=node/5509>. Acesso em mai. 2022.

LEMES, Murilo Rocha. **Extração do óleo de gergelim**. Faculdade de Engenharia Química (trabalho de conclusão de curso): Uberlândia – MG, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/20608/5/ExtracaoOleoGergelim.pdf>. Acesso em abr. 2022.

LENARDÃO, E. J.; *et al.* Green chemistry: os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 123-129, 2003.

LOPEZ-REYES *et al.* (2010), Efficacy of plant essential oils on postharvest control of rot caused by fungi on four cultivars of apples in vivo. *Flavour Fragr. J.*, 25: 171-177. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ffj.1989>. Acesso em jul. 2022.

LUCCHESI, Marie E; CHEMAT, Farid & SMADJA, Jacqueline. Solvent-Free Microwave Extraction: An Innovative Tool for Rapid Extraction of Essential Oil from

Aromatic Herbs and Spices. **Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy**, 39:3-4, 135-139, 2004. DOI: 10.1080/08327823.2004.11688514. disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/08327823.2004.11688514>. Acesso em abr. 2022.

MAGALHÃES, M. L., IONTA, M., FERREIRA, G. Á., CAMPIDELLI, M. L. L., NELSON, D. L., FERREIRA, V. R. F., ... CARDOSO, M. das G. Biological activities of the essential oil from the Moro orange peel (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck). **Flavour and Fragrance Journal**, 35(3), 294–301. (2020). doi:10.1002/ffj.3561

MARTINS C, Natal-da-Luz T.; SOUSA, JP; GONÇALVES, MJ; SALGUEIRO L, Canhoto C. Effects of Essential Oils from *Eucalyptus globulus* Leaves on Soil Organisms Involved in Leaf Degradation. **PLoS ONE** 8(4): e61233. (2013). Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0061233>. Acesso em jul. 2022.

MAYAUD, L. A.; CARRICAJÓ, A.; ZHIRI, G. Aubert. Comparison of bacteriostatic and bactericidal activity of 13 essential oils against strains with varying sensitivity to antibiotics Lett. **Appl. Microbiol.**, 47 (3) (2008), pp. 167-173, Disponível em: 10.1111/j.1472-765X.2008.02406.x. Acesso em jul. 2022.

MEHMOOD, T.; AFZAI, A.; ANWAR, F.; IQBAL, M.; AFZAL, M.; QADIR, R. Variations in the Composition, Antibacterial and Haemolytic Activities of Peel Essential Oils from Unripe and Ripened Citrus limon (L.) Osbeck Fruit. J. Essent. Oil Bear. **Plants**, 22, 159–168, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/0972060X.2019.1588172>. Acesso em jun. 2022.

MEJRI, J.; AYDI, A.; ABDERRABBA, M.; MEJRI, M. 'Emerging extraction processes of essential oils: A review', **Asian Journal of Green Chemistry**, 2(3). (2018). pp. 246-267. doi: 10.22034/ajgc.2018.61443

MFS: Herbário (UEPA). **Citrusxsinensis L. Osbeck Site**: <https://herbariomfs.uepa.br/familia-e-nome-cientifico-3/citrus-x-sinensis-l-osbeck/>. Acesso em jul. 2022.

MIMICA-DUKIĆ, N; BOZIN, B; SOKOVIĆ M; MIHAJLOVIĆ B; MATAVULJ, M. Antimicrobial and antioxidant activities of three Mentha species essential oils. **Planta Med.** 2003 May;69(5):413-9. doi: 10.1055/s-2003-39704. PMID: 12802721.

MIRANDA, *et al.*. Óleos essenciais de folhas de diversas espécies: propriedades antioxidantes e antibacterianas no crescimento espécies patogênicas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 1, p. 213-220, jan-mar, 2016. Fortaleza – CE. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rca/v47n1/0045-6888-rca-47-01-0213.pdf>. Acesso em mai. 2022.

MORADI, S; FAZLALI, A; HAMED, H. Microwave-Assisted Hydro-Distillation of Essential Oil from Rosemary: Comparison with Traditional Distillation. **Avicenna journal of medical biotechnology**. 2018, Jan-Mar;10(1):22-28. PMID: 29296263; PMCID: PMC5742650. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5742650/>. Acesso em jun. 2022.

MOREIRA, M.R. A.G; PONCE, C.E; DEL VALLE, S.I. Roura. Inhibitory parameters of essential oils to reduce a foodborne pathogen, **LWT - Food Science and Technology**, Volume 38, Issue 5, 2005, p. 565-570, ISSN 0023-6438, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.07.012>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643804001938>. Acesso em jul. 2022.

MOSSI, Altemir J, *et al.* "Insecticidal and Repellency Activity of Essential Oil of Eucalyptus Sp. against Sitophilus Zeamais Motschulsky (Coleoptera, Curculionidae)." **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 91.2 (2010): 273-77.

NASCIMENTO, A.; PRADE, A. C. K. Aromaterapia: **O Poder Das Plantas e dos Óleos**. Publicação do ObservaPICS, n. 2, p. 33, 2020.

NASCIMENTO, Gustavo Marcelo da Luz. **Extração e avaliação farmacológica de óleos essenciais de pimenta para fins tecnológicos**. Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica. Uberaba - MG, 2015.

NOGUEIRA, Jéssica Oliveira e. **Ação Antimicrobiana De Diferentes Terpenos E Fenilpropanoides Em Escherichia coli E Staphylococcus aureus**.

Orientador(a): Maria das Graças Cardoso. Coorientador(a): Luís Roberto Batista. Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2019.

NORA, Flávia Michelon Dalla e BORGES, Caroline Dellinghausen. Ultrasound pretreatment as an alternative to improve essential oils extraction. **Cienc. Rural**[online]. 2017, vol.47, n.9, e20170173. EpubJuly31, 2017. ISSN 1678-4596.<https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170173>. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782017000900753&script=sci\\_abstract&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782017000900753&script=sci_abstract&tlng=en). Acesso em abr. 2022.

OEC - THE OBSERVATORY OF ECONOMIC COMPLEXITY. **Data Source**. Disponível em: <https://atlas.media.mit.edu/en/resources/data/>. Acessado em abril 2022.

OEC. **Essential oils**. Disponível em: <https://oec.world/en/profile/hs/essential-oils2022>. Acesso em mai. 2022.

OLIVEIRA, Maria Liduína Maia de. **Modulação da resposta imune-inflamatória e cicatricial em modelos experimentais promovida pelo óleo essencial de Lippia sidoides Cham., rico em timol, e pelo óleo fixo de Cucurbita pepo L., rico em ácidos graxos insaturados  $\omega$ -6 e  $\omega$ -9**. Tese (doutorado). Universidade Estadual do Ceará, Faculdade de Veterinária, Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, Fortaleza, 2013.

OLIVEIRA, Roberto Pedroso de; SCIVITTARO, Walkyria Bueno. **Cultivo de citros sem sementes**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2011. 378 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/932396/1/15767.pdf>. Acesso em jul. 2022.

PANDEY, A.K.; RAI, M.K.; ACHARYA, D. Chemical Composition and Antimycotic Activity of the Essential Oils of Corn Mint (*Mentha arvensis*) and Lemon Grass (*Cymbopogon flexuosus*) Against Human Pathogenic Fungi, **Pharmaceutical Biology**, 41:6, 421-425, (2003). Disponível em: <https://doi.org/10.1076/phbi.41.6.421.17825>. Acesso em jul. 2022.

PAPACHRISTOS, DP, KARAMANOLI, KI; STAMOPOULOS, DC; MENKISSOGLU-SPIROUDI, U. The relationship between the chemical composition of three essential

oils and their insecticidal activity against *Acanthoscelides obtectus* (Say). **Pest Manag Sci**. 2004 May;60(5):514-20. doi: 10.1002/ps.798. PMID: 15154521.

PARK, Hye-Mi, *et al.* "Larvicidal Activity of Myrtaceae Essential Oils and Their Components Against *Aedes Aegypti*, Acute Toxicity on *Daphnia Magna*, and Aqueous Residue." **Journal of Medical Entomology** 48.2 (2011): 405-10. Web.

RASSEM, Hesham H. A.; NOUR, A. H.; YUNUS, R. M., *Techniques For Extraction of Essential Oils From Plants: A Review*. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, 10 (16). (2016) pp. 117-127. ISSN 1991-8178.

RIBEIRO, Leticia Gouveia. **Extração assistida por micro-ondas de óleo essencial de folhas de eucalipto (*Eucalyptus Urophylla* x *Globulus*)**. Dissertação de Mestrado; UFRGS: PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/181316/001073424.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em mai. 2022.

RUZAUSKAS, M., *et al.* *The Influence of Essential Oils on Gut Microbial Profiles in Pigs*. **Animals**, 10(10), 1734. (2020). doi:10.3390/ani10101734.

SALEM, M.Z.M.; ELANSARY, H.O.; ALI, H.M. *et al.* Bioactivity of essential oils extracted from *Cupressus macrocarpa* branchlets and *Corymbia citriodora* leaves grown in Egypt. **BMC Complement Altern Med** 18, 23 (2018). Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12906-018-2085-0>. Acesso em jul. 2022.

SANTOS, Wildson, MOL, Gerson. **Química cidadã**. volume 3. química: ensino médio, 3ª série). 3. ed. São Paulo: Editora AJS, 2016.

SARTOR, R.B. **Modelagem, simulação e otimização de uma unidade industrial de extração de óleos essenciais por arraste a vapor**. 2009. 99f. Dissertação (Mestrado em Pesquisa e Desenvolvimento de Processos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS.

SEBRAE. **Como Montar uma Fábrica de Óleos Naturais e Essências. Ideias de Negócios**. 2017. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ideias/como-montar-uma-fabrica-de-oleos-naturais-e-essencias,c2387a51b9105410VgnVCM1000003b74010aRCRD>. Acesso em mai. 2022.

SELL, Charles. Chemistry of Essential Oils. In: BASER, K. Hüsnü Can; BUCHBAUER, Gerhard; **Handbook of essential oils : science, technology, and applications**. 2010, p. 975.

SILVA, N; ALVES, S; GONÇALVES, A; AMARAL, J.S; POETA, P. Antimicrobial activity of essential oils from Mediterranean aromatic plants against several foodborne and spoilage bacteria. **Food Sci Technol Int**. 2013 Dec;19(6):503-10. doi: 10.1177/1082013212442198. Epub 2013 Feb 26. PMID: 23444311.

SILVEIRA, *et al.* Levantamento e análise de métodos de extração de óleos essenciais. *Enciclopédia Biosfera*, 8(15). 2012.

SIMÕES, C.M.O.; SCHENKEL, E.P.; GOSMANN, G.; MELLO, J.C.P.; MENTZ, L.A.A.; PETROVICK, P.R.. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 5 ed. Florianópolis/Porto Alegre: Editora UFRGS/ Editora UFSC, 2000.

SOKOVIĆ, *et al.* Antifungal Activity of the Essential Oil of *Mentha x piperita*., **Pharmaceutical Biology**, 44:7, 511-515, (2006). DOI: 10.1080/13880200600878700. Acesso em jul. 2022.

SOUSA, Albertina Antonielli Sydney de, *et al.* Antispasmodic effect of *Mentha piperita* essential oil on tracheal smooth muscle of rats, **Journal of Ethnopharmacology**, Volume 130, Issue 2, 2010, Pages 433-436, ISSN 0378-8741, Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2010.05.012>. Acesso em jul. 2022.

SOUZA, Michelle Izolina Lopes de. **Influência do pré-tratamento com ultrassom na quantidade e qualidade do óleo essencial de *Varronia curassavica* Jacq., *Lippia origanoides* Kunth. e *Ocimum gratissimum* L.** Universidade Federal de Viçosa. Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola – Viçosa, MG, 2016. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/10381/texto%20completo.pdf?sequence=1>. Acesso em abr. 2022.

SPECTRUM CHEMICAL MFG. CORP. **SP Wilmad-LabGlass Volatile Oil Apparatus, Lighter Than Water.** 20--. Disponível em: <https://www.spectrumchemical.com/sp-wilmad-labglass-volatile-oil-apparatus-lighter-than-water-337659>. Acesso em abr. 2022.

SUMALAN, RM.; ALEXA, E.; POIANA, MA. Assessment of inhibitory potential of essential oils on natural mycoflora and *Fusarium* mycotoxins production in wheat. **Chemistry Central Journal** 7, 32 (2013). Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1752-153X-7-32>. Acesso em jul. 2022.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, E.; *Plant Physiology*, Sinauer Associates Inc. Publisher, 3rd ed, 2002, Sunderland, Massachusetts, USA.

TAO, N.; LIU, Y.; ZHANG, M. *Chemical composition and antimicrobial activities of essential oil from the peel of bingtang sweet orange (*Citrus sinensis* Osbeck).* **International Journal of Food Science & Technology**, 44(7), 1281–1285. 2009. doi:10.1111/j.1365-2621.2009.01947.x.

TRABOULSI, A. F., EL-HAJ, S., TUENI, M., TAOUBI, K., NADER, N. A., & MRAD, A. *Repellency and toxicity of aromatic plant extracts against the mosquito *Culex pipiens molestus* (Diptera: Culicidae).* **Pest Management Science**, 61(6), 597–604. (2005). doi:10.1002/ps.1017.

ULTRANL. **Product: Eucalyptus oil saigeriana.** Disponível em: <http://ultranl.com/products/eucalyptus-oil-spain-3/>. Acesso em mai. 2022.

UN COMTRADE. **International Trade Statistics Database.** New York: UN COMTRADE, 2017. Disponível em: <https://comtrade.un.org>. Acesso em mai. 2022.

UTAD a: Jardim botânico. **Eucalyptus.** Disponível em: [https://jb.utad.pt/especie/Eucalyptus\\_globulus](https://jb.utad.pt/especie/Eucalyptus_globulus). Acesso em mai. 2022.

UTAD b: Jardim botânico. **Mentha x piperita.** Disponível em: [https://jb.utad.pt/especie/Mentha\\_x\\_piperita](https://jb.utad.pt/especie/Mentha_x_piperita). Acesso em mai. 2022.

UTAD c: Jardim botânico. **Mentha arvensis.** Disponível em: [https://jb.utad.pt/especie/Mentha\\_arvensis](https://jb.utad.pt/especie/Mentha_arvensis). Acesso em mai. 2022.

VERRUCK, Silvani; PRUDENCIO, Elane Schwinden. Ultrassom na indústria de alimentos: **aplicações no processamento e conservação**. Atena Editora: Ponta Grossa (PR), 2018.

VIEIRA, A. J., BESERRA, F. P., SOUZA, M. C., TOTTI, B. M., & ROZZA, A. L. *Limonene: Aroma of innovation in health and disease*. **Chemico-Biological Interactions**, 283, 97–106. 2018. doi:10.1016/j.cbi.2018.02.007.

VIEIRA, Israel Gomes. Estudo de caracteres silviculturais e de produção de óleo essencial de progênies de *Corymbia citriodora* (Hook) K. D. Hill & L. A. S. Johnson procedente de Anhembi SP – Brasil. Piracicaba, 2004. 80 p.: il. Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2004. Bibliografia.

VITTI, Andrea M.; SILVEIRA. BRITO, José Otávio. **Óleo Essencial de Eucalipto**. Documentos Florestais n.17, Agosto, 2003, ISSN 0103-4715. Disponível em: .Acesso em jun. 2022.

WOLFFENBÜTTEL, A. N. **Base da química dos óleos essenciais e aromaterapia – abordagem técnica e científica**. São Paulo. Roca, p. 1-4, 47-57, 85-93, 104-112, 136, 167, 2011.

ZANELLA, Liane Carly Hermes. **Metodologia de pesquisa**. –2. ed. reimp. – Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração/ UFSC, 2013.