



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

MICHEL PEDRO BATISTA

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE SOLUÇÕES EXTRATORAS E DE  
PARÂMETROS NA EXTRAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE  
PLANTAS AROMÁTICAS

---

Londrina  
2022

MICHEL PEDRO BATISTA

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE SOLUÇÕES  
EXTRATORAS E DE PARÂMETROS NA EXTRAÇÃO DE  
ÓLEOS ESSENCIAIS DE PLANTAS AROMÁTICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Biotecnologia, Centro de Ciências Exatas (CCE) da Universidade Estadual de Londrina (UEL).

Orientador: Prof. Dr. Doumit Camilios Neto

Londrina  
2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Batista, Michel Pedro.

Avaliação da influência de soluções extratoras e de parâmetros na extração de óleos essenciais de plantas aromáticas / Michel Pedro Batista. - Londrina, 2022.

73 f. : il.

Orientador: Doumit Camilios-Neto.

Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, 2022.

Inclui bibliografia.

1. Óleos essenciais - Tese. 2. Biotensoativos - Tese. 3. Extração por arraste a vapor - Tese. 4. Ervas aromáticas e medicinais - Tese. I. Camilios-Neto, Doumit . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia. III. Título.

CDU 66

MICHEL PEDRO BATISTA

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE SOLUÇÕES EXTRATORAS E DE  
PARÂMETROS DO PROCESSO NA EXTRAÇÃO DE ÓLEOS  
ESSENCIAIS DE PLANTAS AROMÁTICAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Biotecnologia, Centro de Ciências Exatas - CCE da Universidade Estadual de Londrina - UEL.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. Dr. Doumit Camilios Neto  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Prof. Dr. Nilton Syogo Arakawa  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Daniele Sartori  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 08 de abril de 2022

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Doumit Camilios Neto, por todo apoio, ensinamentos durante a execução desse trabalho e por sempre estar presente nas horas das dúvidas, contratempos e dificuldades

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Nilton Syogo Arakawa e a Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Daniele Sartori, por aceitarem o convite e contribuir de forma significativa com correções e sugestões para aperfeiçoar o trabalho.

Aos professores do Departamento de Bioquímica e Biotecnologia e aos professores pertencentes a outros departamentos que ministraram disciplinas para o curso de Pós-Graduação em Biotecnologia, por todos os ensinamentos que foram o alicerce para a construção do trabalho.

Aos meus companheiros de laboratório: Mayara, Thaynara, Dâmaris, Jaquellyne, Kamila, Karen e Andrei que fizeram com que os dias passassem mais rápido e sempre me auxiliaram e me apoiaram frente a uma dúvida.

A todos aqueles que fazem com que a Universidade Estadual de Londrina continue funcionando, técnicos, secretários, professores, seguranças etc., meu sincero agradecimento, é por causa de vocês que muitas pessoas têm a possibilidade e oportunidade de ter um ensino de qualidade.

A empresa Estrela da Manhã Óleos Essenciais pela parceria durante o trabalho, o apoio financeiro, as análises CG-MS e pelo material vegetal para os experimentos.

Por último, só queria agradecer três pessoas que se tornaram muito especiais para mim nesses últimos e fizeram com que os dias fossem mais divertidos. No momento moro com uma delas, mas vamos deixar essa por último. Aos dois que ficaram – que por sinal possuem o mesmo nome: Mah e Matheus –, agradeço por me apoiarem, serem meus amigos e por tudo, sem dúvidas nada disso aconteceria se não fosse por vocês. Desejo tudo de bom para vocês, mesmo que cada um esteja trilhando seu caminho.

Não posso esquecer do Gustavo que nesses últimos meses também fez parte do grupo seleto de pessoas que morou ao meu lado. Passamos por vários momentos divertidos juntos, obrigado por estar ao meu lado e pela granola. Ao Bruno, mesmo que tenhamos morado pouco tempo juntos, foi uma semana divertida, também

gostaria de ter oportunidade de conversar mais com você, cuide bem dos outros dois meninos (Gustavo e Mah).

Para a minha amada Déborah tenho o prazer o dizer “Obrigado”, por estar ao meu lado e sempre perto de mim. Você me ajudou muito durante esse período, me dando conselhos, corrigindo meus erros de português, dando opiniões, até esse último dia, você é muito especial e desejo tudo de bom para nós. Só aproveita!

“Dizem que antes de morrer, toda a sua história passa diante de seus olhos por um breve momento. Isso é verdade. Esse breve momento se chama vida.”

Terry Pratchett.

BATISTA, Michel Pedro. **Avaliação da influência de soluções extratoras e de parâmetros na extração de óleos essenciais de plantas aromáticas**: 2022. 77 f. Qualificação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2022.

## RESUMO

Os óleos essenciais (OEs) são compostos naturais normalmente obtidos por métodos de destilação dos extratos brutos de plantas. Apresentam um odor agradável, marcante e uma ampla variedade de atividades biológicas. Possuem alto valor comercial por serem utilizados nas indústrias químicas, farmacêuticas e na aromaterapia. Por isso, o desenvolvimento de processos ou produtos que intensifiquem sua extração ou rendimento é de extrema importância. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi estudar parâmetros de extração, entre eles massa de material vegetal e tempo de extração, e a aplicação de soluções extratoras obtidas a partir de tensoativos naturais, com a intenção de determinar as condições para os melhores rendimentos dos OEs. O extrator de bancada e o processo de extração se mostrou eficiente para as espécies de ervas aromáticas avaliadas – *Cymbopogon flexuosus*, *Cymbopogon winterianus* e *Melaleuca alternifolia* –, obtendo-se rendimentos satisfatórios com a utilização do adaptador. O armazenamento do material vegetal não influenciou o rendimento dos OEs e o tempo de extração demonstrou ser um fator com grande relevância na extração, influenciando no custo-benefício do método nas três plantas testadas. A aplicação da solução de ramnolipídeos (RL) apresentou uma resposta positiva no rendimento do *Cymbopogon winterianus*, que subiu de 0,62% para 0,89% (m/m). Já com aplicação da solução de decilglicosídeos (DC), os rendimentos ficaram entre 0,91% com 60 minutos e 1,03% com 30 minutos, demonstrando a influência positiva do tempo. O mesmo pode ser observado para o *Cymbopogon flexuosus*, sendo que o rendimento obtido foi de 0,32% com 60 minutos e de 0,31% com 30 minutos. Já para a *Melaleuca alternifolia*, foram obtidos rendimentos que variaram entre 1,51 a 2,12%, entre os tratamentos. O melhor rendimento foi obtido aplicando a solução de RL 0,1% na extração do OE das folhas destacadas e de 1,89%, em 90 minutos, sem aplicação de solução extratora. A solução de cloreto de sódio demonstrou ser promissora, devido ao seu baixo custo e relativa eficiência. Os OEs obtidos apresentaram boa pureza e, em sua composição, os compostos químicos majoritários característicos descritos na literatura.

**Palavras-chave:** Óleos essenciais. Biotensoativos. Extração por arraste a vapor. Ramnolipídeos. Ervas aromáticas e medicinais.

BATISTA, Michel Pedro. **Evaluation of the influence of extractor solutions and parameters in the extraction of essential oils from aromatic plants**: 2022. 77 pp. Qualification (Master's Biotechnology) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2022.

## ABSTRACT

Essential oils (EOs) are natural compounds obtained by distillation methods from crude plant extracts. These oils have a pleasant, strong odor and a wide range of biological activities. They have a high commercial value as they are used in the chemical and pharmaceutical industries and in aromatherapy. For that reason, the development of processes or products that intensify the extraction or the yield of EOs is extremely important. Therefore, the objective of this research was to study the extraction parameters, including amount of plant material and extraction time, and the application of extracting solutions obtained from natural surface-active compounds, in order to determine the conditions that would lead to better yields of EOs. The steam drag extraction process proved to be efficient for the evaluated aromatic herb species – *Cymbopogon flexuosus*, *Cymbopogon winterianus* and *Melaleuca alternifolia* –, obtaining satisfactory yields. The storage of the plant material did not influence the yield and the extraction time proved to be a very relevant factor in the process, influencing the cost-effectiveness of the method in the three species. The application of the rhamnolipid solution (RL) showed a positive response in the yield of *Cymbopogon winterianus*, which increased from 0.62% to 0.89% (m/m). With the application of the decylglycosides (DC) solution, the yields were between 0.91% with 60-minute extraction and 1.03% with 30 minutes, demonstrating a positive influence of extraction time. The same can be said about *Cymbopogon flexuosus*, since the yield was 0.32% with 60-minute extraction and 0.31% with 30-minute extraction. For *Melaleuca alternifolia*, yields ranged from 1.51 to 2.12% between treatments. The best yield was obtained by applying the 0.1% RL solution when extracting the oil from the plant leaves and a yield of 1.89% was observed in a 90-minute extraction, with no extracting solution. The sodium chloride solution proved to be promising, due to its low cost and relative efficiency. The EOs obtained showed good purity and presented the characteristic major chemical compounds in their composition, according to the literature.

**Key-words:** Essential oils. Biosurfactants. Extraction by steam dragging. Rhamnolipids. Aromatic and medicinal herbs.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Principais substâncias químicas encontradas nos óleos essenciais ... <b>Erro!</b> <b>Indicador não definido.</b>	
<b>Figura 2</b> - Estrutura química do bloco de isopreno e do isopreno .....	19
<b>Figura 3</b> - Estrutura química dos hemiterpenos, monoterpenos e sesquiterpenos...	20
<b>Figura 4</b> - Etapas para formação do ácido cinâmico e estruturas químicas do eugenol e cinamaldeído .....	21
<b>Figura 5</b> - Capim-limão .....	22
<b>Figura 6</b> - Estrutura química dos compostos químicos majoritários presentes no OE do <i>Cymbopogon flexuosus</i> .....	23
<b>Figura 7</b> - Capim-citronela .....	23
<b>Figura 8</b> - Estrutura química dos principais compostos presentes no OE do <i>Cymbopogon winterianus</i> .....	24
<b>Figura 9</b> - Árvore do chá .....	25
<b>Figura 10</b> - Estrutura química dos principais compostos químicos presentes no OE da <i>Melaleuca alternifolia</i> .....	25
<b>Figura 11</b> - Aparato de Clevenger utilizado na extração por hidrodestilação .....	27
<b>Figura 12</b> - Aparato para hidrodestilação utilizado em escala industrial .....	27
<b>Figura 13</b> - Extrator de arraste a vapor de bancada .....	28
<b>Figura 14</b> - Modelo de extrator de arraste a vapor industrial .....	29
<b>Figura 15</b> - Estrutura química básica dos tensoativos .....	31
<b>Figura 16</b> - Estrutura básica das classes de tensoativos mais comuns.....	32
<b>Figura 17</b> - Estrutura química dos surfactantes sintéticos ABS e LAS .....	33
<b>Figura 18</b> - Estrutura química do Decil Glicosídeo (DC).....	36
<b>Figura 19</b> - Estrutura química dos ramnolipídeos .....	36
<b>Figura 20</b> - Representação esquemática dos procedimentos experimentais .....	39
<b>Figura 21</b> - Extrator de bancada .....	41
<b>Figura 22</b> - Adaptador utilizado nas extrações de OE .....	42
<b>Figura 23</b> - Cromatograma das amostras do OE extraído de <i>Cymbopogon flexuosus</i>	
61	
<b>Figura 24</b> - Cromatograma das amostras do OE extraído de <i>Cymbopogon winterianus</i>	
.....	63
<b>Figura 25</b> - Cromatograma das amostras do OE extraído de <i>Melaleuca alternifolia</i>	64

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Classes, tipos e microrganismos produtores dos principais tipos de biossurfactantes .....	35
<b>Tabela 2</b> - Influência do armazenamento do material vegetal no rendimento do OE do <i>Cymbopogon winterianus</i> .....	43
<b>Tabela 3</b> - Influência das soluções extratoras na extração do OE do <i>Cymbopogon winterianus</i> .....	44
<b>Tabela 4</b> - Influência da concentração e volume da solução extratora de RL na extração dos OE do <i>Cymbopogon winterianus</i> .....	46
<b>Tabela 5</b> - Influência do tempo e da aplicação de solução extratora de DC na extração dos OE do <i>Cymbopogon winterianus</i> .....	47
<b>Tabela 6</b> – Influência da massa do material vegetal e do armazenamento na extração do óleo essencial do <i>Cymbopogon flexuosus</i> .....	49
<b>Tabela 7</b> - Influência das soluções extratoras no rendimento do OE .....	51
<b>Tabela 8</b> - Influência das soluções extratoras em volumes diferentes na extração dos OEs .....	52
<b>Tabela 9</b> - Influência da extração com 30 minutos no rendimento do OE do <i>Cymbopogon flexuosus</i> .....	54
<b>Tabela 10</b> – Comparação do rendimento do OE obtido através da destilação por arraste a vapor dos ramos e das folhas da <i>Melaleuca alternifolia</i> .....	56
<b>Tabela 11</b> - Influência do tempo de extração no rendimento do OE da <i>Melaleuca alternifolia</i> .....	57
<b>Tabela 12</b> - Influência da aplicação das soluções extratoras no rendimento do OE da <i>Melaleuca alternifolia</i> .....	59

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> -Influência do armazenamento do material no rendimento do OE do <i>Cymbopogon winterianus</i> .....	43
<b>Gráfico 2</b> -Influência das soluções extratoras na extração do OE do <i>Cymbopogon winterianus</i> .....	45
<b>Gráfico 3</b> - Influência da concentração e volume da solução extratora de RL na extração dos OE do <i>Cymbopogon winterianus</i> .....	46
<b>Gráfico 4</b> - Influência do tempo e da aplicação de solução extratora de DC na extração dos OE do <i>Cymbopogon winterianus</i> .....	48
<b>Gráfico 5</b> - Influência da massa do material vegetal e do armazenamento na extração do óleo essencial do <i>Cymbopogon flexuosus</i> .....	50
<b>Gráfico 6</b> - Influência das soluções extratoras no rendimento do OE.....	51
<b>Gráfico 7</b> - Influência das soluções extratoras em volumes diferentes na extração dos OEs .....	53
<b>Gráfico 8</b> - Influência da extração com 30 minutos no rendimento do OE do <i>Cymbopogon flexuosus</i> .....	54
<b>Gráfico 9</b> – Comparação do rendimento do OE obtido através da destilação por arraste a vapor dos ramos e das folhas da <i>Melaleuca alternifolia</i> .....	56
<b>Gráfico 10</b> - Influência do tempo de extração no rendimento do OE da <i>Melaleuca alternifolia</i> .....	58
<b>Gráfico 11</b> - Influência da aplicação das soluções extratoras no rendimento do OE da <i>Melaleuca alternifolia</i> .....	59

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

OEs	Óleos essenciais
OCE	Observatório de Complexidade Econômica
PICS	Práticas Integrativas Complementares
SUS	Sistema Único de Saúde
CG-MS	Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas
MVA	Via do mevalonato
MEP	Via do fosfato de metileritritol
IPP	Difosfato de isopentenila
DMAPP	Difosfato de dimetilalila
PEP	Fosfoenolpiruvato
PNPMF	Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos
CMC	Concentração Micelar Crítica
ABS	Alquilbenzeno sulfonato
LAS	Alquilbenzeno sulfonato linear
RL	Solução de ramnolipídeos

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
2.1	Objetivo geral .....	16
2.2	Objetivos específicos .....	16
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
3.1	Óleos Essenciais (OEs).....	17
3.2	Plantas aromáticas e medicinais .....	21
3.2.1	Propriedades da planta aromática <i>Cymbopogon flexuosus</i> .....	21
3.2.2	Propriedades da planta aromática <i>Cymbopogon winterianus</i> .....	23
3.2.3	Propriedades da planta aromática <i>Melaleuca alternifolia</i> .....	24
3.3	Métodos de Extração de Óleos Essenciais .....	26
3.3.1	Extração de Óleos Essenciais por Hidrodestilação .....	26
3.3.2	Extração por arraste a vapor .....	28
3.3.3	Extração com solventes orgânicos .....	29
3.3.4	Extração com fluidos supercríticos .....	30
3.4	Tensoativos .....	31
3.4.1	Tensoativos de origem de matérias-primas não renováveis.....	33
3.4.2	Biotensoativos .....	34
3.4.2.1	Ramnolipídeos.....	36
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>37</b>
4.1	Montagem e operação do extrator por arraste a vapor de bancada .....	37
4.2	Coleta e manejo do material vegetal .....	37
4.3	Preparo das soluções intensificadoras de extração de óleos essenciais .....	38
4.4	Extrações dos óleos essenciais.....	38
4.5	Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas .....	40
<b>5</b>	<b>Resultados e discussão</b> .....	<b>41</b>
5.1	Desenvolvimento e Montagem do Extrator de Bancada por Arraste a Vapor.....	41
5.2	Extração do Óleos Essencial do Capim-Citronela .....	42
5.3	Extração do Óleo Essencial do Capim-limão.....	49
5.4	Extração do Óleo Essencial Da Árvore do Chá .....	55
5.5	Análise da Composição Dos Óleos Essenciais .....	60
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os óleos essenciais (OEs) são substâncias químicas produzidas através do metabolismo secundário das plantas, produzidos com finalidade de proteção contra predadores e atração de polinizadores. OEs são compostos voláteis de odor forte e marcante e que podem ser utilizados como insumos nas indústrias farmacêuticas, químicas e de cosméticos. (BIZZO et al., 2009; PINTO-ZEVALLOS et al., 2013; BRUNO et al., 2021). Geralmente são obtidos a partir do extrato bruto das plantas, podendo ser extraídos de todo material vegetal – sementes, rizomas, raízes, folhas, flores, frutos e cascas – por métodos físico-químicos de extração adequados para a matéria-prima utilizada (BIZZO et al., 2009; TIMUNG et al., 2016). Os métodos mais comuns são extração por arraste a vapor, por solvente, hidrodestilação, por fluidos supercríticos, assistida por micro-ondas, por prensagem a frio e *enflourage*.

A extração por arraste a vapor é um método sustentável que não contamina o OE obtido, pois utiliza o vapor de água para extrair os OEs de partes aéreas das plantas, por exemplo, folhas, frutos e flores. (BOUTEKEDJIRET et al., 2003; BABU; KAUL, 2005). Cerca de 93% dos processos de extração de óleos essenciais são realizados por esse método, enquanto os 7% restantes são extraídos através de outras técnicas (MASANGO, 2005).

A maior parte das plantas produzem OEs, porém algumas têm maior destaque devido às suas propriedades biológicas e seu uso no setor industrial, por exemplo, determinadas espécies do gênero *Cymbopogon* e *Melaleuca* (AKHILA, 2009). Entre as espécies dos gêneros citados que apresentam maior importância econômica, devido ao seu odor agradável e propriedades farmacológicas, tem-se: *Cymbopogon flexuosus*, *Cymbopogon winterianus* e *Melaleuca alternifolia* (GUPTA et al., 2018).

A aplicação de compostos líquidos na extração, como soluções enzimáticas, soluções salinas e biotensoativos é uma alternativa para obtenção de melhor rendimento. Em um estudo pioneiro, Solanki e seus colaboradores (2020) utilizaram compostos anfifílicos, como surfactantes e líquidos iônicos, como aditivos para uma extração mais ecológica de óleo essencial de capim-citronela por hidrodestilação. A adição dos compostos resultou em um processo energeticamente mais eficiente e não alterou a composição dos óleos essenciais obtido (Solanki et al., 2020)

Os biossurfactantes são tensoativos de origem natural que são produzidos por microrganismos, tais como bactérias, fungos e leveduras. Em sua maioria, são biodegradáveis e apresentam baixa toxicidade, por isso, são de grande importância para o meio ambiente e para o desenvolvimento de projetos sustentáveis (WINTERBURN; MARTIN, 2012; MISHRA et al., 2021). Os ramnolipídeos são biossurfactantes da classe dos glicolipídeos, produzidos principalmente por *Pseudomonas aeruginosa* (SOUSA et al., 2014). Esses biossurfactantes são utilizados para aplicações em biorremediação de poluentes de petróleo por apresentarem atividade de emulsificação (CAMILIOS NETO et al., 2008; MISHRA et al., 2021).

Portanto, esta pesquisa teve como objetivo utilizar avaliar diferentes parâmetros: tempo, massa e tipo de material, com ou sem a aplicação de soluções extratoras, como compostos anfifílicos, com intuito de potencializar a extração dos OEs de *Cymbopogon flexuosus*, *Cymbopogon winterianus* e *Melaleuca alternifolia*, através do processo de extração por arraste a vapor, seja aumentando o rendimento dos OEs extraídos das plantas ou diminuindo os custos de produção, por meio da redução de tempo do processo.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar as extrações de óleos essenciais extraídos pelo método de extração por arraste a vapor com a aplicação de soluções extratoras e/ou parâmetros, como, tempo, massas e tipo de material.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Montar um equipamento de extração por arraste a vapor de escala de bancada;
- ✓ Desenvolver uma solução extratora para extração de óleos essenciais composto;
- ✓ Avaliar o efeito da utilização das soluções extratoras nos tempos de extração e rendimento de óleos essenciais das plantas, *Melaleuca alternifolia*, *Cymbopogon flexuosus* e *Cymbopogon winterianus*,
- ✓ Determinar o perfil químico dos compostos encontrados nos óleos essenciais das plantas *Melaleuca alternifolia*, *Cymbopogon flexuosus* e *Cymbopogon winterianus*, extraídos com presença ou ausência das soluções extratoras de extração por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-MS).

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 ÓLEOS ESSENCIAIS (OEs)

Os óleos essenciais (OEs) são utilizados desde a antiguidade para purificação do corpo e espírito pelos povos ancestrais, devido às suas propriedades terapêuticas e aromáticas (BRITO et al., 2014). As aplicações dos OEs são amplas e versáteis: na agricultura, como, uma alternativa ecológica para o controle de doenças e plantas, nas indústrias alimentícias como flavorizante, nas indústria farmacêuticas e de cosméticos além das funções citadas anteriormente, são utilizadas como parte da composição de suas formulações atuando como o princípio ativos pois apresentam atividades farmacológicas, e, nos últimos anos, vem crescendo o campo da aromaterapia (MAHANTA et al., 2021; NI et al., 2021; YUAN et al., 2021).

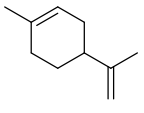
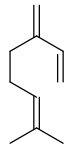
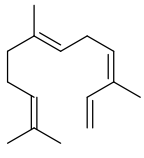
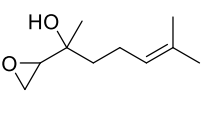
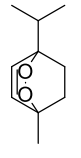
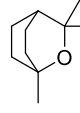
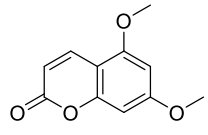
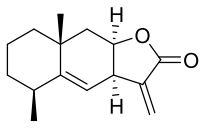
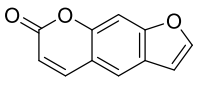
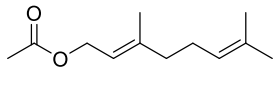
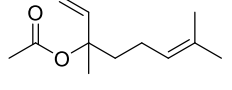
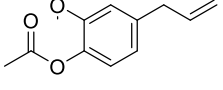
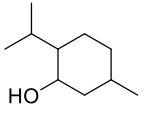
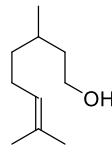
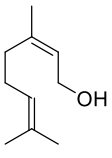
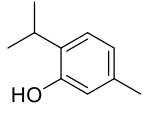
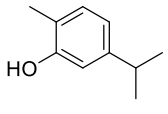
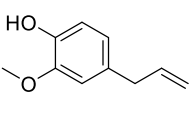
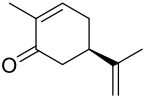
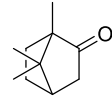
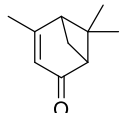
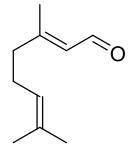
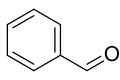
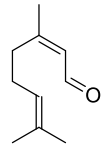
A aromaterapia é uma terapia complementar ou terapia integrativa que se originou na Índia e no Egito, é definida como aplicação de óleos essenciais ou essências por meio de inalação, massagem, compressão, banho, absorção ou ingestão (BRITO et al., 2014). Sendo utilizada para o bem-estar físico e mental, alguns dos principais efeitos terapêuticos que esse tratamento apresenta são efeito estimulante, antiestresse e antidepressivo. O SUS, por meio da Portaria nº 702, de 21 de março de 2018, inseriu a aromaterapia ao lado das 28 modalidades terapêuticas da Política Nacional de Práticas Integrativas e Complementares (PNPIC) (BRASIL, 2006). Ainda na área da saúde, os óleos essenciais são grandes aliados para o controle de infecções causadas por microrganismos, por exemplo, fungos, bactérias e vírus. Estudos na literatura destacam a atividade biológica de alguns OEs, tais como, antifúngica, antiviral, antibacteriana, antioxidante. (NI et al., 2021).

Os OEs são compostos químicos naturais e voláteis, oriundos do metabolismo secundário vegetal obtidos a partir da extração de plantas aromáticas (BIZZO; et al, 2009). Na natureza, os óleos essenciais são produzidos em condições de estresse da planta e têm função de proteger a planta contra ataques de predadores, por exemplo, insetos e microrganismos, além de atrair polinizadores para dispersão de pólenes e sementes (PINTO-ZEVALLOS et al., 2013).

A Figura 1 apresenta as principais classes de substâncias químicas encontradas nestes óleos e alguns exemplos de compostos químicos. Os OEs contêm

aproximadamente 20 a 60 componentes, sendo que dois a três estão em maiores concentrações (20-70%) ( GANJEWALA; LUTHRA, 2010; BASSOLÉ et al., 2011; CORREIA et al., 2018; DEVI et al., 2021).

**Figura 1** - Principais substâncias químicas encontradas nos óleos essenciais

Classe química dos compostos	Estruturas químicas		
Hidrocarbonetos	 <b>Limoneno</b>	 <b>Mirceno</b>	 <b>Farneseno</b>
Óxidos	 <b>Óxido de linalol</b>	 <b>Ascaridol</b>	 <b>Eucaliptol</b>
Lactonas	 <b>Citropteno</b>	 <b>Alantolactona</b>	 <b>Psoraleno</b>
Ésteres	 <b>Acetato de geranila</b>	 <b>Acetato de linalina</b>	 <b>Acetato de eugenol</b>
Álcoois	 <b>Mentol</b>	 <b>Citronelol</b>	 <b>Geraniol</b>
Fenóis	 <b>Timol</b>	 <b>Carvacrol</b>	 <b>Eugenol</b>
Cetonas	 <b>Carvona</b>	 <b>Cânfora</b>	 <b>Verbenona</b>
Aldeídos	 <b>Geranial</b>	 <b>Benzaldeído</b>	 <b>Neral</b>

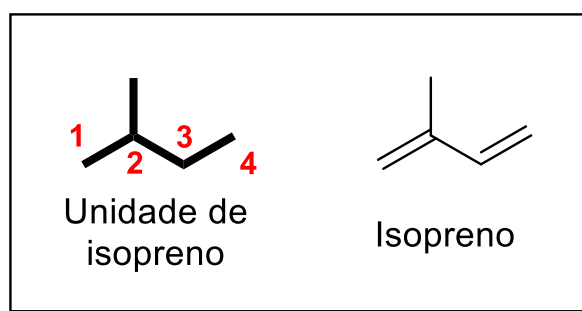
Fonte: Adaptado de JUGREET et al., 2020

Todo material vegetal da planta pode ser utilizado na extração de OEs, por exemplo, folhas, raízes, rizomas, caule, frutos, flores e sementes. Os OEs podem estar localizados/armazenados em diferentes estruturas do vegetal, internas ou externas, como nas células parenquimáticas, nos canais oleíferos ou nos tricomas glandulares (TIMUNG et al., 2016).

Podem ser extraídos de mais de 3000 plantas e sua composição pode variar dependendo das condições em que a planta foi cultivada, por exemplo, fatores abióticos, como luminosidade, temperatura, umidade e composição química do solo, e fatores bióticos, nomeadamente, microrganismos, insetos ou outras plantas (GOBBO-NETO; LOPES, 2007; MORAIS, 2009). Assim como a parte da planta utilizada, o tratamento ou processamento, antes e durante o processo de extração e o próprio processo extração também influenciam na composição dos OEs (ROCHA et al., 2000; YANG et al., 2010; GUPTA et al., 2018). Contudo, a maior parte dos compostos encontrados nos OEs são compostos orgânicos de baixa massa molecular, por exemplo, hidrocarbonetos, óxidos, lactonas, ésteres, álcoois, fenóis, cetonas e aldeídos. (JUGREET et al., 2020)

Três vias metabólicas atuam na biossíntese desses compostos orgânicos, sendo elas a via do mevanolato (MVA), a via do chiquimato (ou ácido chiquímico) e a via do fosfato de metileritritol (MEP) (DEWICK, 2002). As vias MVA e MEP são responsáveis pela síntese dos compostos terpênicos e seus derivados, formados por unidades (blocos) de isopreno (Figura 2) que podem sofrer reações de redução, oxidação, substituição e/ou ciclização, geralmente estes compostos orgânicos são encontrados no meio biológico na sua forma cíclica. (DEWICK, 2002; FELIPE; BICAS, 2017).

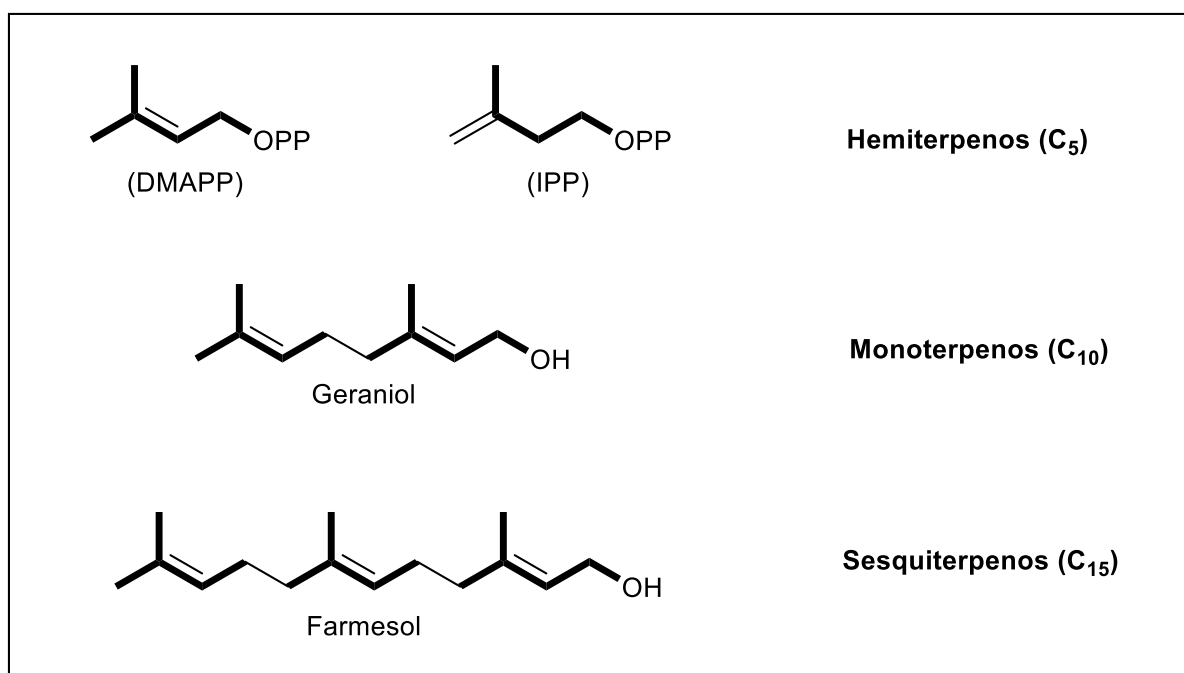
**Figura 2** - Estrutura química do bloco de isopreno e do isopreno



**Fonte:** Adaptado de Dewick (2002)

Os compostos inicialmente formados são o difosfato de isopentenila (IPP) e seu isômero difosfato de dimetilalila (DMAPP). Através da polimerização destas moléculas pela ordem “cabeça-a-cauda” (ligação 1-4), é originada a maior parte dos compostos terpênicos/terpenóides, classificados de acordo com a quantidade de unidades de isopreno, hemiterpenos ( $C_5$ ), monoterpenos ( $C_{10}$ ), e os sesquiterpenos ( $C_{15}$ ). (Figura 3) (DEWICK, 2002; FELIPE, BICAS, 2017). Os monoterpenos são compostos químicos formados por duas unidades de isopreno, alguns desses compostos presentes nos OEs são: o geranial, o citronelal, o citronelol, o geraniol, o linalol, o neral, entre outras substâncias.

**Figura 3** - Estrutura química dos hemiterpenos, monoterpenos e sesquiterpenos

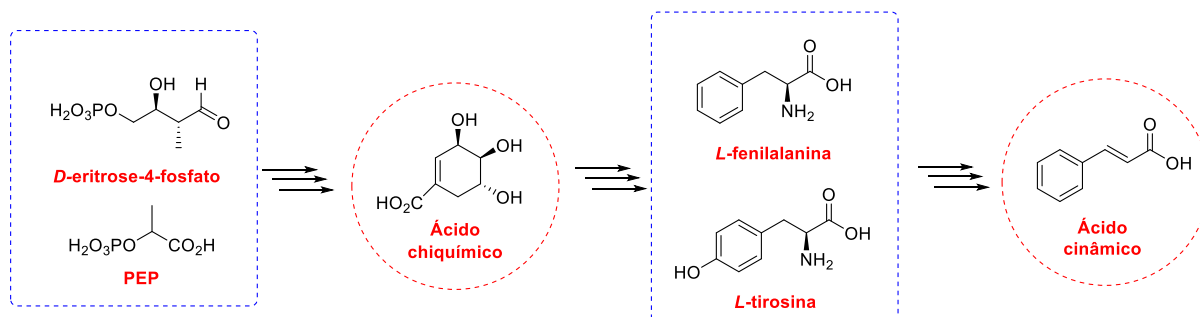


**Fonte:** Adaptado de Dewick (2002)

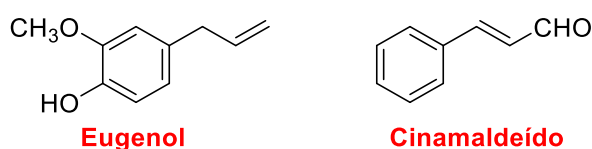
A via do chiquimato inicia-se com a reação entre o fosfoenolpiruvato (PEP) e D-eritrose-4-fosfato (DEWICK, 2002). E após algumas reações químicas seguintes, é formado o ácido chiquímico, que é o precursor de alguns aminoácidos importantes, por exemplo, triptofano, fenilalanina e tirosina (Figura 4a). Por meio da fenilalanina e da tirosina é formado o ácido cinâmico, que dá origem aos fenilpropenos cinamaldeído e eugenol, presentes em óleos essenciais obtidos da canela e cravo da Índia, respectivamente (Figura 4b) (DEWICK, 2002).

**Figura 4** - Etapas para formação do ácido cinâmico e estruturas químicas do eugenol e cinamaldeído

**a)** Etapas para formação do ácido cinâmico



**b)** Estrutura química do eugenol e cinamaldeído



**Fonte:** Adaptado de Dewick (2002)

### 3.2 PLANTAS AROMÁTICAS E MEDICINAIS

O Brasil apresenta uma ampla variedade de espécies de plantas aromáticas utilizadas para fins medicinais, seja para tratamento, cura ou prevenção de doenças. Em junho de 2006, foi elaborado o plano da Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos (PNPMF) (BRASIL, 2006). Geralmente, os óleos essenciais dessas plantas apresentam atividades biológicas, por exemplo, antifúngica, antiviral, antibacteriana e antioxidante. Também são empregados em indústrias como aromatizantes e, na agricultura, como potenciais pesticidas (BIZZO et al., 2009; JUGREET et al., 2020). Entre as espécies de ervas aromáticas que tem destaque nesse cenário, podemos citar: *Cymbopogon flexuosus*, *Melaleuca alternifolia* e *Cymbopogon winterianus*.

#### 3.2.1 Propriedades da planta aromática *Cymbopogon flexuosus*

O *Cymbopogon flexuosus* (capim-limão) (Figura 5) é uma gramínea da família Poaceae, sendo originária do Sul da Ásia, Sudeste Asiático e Austrália. No Brasil, é encontrado nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Pará, Pernambuco,

Maranhão e Rio de Janeiro (MAY et al., 2008). Na China e na Índia, suas folhas são utilizadas como temperos e suas folhas frescas são colocadas para perfumar o ambiente. Na medicina antiga, o chá das folhas de *C. flexuosus* foi utilizado como calmante (PARIKH; DESAI, 2011).

**Figura 5** - Capim-limão

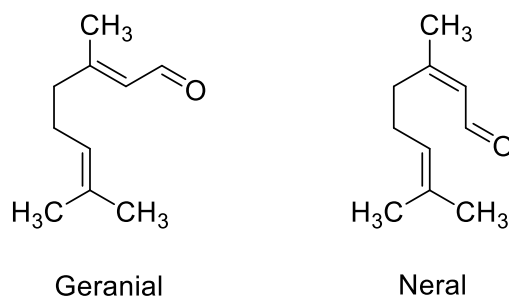


**Fonte:** <https://www.estreladamanhaoe.com.br/fotos>

O óleo essencial extraído das folhas do capim-limão é utilizado para aromatizar produtos, por exemplo, fragrâncias, perfumes, cosméticos e de higiene em indústrias farmacêuticas e químicas (BURKHARDT et al., 2015; SINGH et al., 2000). Na literatura, estudos relatam que o óleo essencial apresenta atividades biológicas, tais como, atividades antimicrobiana, antifúngica, antibacteriana e repelente de mosquitos (SCHANEBERG; KHAN, 2002; ADUKWU et al., 2016; SCOTTI et al., 2021).

O principal componente químico no óleo do capim-limão é o citral, uma mistura isomérica de neral e geranial (Figura 6), representando 65 a 80% da composição total do óleo e seu teor, quantidade de citral, é o fator que representa a qualidade do OE (SCHANEBERG; KHAN, 2002). Além do citral, o geraniol e o acetato de geranila estão presentes em quantidades menores nos OEs (PARIKH; DESAI, 2011). Pode ser obtido por diferentes métodos de: extração por solvente (usando hexano e acetona), destilação a vapor e hidrodestilação (SCHANEBERG; KHAN, 2002., PARIKH; DESAI, 2011).

**Figura 6** - Estrutura química dos compostos químicos majoritários presentes no OE do *Cymbopogon flexuosus*



**Fonte:** autoria própria

### 3.2.2 Propriedades da planta aromática *Cymbopogon winterianus*

O *Cymbopogon winterianus* (capim-citronela) (Figura 7), assim como o *Cymbopogon flexuosus*, é pertencente à família Poaceae. A espécie é conhecida popularmente como citronela e, geralmente, cultivada nas regiões tropicais e subtropicais da Ásia, África e América. Sua origem não é bem elucidada, acredita-se que tenha se originado no Ceilão. Por ser uma espécie altamente resistente a condições climáticas, é cultivada em diferentes regiões geográficas, como Java, Haiti, Brasil, China. (CASSEL et al., 2006). Duas espécies do gênero *Cymbopogon* são denominadas citronela, *C. nardus* e *C. winterianus*, que apresentam diferenças morfológicas e na composição dos OEs (AKHILA, 2009).

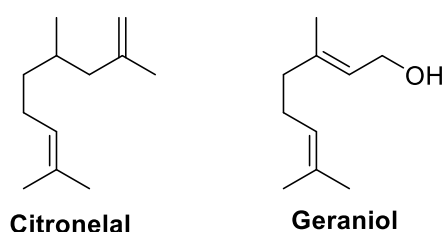
**Figura 7** - Capim-citronela



**Fonte:** autoria própria

Os OEs da citronela são utilizados nas indústrias de perfumaria, cosméticos, farmacêuticas e de aromatizantes e tem grande valor comercial para o mercado interno e externo. A infusão de suas folhas secas foi utilizada na medicina antiga como chá aromático, vermífugo, diurético e antiespasmódico (WANY et al., 2014). Além disso, apresentam atividades farmacológicas comprovadas, por exemplo, antitumoral, antibacteriana, antioxidantes, antifúngica e ações repelentes (CASSEL et al., 2006). Têm como componentes majoritários os monoterpenos citronelal e geraniol representado na Figura 8.

**Figura 8** - Estrutura química dos principais compostos presentes no OE do *Cymbopogon winterianus*



**Fonte:** autoria própria

### 3.2.3 Propriedades da planta aromática *Melaleuca alternifolia*

Conhecida popularmente como árvore do chá ou *tea tree* (Figura 9), é uma erva aromática nativa da Austrália e Ilhas do Oceano Índico. A espécie pertence à família Myrtaceae e ao gênero *Melaleuca*, que apresenta aproximadamente 100 espécies nativas na região da Austrália, encontradas geralmente em regiões de climas tropicais e subtropicais (VIEIRA et al., 2004; SOUZA et al., 2015). É uma árvore que pode chegar até 7 metros de altura, folhas afiladas, com aproximadamente 2 centímetros de comprimento. As folhas são pequenas, sésseis, alternadas e dispostas em espiral ao redor da ráquis e florescem no verão.

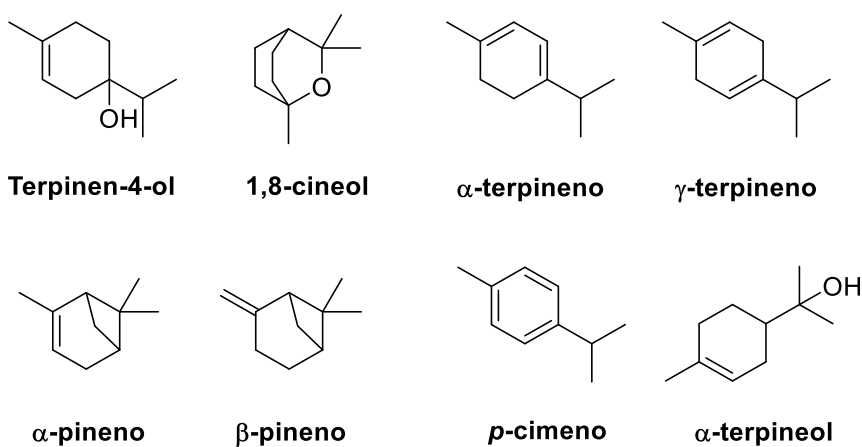
A composição química do OE das folhas da *M. alternifolia* é bem conhecida, rica em monoterpenos e terpenóides e cerca de outras 100 substâncias, tendo como principais componentes químicos terpinen-4-ol, 1,8-cineol,  $\alpha$ -terpineno,  $\gamma$ -terpineno,  $\alpha$ -pineno,  $\beta$ -pineno,  $\alpha$ -terpineol e *p*-cimeno (Figura 10), que representam aproximadamente 90% do óleo essencial (BROPHY et al., 1989; FELIPE et al., 2018). O método de extração utilizado é o de destilação por arraste a vapor das folhas *M. alternifolia*.

**Figura 9** - Árvore do chá



**Fonte:** <https://www.estreladamanhae.com.br/fotos>

**Figura 10** - Estrutura química dos principais compostos químicos presentes no OE da *Melaleuca alternifolia*



**Fonte:** autoria própria

De acordo com Vieira e seus colaboradores (2004), o terpineno-4-ol é o responsável pelas propriedades medicinais da planta (VIEIRA et al., 2004; FELIPE et al., 2018). O OE isolado das folhas do *M. alternifolia* apresenta atividade antibacteriana, antifúngica, antiviral e anti-inflamatória (CAELLI et al., 2000; HAMMER et al., 2002; ; FELIPE et al., 2018).

Em 2017, a Organização Internacional de Normalização (ISO), pela normativa ISO 4730:2017, dispõe que a composição do óleo essencial comercial deve

conter mais de 30% de terpinen-4-ol, menos de 15% de 1,8-cineol, entre 10% a 28% de  $\gamma$ -terpineno e 0,5% a 12% de *p*-cimeno (PAPADOPOULOS et al., 2006; GIOPPO et al., 2019; FELIPE et al., 2018).

### 3.3 MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS

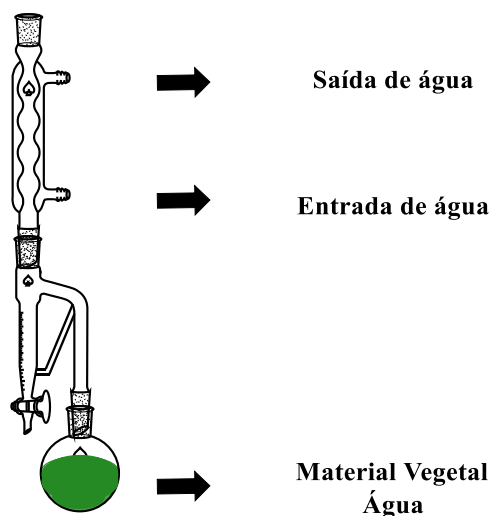
A extração é uma operação unitária que tem por objetivo a separação de determinadas substâncias através de processos químicos, físicos ou mecânicos (RAMALHO; SUAREZ, 2013). Alguns métodos de extração para a obtenção de OEs são hidrodestilação, extração por arraste a vapor, por solvente, por fluidos supercríticos, por micro-ondas e prensagem a frio.(TONGNUANCHAN; BENJAKUL, 2014; GIACOMETTI et al., 2018; GHAZANFARI et al., 2020).

Nos últimos anos, tem aumentado o interesse na otimização destes processos de extração, visando melhorar a qualidade dos extratos obtidos das plantas, assim como baixar custos operacionais de processo (gastos energéticos) e diminuir a emissão de poluentes (DRINIĆ et al., 2020; GHAZANFARI et al., 2020). Entre estes métodos, pode-se citar extração com fluido supercrítico, com fluido subcrítico, assistida por ultrassom, assistida por micro-ondas, líquida pressurizada, por campo elétrico pulsado e por descargas elétricas de alta voltagem ( NAVARRETE et al., 2011; GIACOMETTI et al., 2018; DRINIĆ et al., 2020)

#### 3.3.1 Extração de Óleos Essenciais por Hidrodestilação

A hidrodestilação é o método padrão de extração de óleo essencial do material vegetal, como madeira ou flor. (TONGNUANCHAN; BENJAKUL, 2014). Geralmente, em experimentos realizados em laboratórios, utiliza-se um aparelho denominado Clevenger (Figura 11), onde o material vegetal e a água destilada são adicionados no mesmo balão. Nesse processo, ocorre a formação de vapor de água que arrasta os compostos para um condensador, onde o vapor contendo os compostos aromáticos condensa, é recolhido e, posteriormente, separado por extração líquido-líquido (partição) (ALEKSOVSKI, 2006; PARIKH; DESAI, 2011; SOVOVA; ZENG et al., 2016). Em processos industriais, são utilizados aparatos mais robustos, como o modelo apresentado na Figura 12 (TONGNUANCHAN; BENJAKUL, 2014).

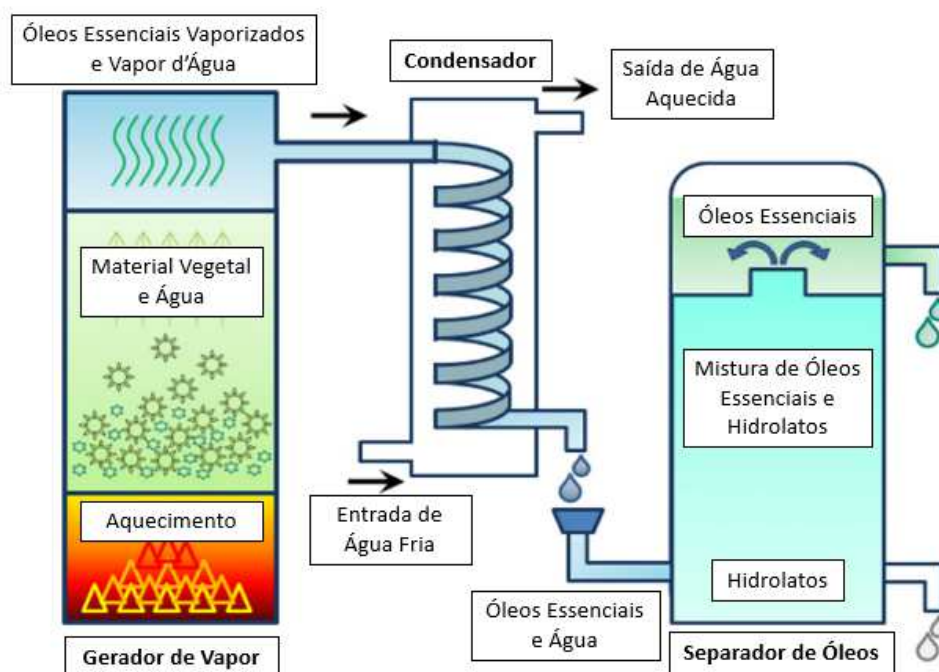
**Figura 11** - Aparato de Clevenger utilizado na extração por hidrodestilação



**Fonte:** adaptado de ZENG et al., (2016)

Devido ao contato direto e constante entre água fervente e o material vegetal por um longo período pode ocorrer a degradação dos óleos essenciais, sendo necessário um controle de temperatura, de forma que esta não ultrapasse os 100 °C, a fim de diminuir os impactos da degradação (SOVOVA; ALEKSOVSKI, 2006; ZENG et al., 2016).

**Figura 12** - Aparato para hidrodestilação utilizado em escala industrial

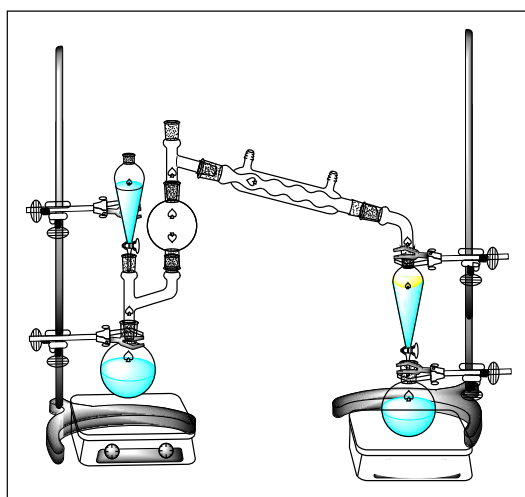


**Fonte:** Adaptado de TONGNUANCHAN.,2014

### 3.3.2 Extração por arraste a vapor

O processo de destilação por arraste a vapor é muito utilizado industrialmente para extração dos OEs, devido ao seu baixo custo, simplicidade e materiais necessários, quando comparado com os demais métodos, por exemplo, a extração com fluido supercrítico ou com solventes orgânicos (CASSEL et al., 2006; NAVARRETE et al., 2011). Na Figura 13, é possível ver a representação de um modelo de extrator de arraste a vapor de bancada (TONGNUANCHAN; BENJAKUL, 2014).

**Figura 13** - Extrator de arraste a vapor de bancada



**Fonte:** autoria própria

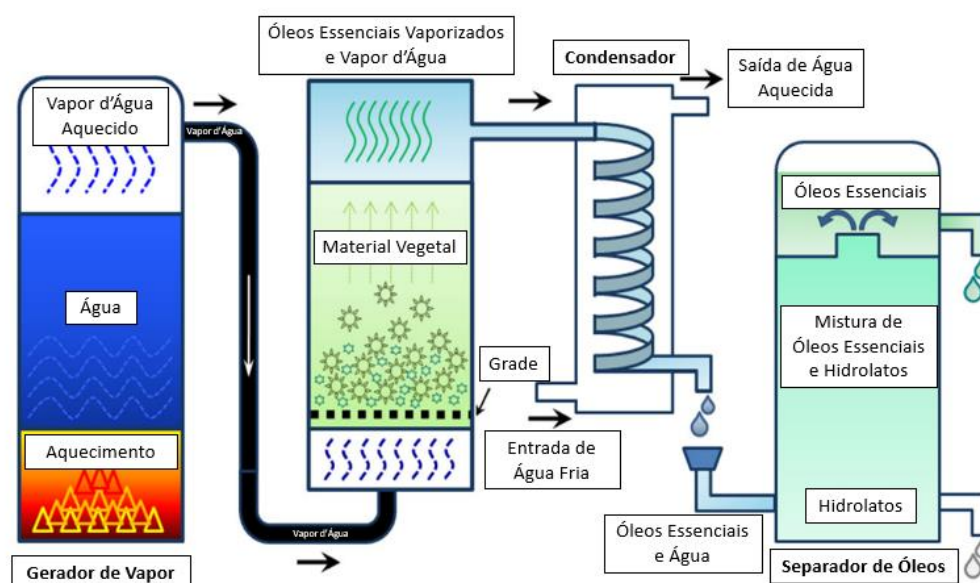
Esse método se diferencia da hidrodestilação porque a água não fica em contato direto com o material vegetal, já que estes são separados em dois recipientes distintos (por exemplo, em balões em experimentos realizados em laboratórios ou em dornas para os processos industriais) (NAVARRETE et al., 2011; TONGNUANCHAN; BENJAKUL, 2014).

O vapor à temperatura de aproximadamente 100°C passa através do balão extrator, que contém o material vegetal, “carregando” os OEs. Em seguida, os componentes aromáticos contidos no vapor são arrastados até o condensador, devido à diferença de pressão entre a entrada de vapor no vaso extrator e o bocal de saída de produto do condensador. Do bocal de saída do condensador, água e óleo essencial são conduzidos por gravidade ao recipiente de coleta, onde ocorre a separação das

duas fases por causa da diferença de densidade. Na fase orgânica (superior), está a camada de óleos essenciais, já na fase aquosa, denominada hidrolato, pode haver uma pequena parcela de óleos essenciais dissolvidos.

Os processos tradicionais de extração, como o de arraste a vapor, apresentam alguns inconvenientes e limitações. Os constituintes dos OEs, por exemplo, podem sofrer degradação térmica ou hidrólise, o que pode alterar o aroma do extrato e, conseqüentemente, afetar a reprodução das fragrâncias características das plantas aromáticas, aliado a esse fato existe o tempo gasto na extração e, assim, na energia gasta (SCHANEBERG; KHAN, 2002; NAVARRETE et al., 2011). Na Figura 14, um modelo de extrator utilizado nos processos industriais (TONGNUANCHAN; BENJAKUL, 2014).

**Figura 14** - Modelo de extrator de arraste a vapor industrial



Fonte: Adaptado de TONGNUANCHAN.,2014

### 3.3.3 Extração com solventes orgânicos

A extração com solvente foi implementada para materiais vegetais delicados ou de flores frágeis, que não são tolerantes ao calor da destilação a vapor (TONGNUANCHAN; BENJAKUL, 2014). Geralmente, são utilizados solventes como acetona, hexano, metanol, éter de petróleo, etanol, entre outros (GIACOMETTI et al., 2018; SBIHI et al., 2018).

De modo geral, o solvente é misturado com o material vegetal e aquecido para extrair o óleo essencial, seguido de filtração e concentração por evaporação do solvente (SBIHI et al., 2018). O concentrado é resina (resinóide) ou concreto (uma combinação de cera, fragrância e óleo essencial). O concentrado, é então misturado com álcool puro, para a extração do óleo, e destilado em baixas temperaturas. O álcool absorve a fragrância e, quando o álcool evapora, permanece o óleo absoluto aromático. No entanto, esse método é um processo relativamente demorado, tornando os óleos mais caros do que aqueles obtidos por outros métodos. Adicionalmente, esse método apresenta a desvantagem de necessitar de remoção do solvente residual após o processo, implicando em grande gasto energético e alto investimento em equipamentos (CASSEL et al., 2009). Por fim, os solventes podem ainda modificar a composição química do óleo e causar danos aos consumidores, como alergias e danos ao sistema imunológico (CASSEL et al., 2009).

#### 3.3.4 Extração com fluidos supercríticos

Os métodos convencionais - extração por arraste a vapor e por solvente - apresentam desvantagens, como o tempo necessário para extração, perda de compostos voláteis ou degradação, baixa eficiência e a possibilidade de resíduos tóxico no OE (TONGNUANCHAN; BENJAKUL, 2014; CHAVES et al., 2020; GHAZANFARI et al., 2020) . Dadas as desvantagens, novos métodos de extração vêm sendo desenvolvidos, como extração por fluidos supercríticos, extração com fluido subcrítico, extração assistida por ultrassom, extração assistida por micro-ondas (ZHU et al., 2019; CHAVES et al., 2020; DRINIĆ et al., 2020; GHAZANFARI et al., 2020).

Entre esses métodos, a extração por fluidos supercríticos é a que apresenta maior destaque e pesquisas relacionadas (GHASEMI et al., 2011; SOVOVÁ, 2012). Um fluido é dito como supercrítico quando se encontra acima da sua pressão e temperatura críticas. O dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) é o fluido supercrítico mais comumente utilizado (GHASEMI et al., 2011; TONGNUANCHAN; BENJAKUL, 2014). Em condições de alta pressão, o  $\text{CO}_2$  se transforma em líquido, que pode ser usado como um meio muito inerte e seguro para extrair as moléculas aromáticas da matéria-prima. Nenhum resíduo de solvente permanece no produto final acabado, pois o  $\text{CO}_2$  líquido simplesmente torna-se um gás e evapora sob pressão atmosférica e

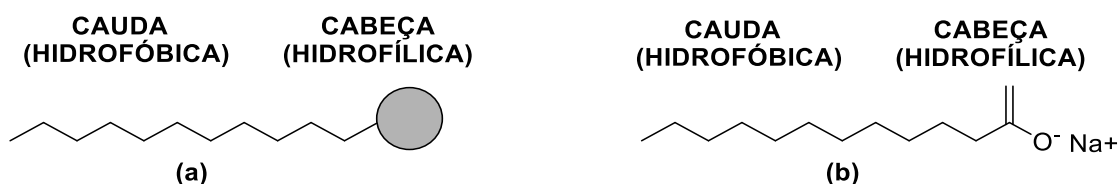
temperatura ambiente (GHASEMI et al., 2011; SOVOVÁ, 2012).

No entanto, para aplicações industriais, esse método exige um alto custo de investimento, uma vez que necessita de equipamentos especializados para suportar pressões altas envolvidas, tornando-se não viável se comparado com os processos de extração tradicionais (ZHU et al., 2019).

### 3.4 TENSOATIVOS

Os tensoativos, também denominados surfactantes, são compostos químicos que apresentam em sua estrutura uma parte hidrofílica (cabeça), solúvel em água, e uma parte apolar (cauda), solúvel em substâncias lipofílicas, por exemplo, hidrocarbonetos, óleos e gorduras. Por apresentar uma porção hidrofóbica e uma porção hidrofílica, os tensoativos são denominados substâncias anfipáticas (Figura 15a) (PENTEADO et al., 2006; DALTIM, 2011). O sabão é o exemplo de tensoativo conhecido há milhares de anos, composto por moléculas de dodecanato de sódio, cuja estrutura química é apresentada na Figura 15b (FELIPE; DIAS, 2017).

**Figura 15** - Estrutura química básica dos tensoativos



**Legenda:** (a) Estrutura química básica dos tensoativos; (b) Estrutura química do dodecanato de sódio

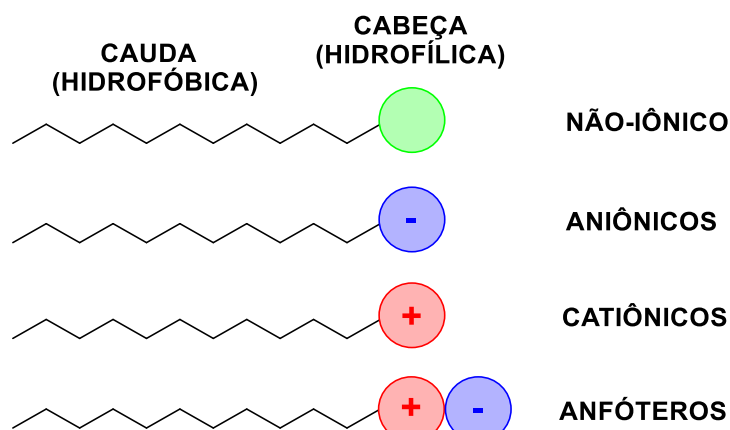
**Fonte:** autoria própria

Devido às suas propriedades físicas e químicas, os tensoativos reduzem as tensões entre interfaces líquido-líquido, líquido-gás e sólido-líquido. Adicionalmente, a capacidade de estarem ao mesmo tempo em meios imiscíveis, permite a formação de emulsões, espumas, suspensões e detergência de superfície. Todas as características mencionadas garantem a ampla aplicação destes na produção de detergentes, cosméticos, tintas, cerâmicas, alimentos e formulações farmacêuticas (DALTIM, 2011; MARCHANT; BANAT, 2012).

Os tensoativos podem ser divididos em duas classes: iônicos e não-iônicos. O primeiro grupo apresenta grupos polares com carga líquida positiva

(catiônico) ou negativa (aniônico). Entre os surfactantes aniônicos, pode-se citar os sulfatados, sulfonados e fosfatados e, dentre os catiônicos, os sais de amônio quaternário (DESAI; BANAT, 1997; JIMOH; LIN, 2019). Os tensoativos não-iônicos são originados de sais dissociados e não apresentam carga líquida (somatória das cargas da molécula é igual a zero), como os derivados de polioxietileno (DALTIM, 2011). Os anfóteros são tensoativos que possuem a capacidade de se comportarem como aniônicos ou catiônicos, dependendo do pH da solução que se encontram (DALTIM, 2011; FELIPE; BICAS, 2017). A Figura 16 apresenta um esquema da estrutura básica dos principais grupos de tensoativos.

**Figura 16** - Estrutura básica das classes de tensoativos mais comuns



Fonte: Adaptado de FELIPE e DIAS, 2017

Os surfactantes, devido ao seu caráter anfipático, quando adicionados a um solvente polar, se acumulam na superfície do solvente e, ao adicionar-se mais surfactante, inicia-se a formação de agregados moleculares, denominados micelas (DALTIM, 2011; MARCHANT; BANAT, 2012). A concentração micelar crítica (cmc) representa a concentração de surfactante quando se inicia o processo de formação de micelas. É uma propriedade intrínseca e característica de surfactantes, sendo influenciada pela natureza química dos grupos hidrofóbicos e hidrofílicos, pela força iônica, temperatura e presença de eletrólitos (DALTIM, 2011; FELIPE; DIAS, 2017).

As principais aplicações dos surfactantes são em processos industriais, domésticos e biológicos, onde exercem funções de emulsificante, agentes molhantes ou de suspensão e dispersão de fases lubrificantes (DALTIM, 2011)

Finalmente, os surfactantes podem ser divididos em dois grandes

grupos: os de origem sintética, provenientes de matérias-primas não renováveis, como o petróleo, ou de origem natural, produzidos por microrganismos e plantas (NITSCHKE; PASTORE, 2002)

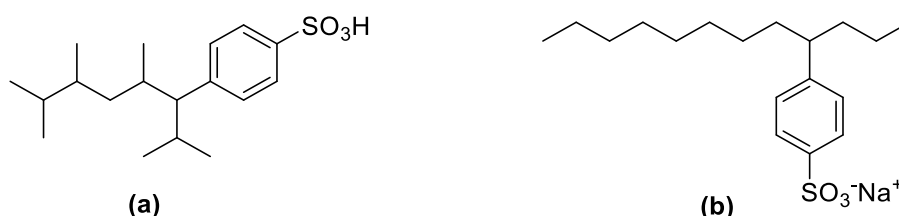
### 3.4.1 Tensoativos de origem de matérias-primas não renováveis

Os tensoativos de origem sintética, em sua maior parte, são derivados do petróleo. O principal tensoativo aniônico e sintético surgiu na década de 40, o alquilbenzeno sulfonato (ABS) (Figura 17a), obtido a partir do benzeno e tetrâmero de propileno. Devido ao seu melhor desempenho comparado ao sabão, o ABS foi consumido mundialmente em larga escala (PENTEADO et al., 2006). Contudo, o alto potencial poluidor e a refratariedade à degradação biológica são as suas desvantagens (PENTEADO et al., 2006; FELIPE; DIAS, 2017)

A presença de cadeias ramificadas e de carbonos quartenários na sua cadeia hidrofóbica impedia os processos de aeração nos tanques de tratamento de efluentes, gerando problemas nas estações de tratamento de esgoto, pois ocorria a formação de camadas densas de espuma (PENTEADO et al., 2006; FELIPE; DIAS, 2017)

Atualmente, o alquilbenzeno sulfonato linear (LAS) (Figura 17b), um detergente sintético produzido a partir do benzeno e do propileno, foi o substituto para o ABS (Figura 17a). Como sua cadeia carbônica é menos ramificada, este é mais suscetível à degradação biológica, o que diminui sua persistência no meio ambiente (PENTEADO., 2006; FELIPE; DIAS, 2017).

**Figura 17** - Estrutura química dos surfactantes sintéticos ABS e LAS



**Legenda:** (a) Sulfonato de alquilbenzeno (ABS); (b) Alquilbenzeno linear (LAS)

**Fonte:** Adaptado de FELIPE e DIAS, 2017

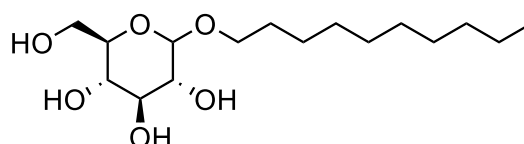
Devido aos problemas ambientais ocasionados, às inúmeras

aplicações dos surfactantes (industriais e domésticas) novas alternativas foram desenvolvidas para diminuir os tais prejuízos (NITSCHKE; PASTORE, 2002; MANOUCHEHRI et al., 2018). Nesse contexto, os biotensoativos, tensoativos produzidos por vias naturais ou utilizando matéria prima vegetal, são uma alternativa promissora (NITSCHKE; PASTORE, 2002).

### 3.4.2 Biotensoativos

Os biotensoativos ou surfactantes de origem natural são produzidos por plantas (saponinas), animais (sais biliares) e por microrganismos (glicolipídeos), sendo uma alternativa aos surfactantes sintéticos (NITSCHKE; PASTORE, 2002; MARCHANT; BANAT, 2012). Os principais grupos de surfactantes naturais são os alquil poliglicosídeos, amidas de ácidos graxos, aminas de ácidos graxos, glucamidas, lecitinas, saponinas e, principalmente, os biossurfactantes (NITSCHKE; PASTORE, 2002). No grupo dos alquil poliglicosídeos encontramos os Decil glicosídeos (DC) (Figura 18) que são tensoativos não-iônicos obtidos a partir de matéria prima renovável, origem vegetal, que são obtidos através da reação de glicosilação de Fischer (DALTIM, 2011). São tensoativos biodegradáveis usados na confecção de produtos de higiene pessoal e possuem um melhor custo-benefício se comparado aos biossurfactantes. Os biossurfactantes compõe o grupo mais expressivo dos tensoativos naturais e são produzidos por microrganismos (bactérias e fungos) através de processos biotecnológicos (MARCHANT; BANAT, 2012; NITSCHKE; PASTORE, 2002).

**Figura 18** - Estrutura química do Decil Glicosídeo (DC)



**Fonte:** autoria própria

Os biossurfactantes, assim como seus análogos sintéticos, apresentam uma parte hidrofóbica e outra hidrofílica, normalmente neutra ou aniônica. Variam de cadeias pequenas de ácidos graxos até cadeias poliméricas e são classificados como: glicolipídios, lipopeptídios, lipoproteínas, ácidos graxos, lipídios

neutros, fosfolipídios, surfactantes poliméricos e surfactantes particulados (Tabela 1) (DALTIM, 2011; FELIPE; DIAS, 2017; MARCHANT; BANAT, 2012)

Alguns fatores influenciam na produção dos biossurfactantes pelos microrganismos, como o processo de fermentação e as condições de produção - fontes de carbono, nitrogênio e nutrientes, pH, temperatura, limitações nutricionais durante o crescimento e a agitação/aeração do meio (CAMILIOS-NETO et al., 2011; MARCHANT; BANAT, 2012; NITSCHKE; PASTORE, 2002).

Os biossurfactantes apresentam algumas vantagens em relação aos seus congêneres: são biodegradáveis, apresentam baixa toxicidade e podem ser sintetizados a partir de matéria-prima renovável (NITSCHKE; PASTORE, 2002). Com isso, os biossurfactantes têm sido reconhecidos como substituintes parciais ou totais dos surfactantes sintéticos (DESAI; BANAT, 1997; NITSCHKE; PASTORE, 2002). Os biossurfactantes vêm sendo utilizadas em vários setores industriais, como em produtos de beleza, farmacêuticos, conservantes de alimento e de detergentes ,entretanto, apresentam desvantagens, como o alto custo de produção e baixo rendimento (MANOUCHEHRI et al., 2018).

**Tabela 1** - Classes, tipos e microrganismos produtores dos principais tipos de biossurfactantes

<b>Classe</b>	<b>Tipo</b>	<b>Microrganismo produtor</b>
Glicolipídios	Ramnolipídios	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
	Soforolipídios	<i>Candida bombicola</i>
	Trehalolipídios	<i>Rhodococcus erythropolis</i>
Lipopeptídios	Viscosina	<i>Pseudomonas fluorescens</i>
	Surfactina	<i>Bacillus subtilis</i>
	Polimixina	<i>Bacillus polymyxa</i>
Fosfolipídeos, ácidos graxos e lipídeos neutros	Ácidos graxos	<i>Corynebacterium lepus</i>
	Lipídios neutros	<i>Nocardia erythropolis</i>
	Fosfolipídios	<i>Thiobacillus thiooxidans</i>
Surfactantes poliméricos	Emulsan	<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>
	Biodispersan	<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>
	Liposan	<i>Candida lipolytica</i>
Surfactantes particulados	Vesículas	<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>
	Células	Cianobactéria

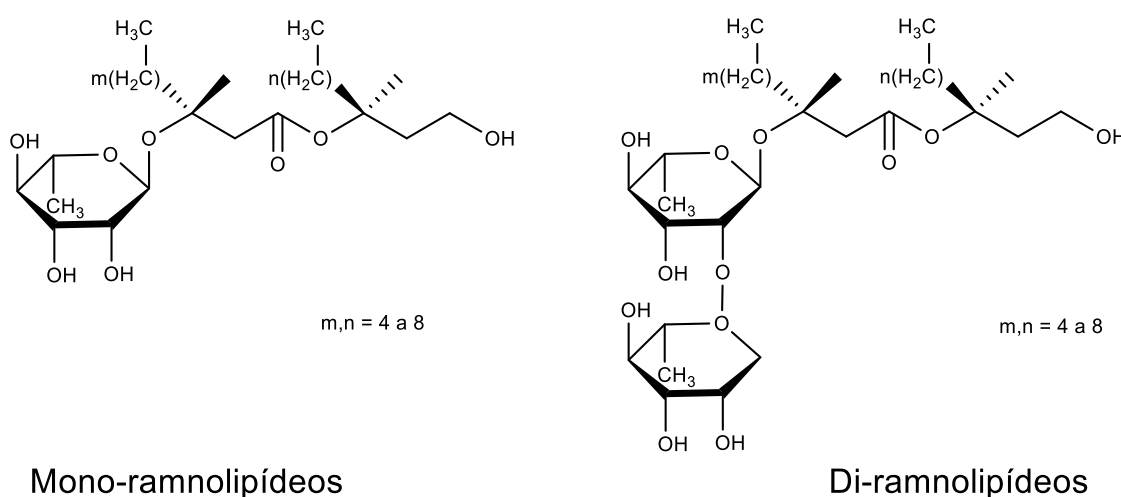
**Fonte:** Adaptado de OLIVEIRA, 2017

### 3.4.2.1 Ramnolipídeos

Os ramnolipídeos são biossurfactantes que podem ser produzidos pelo metabolismo secundário da bactéria *Pseudomonas aeruginosa* durante sua fase estacionária de crescimento. Sua estrutura química (Figura 19) é constituída basicamente por uma ou duas moléculas de ramnose (mono ou di-ramnolipídeo, respectivamente) ligados ao ácido graxo, variando no tamanho da cadeia carbônica e na presença e quantidade de insaturações (CAMILIOS NETO et al., 2008; SUHANDONA et al., 2021).

Os ramnolipídeos produzidos por *Pseudomonas aeruginosa* estão entre os biossurfactantes mais estudados, devido às suas características e vantagens, por exemplo, apresentarem excelentes propriedades tensoativas e serem produzidos a partir de substratos de baixo custo (CAMILIOS-NETO et al., 2011; JIMOH; LIN, 2019). Os ramnolipídeos oferecem vantagens especiais em comparação com outros biossurfactantes por causa da sua potente atividade emulsificante, elevada atividade tensoativa e por possuir baixa concentração micelar crítica (cmc) (CAMILIOS-NETO et al., 2011; JIMOH; LIN, 2019).

**Figura 2** - Estrutura química dos ramnolipídeos



Fonte: autoria própria

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 MONTAGEM E OPERAÇÃO DO EXTRATOR POR ARRASTE A VAPOR DE BANCADA

O extrator de bancada foi montado utilizando os seguintes materiais: balão gerador, balão extrator, adaptador, conexão tubular condensador, funil de separação, suportes universais, garras, uma manta aquecedora e um sistema de circulação de água refrigerada.

### 4.2 COLETA E MANEJO DO MATERIAL VEGETAL

O material vegetal foi coletado em 3 locais distintos, de acordo com a disponibilidade. O *Cymbopogon flexuosus* foi coletado em uma propriedade particular, no período da manhã, entre os meses, janeiro a julho de 2021, em Londrina- PR, localizada na rodovia Celso Garcia Cid, km 377 no bairro Gleba Fazenda Palhano, com as coordenadas, latitude, -23.3421175 e longitude -51.1852585, com a permissão do proprietário e foi transportado dentro de um saco de estopa até o Departamento de Bioquímica e Biotecnologia da UEL.

O *Cymbopogon winterianus* foi coletado na casa de vegetação do Centro de Ciências Biológicas (CCB) da Universidade Estadual de Londrina (UEL), no período da manhã, janeiro a julho de 2021 e em fevereiro de 2022, localizada na Rodovia Celso Garcia Cid, km 380, com as coordenadas, latitude, -23.3146 e longitude -51.2144. Em seguida o material foi transportado dentro de um saco de estopa ao Departamento de Bioquímica e Biotecnologia da UEL.

A *Melaleuca alternifolia* foi coletada no período da tarde em abril de 2021 em uma propriedade particular em Londrina-PR, localizada na intersecção entre a avenida Arthur Tomas e a rua Waldomiro Fernandes, com as coordenadas, latitude, -23.308485 e longitude -51.201992 com a permissão do proprietário. Em seguida o material foi transportado dentro de um saco de estopa ao Departamento de Bioquímica e Biotecnologia da UEL.

Após a coleta do material vegetal passou por uma inspeção em que se retirou as folhas secas, danificadas ou contaminadas. Posteriormente foi fragmentado com o auxílio de uma tesoura de poda em tamanho que variaram entre

2 a 3 cm, pesados e empacotados em sacos plásticos com 100 gramas de material vegetal, limitando a entrada de ar. Em seguida foram armazenados em câmara fria (10°C). Sendo utilizado nos próximos 5 dias.

#### 4.3 PREPARO DAS SOLUÇÕES INTENSIFICADORAS DE EXTRAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS

Foram utilizadas uma mistura de ramnolipídeos – obtida por cultivo submerso de *Pseudomonas aeruginosa* – com concentração de 1 e 0,1% (m/v) (pH 7,0), uma solução de decil-glicosídeo com concentração de 2% (m/v) (pH 6,5) e uma solução de cloreto de sódio com concentração de 5 e 30% (m/v) (pH 7,0).

#### 4.4 EXTRAÇÕES DOS ÓLEOS ESSENCIAIS

O material vegetal armazenado ou fresco foi acondicionado no balão destilador separadamente do aparato de destilação por arraste a vapor, sendo utilizados 100 gramas para as plantas *Cymbopogon winterianus* e *Melaleuca alternifolia* e 300 gramas para o *Cymbopogon flexuosus*. Ao material vegetal foi adicionado a solução extratora e prosseguiu-se com sua homogeneização. Em seguida, adicionou-se 800 mL de água ao balão gerador, que foi aquecido até que a água entrasse em ebulição, e acoplou-se o balão extrator ao sistema de destilação. O tempo de extração, 60 minutos, foi contabilizado a partir do momento em que se iniciou o processo de condensação.

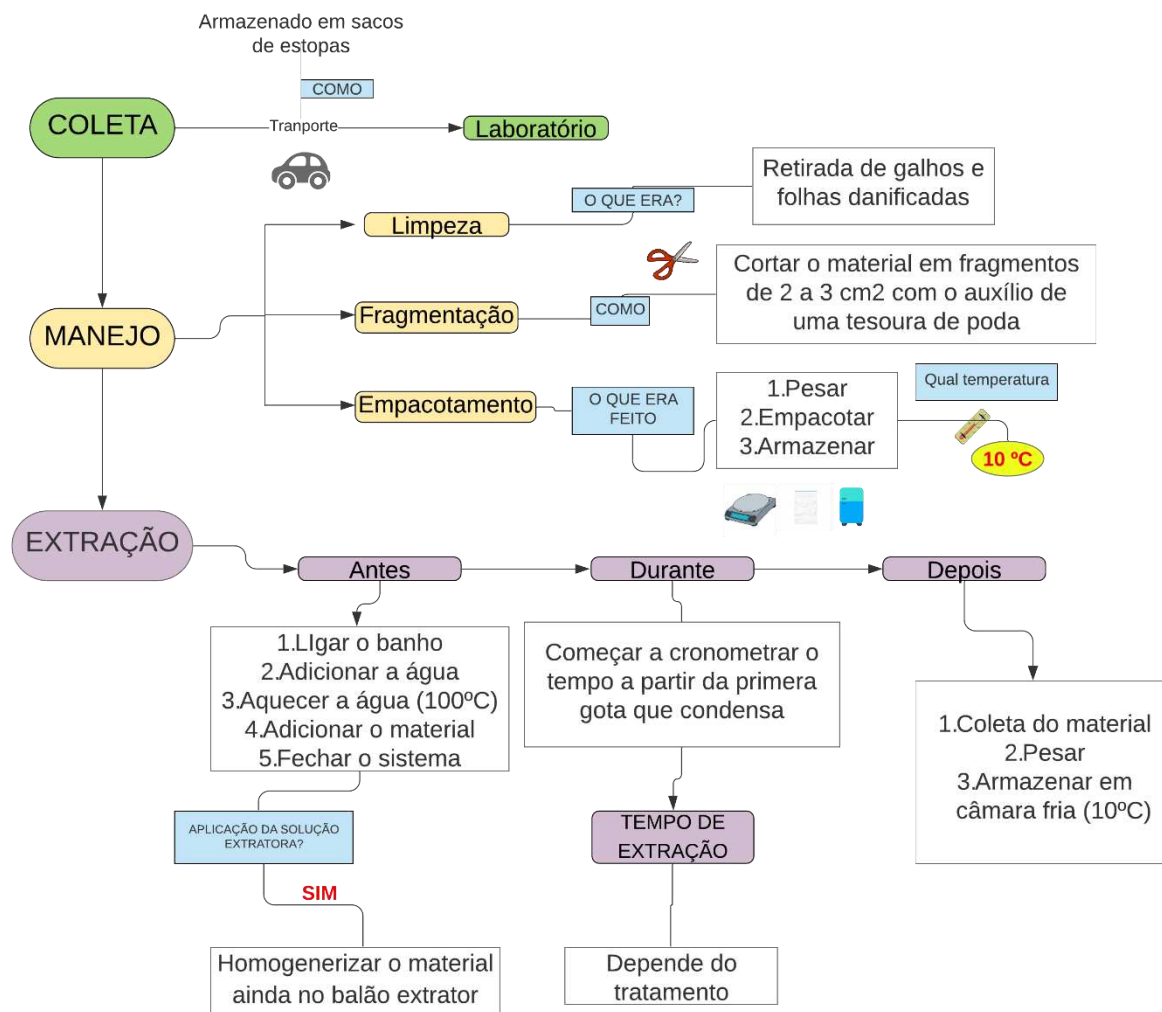
O rendimento dos OEs foi calculado em porcentagem, considerando a massa obtida de óleo essencial por massa fresca do material vegetal, de acordo com a equação a seguir:

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{\text{massa de óleo essencial (g)}}{\text{de massa de material vegetal (g)}} \times 100\%$$

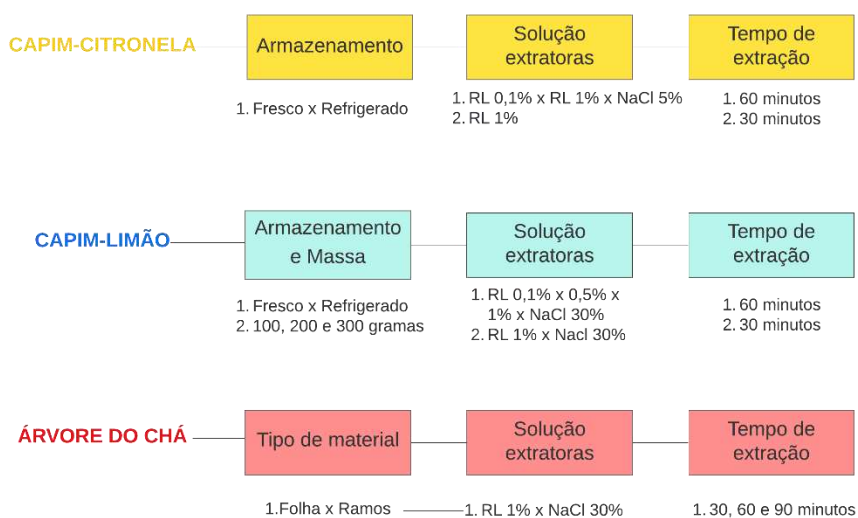
Foi realizado a análise estatística dos grupos de experimentos realizados. Utilizando o teste ANOVA simples, seguido de teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) utilizando o programa GraphPad Prism (GraphPad Software, version 9.0.0 (121)).

A seguir pode ser encontrado um esquema que resume as etapas e os tratamentos utilizados no trabalho (Figura 20).

Figura 3 - Representação esquemática dos procedimentos experimentais



## EXTRAÇÕES



Fonte: Autoria própria

#### 4.5 CROMATOGRAFIA GASOSA ACOPLADA À ESPECTROMETRIA DE MASSAS

As análises de CG-MS foram realizadas pelo laboratório de apoio da empresa Estrela da Amanhã Óleos Essenciais. Foram analisados em um cromatógrafo a gás acoplado a um espectrômetro de massa, modelo HP 5890<sup>a</sup> SERIES II NS: 2950B00163. Foi utilizado uma coluna capilar RTX-5, com 50 metros de comprimento e diâmetro interno de 0,32 milímetro, tendo como gás de arraste hidrogênio com fluxo de 40 mL/min. O injetor foi mantido a 180 °C. A rampa de temperatura terá início a 50 °C mantida por 6 minutos e então elevada a 250 °C (5 °C/min). Os espectros foram obtidos por ionização por impacto de elétrons com energia de 70 eV a 280 °C. A identificação dos compostos foi realizada por meio da análise dos espectros de massas gerados, comparando com o tempo de retenção com padrões.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 DESENVOLVIMENTO E MONTAGEM DO EXTRATOR DE BANCADA POR ARRASTE A VAPOR

O extrator de bancada é constituído por uma manta térmica, responsável por aquecer a água, um balão gerador, um balão extrator, um adaptador, entre o balão extrator e o gerador, um conector, que liga o balão extrator ao condensador, um condensador, um funil de separação e os recipientes para coleta dos OEs e do hidrolato (béquer, Erlenmeyer) (Figura 21).

**Figura 4** - Extrator de bancada



**Fonte:** Autoria própria

O adaptador (aproximadamente 18 cm de altura) foi desenvolvido com o intuito de impedir o gotejamento da água que se acumula na parte inferior do balão extrator, que, ao passar do tempo, começa a gotejar para o balão gerador. Naturalmente, não seria um problema a ocorrência do gotejamento, todavia, esse processo de condensação e acúmulo de água poderia “lavar o material vegetal” após a aplicação das soluções extratoras e influenciar nos resultados das extrações. Outro problema possível seria a produção de espuma no balão gerador, devido ao uso dos biotensoativos.

Portanto, foi projetado um adaptador (Figura 22), que funciona como um redutor, conectando o balão gerador ao balão extrator e impossibilitando a maior parte do gotejamento. Ao passar do tempo, a pressão de vapor gerada pela evaporação da água vai diminuindo e, assim, é possível que ocorra o gotejamento. Além disso, outra modificação no extrator foi a complementação com um funil de separação, evitando que ocorram perdas desnecessárias no momento da coleta do óleo essencial. Na figura 22, pode-se observar o extrator em seu estágio final, que foi utilizado durante a pesquisa.

**Figura 5** - Adaptador utilizado nas extrações de OE



**Fonte:** Autoria própria

## 5.2 EXTRAÇÃO DO ÓLEOS ESSENCIAL DO CAPIM-CITRONELA

O *Cymbopogon winterianus* (capim-citronela) foi utilizado para avaliar se o armazenamento do material vegetal *in natura* (fresco) influenciaria no rendimento do óleo essencial. Para o armazenamento, constatou-se que não ocorreu diferença significativa ( $p$ -valor  $<0,05$ ) entre os métodos testados. Ao utilizar o material fresco, foi obtido rendimento de 0,62% (m/m) e, para o armazenado em câmara fria, 0,56% (Tabela 2).

Portanto, nos experimentos seguintes, foi utilizado o material vegetal armazenado, devido ao maior período de conservação. Em média, o material ficou armazenado 5 dias na câmara fria (10 °C), sendo utilizado de acordo com o número de experimentos realizados em cada dia.

A Tabela 2 e o Gráfico 1, apresentados abaixo, mostram os

rendimentos obtidos utilizando o material vegetal fresco (controle) e refrigerado para a espécie em questão.

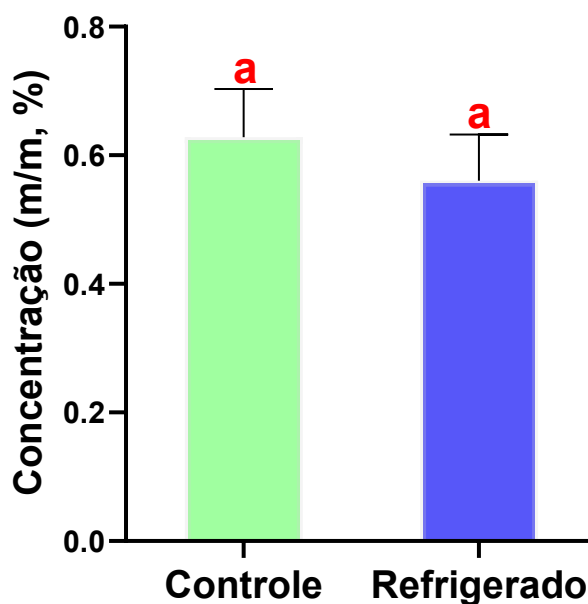
**Tabela 2** - Influência do armazenamento do material vegetal no rendimento do OE do *Cymbopogon winterianus*

Matéria-prima	Controle	Refrigerado
Rendimento (m/m, %)	0,62 <sup>a</sup>	0,56 <sup>a</sup>
Desvio Padrão	±0,14	± 0,07

Os resultados estão apresentados como médias de pelo menos duas repetições experimentais. As letras diferentes indicam diferença significativa em ANOVA seguida de teste Tukey com p-valor ≤ 0,05.

Fonte: autoria própria

**Gráfico 1** - Influência do armazenamento do material no rendimento do OE do *Cymbopogon winterianus*



Os resultados estão apresentados como médias de pelo menos duas repetições experimentais. As letras diferentes indicam diferença significativa em ANOVA seguida de teste Tukey com p-valor ≤ 0,05.

Fonte: autoria própria

Cassel e Vargas (2006), partindo do material seco, obtiveram um rendimento de 0,647% e 0,776% do OE, com tempo de extração de 2 e 4 horas

respectivamente. Em contrapartida, utilizando o material fresco, os mesmos autores obtiveram rendimento de 0,942% nos dois períodos testados. Nota-se que o rendimento obtido está próximo ao encontrado na literatura. Porém vale lembrar que, o tempo de extração utilizado no presente processo foi de 1 hora e que o rendimento depende de vários fatores, por exemplo, a origem da matéria-prima, fatores relacionados ao seu plantio, seu processamento e à extração.

Após a avaliação do efeito do armazenamento no rendimento dos OEs, foram realizados os testes com a aplicação de duas soluções extratoras – a primeira, de ramnolipídeos com concentração de 0,1% (m/V); e a segunda, de cloreto de sódio (NaCl) com concentração de 5% (m/V). Nessa etapa, foi utilizado o material armazenado. As concentrações foram escolhidas propositalmente com o intuito de proporcionar o melhor custo de benefício do processo. Devido ao maior custo de produção dos ramnolipídeos, utilizou-se uma concentração menor e, para a solução de cloreto de sódio, uma concentração maior, já que este é um reagente de baixo custo e de fácil aquisição. De início, foi utilizado um volume de 10 mL de solução extratora para a umidificação do material vegetal, de acordo com o tratamento avaliado (até o momento não foi realizado nenhum tratamento com a presença das duas soluções concomitantemente). Adiante, foi obtido um rendimento de 0,46% com o tratamento com a solução RL 0,1% e de 0,22% com a solução de NaCl 5% (Tabela 3 e Gráfico 2).

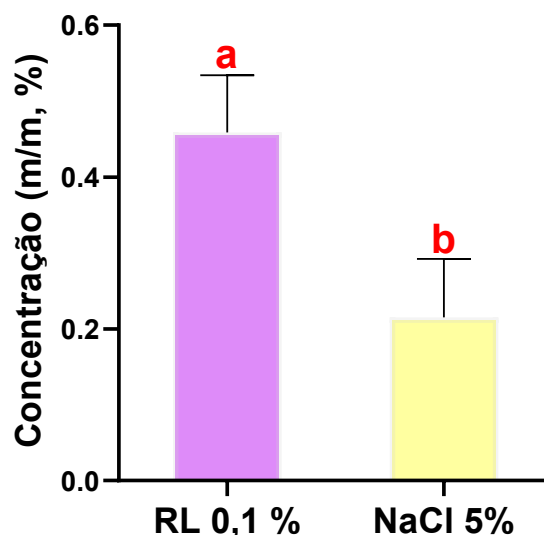
**Tabela 3** - Influência das soluções extratoras na extração do OE do *Cymbopogon winterianus*

<b>Solução extratora</b>	<b>RL</b>	<b>NaCl</b>
<b>Concentração (m/V, %)</b>	0,1	5
<b>Volume adicionado (mL)</b>	10	10
<b>Rendimento (m/m, %)</b>	0,46 <sup>a</sup>	0,22 <sup>b</sup>
<b>Desvio Padrão</b>	±0,08	±0,11

Os resultados estão apresentados como médias de pelo menos duas repetições isoladas. As letras diferentes indicam diferença significativa em ANOVA seguida de teste Tukey com p-valor ≤ 0,05.

**Fonte:** autoria própria

**Gráfico 2** -Influência das soluções extratoras na extração do OE do *Cymbopogon winterianus*



Os resultados estão apresentados como médias de pelo menos duas repetições isoladas. As letras diferentes indicam diferença significativa em ANOVA seguida de teste Tukey com  $p$ -valor  $\leq 0,05$ .

**Fonte:** autoria própria

De acordo com os resultados, pode-se inferir que ocorreu um decréscimo no rendimento comparado com a extração controle, sendo o tratamento com 10 mL de NaCl 5% a condição menos favorável.

Até este momento, o adaptador não estava sendo utilizado, já que ainda não havia sido confeccionado. Para todas as extrações seguintes com o capim-citronela foi utilizado o adaptador.

Com o uso do adaptador, a fim de determinar se o volume da solução utilizado alterava o rendimento, iniciou-se a avaliação com o terceiro tratamento, utilizando um volume menor (10X) e concentração maior (10X) de solução extratora de ramnolipídeos (Tabela 4 e Gráfico 3), ou seja, manteve-se a quantidade de matéria (mol) de ramnolipídeos.

Ao utilizar adaptador e com a aplicação da solução extratora de RL 1%, ocorreu um aumento de 39% no rendimento do OE comparado ao controle. Aliado ao aumento do rendimento, obteve-se um melhor custo-benefício do processo devido à menor quantidade de água utilizada

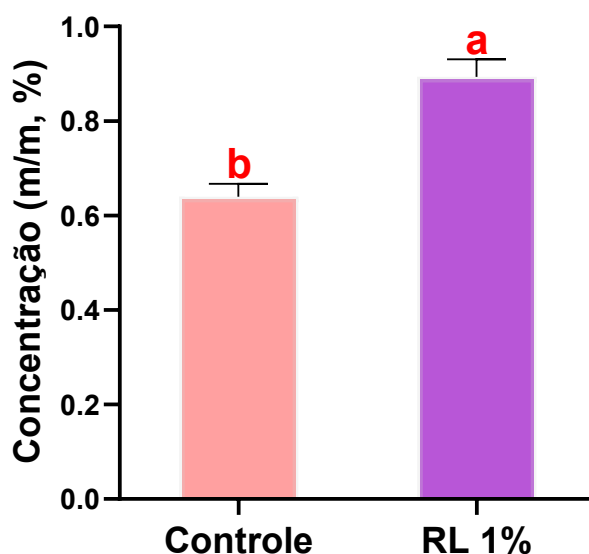
**Tabela 4** - Influência da concentração e volume da solução extratora de RL na extração dos OE do *Cymbopogon winterianus*

Solução extratora	Controle	RL 1%
Volume (mL)	-	1
Rendimento (m/m, %)	0,64 <sup>b</sup>	0,89 <sup>a</sup>
Desvio Padrão	±0,05	±0,04

Os resultados estão apresentados como médias de pelo menos duas repetições isoladas. As letras diferentes indicam diferença significativa em ANOVA seguida de teste Tukey com  $p$ -valor  $\leq 0,05$ .

**Fonte:** autoria própria

**Gráfico 3** - Influência da concentração e volume da solução extratora de RL na extração dos OE do *Cymbopogon winterianus*



Os resultados estão apresentados como médias de pelo menos duas repetições isoladas. As letras diferentes indicam diferença significativa em ANOVA seguida de teste Tukey com  $p$ -valor  $\leq 0,05$ .

**Fonte:** autoria própria

O aumento no rendimento pode estar relacionado a três fatores: ao menor volume, à maior concentração ou ao uso do adaptador. Até o momento, não foi possível identificar qual(is) fator(es) influenciou(aram) o rendimento devido à indisponibilidade do material vegetal para a realização de novos experimentos, incluindo a extração com menor volume e maior concentração da solução de NaCl.

Ao utilizar variedades distintas da mesma espécie botânica (*C. winterianus*), Gupta e seus colaboradores (2018) obtiveram rendimentos variando de 0,4% a 1,4%, para *C. winterianus* (L.) (Mandakini) e *C. winterianus* (L.) (Manjari), respectivamente, utilizando a hidrodestilação.

Em um estudo realizado por Wany e colaboradores (2014), o rendimento foi de 0,70% (v/m). Contudo, seu material passou por um processo de secagem, durante três dias. No mesmo trabalho, pelo método de hidrodestilação, foi obtido um rendimento de 1,0% (v/m) utilizando o material fresco. O tempo de extração nos dois métodos variou de 8 a 10 horas, superior ao aqui utilizado. O processo de secagem, de acordo com De Guzman e seus colaboradores (1997), serve como uma forma de facilitação para acondicionar maior quantidade de material vegetal no recipiente extrator (balão ou caldeira). Além disso, Rocha e colaboradores (2000), ao estudar o efeito do processo de secagem na extração do OE, relatam que, devido à alta volatilidade dos compostos, ou seja, baixo ponto de ebulição, é preciso ser cauteloso ao secar o material vegetal, pois, em temperaturas elevadas, é possível que ocorra perda dos OEs contidos na planta. Os autores relataram resultados positivos no processo de secagem à temperatura de 60°C, com rendimento de 1,228% (v/m).

Por último, uma nova série de experimentos foi realizada utilizando o capim-citronela que cresceu nos últimos meses. Foram analisados três tratamentos controle, extração com 30 minutos e aplicação da solução extratora de decil glicosídeo 2% (DC) como pode ser encontrado na Tabela 5 e no Gráfico 4.

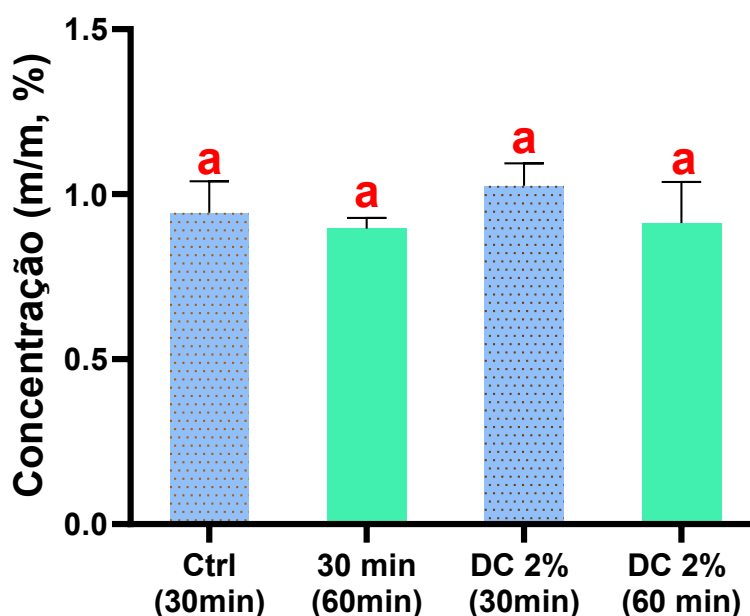
**Tabela 5** - Influência do tempo e da aplicação de solução extratora de DC na extração dos OE do *Cymbopogon winterianus*

<b>Solução extratora</b>	Controle	Controle	DC	DC
<b>Tempo (min)</b>	30	60	30	60
<b>Concentração (m/V, %)</b>	-	-	2	2
<b>Volume (mL)</b>	-	-	1	1
<b>Rendimento (m/m, %)</b>	0,90 <sup>a</sup>	0,95 <sup>a</sup>	1,03 <sup>a</sup>	0,91 <sup>a</sup>
<b>Desvio Padrão</b>	±0,05	±0,16	±0,12	±0,17

Os resultados estão apresentados como médias de pelo menos três repetições isoladas. As letras diferentes indicam diferença significativa em ANOVA seguida de teste Tukey com p-valor ≤ 0,05.

**Fonte:** autoria própria

**Gráfico 4** - Influência do tempo e da aplicação de solução extratora de DC na extração dos OE do *Cymbopogon winterianus*



Os resultados estão apresentados como médias de pelo menos três repetições isoladas. As letras diferentes indicam diferença significativa em ANOVA seguida de teste Tukey com  $p$ -valor  $\leq 0,05$ .

**Fonte:** autoria própria

Ao analisar a tabela e o gráfico, pode-se perceber que não existe diferença estatística entre os resultados dos tratamentos. A média dos rendimentos dos experimentos variou de 0,90 a 1,03 % (m/m). Vale ressaltar que o aumento devido ao uso adaptador ainda é perceptível. Outro ponto relevante é que, devido à inexistência de uma diferença significativa, pode-se concluir que o tratamento com menor tempo de extração tem o mesmo rendimento, sendo assim, este é mais viável que os outros tratamentos., mostrando-se uma boa alternativa, assim como nas outras plantas. Devido ao menor tempo de extração, as extrações com 30 minutos apresentam o melhor custo-benefício do processo. Outro fator importante é a diferença entre os resultados encontrados entre os dois grupos de experimentos (Tabela 4 e 5). O maior rendimento geral observado pode ser devido à idade da planta coletada ou das condições em que se deu seu crescimento.

### 5.3 EXTRAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DO CAPIM-LIMÃO

Do mesmo gênero que a *Cymbopogon winterianus* (citronela), o *Cymbopogon flexuosus* (capim-limão) é uma planta que apresenta aparência semelhante, contudo, tem um odor adocicado de limão, o qual pode ser utilizado para distingui-las. O OE obtido dessa espécie, dependendo do quimiotipo, pode apresentar distintas colorações entre amarelo e incolor (NATH et al., 2002). Para o capim-limão, havia maior disponibilidade de matéria-prima para os experimentos. Vale lembrar que, no momento dos experimentos iniciais, o adaptador ainda não estava sendo utilizado. Foi avaliado, em primeira instância, o rendimento do OE utilizando massas de material vegetal de 100, 200 e 300 gramas e o armazenamento em câmara fria (Tabela 6 e Gráfico 5).

**Tabela 6** – Influência da massa do material vegetal e do armazenamento na extração do óleo essencial do *Cymbopogon flexuosus*

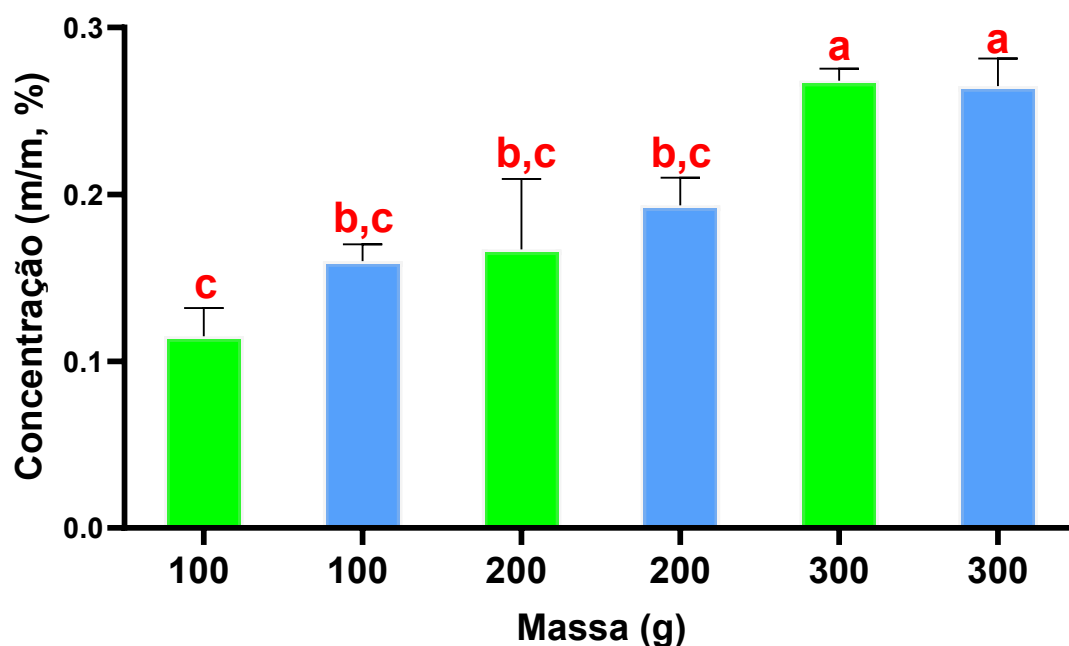
Massa (g)	100		200		300	
	Fre	Ref	Fre	Ref	Fre	Ref
<b>Rendimento (m/m, %)</b>	0,16 <sup>b,c</sup>	0,12 <sup>c</sup>	0,17 <sup>b,c</sup>	0,19 <sup>b,c</sup>	0,26 <sup>a</sup>	0,26 <sup>a</sup>
<b>Desvio Padrão</b>	±0,04	±0,03	±0,07	±0,06	±0,02	±0,04

Ref: Refrigerado, Fre: Fresco

Os resultados estão apresentados como médias de pelo menos dez repetições isoladas. As letras diferentes indicam diferença significativa em ANOVA seguida de teste Tukey com p-valor ≤ 0,05.

**Fonte:** autoria própria

**Gráfico 5** - Influência da massa do material vegetal e do armazenamento na extração do óleo essencial do *Cymbopogon flexuosus*



Os resultados estão apresentados como médias de pelo menos dez repetições isoladas. As letras diferentes indicam diferença significativa em ANOVA seguida de teste Tukey com  $p$ -valor  $\leq 0,05$ .

**Fonte:** autoria própria

Com maior massa da planta, ocorreu aumento no rendimento do OE, atingindo o valor máximo de 0,26%, tanto para o material vegetal fresco quanto para o armazenado em câmara fria. O aumento do rendimento pode estar relacionado à maior massa e à menor influência da perda na extração. Além disso, este aumento pode ter ocorrido devido ao equilíbrio térmico estabelecido no balão extrator por estar mais cheio (menos espaço vazio), auxiliando no processo de extração.

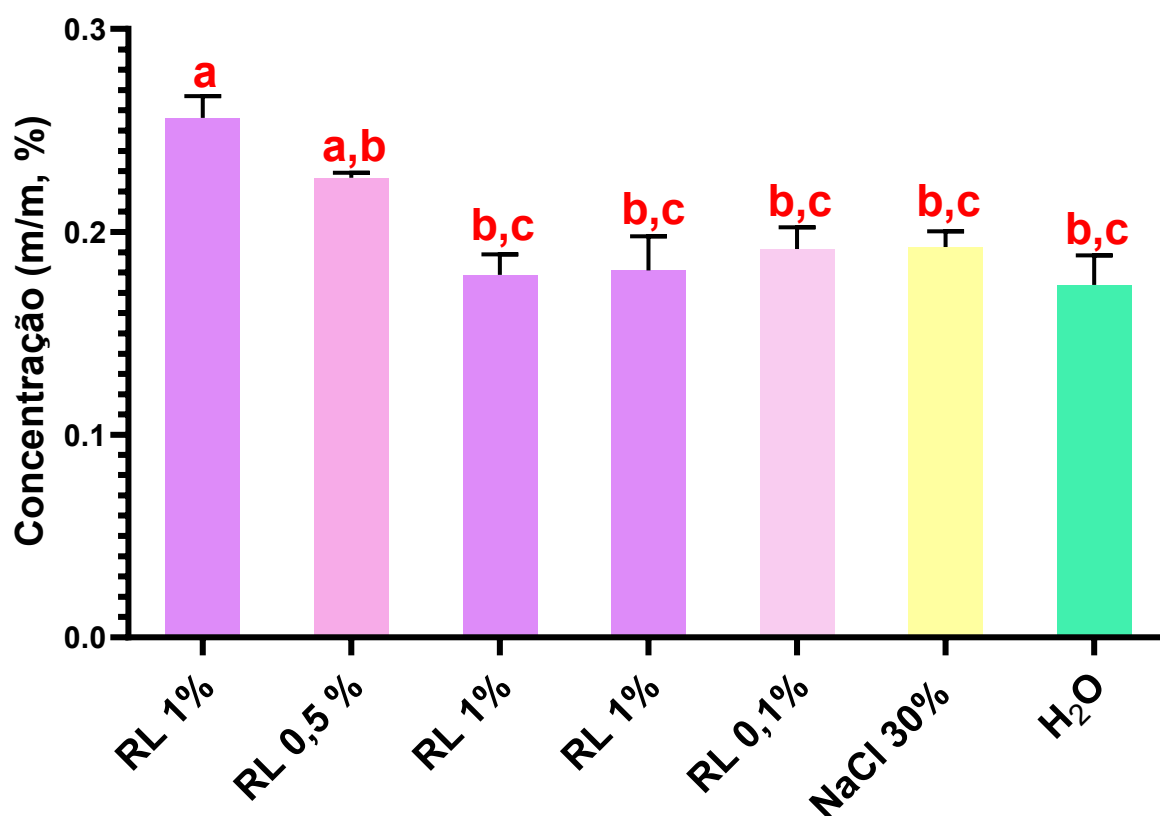
Parikh e Desai (2011) avaliaram a influência da massa da matéria-prima na extração do OE da *C. flexuosus* por hidrodestilação e observaram a diminuição do rendimento com maior quantidade de massa, o que pode estar relacionado à menor disponibilidade de energia para o aquecimento do material (PARIKH; DESAI, 2011). Após estabelecer a massa ideal para extração dos OEs - 300 gramas -, iniciou-se a avaliação do efeito das soluções extratoras (Tabela 7 e Gráfico 6).

**Tabela 7** - Influência das soluções extratoras no rendimento do OE

Solução extratora	RL			RL	NaCl	H <sub>2</sub> O	
Concentração (m/V, %)	1			0,5	0,1	30	-
Volume (mL)	1	3	30	1	30	30	30
Rendimento (m/m, %)	0,25 <sup>a</sup>	0,18 <sup>bc</sup>	0,18 <sup>bc</sup>	0,23 <sup>a,b</sup>	0,19 <sup>bc</sup>	0,19 <sup>bc</sup>	0,17 <sup>bc</sup>
Desvio Padrão	±0,03	±0,02	±0,04	±0,01	±0,03	±0,01	±0,03

Os resultados estão apresentados como médias de pelo menos 3 repetições isoladas. As letras diferentes indicam diferença significativa em ANOVA seguida de teste Tukey com  $p$ -valor  $\leq 0,05$ .

Fonte: autoria própria

**Gráfico 6** - Influência das soluções extratoras no rendimento do OE

Os resultados estão apresentados como médias de pelo menos 3 repetições isoladas. As letras diferentes indicam diferença significativa em ANOVA seguida de teste Tukey com  $p$ -valor  $\leq 0,05$ .

Fonte: autoria própria

De acordo com os resultados, entre os tratamentos, os que apresentaram melhores resultados foram aqueles utilizando 1 mL de RL 1% e 1 mL de RL 0,5%. Para volumes maiores e concentrações menores de soluções extratoras, o rendimento é inferior. Nota-se que os menores rendimentos foram obtidos com aplicação de 30 mL e com 3 mL (água, RL ou NaCl), demonstrando que o volume da solução extratora influencia no rendimento das extrações independentemente de sua composição.

Os resultados obtidos com o capim-limão divergem dos obtidos com o capim-citronela. Por apresentarem características semelhantes, a razão desta divergência é uma dúvida até o momento, sendo necessário um número maior de experimentos para confirmar qualquer hipótese. A partir desse ponto, deu-se início ao uso do adaptador. Sendo assim, foi realizada uma série de experimentos para avaliar e comparar os resultados obtidos (Tabela 8 e Gráfico 7).

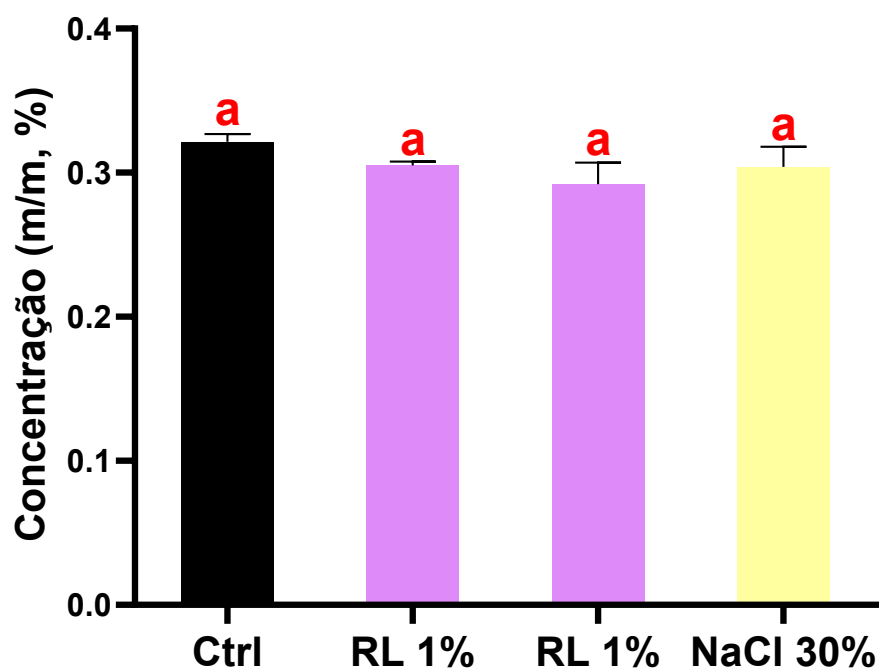
**Tabela 8** - Influência das soluções extratoras em volumes diferentes na extração dos OEs

<b>Solução extratora</b>	<b>RL</b>			<b>NaCl</b>
<b>Concentração (m/V, %)</b>	-	1	30	30
<b>Volume (mL)</b>	-	3	6	3
<b>Rendimento (m/m, %)</b>	0,32 <sup>a</sup>	0,31 <sup>a</sup>	0,30 <sup>a</sup>	0,29 <sup>a</sup>
<b>Desvio Padrão</b>	±0,01	±0,01	±0,02	±0,03

Os resultados estão apresentados como médias de pelo menos duas repetições isoladas. As letras diferentes indicam diferença significativa em ANOVA seguida de teste Tukey com  $p$ -valor  $\leq 0,05$ .

**Fonte:** autoria própria

**Gráfico 7** - Influência das soluções extratoras em volumes diferentes na extração dos OEs



Os resultados estão apresentados como médias de pelo menos duas repetições isoladas. As letras diferentes indicam diferença significativa em ANOVA seguida de teste Tukey com  $p$ -valor  $\leq 0,05$ .

**Fonte:** autoria própria

Utilizando-se o adaptador, foram obtidos resultados positivos, demonstrando que seu uso é benéfico para a extração dos OEs. Em geral, os rendimentos obtidos para os tratamentos foram próximos entre si (0,29 a 0,32%).

Por fim, avaliou-se a influência do tempo de extração no rendimento do OE. Sendo assim, foi planejada uma série de experimentos utilizando metade do tempo de extração empregado anteriormente. Os resultados (Tabela 9 e Gráfico 8) demonstram que a extração com 30 minutos é uma boa opção e tem um rendimento (0,29% a 0,31%) próximo ao obtido nas extrações com 60 minutos (0,29% a 0,32%)

**Tabela 9** - Influência da extração com 30 minutos no rendimento do OE do *Cymbopogon flexuosus*

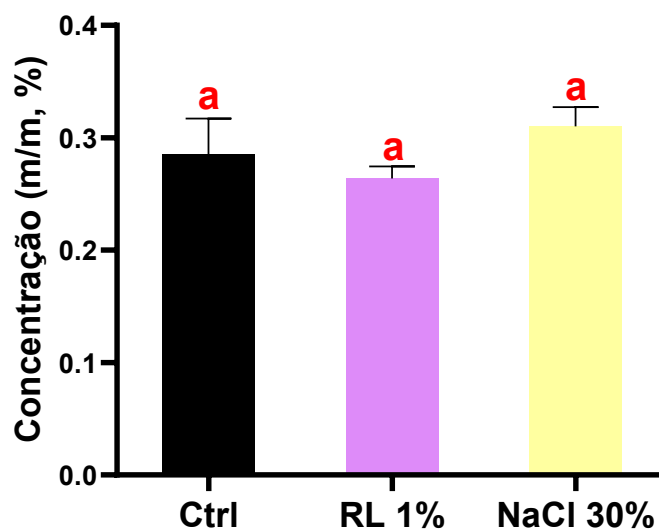
Solução extratora	.*	RL*	NaCl*
Concentração (m/V, %)	-	1	30
Volume (mL)	-	3	3
Rendimento (m/m, %)	0,29 <sup>a</sup>	0,26 <sup>a</sup>	0,31 <sup>a</sup>
Desvio Padrão	±0,05	±0,02	±0,03

\* tempo de 30 minutos

Os resultados estão apresentados como médias de pelo menos três repetições isoladas. As letras diferentes indicam diferença significativa em ANOVA seguida de teste Tukey com  $p$ -valor  $\leq 0,05$ .

**Fonte:** autoria própria

**Gráfico 8** - Influência da extração com 30 minutos no rendimento do OE do *Cymbopogon flexuosus*



Os resultados estão apresentados como médias de pelo menos três repetições isoladas. As letras diferentes indicam diferença significativa em ANOVA seguida de teste Tukey com  $p$ -valor  $\leq 0,05$ .

**Fonte:** autoria própria

Cannon e colaboradores (2013) avaliaram o tempo de extração em espécies como hortelã-pimenta, palmarosa e capim-limão. Para o último, encontraram que o melhor tempo de destilação foi de 20 minutos, com rendimento de 1,89% (m/m), devido ao custo-benefício proporcionado, economia de mão de obra e gastos

energéticos. Aos 80 minutos, obtiveram o maior rendimento líquido, 2,21%. Os autores constataram que não houve diferença significativa no rendimento do OE nos tratamentos de destilação de 20 a 160 minutos. No tempo de 240 minutos, houve perda no rendimento do OE, possivelmente, devido à evaporação deste, demonstrando que a extração em intervalos de tempo menores pode ocasionar melhor custo-benefício, seja no âmbito econômico ou da sustentabilidade (CANNON et al., 2013).

Em contrapartida, Zheljzkov e seus colaboradores (2011), avaliando o tratamento com fertilizantes e tempo de colheita, tiveram um rendimento de 0,35 a 0,60%, a partir da biomassa seca, rendimento apropriado, de acordo com os autores, para essa espécie de capim-limão (ZHELJAZKOV et al., 2011).

Padalia e seus colaboradores (2021), avaliando a frequência da colheita no rendimento do óleo essencial do *C. flexuosus*, tiveram rendimentos entre 0,65 a 0,75% (entre os diferentes métodos de colheita), utilizando a hidrodestilação. O rendimento é superior ao encontrado neste trabalho (0,12 a 0,32%). Já Nath e seus colaboradores (2002), comparando o rendimento entre variedades distintas de capim-limão, pelo método de hidrodestilação, utilizando folhas frescas, encontraram 1,10 a 1,68% em volume de óleo por massa fresca do material vegetal.

Nota-se que o rendimento é influenciado por vários fatores, entre eles o tempo de destilação, quimiotipo, massa do material vegetal, frequência da colheita, desenvolvimento da planta. Vale destacar que, industrialmente, a destilação por arraste a vapor tem maior importância, devido ao seu custo-benefício, comparado aos outros métodos de extração.

#### 5.4 EXTRAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DA ÁRVORE DO CHÁ

Inicialmente, foi analisado o rendimento (Tabela 10 e Gráfico 9) obtido através da utilização dos ramos e folhas (destacadas manualmente). Para os ramos, foram utilizados 100 gramas do material refrigerado e, para as folhas, 50 gramas do material refrigerado da mesma coleta.

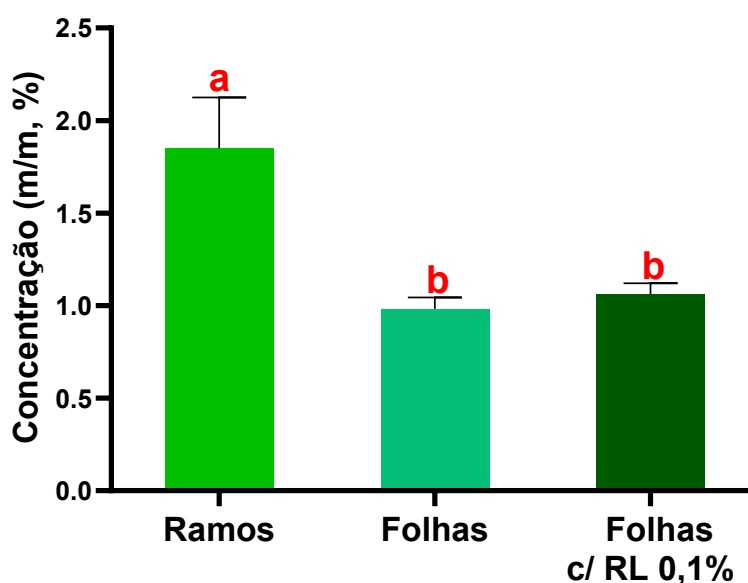
**Tabela 10** – Comparação do rendimento do OE obtido através da destilação por arraste a vapor dos ramos e das folhas da *Melaleuca alternifolia*

Tipo de material	Ramos	Folhas	
Solução extratora	-	-	RL
Concentração (mg/mL, %)	-	-	0,1
Rendimento (m/m, %)	1,84 <sup>b</sup>	1,96 <sup>a</sup>	2,12 <sup>a</sup>
Desvio Padrão	±0,29	±0,23	±0,20

Os resultados estão apresentados como médias de pelo menos três repetições isoladas. As letras diferentes indicam diferença significativa em ANOVA seguida de teste Tukey com p-valor ≤ 0,05.

**Fonte:** autoria própria

**Gráfico 9** – Comparação do rendimento do OE obtido através da destilação por arraste a vapor dos ramos e das folhas da *Melaleuca alternifolia*



Os resultados estão apresentados como médias de pelo menos três repetições isoladas. As letras diferentes indicam diferença significativa em ANOVA seguida de teste Tukey com p-valor ≤ 0,05.

**Fonte:** autoria própria

Logo, foi encontrada diferença significativa entre os rendimentos obtidos, sendo que, para os ramos, obteve-se um rendimento de 1,84% e, para as folhas, de 1,96%, sem aplicação da solução extratora, e 2,12% com aplicação da

solução de RL 0,1%.

O rendimento da extração das folhas foi maior que o obtido com os ramos. O mesmo resultado foi observado por Castelo e seus colaboradores (2013), quando compararam o rendimento de galhos finos com as folhas, através do método de destilação por arraste a vapor. Neste estudo, foi obtido rendimento de 0,47% (m/m) para as folhas e 0,36% para a extração com folhas e galhos finos, o que pode ser explicado pela maior fragilidade das folhas comparada com os galhos, facilitando a extração dos compostos voláteis contidos (CASTELO et al., 2013). Já Johns e colaboradores, (1991) pelo mesmo método de destilação, obtiveram rendimento de 1 a 4% (v/m). Maria de Figueiredo (2006), avaliando o rendimento do OE de acordo com o mês de colheita, obteve rendimentos de 3 a 4%, grama de óleo por matéria seca, pelo mesmo método, sendo que o melhor rendimento (4%) foi obtido no mês de novembro.

Segundo Silva e colaboradores (2003), o processo de secagem não altera significativamente o rendimento do OE da *M. alternifolia*, que variou entre 1,09 a 1,37 % em seu estudo, dependendo do método de secagem utilizado (SILVA et al., 2003). Sendo assim, os valores encontrados neste trabalho se encontram dentro dos descritos na literatura.

Para os experimentos posteriores, a utilização dos ramos foi adotada como padrão, uma vez que o processo de destacar as folhas manualmente não é viável devido ao tempo necessário. Além do tempo padrão, foram avaliados os tempos de extração de 30 e 90 minutos (Tabela 11 e Gráfico 10).

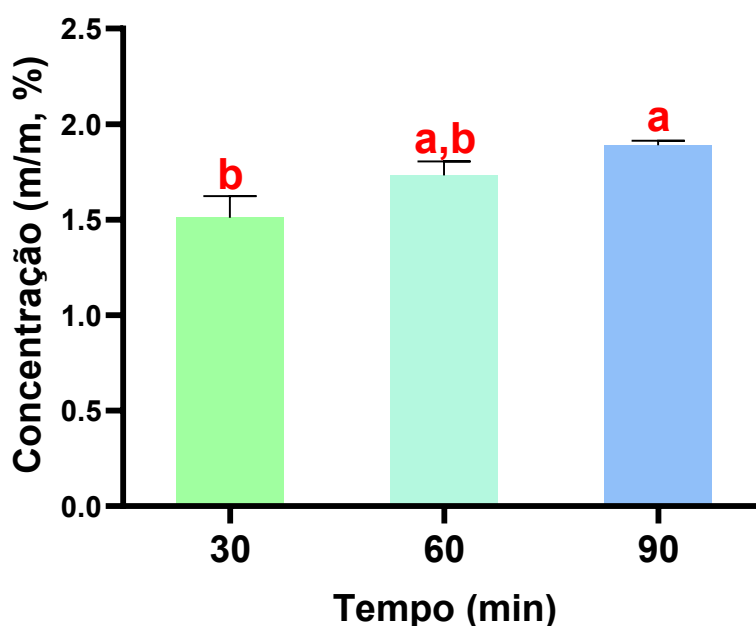
**Tabela 11** - Influência do tempo de extração no rendimento do OE da *Melaleuca alternifolia*

	Tempo (min)		
	30	60	90
<b>Rendimento (m/m, %)</b>	1,51 <sup>b</sup>	1,73 <sup>ab</sup>	1,89 <sup>a</sup>
<b>Desvio Padrão</b>	±0,20	±0,12	±0,04

Os resultados estão apresentados como médias de pelo menos três repetições isoladas. As letras diferentes indicam diferença significativa em ANOVA seguida de teste Tukey com p-valor ≤ 0,05.

**Fonte:** autoria própria

**Gráfico 10** - Influência do tempo de extração no rendimento do OE da *Melaleuca alternifolia*



Os resultados estão apresentados como médias de pelo menos três repetições isoladas. As letras diferentes indicam diferença significativa em ANOVA seguida de teste Tukey com  $p$ -valor  $\leq 0,05$ .

**Fonte:** autoria própria

O maior rendimento foi obtido com tempo de extração de 90 minutos (1,89%). Para Castelo e seus colaboradores (2013), nesse mesmo período, foi obtido rendimento de 0,36%. Nota-se que, para cada tempo, ocorreu um aumento nos rendimentos, demonstrando que ainda havia OE nas plantas. Entretanto, deve-se ter em mente que, nos processos com intervalos de tempo maior, o gasto energético também é maior e que, possivelmente, a pequena diferença não seja economicamente viável. Por isso, a utilização de um tempo maior ou menor na extração deve ser planejada dependendo do objetivo do pesquisador ou produtor.

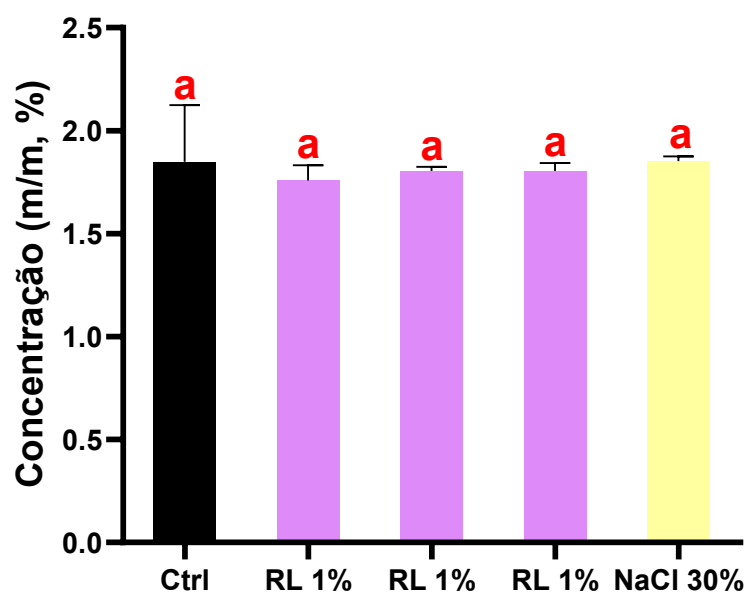
**Tabela 12** - Influência da aplicação das soluções extratoras no rendimento do OE da *Melaleuca alternifolia*

Solução extratora	Controle		RL		NaCl
Concentração (mg/mL, %)			1		30
Volume (mL)	1	1	2	3	1
Rendimento (m/m, %)	1,84 <sup>a</sup>	1,76 <sup>a</sup>	1,81 <sup>a</sup>	1,80 <sup>a</sup>	1,85 <sup>a</sup>
Desvio Padrão	±0,29	±0,06	±0,03	±0,12	±0,04

Os resultados estão apresentados como médias de pelo menos três repetições isoladas. As letras diferentes indicam diferença significativa em ANOVA seguida de teste Tukey com  $p\text{-valor} \leq 0,05$ .

**Fonte:** autoria própria

**Gráfico 11** - Influência da aplicação das soluções extratoras no rendimento do OE da *Melaleuca alternifolia*



Os resultados estão apresentados como médias de pelo menos três repetições isoladas. As letras diferentes indicam diferença significativa em ANOVA seguida de teste Tukey com  $p\text{-valor} \leq 0,05$ .

**Fonte:** autoria própria

Avaliando os tratamentos com as soluções intensificadoras, com aplicação de 1, 2 e 3 mL de solução de RL 1%, os rendimentos obtidos foram de 1,76, 1,81 e 1,80%, respectivamente (Tabela 12 e Gráfico 11). Porém nota-se que não

houve diferença estatística entre os resultados.

Com base em todos os tratamentos avaliados, é possível afirmar que a aplicação das soluções intensificadoras não proporcionou o rendimento esperado com a *M. alternifolia* e que o tempo de extração é, até o momento, a variável mais significativa. Devido à falta de trabalhos nessa vertente, é necessário que outras análises extrativas sejam realizadas a fim de confirmar os resultados obtidos.

## 5.5 ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DOS ÓLEOS ESSENCIAIS

Os OEs extraídos foram analisados por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS) a fim de avaliar sua composição química e identificar se houve alguma alteração nesta composição (principalmente de compostos majoritários) devido à aplicação das soluções extratoras. A concentração dos compostos majoritários representa a qualidade do OE, assim como suas características organolépticas, e geralmente são as espécies químicas que apresentam as atividades farmacológicas.

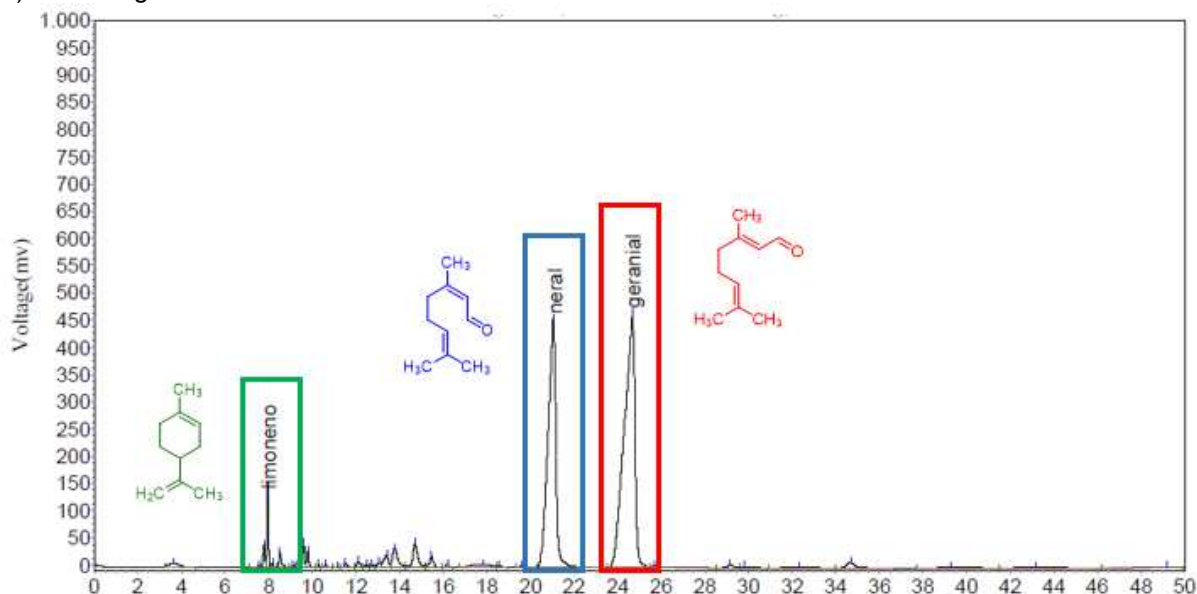
O *C. flexuosus* tem como constituintes majoritários os aldeídos geranial e neral (sendo que a mistura dos isômeros é denominada citral), que caracterizam o odor adocicado de limão exalado ao fragmentar suas folhas e apresentam maior importância econômica.

Para o capim-limão, realizou-se a análise da amostra obtida a partir do experimento controle e da amostra com a aplicação da solução de RL 1%. No cromatograma do controle (Figura 23a), foram identificados como compostos majoritários o geranial (48%), o neral (35%) e o limoneno (2,2%), representando cerca de 85% do OE.

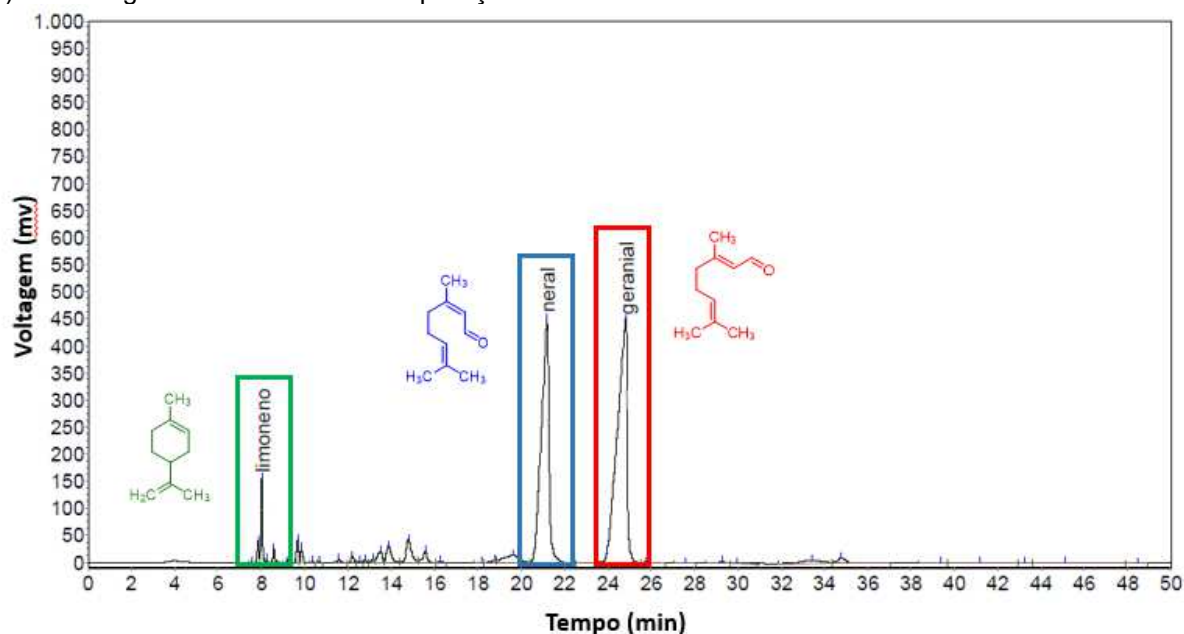
Na amostra com a aplicação da solução extratora de RL 1% (Figura 23b), os mesmos compostos foram encontrados com as seguintes proporções: geranial (46%), neral (35%) e limoneno (2,3%), representando aproximadamente 83,3% do OE. Foi possível identificar uma pequena diferença na composição que pode ter ocorrido devido a fatores intrínsecos da própria espécie ou extrínsecos, como a coleta, o processamento e a destilação.

**Figura 6** - Cromatograma das amostras do OE extraído de *Cymbopogon flexuosus*

a) Cromatograma da amostra controle



b) Cromatograma da amostra com aplicação de RL



Fonte: autoria própria

Parikh e Desai (2011) determinaram que a concentração de citral (soma dos isômeros geranial e neral) era de 68 a 75%, resultado próximo ao encontrado neste trabalho (81% e 83%). Entretanto, existe uma diferença na presença de compostos minoritários: o limoneno, por exemplo, não é encontrado em suas análises, situação comum devido à grande variabilidade na presença dos compostos minoritários (PARIKH; DESAI, 2011). A mesma proporção foi encontrada nos

experimentos de Padalia e seus colaboradores (2011), que identificaram altos teores de geranial e neral nas espécies de *C. flexuosus* (PADALIA et al., 2011). Chowdhury e colaboradores (2010) encontraram 2% de limoneno em sua composição, assim como outros compostos oxigenados (CHOWDHURY et al., 2010).

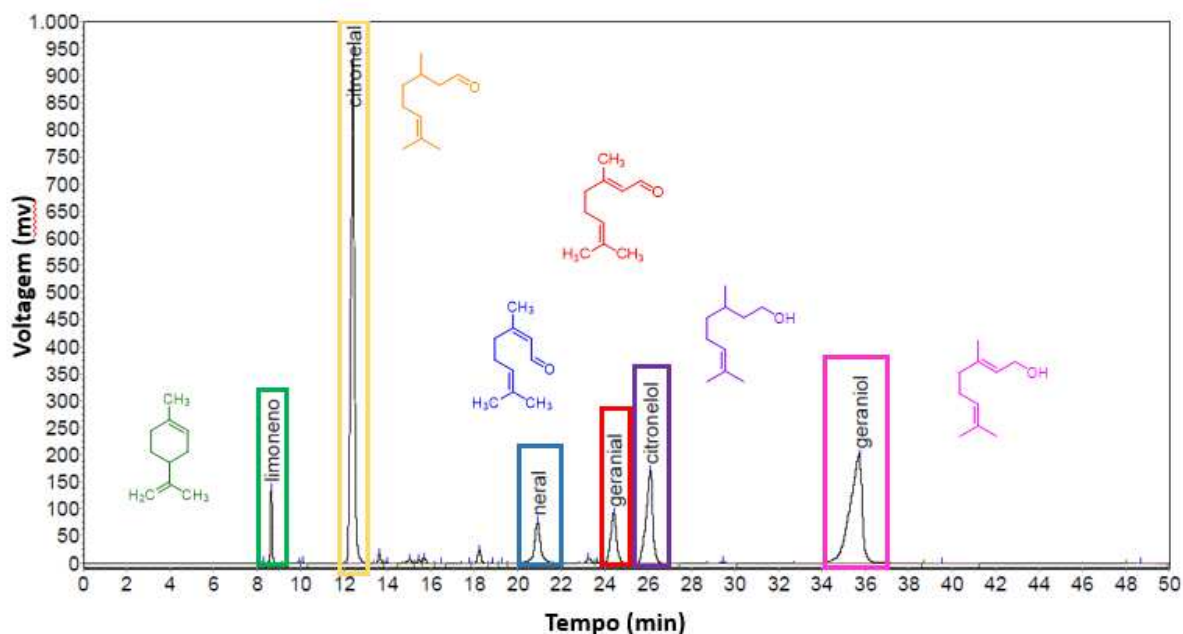
Logo, pode-se observar que as concentrações dos compostos majoritários não foram afetadas após a aplicação da solução de RL 1%, apresentando apenas uma pequena variação entre a quantidade de limoneno e geranial.

O OE da amostra controle da citronela (Figura 24a) apresentou como compostos majoritários o citronelal (37%), o geraniol (29%) e o citronelol (13%) e minoritários o geranial (6%), o neral (6%) e o limoneno (2,5%), totalizando, aproximadamente, 95% da composição do OE.

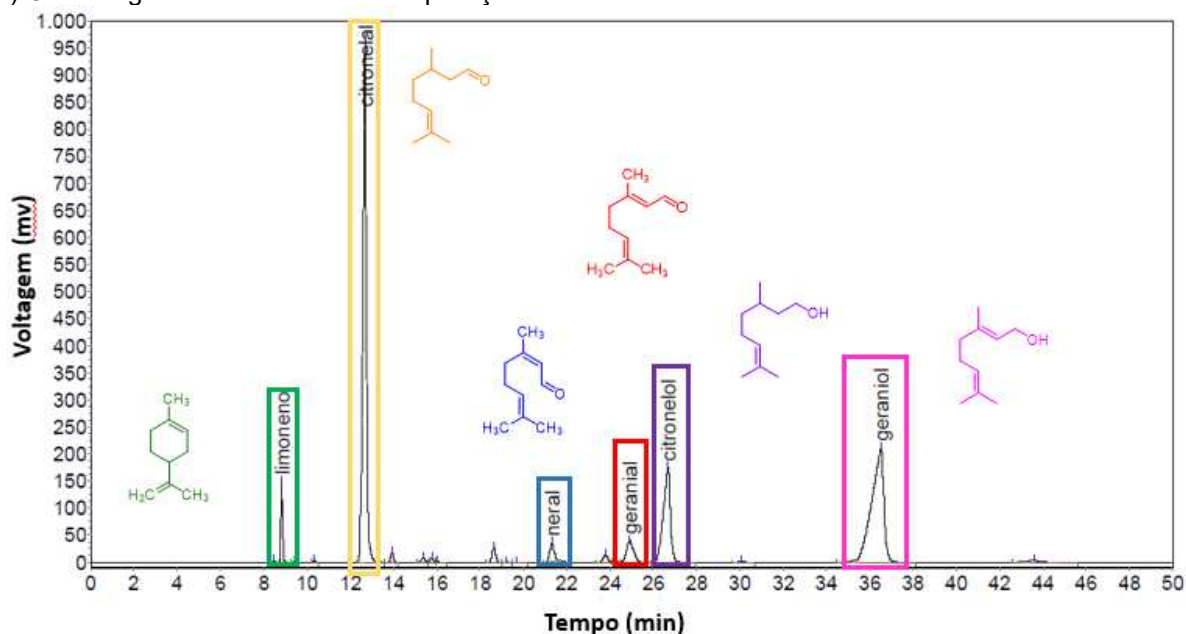
Já com a aplicação do RL 1% (Figura 24b), foram identificados, em diferentes proporções, os compostos majoritários – citronelal (41%), geraniol (31%) e o citronelol (15%) – e minoritários – geranial (3,5%), limoneno (2,8%) e o neral (1,7%) –, totalizando, aproximadamente, 95% da composição. Os resultados obtidos estão de acordo com o relatado por Rocha e colaboradores (2000), o que é relevante por serem as substâncias com maior valor comercial. Timung e seus colaboradores (2016) relataram que os OEs obtidos por hidrodestilação apresentam citronelal (55,24%), citronelol (13,41%) e geraniol (26,29%), assim como outros constituintes em pequenas quantidades.

**Figura 7** - Cromatograma das amostras do OE extraído de *Cymbopogon winterianus*

a) Cromatograma da amostra controle



b) Cromatograma da amostra com aplicação de RL



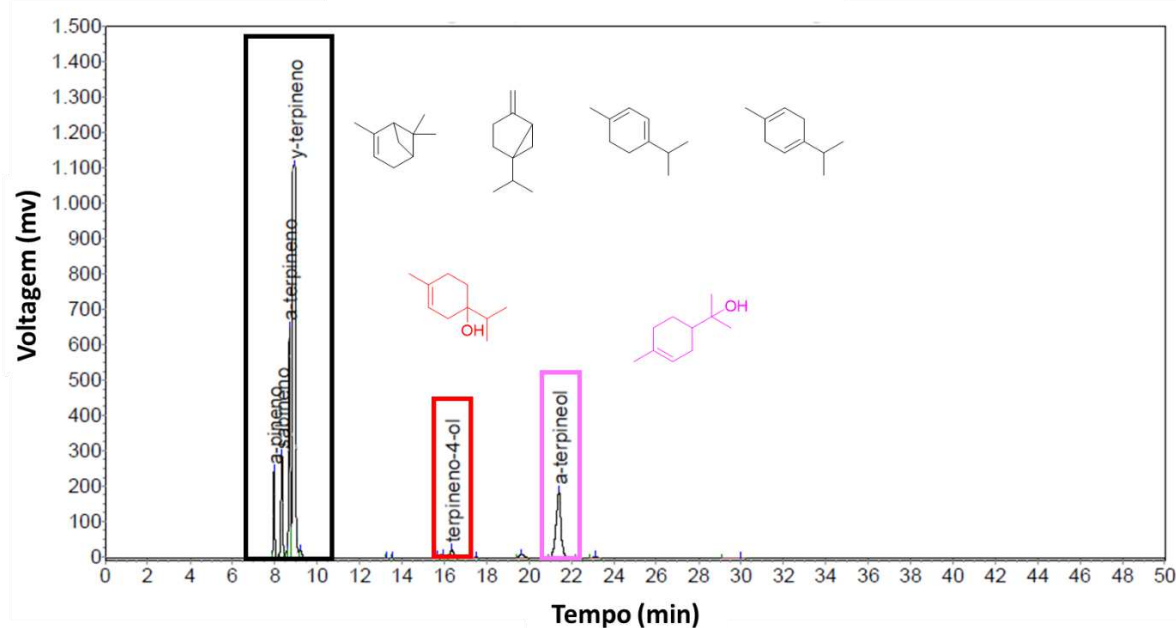
Fonte: autoria própria

O OE da *M. alternifolia* (Figura 25a e 25b) apresentou os seguintes compostos como majoritários:  $\alpha$ -pineno, sabineno,  $\alpha$ -terpineno,  $\gamma$ -terpineno, terpineno-4-ol e  $\alpha$ -terpineol. Entretanto, existe uma diferença na porcentagem esperada de cada composto, de acordo com a ISO 4730. Essa divergência pode ser

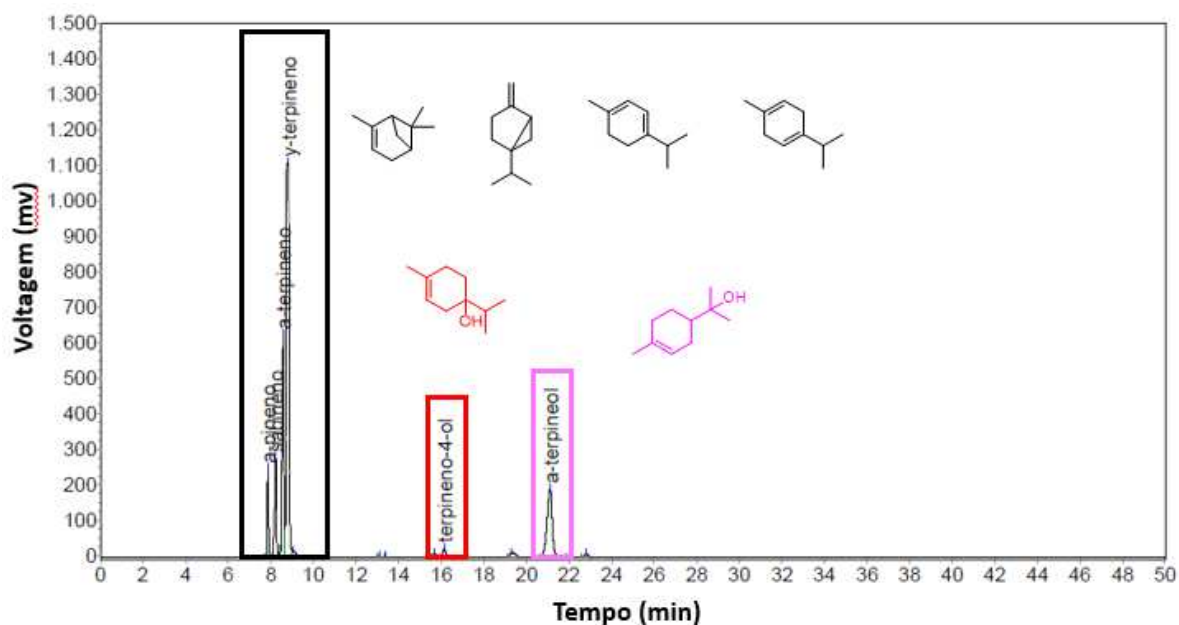
explicada pela idade da planta utilizada na extração. Portanto, o OE extraído não apresentou as características desejadas e necessárias para o mercado de acordo com a norma técnica. Contudo, não existe diferença entre as porcentagens dos compostos quando comparado o cromatograma do OE com aplicação da solução extratora e o controle, sendo assim a aplicação da solução extratora não interferiu na composição do OE obtido.

**Figura 8 - Cromatograma das amostras do OE extraído de *Melaleuca alternifolia***

a) Cromatograma da amostra controle



b) Cromatograma da amostra com aplicação de RL



Fonte: autoria própria

## 6 CONCLUSÃO

A partir dos resultados apresentados, pode-se concluir que o extrator de bancada desenvolvido é adequado para extração de OEs das espécies das ervas aromáticas utilizadas, apresentando pouca variabilidade e bons rendimentos. Além disso, pode-se inferir que o armazenamento do material vegetal não influencia no rendimento da extração.

Para a espécie *Cymbopogon winterianus*, o rendimento ficou entre 0,56 a 1,03% (m/m). O melhor resultado (0,89 %) foi obtido com a aplicação de 1 mL da solução de RL 1%, demonstrando a influência da solução extratora no rendimento. Comparando esses rendimentos, percebe-se um ganho de 0,27% em relação ao controle, o que, em escalas industriais, tem grande relevância. Ao avaliar o tempo de extração e a aplicação da solução de DC 2%, os rendimentos variaram entre 0,95 a 1,03%.

Para *Cymbopogon flexuosus*, os rendimentos variaram entre 0,26 e 0,32%. Entretanto, o melhor resultado foi obtido com a condição controle (0,32%). As extrações realizadas com 30 minutos com adição das soluções extradoras tiveram rendimento entre 0,29% a 0,31%, apresentando melhor custo-benefício.

Em relação às extrações com *Melaleuca alternifolia*, o rendimento, com as folhas destacadas dos ramos (2,12 e 1,96 %) foi maior do que com os ramos (1,84%). O estudo cinético demonstrou que as extrações com 30, 60 e 90 minutos apresentaram rendimentos de 1,51; 1,73 e 1,89% respectivamente. Com relação à aplicação das soluções extradoras, o rendimento variou entre 1,76 a 1,85 %.

Através da técnica de GC-MS, foi confirmada a presença dos compostos majoritários, assim como a pureza dos OEs obtidos por meio da extração por arraste a vapor. A única exceção foi o OE da *M.alternifolia*, apresentando porcentagens distintas ao encontrado na literatura, o que pode estar relacionado à idade da planta.

Para estudos posteriores, é necessário avaliar a influência do tempo de extração para *Cymbopogon winterianus*, uma vez que, devido à limitação da quantidade do material, esses experimentos ainda não foram realizados. É relevante avaliar também a aplicação de outros compostos anfífilicos de origem natural para a extração dos OEs e aumentar a escala da extração para escalas piloto ou industrial, analisando se os resultados são reprodutíveis.

## REFERÊNCIAS

ADUKWU, E. C.; BOWLES, M.; EDWARDS-JONES, V.; BONE, H. Antimicrobial activity, cytotoxicity and chemical analysis of lemongrass essential oil (*Cymbopogon flexuosus*) and pure citral. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 100, n. 22, p. 9619–9627, 2016.

AKHILA, Anand. **Essential oil-bearing grasses: the genus *Cymbopogon***. CRC press, 2009.

BABU, K. G. D.; KAUL, V. K. Variation in essential oil composition of rose-scented geranium (*Pelargonium sp.*) distilled by different distillation techniques. **Flavour and Fragrance Journal**, v. 20, n. 2, p. 222–231, 2005.

BASSOLÉ, I. H. N.; LAMIEN-MEDA, A.; BAYALA, B.; OBAME, L. C.; IILBOUDO, A. J.; NOVAK, J.; NEBIÉ, R. C.; DICKO, M. H. Chemical composition and antimicrobial activity of *Cymbopogon citratus* and *Cymbopogon giganteus* essential oils alone and in combination. **Phytomedicine**, v. 18, n. 12, p. 1070–1074, 2011.

BIZZO, H. R.; HOVELL, A. M. C.; REZENDE, C. M. Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 588–594, 2009.

BOUTEKEDJIRET, C.; BENTAHAR, F.; BELABBES, R.; BESSIERE, J. M. Extraction of rosemary essential oil by steam distillation and hydrodistillation. **Flavour and Fragrance Journal**, v. 18, n. 6, p. 481–484, 2003.

BRITO, A. M. G.; RODRIGUES, S. A.; BRITO, R.G.; XAVIER-FILHO, L. Aromaterapia: da gênese a atualidade. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 15, n. 4. 1, p. 789–793, 2013.

BROPHY, J. J.; DAVIES, N.W.; SOUTHWELL, I. A.; STIFF, I. A.; WILLIAMS, L. R. Gas Chromatographic Quality Control for Oil of *Melaleuca* Terpinen-4-ol Type (Australian Tea Tree). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 37, n. 5, p. 1330–1335, 1989.

BRUNO, C. M. A.; ALMEIDA, M. R. Óleos essenciais e vegetais: matérias-primas para fabricação de bioprodutos nas aulas de química orgânica experimental. **Química Nova**, v. XY, n. 00, p. 1–9, 2021.

BURKHARDT, A.; GAWDE, A.; CANTRELL, A. L.; BAXTER, H. L.; JOYCE, B. L.;

- STEWART, N. C.; ZHELJAZKOV, V. D. Effects of Produced Water on Soil Characteristics, Plant Biomass, and Secondary Metabolites. **Journal of Environmental Quality**, v. 44, n. 6, p. 1938–1947, 2015.
- CAELLI, M.; PORTEOUS, J.; CARSON, C. F.; HELLER, R.; RILEY, T. V. Tea tree oil as an alternative topical decolonization agent for methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. **Journal of Hospital Infection**, v. 11, n. 2, p. 97–99, 2001.
- CAMILIOS-NETO, D.; BUGAY, C.; SANTANA FILHO, A. P.; JOSLIN, T.; SOUZA, L. M.; SASSAKI, G. L.; MITCHELL, D. A.; KRIEGER, N. Production of rhamnolipids in solid-state cultivation using a mixture of sugarcane bagasse and corn bran supplemented with glycerol and soybean oil. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 89, n. 5, p. 1395–1403, 2011.
- CAMILIOS NETO, D.; MEIRA, J. A.; ARAÚJO, J. M.; MITCHELL, D. A.; KRIEGER, N. Optimization of the production of rhamnolipids by *Pseudomonas aeruginosa* UFPEDA 614 in solid-state culture. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 81, n. 3, p. 441–448, 2008.
- CANNON, J. B.; CANTRELL, C. L.; ASTATKIE, T.; ZHELJAZKOV, V. D. Modification of yield and composition of essential oils by distillation time. **Industrial Crops and Products**, v. 41, p. 214–220, 2013.
- CASSEL, E.; VARGAS, R. M. F.; MARTINEZ, N.; LORENZO, D.; DELLACASSA, E. Steam distillation modeling for essential oil extraction process. **Industrial Crops and Products**, v. 29, n. 1, p. 171–176, 2009.
- CASSEL, E.; VARGAS, R. M. F. Experiments and Modeling of the *Cymbopogon winterianus* Essential Oil Extraction by Steam Distillation. **Journal of the Mexican Chemical Society**, v. 50, n. 3, p. 126–129, 2006.
- CASTELO, A. V. M.; AFONSO, S. R.; MELO, R. R.; DEL MANEZZI, C. H. S.; CAMILLO, J.; VIEIRA, R. F. Rendimento e composição química do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* Chell, na região do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 1, p. 143–147, 2013.
- CHAVES, J. O.; SOUZA, M. C.; SILVA, L. C.; LACHOS-PEREZ, D.; TORRES-MAYANGA, P. C.; MACHADO, A. F.; FORSTER-CARNEIRO, T.; VÁZQUEZ-ESPINOSA, MERCEDES.; PEREDO, A. G.; BARBERO, G. F.; ROSTAGNO, M. A. Extraction of Flavonoids From Natural Sources Using Modern Techniques. **Frontiers in Chemistry**, v. 8, p.1-25, 2020.
- CHOWDHURY, S. R.; TANDON, P. K.; CHOWDHURY, A. R. Chemical Composition of the Essential Oil of *Cymbopogon flexuosus* (Steud) Wats. Growing in Kumaon

Region. **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v. 13, n. 5, p. 588–593, 2010.

CORREIA, A. M.; PEDRAZZANI, A. S.; MENDONÇA, R. C.; MASSUCATTO, A.; OZÓRIO, R. A.; TSUZUKI, M. Y. Basil, tea tree and clove essential oils as analgesics and anaesthetics in *Amphiprion clarkii* (Bennett, 1830). **Brazilian Journal of Biology**, v. 78, p. 436–442, 2017.

DALTIN, Decio. **Tensoativos: química, propriedades e aplicações**. Editora Blucher, 2011.

OLIVEIRA, A. R. M. F.; JEZLER, C. N.; OLIVEIRA, R. A.; COSTA, L. C. B. Influência da idade da planta na produção de óleo essencial de alevante. **Revista Ceres**, v. 59, n. 2, p. 241–245, 2012.

DESAI, J. D.; BANAT, I. M. Microbial production of surfactants and their commercial potential. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v. 61, n. 1, p. 47–64, 1997.

DEVI, M. A.; SAHOO, D.; SINGH, T. B.; RAJASHEKAR, Y. Antifungal activity and volatile organic compounds analysis of essential oils from *Cymbopogon* species using solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 3, p. 1-6, 2021.

DEWICK, P. M. **Medicinal natural products: a biosynthetic approach**. John Wiley & Sons, 2002.

DRINIĆ, Z.; PLJEVLJAKUŠIĆ, D.; ŽIVKOVIĆ, J.; BIGOVIĆ, D.; & ŠAVIKIN, K. Microwave-assisted extraction of *O. vulgare* L. spp. hirtum essential oil: Comparison with conventional hydro-distillation. **Food and Bioproducts Processing**, v. 120, n. 2006, p. 158–165, mar. 2020.

FELIPE, L. O.; SILVA JÚNIOR, W. F.; ARAÚJO, K.; C.; FABRINO, D. L. Lactoferrin, chitosan and *Melaleuca alternifolia*-natural products that show promise in candidiasis treatment. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 49, p. 212–219, 2018.

FIGUEIREDO, MARIA DE. Chemical Composition and Oil Concentration of Tea Tree Leaf Oil Grown in South Africa During a One-Year Vegetative Cycle. **Journal of Essential Oil Research**, v. 18, n. sup1, p. 52-53, 2006.

GANJEWALA, D.; LUTHRA, R. Essential oil biosynthesis and regulation in the genus *Cymbopogon*. **Natural Product Communications**, v. 5, n. 1, p. 163–172, 2010.

GHASEMI, E.; RAOFIE, F.; NAJAFI, N. M. Application of response surface methodology and central composite design for the optimisation of supercritical fluid extraction of essential oils from *Myrtus communis* L. leaves. **Food Chemistry**, v. 126, n. 3, p. 1449–1453, 2011.

GHAZANFARI, N.; MORTAZAVI, S. A.; YAZDI, F. T.; MOHAMMADI, M. Microwave-assisted hydrodistillation extraction of essential oil from coriander seeds and evaluation of their composition, antioxidant and antimicrobial activity. **Heliyon**, v. 6, p. 1-9, 2020.

GIACOMETTI, J.; KOVAČEVIĆ, D. B.; PUTNIK, P.; GABRIĆ, D.; BILUŠIĆ, T.; KREŠIĆ, G.; JAMBRAK, A. R. Extraction of bioactive compounds and essential oils from mediterranean herbs by conventional and green innovative techniques: A review. **Food Research International**, v. 113, p. 245–262, 2018.

GIOPPO, A.; ZANCANARO, V.; BELLAVER.; E. H. Atividade antibacteriana do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* frente a isolados multirresistentes produtores de ESBL e KPC causadores de infecções hospitalares. **Revista Biotemas**, v. 32, n. 3, p. 35–42, 2019.

GOBBO-NETO, L.; LOPES, N. P. Plantas medicinais: Fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, v. 30, n. 2, p. 374–381, 2007.

GUPTA, P.; MISHRA, A.; YADAV, A.; DHAWAN, S. S. Inter and intra-specific molecular and chemical diversity of elite accessions of aromatic grasses *Cymbopogons*. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, v. 11, p. 54–60, 2018.

HAMMER, K. A.; CARSON, C. F.; RILEY, T. V. In vitro activity of *Melaleuca alternifolia* (tea tree) oil against dermatophytes and other filamentous fungi. **Journal of Antimicrobial Chemotherapy**, v. 50, n. 2, p. 195–199, 2002.

JIMOH, A. A.; LIN, J. Biosurfactant: A new frontier for greener technology and environmental sustainability. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 184, p. 1-19, 2019.

JUGREET, B. S.; SUROOWAN, S.; RENGASAMY, R. R. K.; MAHOMOODALLY, M.F. Chemistry, bioactivities, mode of action and industrial applications of essential oils. **Trends in Food Science and Technology**, v. 101, p. 89–105, 2020.

FELIPE, D. O.; DIAS, S. C. Surfactantes sintéticos e biossurfactantes: vantagens e desvantagens. **Química Nova na Escola**, v. 39, n. 3, p. 228–236, 2017.

MAHANTA, B. P.; BORA, P. K.; KEMPRAI, P.; BORAH, G.; LAL, M.; HALDAR, SAIKAT. Thermolabile essential oils, aromas and flavours: Degradation pathways, effect of thermal processing and alteration of sensory quality. **Food Research International**, v. 145, p. 2-18, 2021.

MANOUCHEHRI, R.; SAHARKHIZ, M. J.; KARAMI, A.; NIAKOUSARI, M. Extraction of essential oils from damask rose using green and conventional techniques: Microwave and ohmic assisted hydrodistillation versus hydrodistillation. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 8, p. 76–81, 2018.

MARCHANT, R.; BANAT, I. M. Biosurfactants: A sustainable replacement for chemical surfactants? **Biotechnology Letters**, v. 34, p. 1597–1605, 2012.

MASANGO, P. Cleaner production of essential oils by steam distillation. **Journal of Cleaner Production**, v. 13, p. 833–839, 2005.

MAY, A.; BOVI, O. A.; MAIA, N. B.; MORAES, A. R. A.; PINHEIRO, M. Q, MARIO, M. Influência do intervalo entre cortes sobre a produção de biomassa de duas espécies de capim-limão. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 3, p. 379–382, 2008.

BRASIL, Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Portaria nº 971, de 03 de maio de 2006**. Brasília, 2006.

MISHRA, S.; LIN, Z.; PANG, S.; ZHANG, Y.; BHATT.; CHEN, S. Biosurfactant is a powerful tool for the bioremediation of heavy metals from contaminated soils. **Journal of Hazardous Materials**, v. 418, p. 1-23, 2021.

MORAIS, L. A. S. Influência dos Fatores Ambientais na Composição Química dos Óleos Essenciais. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. 2, p. 4050–4063, 2009.

NATH, S. C.; SARMA, K. K.; VAJEZIKOVA, I.; LECLERCQ, P. A. Comparison of volatile inflorescence oils and taxonomy of certain *Cymbopogon* taxa described as *Cymbopogon flexuosus* (Nees ex Steud.) Wats. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 30, n. 2, p. 151–162, 2002.

NAVARRETE, A.; WALLRAF, S.; MATO, R. B.; COCERO, M. J. Improvement of Essential Oil Steam Distillation by Microwave Pretreatment. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 50, p. 4667–4671, 2011.

NI, Z. J.; WANG, X.; SHEN, Y.; THAKUR, K.; HAN, J.; ZHANG, J.; HU, F., WEI, Z. Recent updates on the chemistry, bioactivities, mode of action, and industrial applications of plant essential oils. **Trends in Food Science and Technology**, v. 110, p. 78–89, 2021.

NITSCHKE, M.; PASTORE, G. M. Biossurfactantes: Propriedades e aplicações. **Química Nova**, v. 25, n. 5, p. 772–776, 2002.

FELIPE, L. O.; BICAS, J. L. Terpenos, aromas e a química dos compostos naturais. **Química Nova na Escola**, v. 39, n. 2, p. 120–130, 2017.

PADALIA, R. C.; VERMA, R. S.; CHANOTIYA, C. S.; YADAV, A. Chemical fingerprinting of the fragrant volatiles of nineteen Indian cultivars of *Cymbopogon spreng.* (Poaceae). **Records of Natural Products**, v. 5, n. 4, p. 290–299, 2011.

PAPADOPOULOS, C. J.; CARSON, C. F.; HAMMER, K. A.; RILEY, T. V.. Susceptibility of *Pseudomonas* to *Melaleuca alternifolia* (tea tree) oil and components. **Journal of Antimicrobial Chemotherapy**, v. 58, n. 2, p. 449–451, 2006.

PARIKH, J. K.; DESAI, M. A. Hydrodistillation of Essential Oil from *Cymbopogon flexuosus*. **International Journal of Food Engineering**, v. 7, n. 1, p.1-9 2011.

PENTEADO, J. C. P.; EL SEOUD, O. A.; CARVALHO, L. R. F. Alquilbenzeno sulfonato linear: uma abordagem ambiental e analítica. **Química Nova**, v. 29, n. 5, p. 1038–1046, 2006.

PINTO-ZEVALLOS, D. M.; MARTINS, C. B. C.; PELLEGRINO, A. C.; ZARBIN, P. H. G. Compostos orgânicos voláteis na defesa induzida das plantas contra insetos herbívoros. **Química Nova**, v. 36, n. 9, p. 1395–1405, 2013.

RAMALHO, H. F.; SUAREZ, P. A. Z. A Química dos Óleos e Gorduras e seus Processos de Extração e Refino. **Revista Virtual de Química**, v. 5, n. 1, p. 2–15, 2013.

ROCHA, S. F. R.; MING, L. C.; MARQUES, M. O. M. Influência de cinco temperaturas de secagem no rendimento e composição do óleo essencial de citronela (*Cymbopogon winterianus* Jowitt). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 3, n.1, p. 73-79, 2000.

SBIHI, H. M.; NEHDI, I. A.; MOKBLI, S.; ROMDHAMI-YOUNES, M.; AL-RESAYES, S. I. Hexane and ethanol extracted seed oils and leaf essential compositions from two castor plant (*Ricinus communis* L.) varieties. **Industrial Crops and Products**, v. 122, p. 174–181, 2018.

SCHANEBERG, B. T.; KHAN, I. A. Comparison of extraction methods for marker compounds in the essential oil of lemon grass by GC. **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, v. 50, n. 6, p. 1345–1349, 2002.

SCOTTI, R.; STRINGARO, A.; NICOLINI, L.; ZANELATO, M.; BOCCIA, P.; MAGGI, F.; GABBIANELLI. Effects of Essential Oils from *Cymbopogon* spp. and *Cinnamomum verum* on Biofilm and Virulence Properties of *Escherichia coli* O157:H7. **Antibiotics-Basel**, v. 10, n. 2, p. 2-15, 2021.

SILVA, S. R. S.; DEMUNER, A. J.; BARBOSA, L. C. A.; ANDRADE, N. J.; NASCIMENTO, E. A.; PINHEIRO, A. L. Análise dos constituintes químicos e da atividade antimicrobiana do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* Cheel. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 6, n. 1, p. 63-70, 2003.

SINGH, S.; RAM, M.; RAM, D.; SINGH, V. P.; SHARMA, S.T. Response of lemongrass (*Cymbopogon flexuosus*) under different levels of irrigation on deep sandy soils. **Irrigation Science**, v. 20, p. 15–21, 2000.

SOLANKI, K. P.; DESAI, M. A.; PARIKH, J. K. Improved hydrodistillation process using amphiphilic compounds for extraction of essential oil from java citronella grass. **Chemical Papers**, v. 74, p. 145–156, 2020.

SOUZA, A. D.; ROGGERIO, T. U.; FURLAN, M. R.; AOYAMA, E. M. Óleo de melaleuca (*Melaleuca alternifolia* Maiden & Betche, Cheel) no controle de cercosporiose em beterraba. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, n. 4, p. 1078–1082, 2015.

SOUSA, J. R.; CORREIA, J. A. C.; MELO, V. M. M, GONÇALVES, L. R. B.; CRUZ, A. J. G. Cinética e caracterização de ramnolípides produzidos por *Pseudomonas aeruginosa* MSIC02 utilizando glicerol com fonte de carbono. **Química Nova**, v. 37, n. 3, p. 431–441, 2014.

SOVOVÁ, H. Modeling the supercritical fluid extraction of essential oils from plant materials. **Journal of Chromatography A**, v. 1250, p. 27–33, 2012.

SOVOVÁ, H.; ALEKSOVSKI, S. A. Mathematical model for hydrodistillation of essential oils. **Flavour and Fragrance Journal**, v. 21, p. 881–889, 2006.

SUHANDONO, S.; KUSUMA, S. H.; MEITHA, K. Characterization and Production of Rhamnolipid Biosurfactant in Recombinant *Escherichia coli* Using Autoinduction Medium and Palm Oil Mill Effluent. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 64, p. 1–13, 2021.

TIMUNG, R.; BARIK, C. R, PUROHIT, S.; GOUD, V. V. Composition and anti-bacterial activity analysis of citronella oil obtained by hydrodistillation: Process optimization study. **Industrial Crops and Products**, v. 94, p. 178–188, 2016.

TONGNUANCHAN, P.; BENJAKUL, S. Essential Oils : Extraction , Bioactivities , and their uses for Food Preservation. **Journal of Food Science**, v. 79, n. 7, p. 1231–1249, 2014.

VIEIRA, T. R.; BARBOSA, L. C. A.; MALTHA, C. R. A. Constituintes químicos de *Melaleuca alternifolia* (Myrtaceae). **Química Nova**, v. 27, n. 4, p. 536–539, 2004.

WANY, A.; KUMAR, A.; NALLAPETA, S.; JHA, S.; NIGAM, V. K.; PANDEY, D. M. Extraction and characterization of essential oil components based on geraniol and citronellol from Java citronella (*Cymbopogon winterianus* Jowitt). **Plant Growth Regulation**, v. 73, p. 133–145, 2014.

WINTERBURN, J. B.; MARTIN, P. J. Foam mitigation and exploitation in biosurfactant production. **Biotechnology Letters**, v. 34, p. 187–195, 2012.

YANG, X.; JIANG, Z.; WANG, Y.; LI, R. Composition comparison of volatile oils of *Cymbopogon winterianus* jowitt obtained by different extraction methods. **Journal of Essential Oil-Bearing Plants**, v. 13, n. 6, p. 721–726, 2010.

YUAN, R.; ZHANG, D.; YANG, J.; WU, Z.; LUO, C.; HAN, L.; YANG, F.; LIN, J.; YANG, M. Review of aromatherapy essential oils and their mechanism of action against migraines. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 265, p. 1-16, 2021.

ZENG, Q.; ZHAO, J.; WANG, J.; ZHANG, X.; JIANG, J. Comparative extraction processes , volatile compounds analysis and antioxidant activities of essential oils from *Cirsium japonicum* Fisch . ex DC and *Cirsium setosum* ( Willd .) M . Bieb. **LWT - Food Science and Technology**, v. 68, p. 595–605, 2016.

ZHELJAZKOV, V. D.; CANTRELL, C. L.; ASTATKIE, T.; CANNON, J. B. Lemongrass Productivity, Oil Content, and Composition as a Function of Nitrogen, Sulfur, and Harvest Time. **Agronomy Journal**, v. 103, n. 3, p. 805–812, 2011.

ZHU, X.; CHEN, C.; WU, J.; YANG.; ZHANG, W.; ZOU, X.; JIANG, X.. Can intercrops improve soil water infiltrability and preferential flow in rubber-based agroforestry system? **Soil and Tillage Research**, v. 191, p. 327–339, 2019.