



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



GILZZA GARCIA BORGES

**TÉCNICAS DE EXTRAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS: REVISÃO E ESTUDO DE
CASO DE HORTELÃ-PIMENTA**

Uberlândia – MG

2024

GILZZA GARCIA BORGES

**TÉCNICAS DE EXTRAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS: REVISÃO E ESTUDO DE
CASO DE HORTELÃ-PIMENTA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários para a aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Química.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Marina Seixas Pereira

Uberlândia – MG

2024

GILZZA GARCIA BORGES

**TÉCNICAS DE EXTRAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS: REVISÃO E ESTUDO DE
CASO DE HORTELÃ-PIMENTA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Química da
Universidade Federal de Uberlândia como parte
dos requisitos necessários para a aprovação na
disciplina Trabalho de Conclusão do Curso de
Graduação em Engenharia Química.

Uberlândia, 22 de novembro de 2024.

Banca examinadora:

Prof.^a Dr.^a Marina Seixas Pereira
Orientadora – FEQUI/UFU

Prof. Dr. Claudio Roberto Duarte
FEQUI/UFU

Dr. Heitor Otacílio Nogueira Altino
Pós-Doutorando PPGEQ/UFU

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão a todos que estiveram ao meu lado e compartilharam comigo esta trajetória acadêmica. Primeiramente, agradeço a Deus por sempre me acolher nos momentos de desespero e por me conceder resiliência, força e saúde, permitindo que eu pudesse persistir nesta jornada.

Aos meus queridos pais, Ioní e Gilson, por sempre me apoiarem em todas minhas decisões e por possibilitarem que eu vivesse essa fase da forma mais confortável possível. Agradeço pela ajuda a mim concedida, tanto emocional quanto financeira, pelas conversas acolhedoras que me fizeram sentir vontade de recomeçar a cada dificuldade, pela presença que me proporcionou mais leveza em minhas obrigações, pela dedicação em garantir um futuro melhor para mim e principalmente pelo amor e exemplo de vida. Vocês são minha inspiração e motivação para chegar até aqui e seguir meu caminho posteriormente.

À minha família de Guimarães e região pelo suporte indispensável. Mesmo distantes vocês se fizeram presentes e comemoraram minhas conquistas. Obrigada pelas orações em minhas intenções, pelo carinho, amor e confiança em meus sonhos.

Aos meus primos Allan e Arthur, pelo auxílio em todos os sentidos e por estarem presentes e me compreenderem em momentos difíceis na faculdade.

Aos meus amigos e colegas pela companhia e amparo no dia a dia. Vocês foram fundamentais para minha permanência no curso e para que eu pudesse ter momentos de descontração. Obrigada por me entenderem, por compartilharem e por tornarem mais leve essa trajetória desafiadora.

Aos meus professores, que desde criança são fonte de inspiração. Obrigada por contribuir para quem sou hoje e por todas experiências, sabedoria e motivação transmitidas a mim. Em especial, agradeço à minha orientadora Prof.^a Dr.^a Marina pelo suporte e direcionamento durante a elaboração desse trabalho e pela confiança em mim depositada.

Aos convidados a compor a banca de avaliação, Prof. Dr. Claudio Roberto Duarte e Dr. Heitor Otacílio Nogueira Altino, pelo tempo disposto.

Por fim, agradeço a todos que foram importantes em minha vida e que contribuíram para a realização desse trabalho. Muito obrigada!

*"Não importa quão devagar você vá, desde que
você não pare."*

Confúcio

RESUMO

Óleos essenciais são muito aplicados em indústrias farmacêuticas, além de estarem presentes em outros campos como no setor alimentício, cosmético e na agricultura. A extração desses óleos é fundamental e inclui várias técnicas convencionais que são eficientes, porém possuem limitações como impacto ambiental significativo e demandas excessivas de energia. Dessa forma, surgem como alternativas mais verdes, os métodos modernos de extração. Foi feita uma revisão da literatura, a fim de avaliar técnicas convencionais e atuais focadas em melhorar a eficiência do processo de extração. A revisão abrangeu os princípios e técnicas da extração de óleos essenciais, incluindo desde aquelas convencionais, como destilação, prensagem e solventes, até as modernas que visam reduzir o impacto ambiental e otimizar o rendimento e a qualidade dos óleos, como extrações usando fluido supercrítico, microondas, ultrassom, e até mesmo, a combinação de técnicas, tal qual a hidrodestilação combinada com extração assistida por ultrassom. Além disso, tópicos referentes à fatores que influenciam a extração como condições do processo e manejo do material, desafios e limitações como a demanda por soluções sustentáveis e a análise química dos óleos usando a cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas, também foram abordados. No estudo de caso, observou-se as aplicações do óleo essencial de hortelã-pimenta, principalmente no âmbito da medicina, no qual ele é usado para aliviar sintomas de doenças crônicas como a Síndrome do Intestino Irritável. E por fim, comparou-se as técnicas modernas de extração desse óleo com a hidrodestilação convencional, a qual é tradicional para retirar óleos de plantas. A partir de análises dos resultados de variáveis adquiridas em estudos na literatura, os métodos atuais que foram a hidrodestilação ôhmica, extração usando microondas e fluido supercrítico sobressaíram em relação a hidrodestilação convencional no contexto técnico do processo, porém vale ressaltar a importância de futuros estudos do custo de capital dessas técnicas para uma decisão mais assertiva de qual a melhor forma de obtenção desse óleo.

Palavras-chave: óleos essenciais; técnicas de extração; hortelã-pimenta; hidrodestilação.

ABSTRACT

Essential oils are widely used in the pharmaceutical industry, as well as in other fields such as the food, cosmetics and agriculture sectors. The removal of these oils is essential and includes several conventional techniques that are efficient but have limitations such as significant environmental impact and excessive energy demands. Thus, modern cleaning methods emerge as greener alternatives. A literature review was carried out on the principles and techniques of essential oil extraction, including conventional ones, such as distillation, pressing and solvents, as well as modern ones that aim to reduce the environmental impact and improve the yield and quality of the oils, such as extractions using supercritical fluids, microwaves, ultrasound, and even the combination of techniques, such as hydrodistillation combined with ultrasound-assisted extraction. In addition, topics related to the factors that influence elimination, such as process conditions and plant management, challenges and limitations such as the demand for sustainable solutions and the chemical analysis of oils using gas chromatography coupled with mass spectrometry, were also competitive. In the case study, it was observed by the applications of peppermint essential oil, mainly in medicine, where it is used to alleviate symptoms of chronic diseases such as Irritable Bowel Syndrome. Finally, modern techniques for extracting this oil were compared with conventional hydrodistillation, which is traditional for removing oils from plants. Based on analyses of the results of variables acquired in studies in the literature, the current methods, which were ohmic hydrodistillation, using microwaves and supercritical fluid, stood out in relation to conventional hydrodistillation in the context of the process itself. However, it is worth highlighting the importance of future studies about these techniques capital cost a more assertive decision on the best way to obtain this oil.

Palavras-chave: essential oils; extraction techniques; peppermint; hydrodistillation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estruturas de compostos de óleos essenciais.	11
Figura 2 - Planta de <i>Croton Grewioides</i> Baill em casa de vegetação.....	13
Figura 3 –Tricoma grandular na secção transversal de pecíolo de <i>Jasminum azoricum</i> L.	14
Figura 4 – Esquema de aparelho experimental para extração de óleo essencial de cascas de canela por meio da hidrodestilação convencional.	16
Figura 5 – Processo de destilação por arraste a vapor.	17
Figura 6 – Prensa contínua industrial.	18
Figura 7 – Processo de extração com fluido supercrítico.	20
Figura 8 – Efeito das micro-ondas sobre matrizes vegetais.	22
Figura 9 – Aparato utilizado no processo de extração assistida por ultrassom.	23
Figura 10 – Comparação entre hidrodestilação convencional e hidrodestilação combinada com extração assistida por ultrassom.	24
Figura 11 – Processo de extração do óleo essencial de cascas de canela por meio da hidrodestilação combinada com extração assistida por ultrassom.	25
Figura 12 – Equipamento GC-MS.....	27
Figura 13 – Plantas de hortelã-pimenta adultas.....	29
Figura 14 - Estrutura dos monoterpenos do óleo essencial de hortelã-pimenta.	30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
1.1 Objetivo geral.....	10
1.2 Objetivos específicos	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 Introdução aos óleos essenciais.....	11
2.1.1 Definição, importância e aplicações dos óleos essenciais	11
2.1.2 Principais fontes de óleos essenciais (plantas aromáticas)	14
2.2 Métodos de extração convencionais	15
2.2.1 Destilação e hidrodestilação	15
2.2.2 Prensagem a frio	17
2.2.3 Extração por solvente	18
2.3 Técnicas modernas de extração	19
2.3.1 Extração com fluido supercrítico	19
2.3.2 Extração por micro-ondas.....	20
2.3.3 Extração assistida por ultrassom.....	22
2.3.4 Hidrodestilação combinada com extração assistida por ultrassom.....	23
2.4 Análise química dos óleos essenciais	26
2.5 Fatores que influenciam a extração e a qualidade do óleo.....	27
2.6 Desafios e limitações	28
3 ESTUDOS DE CASO: TÉCNICAS DE EXTRAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE HORTELÃ-PIMENTA	29
3.1 Características botânicas e químicas da planta de hortelã-pimenta.....	29
3.1.1 Descrição botânica da planta	29
3.1.2 Principais componentes químicos do óleo essencial de hortelã-pimenta	30
3.2 Propriedades e aplicações do óleo essencial de hortelã-pimenta.....	30
3.3 Comparação de diferentes técnicas para extração do óleo essencial de hortelã- pimenta	32
4 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	36
4.1 Conclusões	36
4.2 Sugestões para trabalhos futuros	37
REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

Os óleos essenciais são substâncias sintetizadas e armazenadas pelas plantas. Sendo completamente de origem vegetal, eles são compostos principalmente de mono e sesquiterpenos e de fenilpropanoides, metabólitos que conferem suas características organolépticas. Flores, folhas, cascas, rizomas e frutos são matérias-primas para sua produção, a exemplo dos óleos essenciais de rosas, eucalipto, canela, gengibre e laranja, respectivamente. A importância desses produtos se deve a sua aplicação, a qual abrange várias áreas da indústria como perfumaria, cosmética, alimentos e farmacêutica (BIZZO; HOVELL; REZENDE, 2009).

No Brasil, um dos primeiros produtos explorados foi retirado do pau-rosa, uma árvore da Amazônia, cujo componente principal do seu óleo essencial é o linalol, bastante usado como ingredientes de perfumes famosos (TRANCOSO, 2013). Ademais, o Brasil aparece entre os principais fornecedores dos óleos de laranja, limão, lima e outros cítricos e encontra-se entre os grandes exportadores internacionais (BIZZO; HOVELL; REZENDE, 2009). Dessa forma, a relevância da produção desse tipo de substância é de grande valor para a economia do país, além de ser fundamental para o desenvolvimento de outros produtos da indústria brasileira.

A extração dos óleos essenciais torna-se crucial no sentido de sua produção já que dependendo da técnica utilizada, a composição do óleo pode variar significativamente. Alguns dos métodos de extração mais utilizados são: hidrodestilação, extração por solventes orgânicos, destilação a vapor, extração por fluido supercrítico, enfloração, prensagem a frio, dentre outros. Os óleos essenciais podem ser extraídos em quantidade suficiente para serem utilizados em sínteses químicas ou como novos materiais, para uso científico ou comercial (SILVEIRA et al., 2012).

Como as técnicas de extração são muitas e variam de acordo com o óleo essencial desejado, além de que as condições operacionais utilizadas e os solventes escolhidos influenciam diretamente em quais compostos estão sendo extraídos e no rendimento de extração, surge a necessidade de estudar cada uma para poder definir qual a que mais traz benefícios tanto para a geração do produto como para o ambiente. Dessa forma, deve-se analisar, além da eficiência, as limitações consequentes, como o impacto ambiental significativo e as demandas de energia, que podem ser excessivas e desvantajosas para o processo de extração (JADHAV; JADEJA; DESAI, 2023).

Portanto, observa-se a grande importância do estudo da extração de óleos essenciais, já que eles desempenham papel fundamental na vida da população mundial no âmbito farmacêutico e vários outros, além de estar relacionado com o meio ambiente.

1.1 Objetivo geral

O objetivo do trabalho a ser realizado é revisar a extração de óleos essenciais visando técnicas convencionais e atuais focadas em melhorar a eficiência do processo de extração, além de estudar a extração do óleo essencial removido da planta de hortelã-pimenta e sua aplicabilidade na indústria.

1.2 Objetivos específicos

- Realizar uma revisão detalhada da literatura sobre os princípios e técnicas da extração de óleos essenciais.
- Avaliar diferentes métodos de extração de óleos essenciais e selecionar um para estudo detalhado.
- Levantamento das técnicas de extração que mais se adequam ao óleo de hortelã-pimenta.

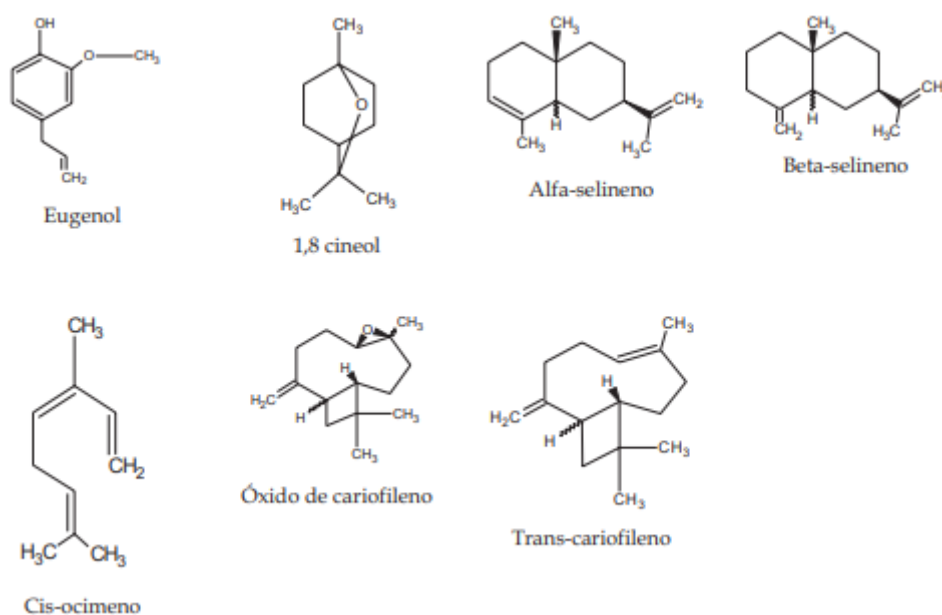
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introdução aos óleos essenciais

2.1.1 Definição, importância e aplicações dos óleos essenciais

Os óleos essenciais são compostos aromáticos advindos das plantas e são aplicados em vários setores da indústria. Quimicamente, o óleo essencial é um óleo natural com um odor distinto, segregado pelas glândulas de plantas aromáticas e obtido através de um processo físico. Sua estrutura química é composta por carbono, hidrogênio e oxigênio, resultando em uma complexa mistura de substâncias que pode incluir várias centenas de compostos. As fórmulas estruturais de alguns deles são apresentadas na Figura 1 (TRANCOSO, 2013).

Figura 1 - Estruturas de compostos de óleos essenciais.



Fonte: MORAIS, 2009a.

Os óleos essenciais, que são sintetizados em várias regiões da planta, são descritos como substâncias aromáticas e voláteis. Esses compostos são produzidos como parte do metabolismo secundário das plantas e são compostos principalmente por terpenos e fenilpropanoides (RODRIGUES; OLIVEIRA, 2021). Esses componentes em conjunto com outros conferem ação farmacológica. As plantas, especialmente suas folhas, frutos, sementes e flores, são ricas em óleos essenciais que abrigam diversas classes de metabólitos secundários.

Esses compostos são de grande importância para as indústrias farmacêutica, nutricional e cosmética, pois conferem aos óleos essenciais propriedades biológicas essenciais para a saúde (SILVA et al., 2017).

Acredita-se que os óleos essenciais foram inicialmente utilizados em bálsamos, ervas aromáticas e resinas, empregados para embalsamar cadáveres em cerimônias religiosas há milhares de anos. Há registros do uso de essências pelos chineses em 2700 a.C., no mais antigo livro de ervas do mundo, Shen Nung, que menciona plantas como gengibre e ópio. Além disso, o uso documentado de óleos essenciais também aparece por volta de 2000 a.C. em textos hindus escritos em sânscrito. Nessa época, já havia um conhecimento básico sobre dispositivos de destilação que foi aperfeiçoado pelos árabes durante as Cruzadas (TRANCOSO, 2013).

Em 1558 foi documentada uma forma de separar os óleos, os quais antes eram considerados soluções alcóolicas. Depois disso, nos séculos XVI e XVII, sua comercialização se tornou mais popular por conta do desenvolvimento tecnológico e assim foram surgindo estudos sobre as propriedades dessas substâncias e sobre sua exploração. No Brasil, o pau-rosa, planta que origina o óleo essencial linalol, foi a primeira a ser explorada até hoje está em risco de extinção (TRANCOSO, 2013).

O conhecimento empírico tem contribuído com informações valiosas para estudos que apoiam pesquisas científicas sobre as ações terapêuticas de muitos produtos naturais, auxiliando na investigação dos compostos químicos que estão associados às suas propriedades (SILVA et al., 2017).

As primeiras investigações sistemáticas dos constituintes dos óleos essenciais podem ser atribuídas ao francês químico M. J. Dumas (1800-1884) que analisou alguns hidrocarbonetos e oxigênio, bem como constituintes contendo enxofre e nitrogênio. Além dele, outros pesquisadores fizeram dos óleos essenciais seu objeto de estudo. Dentre eles, o químico alemão Kekulé, que deu o nome para o hidrocarboneto com a fórmula $C_{10}H_{16}$ presentes nos óleos de terpenos devido a sua presença no óleo de terebentina, cuja origem são as plantas coníferas (BASER; BUCHBAUER, 2010).

Um dos setores importantes que incluem a presença de óleos essenciais é a farmacologia. Nesse contexto de aplicação, as plantas medicinais ou seus derivados podem ter um papel relevante na potencialização quanto na redução dos efeitos terapêuticos dos medicamentos convencionais, como os antibióticos. A interferência dos óleos no efeito dos remédios tem sido muito estudada e vem abrindo espaço para uma discussão aprofundada não só sobre as plantas e suas aplicações, como também sobre as leis de plantio e comercialização (OLIVEIRA et al., 2006).

No âmbito da medicina, a atividade antioxidante é uma das propriedades biológicas dos óleos essenciais, sendo fundamental por neutralizar os danos oxidativos causados por radicais livres nas células. Esses radicais podem desencadear reações em cadeia que prejudicam o sistema biológico provendo doenças como câncer, enfisema, cirrose, aterosclerose, artrite e envelhecimento da pele no organismo. As espécies do gênero *Croton* como a *Croton Grewioides Baill* apresentada na Figura 2 se destacam por exibirem diversas propriedades farmacológicas já comprovadas cientificamente e derivam vários produtos medicinais, dessa forma possuem grande relevância econômica (SILVA et al., 2017).

Figura 2 - Planta de *Croton Grewioides Baill* em casa de vegetação.



Fonte: SILVA et al., 2017.

Além dos benefícios medicinais, os óleos estão presentes na agricultura, na qual os inseticidas naturais, incluindo o uso de produtos alternativos como pós, extratos botânicos e óleos essenciais de origem vegetal podem ser aplicados tanto no manejo integrado de pragas em cultivos comerciais quanto na agricultura orgânica. Esses óleos devem ser empregados como um método de controle eficiente para reduzir custos, proteger o meio ambiente e evitar a contaminação química dos alimentos, tornando-se uma prática alinhada com os princípios da agricultura sustentável (MARANGONI; MOURA; GARCIA, 2012). Há uma crescente demanda por soluções ecologicamente sustentáveis que ajudem a preservar o meio ambiente, permitindo a redução do uso de agrotóxicos e produtos químicos correlatos (RODRIGUES; OLIVEIRA, 2021).

Existem vários outros setores além dos exemplificados anteriormente nos quais os óleos essenciais estão inseridos como forma alternativa e natural para aplicações na indústria. Logo,

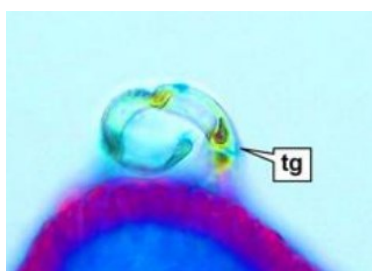
percebe-se a relevância desses produtos que estão presentes na maioria das vezes em plantas que lidamos no dia a dia.

2.1.2 Principais fontes de óleos essenciais (plantas aromáticas)

Todas as plantas têm a capacidade de produzir compostos voláteis, embora frequentemente em pequenas quantidades. “Plantas de óleo essencial” referem-se especificamente às espécies vegetais que produzem um óleo essencial de interesse comercial (BASER; BUCHBAUER, 2010). Como exemplo, pode-se citar o óleo de eucalipto e a citronela, que possui propriedades bactericidas, fungicidas e repelentes.

A combinação única de compostos voláteis, como os aromas florais encontrados em flores como a rosa (*Rosa spp.*), o jasmim (*Jasminum sambac*) ou a tuberosa (*Polyanthes tuberosa*) é uma das condições para que a planta seja fonte de óleo essencial. Essas flores produzem e liberam compostos voláteis diretamente pelas camadas epidérmicas de suas pétalas. No entanto, a quantidade desses compostos é pequena, mesmo com o uso intensivo das flores, necessitando de técnicas especiais de destilação, como o enfleurage, para capturar esses compostos aromáticos. Outra condição para que a planta seja considerada origem de óleos é a secreção e o acúmulo de compostos voláteis em estruturas anatômicas especializadas, que resulta em maiores concentrações de óleo essencial na planta. Essas estruturas de armazenamento de óleos essenciais incluem idioblastos secretores (células secretoras), cavidades/ductos ou tricomas glandulares, os quais secretam substâncias que atuam de diferentes formas, como no afastamento de herbívoros. Na Figura 3 há um detalhe do tricoma glandular (tg) presente na *Jasminum azoricum L.*, que também é considerada uma planta de óleo essencial (BASER; BUCHBAUER, 2010).

Figura 3 –Tricoma glandular na secção transversal de pecíolo de *Jasminum azoricum L.*



Fonte: PEREIRA, 2022.

Vários óleos essenciais são bastante conhecidos pela planta que os origina. Como exemplos tem-se óleos essenciais de cítricos (laranja, bergamota, limão, lima), óleos de mentas (hortelã-pimenta, menta japonesa, menta *spearmint*), óleos de flores (gerânio, jasmim, alfavaca ou lavanda), óleos de madeira (pau-rosa, pau-santo, cabreúva, cedro). Há também os óleos adivindos de folhas, como citronela, lemongrass ou capim-limão, palmarosa e o óleo de eucalipto, além do vetiver e os óleos de sementes como o de coriandro (coentro) (BIZZO; HOVELL; REZENDE, 2009).

Portanto, como os óleos essenciais são protagonistas de muitos produtos necessários pela população mundial, torna-se fundamental estudar sobre as técnicas de sua extração para que novos produtos mais sustentáveis e puros sejam desenvolvidos e usados na vasta gama de aplicações dos óleos essenciais.

2.2 Métodos de extração convencionais

Os principais métodos de extração incluem a destilação a vapor, prensagem a frio e extração por solvente. Para cada técnica é possível desenvolver modelos matemáticos para simular processos industriais (BUSATO et al., 2014).

2.2.1 Destilação e hidrodestilação

A temperatura e a volatilidade são propriedades importantes quando o assunto é destilação. Os óleos essenciais são muito voláteis e por isso vaporizam rapidamente sob o aumento de temperatura. Nesse sentido, o uso da técnica de extração por destilação é bem-vista, principalmente quando as folhas são os locais de extração do óleo (SILVEIRA et al., 2012).

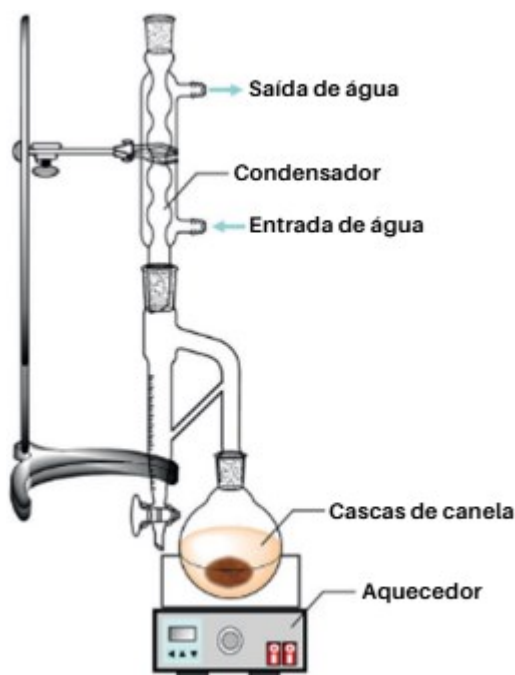
Durante a destilação de óleos essenciais, é necessário, em alguns casos, realizar a fragmentação do material vegetal para facilitar a extração do óleo presente nos tricomas glandulares da planta. Esse processo varia de acordo com a estrutura vegetal. Flores, folhas e outras partes delicadas e não fibrosas não precisam ser fragmentadas, enquanto as sementes devem ser completamente esmagadas. Por sua vez, raízes, caules e materiais lenhosos devem ser cortados em pedaços menores (BUSATO et al., 2014).

A hidrodestilação é uma técnica tradicional e versátil em que o material vegetal fica em contato com a água fervente, permitindo que o vapor rompa as paredes celulares e cause a evaporação do óleo presente entre as células da planta. Após isso, o vapor (mistura de óleo e água) passa por um condensador onde são formadas duas fases líquidas por meio do

resfriamento, já que os componentes voláteis e a água são imiscíveis. Essas fases são separadas e assim obtém-se o óleo essencial extraído (SILVEIRA et al., 2012).

Um esquema de aparelho experimental para extração de óleo essencial de cascas de canela por meio da hidrodestilação convencional pode ser observado na Figura 4.

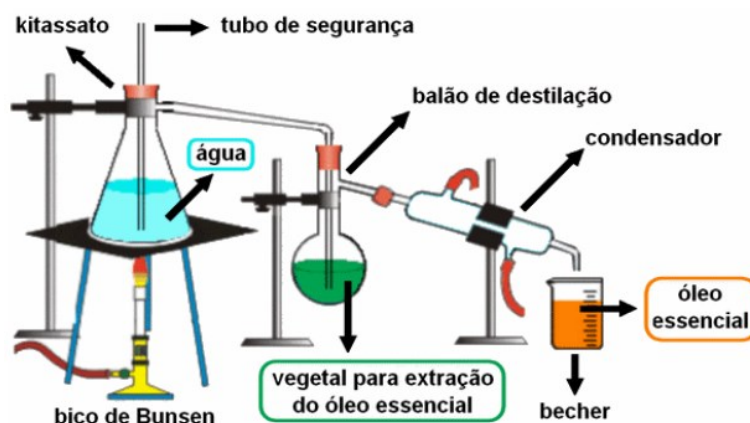
Figura 4 – Esquema de aparelho experimental para extração de óleo essencial de cascas de canela por meio da hidrodestilação convencional.



Fonte: Adaptado de CHEN et al., 2021.

A destilação de óleo essencial por arraste a vapor é uma operação unitária e um dos métodos mais utilizados, devido à sua simplicidade e ao fato de ser ambientalmente amigável. Esse método é indicado para compostos altamente voláteis, com solubilidade limitada a água e resistentes a temperaturas próximas de 100°C, podendo ser utilizado tanto em escala laboratorial quanto industrial, já que é mais econômico e capaz de processar grandes quantidades de material vegetal de uma só vez. Além disso, permite a obtenção de óleos de alta qualidade e, em curtos períodos de extração (MARCOLINA, 2021). Esse processo utilizado em laboratório pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 – Processo de destilação por arraste a vapor.



Fonte: MARCOLINA, 2021.

O processo de destilação de óleo essencial por arraste a vapor envolve a passagem de vapor de água através de um vaso extrator que contém um leito fixo de plantas aromáticas. A matéria-prima deve ser distribuída no extrator de forma a maximizar o contato superficial com o vapor. Os compostos voláteis, que possuem uma pressão de vapor alta, são vaporizados e, posteriormente, condensados em duas fases: uma fase oleosa e outra fase aquosa (PIRES, 2017).

Em resumo, tanto a destilação quanto a hidrodestilação são métodos amplamente utilizados para a extração de óleos essenciais, cada um com suas particularidades e vantagens. A destilação a vapor é eficaz para preservar compostos voláteis sensíveis ao calor, enquanto a hidrodestilação, por ser um processo mais tradicional e simples, facilita a extração em diferentes tipos de matrizes vegetais. A escolha do método depende das características específicas da planta e do objetivo do processo, mas ambos garantem a obtenção de óleos essenciais de alta qualidade, fundamentais para a indústria cosmética, farmacêutica e alimentícia.

2.2.2 Prensagem a frio

O método de prensagem a frio é bastante empregado para extração de frutos cítricos, como por exemplo, a bergamota, o limão e a laranja (SILVEIRA et al., 2012). Além disso, essa técnica é uma das mais antigas para produção de óleos e gorduras como a obtenção do azeite, na qual azeitonas eram colocadas em uma grande tina para serem esmagadas por uma roda de pedra acionada por tração animal e, assim, liberar o óleo (LEMES, 2018).

A prensagem a frio utiliza uma prensa mecânica ou contínua a qual esmaga a matéria-prima, podendo ser um vegetal ou não e assim obtém-se o óleo essencial. Esse método de extração é mais acessível em termos financeiros, porém possui limitações relevantes como, por

exemplo, nos óleos extraídos por prensa mecânica é necessária uma filtragem posterior a extração, a fim de retirar os resíduos que podem estar presentes no óleo. No final deste processo, são obtidos dois produtos, o bagaço, que consiste na parte sólida resultante da prensagem, e o óleo extraído. É obtido em torno de 60% a 65% de óleo (CARNEIRO, 2022). Em várias companhias são utilizadas prensas contínuas, como na Figura 6, para realizar o processo em escala industrial.

Figura 6 – Prensa contínua industrial.



Fonte: LEMES, 2018.

2.2.3 Extração por solvente

A extração de óleos de sementes ou grãos, além da prensagem, também pode ser feita por meio de extração por solvente. Os processos mais utilizados à base de solventes consistem na extração por sucessivas lavagens das sementes, previamente trituradas, com um solvente orgânico (n-hexano ou éter de petróleo) (CARNEIRO, 2022).

O solvente orgânico entra em contato com o material vegetal e após um período ocorre a separação entre as fases sólida e líquida. Posteriormente, o solvente é eliminado através da evaporação (MARCOLINA, 2021).

A escolha do solvente é muito importante e leva em consideração vários fatores como viscosidade e volatilidade relativa (CARNEIRO, 2022). Além disso, alguns óleos não suportam altas temperaturas, e, nesses casos, uma alternativa é o uso de solventes orgânicos, como benzeno, hexano, metanol, etanol, propanol, acetona, pentano e outros solventes clorados, com preferência por solventes apolares (MARCOLINA, 2021).

Esse método é considerado eficiente, porém possui algumas desvantagens como alta demanda de energia, número elevado de etapas no processo além de remover todo o solvente residual e extrair compostos não voláteis, o que pode causar alterações nas moléculas, além de apresentar toxicidade. (CARNEIRO, 2022; MARCOLINA, 2021; SILVEIRA et al., 2012). Nesse contexto, a preocupação com os efeitos dos óleos que serão ingeridos é um dos motivos para o desenvolvimento de estratégias mais sustentáveis como os solventes verdes, os quais incluem os líquidos iônicos e o fluidos supercríticos.

2.3 Técnicas modernas de extração

Devido à preocupação com o meio ambiente e buscando inovações que possam otimizar o processo de extração, surgem as técnicas modernas. Dentre elas, é possível citar a extração com fluidos supercríticos, extração por micro-ondas e extração por ultrassom.

2.3.1 Extração com fluido supercrítico

A extração com fluido supercrítico é um método de separação que emprega fluidos em estado supercrítico, como o dióxido de carbono, como solvente extrator. Embora seja um processo que possui um como fator mais limitante o custo de extração, englobando aquisição dos equipamentos e operação, além de necessitar de um investimento inicial significativo, apresenta várias vantagens em relação às técnicas de extração convencionais. Isso inclui o uso de solventes considerados seguros, que podem ser facilmente separados dos extratos e reutilizados em procedimentos futuros, resultando em economia de custos e na redução da produção de resíduos. Assim, a extração supercrítica surge como uma alternativa promissora na busca por tecnologias que sejam ambientalmente responsáveis (OLIVEIRA, 2023).

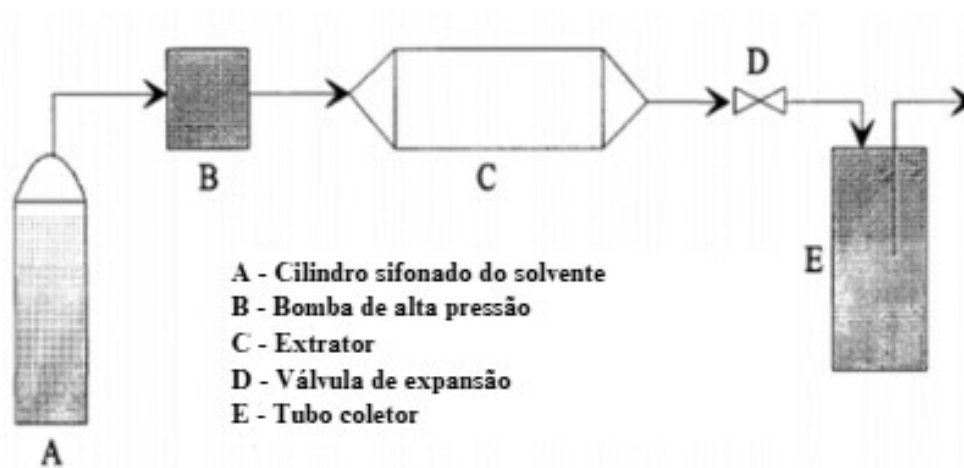
A escolha do fluido para ser usado nesse tipo de extração leva em consideração vários fatores que acabam por indicar o dióxido de carbono como um dos melhores solventes supercríticos para serem usados. Dentre os motivos para essa escolha está a facilidade de separação do soluto por ser extremamente volátil, não tóxico, não inflamável, além do CO₂ ser relativamente barato e não apresentar odor (SILVEIRA et al., 2012).

A extração supercrítica está relacionada a solubilidade de compostos orgânicos em fluidos supercríticos, que são substâncias em condições em que não há distinção de fases por causa da temperatura e pressão superiores ao ponto crítico, comparada à solubilidade desses compostos em fluidos na fase vapor. O CO₂ em estado de fluido supercrítico (pressão de até

200 atmosferas e temperatura de 33°C), atua como solvente para extrair o óleo das partes da planta. Após o equilíbrio entre a pressão da substância e a do ambiente, o CO₂ retorna ao estado gasoso, restando apenas o óleo essencial. O CO₂ é empregado de modo a atingir um estado em que sua viscosidade se assemelha à de um gás, mas sua capacidade de solubilidade é equivalente à de um líquido (SILVEIRA et al., 2012).

O esquema presente na Figura 7 mostra como ocorre o processo de extração utilizando fluido supercrítico, no qual é necessário um cilindro sifonado do solvente (A), uma bomba de alta pressão (B), um extrator (C), uma válvula de expansão (D) e um tubo coletor (E).

Figura 7 – Processo de extração com fluido supercrítico.



Fonte: Adaptado de LEMES, 2018.

Portanto, o processo de extração de óleos essenciais com fluido supercrítico é uma das opções mais viáveis quando se diz respeito a técnicas modernas, porque além da reutilização dos fluidos em processos futuros, também é um método ideal para compostos termossensíveis, pois utiliza temperaturas mais baixas, evitando a degradação da amostra e, assim, preservando a qualidade do produto final. Dessa forma, os óleos essenciais extraídos são de melhor qualidade, livres de vestígios de solventes, e o extrato obtido apresenta alto grau de pureza (MARCOLINA, 2021).

2.3.2 Extração por micro-ondas

A extração assistida por micro-ondas ou MAE (*Microwave-assited extraction*), surgiu como forma de suprir as brechas deixadas pelos métodos tradicionais no sentido de rendimento

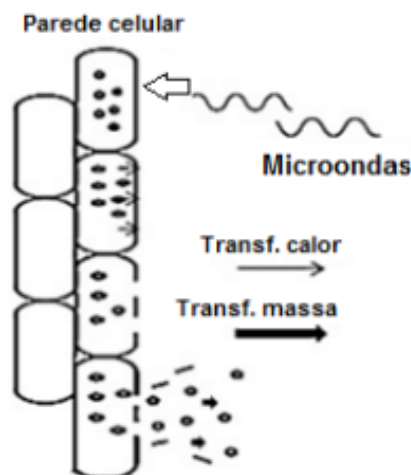
e seletividade. Perdas de compostos voláteis, baixa eficiência de extração, degradação ou insaturação de ésteres através de efeitos térmicos ou hidrolíticos e geração de resíduos tóxicos provenientes dos solventes comumente empregados neste tipo de extração são exemplos dessas brechas (LEMES, 2018).

Os princípios que regem o aquecimento por micro-ondas envolvem conceitos físicos e químicos, como temperatura, ligações químicas, estrutura molecular, momento de dipolo, polarização, capacidade calorífica e constante dielétrica. O aquecimento de um material por micro-ondas ocorre pela interação da onda eletromagnética com o dipolo elétrico das moléculas do material. Uma característica essencial do aquecimento por micro-ondas é a absorção direta da energia pelo próprio material, diferentemente do aquecimento por convecção, no qual a energia é transferida lentamente de fora para dentro (CASSOL, 2018).

As micro-ondas são radiações eletromagnéticas cuja frequência situa-se na faixa de 300 MHz a 300 GHz, correspondentes a comprimentos de ondas de 1 mm a 1 m (RIBEIRO, 2018). As micro-ondas agem sobre as moléculas do material exposto através de dois principais mecanismos: rotação dipolar e condução iônica. Esses processos são responsáveis por aquecer o material, convertendo a energia eletromagnética em calor. A rotação dipolar ocorre quando um campo elétrico é aplicado, fazendo com que as moléculas com momento dipolar se alinhem. Quando essas moléculas retornam ao estado desordenado, a energia absorvida durante o alinhamento é liberada na forma de calor. Esse ciclo de alinhamento e relaxamento das moléculas acontece milhares de vezes por segundo, gerando calor por meio do atrito molecular. Já o mecanismo de condução iônica é causado pelo campo eletromagnético que induz a migração de íons em direção aos polos de sinais opostos. A alternância rápida desses polos, que ocorre milhares de vezes por segundo, provoca colisões entre os íons e moléculas não ionizadas, resultando em calor devido à fricção (LETELLIER; BUDZINSKI, 1999).

Na extração assistida por micro-ondas, a energia eletromagnética é convertida em calor, elevando a temperatura interna das células da matriz. Esse aquecimento provoca a evaporação da umidade presente, resultando em um aumento da pressão interna, rompimento das membranas celulares e liberação do óleo essencial (RIBEIRO, 2018). Esse processo pode ser visto na Figura 8.

Figura 8 – Efeito das micro-ondas sobre matrizes vegetais.



Fonte: RIBEIRO, 2018.

Portanto, a extração por micro-ondas também está se destacando devido ao seu alto rendimento na obtenção de produtos extraídos, além de um tempo de extração reduzido e uma diminuição na quantidade de resíduos gerados. Isso tem levado a uma reavaliação das metodologias de extração convencionais, com um enfoque renovado nas técnicas que utilizam micro-ondas, em consonância com uma crescente preocupação com a sustentabilidade ambiental (TSUKUI; REZENDE, 2014).

2.3.3 Extração assistida por ultrassom

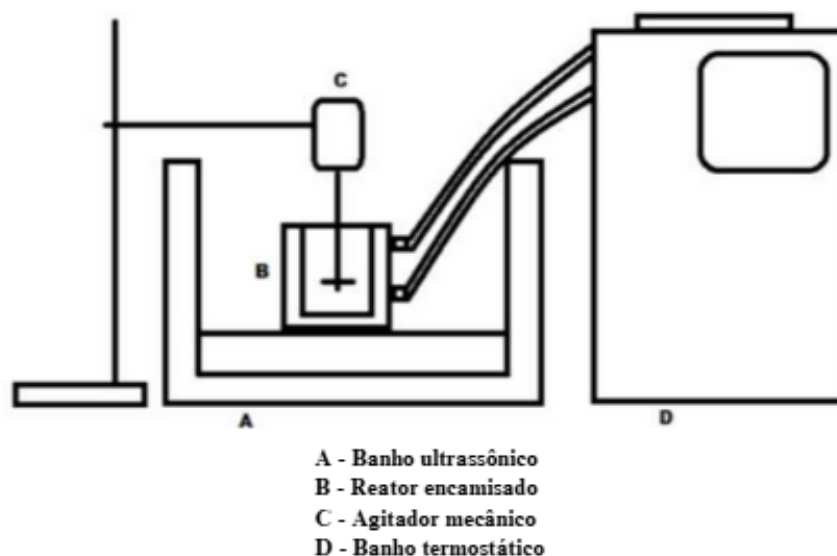
Outra técnica moderna de extração que tem chamado atenção é a extração assistida por ultrassom. Um dos principais motivos disso é que seu uso provoca a "cavitação", um fenômeno caracterizado pela formação, crescimento e colapso de bolhas de gás em um líquido. A sonoquímica se refere à cavitação causada por variações de pressão resultantes das ondas ultrassônicas em um meio líquido. A cavitação gerada por ultrassom é conhecida por produzir efeitos físicos, como correntes líquidas e turbulência, que podem aumentar substancialmente as taxas de transferência de massa e assim aumentar a eficiência no processo de extração (AMARAL et al., 2021).

Além da vantagem promovida pela cavitação, o método de ultrassom tem mostrado resultados promissores, especialmente na indústria farmacêutica, destacando-se pelas vantagens de simplicidade do equipamento, baixo custo inicial e redução no tempo necessário para a execução dos processos (BRUNI et al., 2014).

O processo de extração assistido por ultrassom é geralmente explicado por efeitos mecânicos, cavitação e aquecimento, que podem levar à quebra das paredes celulares, redução das partículas e transferência de massa através das membranas celulares. A implosão das bolhas de cavitação gera micro turbulências, colisões rápidas entre partículas e perturbações nas partículas microporosas da biomassa, acelerando a difusão. Como as bolhas têm espaço limitado para se expandirem, a maioria colapsa de forma desigual, criando fortes correntes de líquido turbulento. A cavitação também provoca erosão na superfície do material e fragmentação das partículas. Dessa forma, o ultrassom facilita a dissolução dos compostos no solvente, aumentando a eficiência da extração em menos tempo, devido à perturbação das paredes celulares (AMARAL et al., 2021).

O aparato para realizar a extração por ultrassom pode ser visto na Figura 9 e inclui um banho ultrassônico (A), um reator encamisado (B) onde fica a amostra alvo da extração, um agitador mecânico (C) e um banho termostático (D).

Figura 9 – Aparato utilizado no processo de extração assistida por ultrassom.



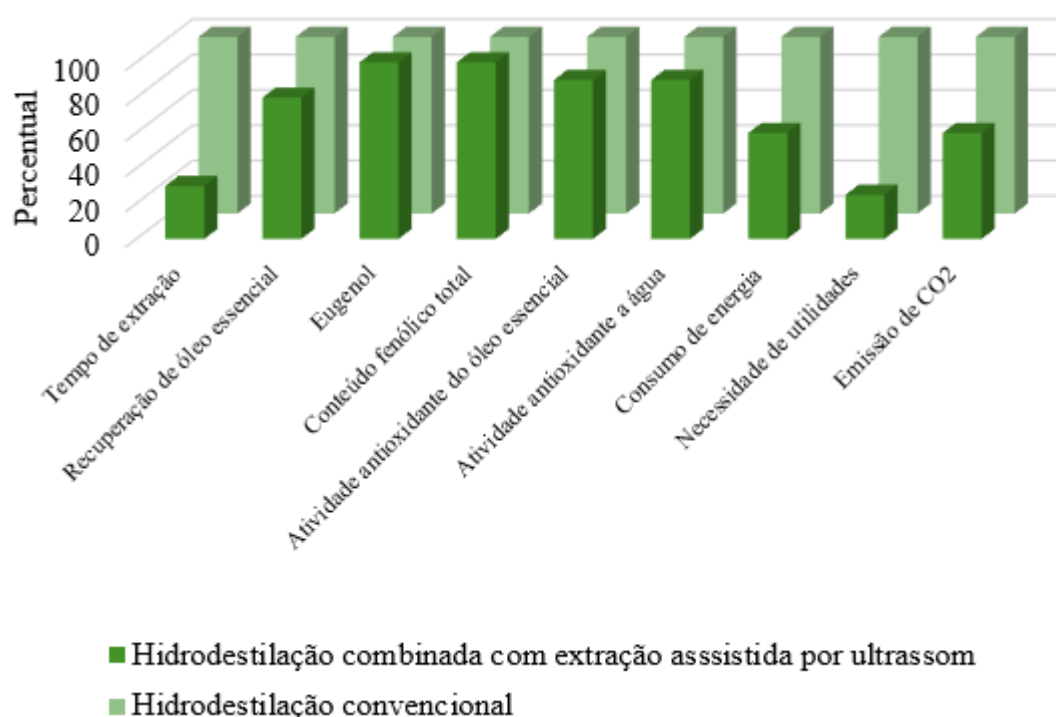
Fonte: Adaptado de AMARAL et al., 2021.

2.3.4 Hidrodestilação combinada com extração assistida por ultrassom

Outra forma de tornar o processo mais rentável e sustentável é utilizar de duas técnicas de extração combinadas. Assim, é possível mesclar as vantagens de cada método e atingir o objetivo principal, que é a retirada de óleo essencial, de forma mais eficiente.

A hidrodestilação combinada com a extração assistida por ultrassom também é uma forma de minimizar impactos ambientais. A razão disso é a comparação com a hidrodestilação convencional, já que fazendo simulações usando cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas, essa obteve valores abaixo da primeira em todas as variáveis de processo analisadas, conforme mostrado na Figura 10, incluindo consumo de energia e emissão de gás carbônico, ou seja, no sentido de diminuir os danos ambientais causados pela extração, a técnica utilizando ultrassom se mostrou bastante eficiente. Além disso, embora o capital investido nesse tipo de extração seja mais alto, é possível haver compensação no que diz respeito a redução do custo operacional e aumento da produtividade, já que o tempo do processo é diminuído praticamente pela metade e os requisitos de utilidades são bem menos expressivos (JADHAV; JADEJA; DESAI, 2023).

Figura 10 – Comparação entre hidrodestilação convencional e hidrodestilação combinada com extração assistida por ultrassom.



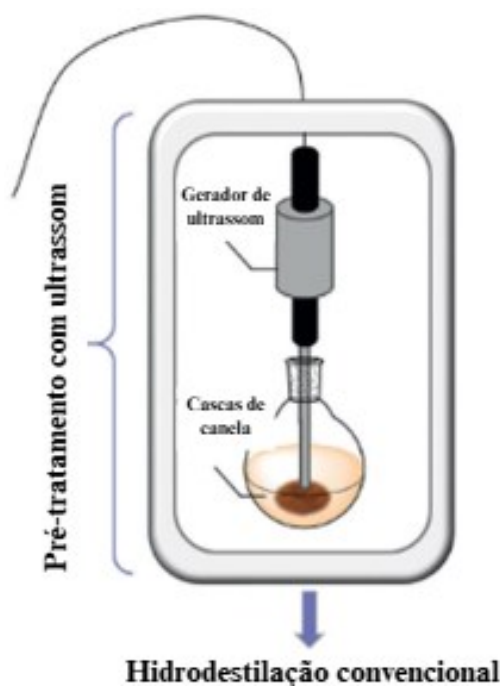
Fonte: Adaptado de JADHAV; JADEJA; DESAI, 2023.

Portanto, JADHAV; JADEJA; DESAI (2023) concluíram que a integração das duas técnicas aprimorou significativamente o processo, reduzindo a emissão de carbono em 25%, diminuindo o consumo de utilidades em cerca de 42% e aumentando o rendimento do óleo. Os resultados deste estudo indicam que a hidrodestilação assistida por ultrassom pode ser uma

opção mais sustentável e ecologicamente responsável em comparação à hidrodestilação convencional.

A combinação dos dois métodos de extração é feita por meio de um pré-tratamento ao qual o vegetal com água é submetido antes de passar pela hidrodestilação. Esse é um tratamento ultrassônico usando um pulverizador de células ultrassônicas em diferentes níveis de potência por diferentes tempos. Após isso, a mistura resultante é imediatamente submetida à hidrodestilação para a extração do óleo essencial, conforme pode ser visto na Figura 11, na qual é apresentado o processo de extração do óleo essencial de cascas de canela por meio da hidrodestilação combinada com extração assistida por ultrassom (CHEN et al., 2021).

Figura 11 – Processo de extração do óleo essencial de cascas de canela por meio da hidrodestilação combinada com extração assistida por ultrassom.



Fonte: Adaptado de CHEN et al., 2021.

Em seu estudo dos efeitos da extração verde assistida por ultrassom como pré-tratamento da obtenção do óleo essencial e hidrolato de aroeira vermelha, Oliveira et al. (2022) concluíram que a extração assistida por ultrassom combinada com hidrodestilação, considerada uma técnica de extração verde, na qual o impacto ambiental é reduzido e a eficiência na obtenção de compostos valiosos de fontes naturais é aumentada, mostrou-se eficaz em aumentar o rendimento de óleo essencial e no aproveitamento dos coprodutos. Isso contribui para o

desenvolvimento de estratégias sustentáveis e abre espaço para que novos estudos sejam explorados.

2.4 Análise química dos óleos essenciais

Os óleos essenciais depois de serem extraídos geralmente passam por testes que irão identificar o grau de pureza, os componentes presentes, a atividade antioxidante, dentre várias outras propriedades que são indicadores de uma boa ou ruim extração. Esses testes são análises químicas que usualmente são feitas em laboratório com amostras específicas. O principal método utilizado é a cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas.

A cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS) é amplamente utilizada para identificar compostos voláteis em plantas, devido à sua elevada capacidade de separação, associada a detectores, hardware e software adequados para diversas aplicações. No entanto, em amostras mais complexas, pode ocorrer a coeluição de substâncias, o que torna o processo de detecção, identificação e quantificação desses compostos mais difícil (ALMEIDA, 2020).

O processo acontece com a amostra diluída do óleo essencial sendo injetado diretamente no cromatógrafo, sem qualquer pré-tratamento, o que evita possíveis alterações na composição da amostra ou na estrutura de seus constituintes. No entanto, as mudanças causadas pela temperatura da análise, que podem impactar os componentes termossensíveis, não são eliminadas. Dentro do cromatógrafo, os componentes do óleo essencial são separados e, em seguida, enviados para o espectrômetro de massas, onde o espectro correspondente de cada substância separada é registrado. A identificação dos constituintes do óleo essencial é feita comparando os padrões de fragmentação e calibração observados nos espectros de massas com os dados disponíveis em bibliotecas de espectros (STEFFENS, 2010). O equipamento onde ocorre esse processo pode ser observado na Figura 12.

Figura 12 – Equipamento GC-MS.



Fonte: STEFFENS, 2010.

Portanto, a cromatografia gasosa acoplada ao espectrômetro de massas possibilita, em uma única operação, realizar uma análise qualitativa, além de fornecer uma indicação das proporções dos componentes presentes. Quando se tem acesso a substâncias padrão, a calibração do equipamento permite uma análise quantitativa precisa da amostra (STEFFENS, 2010).

2.5 Fatores que influenciam a extração e a qualidade do óleo

Como fatores que afetam o processo de extração, há quatro principais: condições de temperatura e pressão, solvente escolhido, tipo de material vegetal e seu manejo anterior à extração. Todos eles vão determinar a qualidade do produto extraído, o tempo de extração e o impacto ambiental.

De acordo com os princípios da Química Verde, a utilização de energia pelos processos químicos deve ser minimizada, então, se possível eles devem ser conduzidos a temperatura e pressão ambientes (TSUKUI; REZENDE, 2014). Porém para obtenção de maiores eficiências, alguns processos utilizam gradientes de temperatura que não proporcionem grandes efeitos.

Em alguns métodos de extração, o solvente pode ser determinante em relação a qualidade do produto e eficiência da extração. A escolha do tipo de solvente afeta consideravelmente a pureza e segurança do produto final, por isso é necessário analisar a substância extratora (que deve ser usada inócua) antes de utilizá-la a fim de garantir que esteja gerando um produto limpo (TSUKUI; REZENDE, 2014).

Além das condições e características da extração, a composição química do material vegetal também é um fator importante quando se fala em extração de óleos, já que a forma como o óleo é produzido e onde está localizado na planta podem determinar a técnica de extração a ser utilizada. Além disso, a morfologia também entra como influenciador relacionado à essas questões.

Juntamente com o tipo de material vegetal, o rendimento e a composição dos óleos essenciais são influenciados por diversos fatores abióticos, como temperatura, luminosidade, sazonalidade, estágio de desenvolvimento da planta, horário de coleta, água e nutrição, além dos processos de colheita e pós-colheita. A temperatura e a luz afetam diretamente o crescimento da planta e a evolução dos tricomas glandulares, responsáveis pela produção de óleos essenciais. A sazonalidade e a idade da planta também influenciam a quantidade e a proporção de metabólitos secundários. Além disso, o horário da coleta interfere na concentração dos óleos, e a nutrição adequada é crucial para a produção dessas substâncias. Durante a colheita e o pós-colheita, ocorrem mudanças na composição dos óleos, o que representa um desafio para garantir a padronização exigida pelo mercado (MORAIS, 2009b).

2.6 Desafios e limitações

A sustentabilidade e segurança são os principais pilares das boas práticas que devem ser seguidos a risca, apesar de que muitas vezes podem ser deixados de lado com o objetivo de melhorar os resultados do processo. Dessa forma, a fiscalização é importante para evitar acidentes e danos no ecossistema.

Além da problemática ambiental, também há as questões relacionadas aos fatores de influência na extração apresentados e também a dificuldade de realizar um processo diminuindo ao máximo a demanda por energia. Nesse sentido, também pode-se citar como limitação o custo de extração, englobando aquisição dos equipamentos e operação.

Portanto, é possível perceber a grande importância da extração de óleos essenciais para a sociedade como um todo, em especial quando se fala em medicamentos para amenizar sintomas de várias doenças. Logo, torna-se indispensável o estudo de técnicas de obtenção desses óleos que estejam em conformidade com o meio ambiente.

3 ESTUDOS DE CASO: TÉCNICAS DE EXTRAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE HORTELÃ-PIMENTA

3.1 Características botânicas e químicas da planta de hortelã-pimenta

3.1.1 Descrição botânica da planta

A hortelã-pimenta, cujo termo em latim é *Mentha piperita* e em inglês é *peppermint*, é uma planta medicinal da família Lamiaceae, nativa da Europa e do Oriente Médio. É amplamente cultivada em diversas regiões do mundo devido à sua relevância econômica. Trata-se de uma planta herbácea resultante da hibridação entre as espécies *Mentha spicata*, *Mentha aquática*, *Mentha longifolia* e *Mentha rotundifolia* (SOUZA et al., 2021).

O gênero *Mentha*, o qual inclui a planta hortelã-pimenta, engloba uma vegetação herbácea e perene com altura variável entre 20 e 70 cm de acordo com o material genético e condições de manejo. Além disso, apresentam folhas opostas e ovaladas com margens serrilhadas, flores hermafroditas e caules subterrâneos (rizomas). A planta de hortelã-pimenta, em específico, suporta baixas temperaturas, possui folhas pecioladas e pubescentes, com flores de coloração lilás ou branca, reunidas em espigas nas axilas das folhas, além de se adaptar bem ao clima tropical (GASPARIN, 2012). Na Figura 13 pode-se observar plantas adultas de hortelã-pimenta.

Figura 13 – Plantas de hortelã-pimenta adultas.

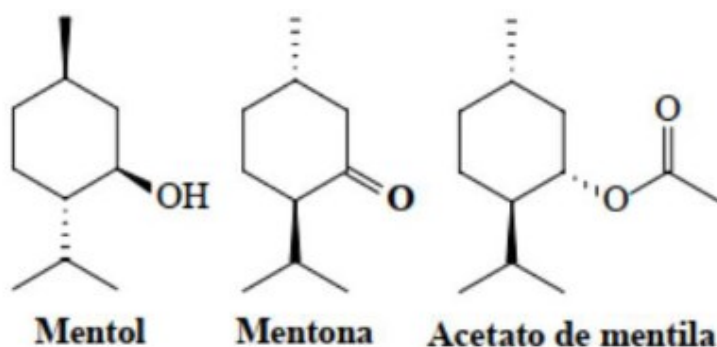


Fonte: GASPARIN, 2012.

3.1.2 Principais componentes químicos do óleo essencial de hortelã-pimenta

O óleo essencial de hortelã-pimenta (*peppermint* em inglês) é um dos mais amplamente produzidos e consumidos globalmente e possui uma grande diversidade fitoquímica, podendo ser caracterizada pela presença de mentol, mentona, acetato de mentila (monoterpenos), cujas estruturas químicas podem ser vistas na Figura 14, além de proporções de 1,8-cineol e mentofurano e seus isômeros. Dentre esses, os seus principais componentes são o mentol e a mentona, conhecidos por suas propriedades antimicrobianas, embora o mecanismo de ação desses compostos ainda não seja totalmente compreendido (RODRIGUES, 2024).

Figura 14 - Estrutura dos monoterpenos do óleo essencial de hortelã-pimenta.



Fonte: MELO et al., 2024.

Devido ao óleo de hortelã-pimenta ser rico em metabólitos secundários, como o mentol, ele possui um perfil aromático e propriedades terapêuticas. No entanto, o óleo essencial também contém mentofurano e pulegona, que são componentes indesejáveis devido ao seu potencial hepatotóxico. Assim, é fundamental garantir um alto teor de mentol e baixos níveis de mentofurano e pulegona para melhorar a qualidade do óleo de hortelã-pimenta, o que pode ser feito por meio da sua extração (MELO et al., 2024).

3.2 Propriedades e aplicações do óleo essencial de hortelã-pimenta

O óleo de hortelã-pimenta tem sido utilizado como carminativo desde tempos remotos. Estudos mostram que os componentes do óleo essencial agem como antagonistas dos canais de cálcio no músculo liso, levando ao seu relaxamento. Como a dor abdominal na Síndrome do Intestino Irritável está fortemente associada ao espasmo desse músculo no trato gastrointestinal,

o óleo pode ajudar no alívio dos sintomas. Porém, como fator negativo, devido à rápida absorção do óleo pelo intestino, podem acontecer efeitos colaterais como eructações, irritação e dor na região epigástrica (KHOURI et al., 2021).

Ainda na medicina, além dos benefícios intestinais do uso do óleo de hortelã-pimenta, também há relatos de curandeiros no Paquistão que o utilizaram no tratamento de problemas respiratórios como tosse, gripe e dor de garganta, além de dores musculares, dor nos nervos e coceira. Para isso, foram aproveitadas as folhas, flores e caule no preparo de sucos, infusões e extratos (SOUZA et al., 2021)

Na medicina moderna, o uso de alta concentração do extrato de hortelã-pimenta em testes *in vitro* contra células de carcinoma de mama e melanoma não foi eficaz em retardar a propagação dessas células para tecidos vizinhos, mas em um ensaio clínico randomizado com pacientes em tratamento quimioterápico para câncer de mama, verificou-se que a ingestão do extrato ajudou a reduzir a gravidade de sintomas como náuseas, vômitos e perda de apetite (SOUZA et al., 2021).

O estudo de Rodrigues (2024) mostrou que espécies fúngicas que afetam a saúde humana e a agricultura podem ser controladas com o uso do óleo essencial de hortelã-pimenta. Devido ao seu potencial para inibir a esporulação e o crescimento micelial de várias espécies de fungos, esse óleo se destaca como uma alternativa promissora para a produção de fungicidas botânicos, substituindo os produtos químicos sintéticos atualmente usados no controle de fungos.

Para além dessas aplicações, os componentes mentol e a mentona presentes no óleo essencial de hortelã-pimenta são neuroativos, facilitando a eliminação da fadiga mental. Ademais, graças aos seus componentes ativos, o óleo pode ajudar a reduzir o estresse oxidativo e a inflamação causados por exercícios físicos, aliviando assim a fadiga induzida pelo esforço físico e melhorando o desempenho durante a atividade (ZHANG et al., 2023).

Depois de extraído e para ser utilizado pelo ser humano, o óleo deve ser implantado junto com outras substâncias ou até mesmo puro. Existem várias formas de se realizar isso, como em medicamentos, soros, alimentos, cosméticos, dentre outros. Ultimamente, a aromaterapia está em alta e promete ser uma forma promissora e fácil, no sentido burocrático, de levar os óleos até as pessoas. Portanto, para que isso seja possível a extração é essencial já que é o início de toda cadeia, logo estudos sobre esse processo são muito importantes.

3.3 Comparação de diferentes técnicas para extração do óleo essencial de hortelã-pimenta

Dentre os métodos mais estudados para extração do óleo essencial de hortelã-pimenta, a hidrodestilação se destaca, já que é conhecida como a técnica tradicional de extração de óleos das plantas. Em virtude disso, esse trabalho abordará a comparação desse sistema com outros (hidrodestilação ôhmica, extração por solvente; extração por fluido supercrítico; extração por microondas), no que diz respeito às variáveis de processo estudadas experimentalmente por autores da literatura.

A dinâmica da hidrodestilação, como dito anteriormente consiste em expor o material vegetal à água fervente, permitindo que o vapor quebre as paredes celulares e provoque a evaporação do óleo contido entre as células da planta. Uma ramificação desse tipo de extração é a hidrodestilação ôhmica. Essa tecnologia emergente utiliza o aquecimento ôhmico para gerar calor rapidamente dentro dos materiais focos de extração do óleo, de acordo com sua condutividade elétrica. Como resultado, ocorre uma ruptura celular mais rápida e eficiente, além de uma taxa de aquecimento mais elevada, o que reduz o tempo necessário para o processo (GAVAHIAN et al., 2015b).

Em seu trabalho, Gavahian et al. (2015a), confrontou resultados obtidos em experimento utilizando a planta de hortelã-pimenta como objeto de extração. A hidrodestilação convencional normal (usando água destilada) e a hidrodestilação ôhmica foram avaliadas. O material vegetal utilizado foi tratado anteriormente e submetido às extrações. Para todas as técnicas foram usados 30 gramas de parte aérea de hortelã-pimenta seca e 0,5 litros de água, que foram aquecidos no frasco do aparelho (destilador ôhmico) por até 2 horas a partir da temperatura inicial de 27 ± 1 °C. Além disso, o processo de extração continuou até que mais nenhum óleo essencial fosse obtido. Na hidrodestilação ôhmica, a água salgada foi usada e durante os primeiros 12 min, a quantidade de óleos essenciais coletados foi registrada em intervalos de 1 min. Após os primeiros 12 min de extração, o registro da quantidade de óleos essenciais continuou em intervalos de 5 min até 1 h e depois em intervalos de 15 min. Para remover a água, os óleos essenciais extraídos foram então secos sobre sulfato de sódio anidro e armazenados em frascos âmbar a 4 °C para experimentos posteriores. Já na hidrodestilação normal, foi usada água destilada e durante a primeira 1 h os óleos essenciais coletados foram decantados do condensado em intervalos de 2,5 min seguidos pela decantação dos óleos essenciais a cada 30 min.

Outro estudo utilizando a hidrodestilação normal e ôhmica para extração do óleo de hortelã-pimenta foi feito por Gavahian et al. (2015b), porém desta vez, além da hidrodestilação convencional normal e a hidrodestilação ôhmica, também foi avaliada a extração por microondas. As condições do experimento foram iguais às do trabalho anterior.

Para uma melhor observação e para fins de comparação, foram escolhidas três variáveis dentre as várias abordadas no trabalho de Gavahian et al. (2015b), as quais são de extrema importância nos experimentos porque retratam a relação da extração com sua eficiência e com os impactos ambientais. A Tabela 1 apresenta os resultados das variáveis utilizando as três técnicas de extração do óleo essencial de hortelã-pimenta estudados.

Tabela 1 – Resultados das variáveis utilizando três técnicas para extração do óleo essencial de hortelã-pimenta.

	Hidrodestilação convencional (normal)	Hidrodestilação ôhmica	Extração por Microondas
Equipamento utilizado	Aquecedor de laboratório e aparato de destilação	Destilador ôhmico usando uma tensão de 220 V e frequência 50 Hz	Forno microondas doméstico adaptado
Tempo de extração	55,88 ± 3,30 minutos	19,71 ± 2,58 minutos	16,50 ± 1,01 minutos
Consumo de energia	0,689 ± 0,081 kWh por mililitro de óleo essencial	0,135 ± 0,011 kWh por mililitro de óleo essencial	0,212 ± 0,020 kWh por mililitro de óleo essencial
Taxa de acúmulo de óleo essencial	0,048 ± 0,006 mililitro por minuto	0,061 ± 0,015 mililitro por minuto	0,106 ± 0,013 mililitro por minuto

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados de GAVAHIAN et al. (2015b).

Ao observar os dados apresentados, é possível notar que a hidrodestilação convencional apresentou os piores resultados para as variáveis. A hidrodestilação ôhmica proporcionou uma redução no tempo de extração e uma economia significativa de energia em comparação com os outros dois métodos. Apesar de a extração por microondas obter uma taxa de acúmulo de óleo essencial maior, a hidrodestilação ôhmica possui mais vantagens que fazem dessa técnica uma

excelente alternativa para a extração de óleos essenciais, já que pode ser considerada mais ecologicamente correta, principalmente devido ao seu consumo de energia significativamente menor (GAVAHIAN et al., 2015b).

Abbas et al. (2024), avaliou o potencial nutracêutico do óleo essencial de hortelã-pimenta por meio da cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas após extração com fluido supercrítico (CO₂) e hidrodestilação convencional. No processo de extração, o rendimento obtido na hidrodestilação foi de 0,20% e com fluido supercrítico foi de 0,13%. Muitas outras variáveis foram analisadas a fim de chegar ao objetivo final. Dentre elas há o potencial de inibição de radicais livre, a atividade antimicrobiana e hemolítica e a inibição por biofilme. Em todas essas, a extração com fluido supercrítico obteve resultados superiores à hidrodestilação. Ademais, foram feitas também análises químicas para identificar os componentes do óleo extraído e análises físicas, nas quais não houve diferença significativa nos parâmetros como solubilidades, cor, densidade e índice de refração. Portanto, ainda que a hidrodestilação obteve maior rendimento, os outros resultados mostraram que a extração com fluido supercrítico foi mais eficaz na recuperação de óleo essencial de alta qualidade. O óleo essencial de hortelã-pimenta extraído via fluido supercrítico, devido aos seus potentes componentes bioativos, apresenta-se como um candidato promissor para o desenvolvimento de nutracêuticos.

A extração por solvente também é um método muito usada para extrair óleos essenciais de plantas. A família de misturas eutéticas formada por substâncias naturais que desempenham um papel biológico em organismos vivos é conhecida como "solventes eutéticos profundos naturais" ou NADES (*natural deep eutectic solvents*). Esse tipo de solvente tem capacidade de alterar os componentes e suas proporções molares, e por isso podem ser usados em extrações como solventes altamente eficientes e feitos sob medida (JURIĆ et al., 2021).

Em seu estudo sobre o conteúdo fenólico, a atividade antioxidante e antibacteriana *in vitro* de extratos de hortelã-pimenta, Jurić et al. (2021), usou os NADES como forma de extração do óleo de hortelã-pimenta. Os resultados foram surpreendentes, já que esse tipo de solvente extraiu quantidades significativamente maiores de fenóis da hortelã-pimenta do que o etanol 70%. Dessa forma, os NADES podem ser valiosos para o isolamento de compostos fenólicos de fontes vegetais e devem ser vistos como solventes inovadores, sustentáveis e econômicos, com ampla gama de aplicações.

Ao comparar os conceitos teóricos e dados apresentados das técnicas de extração do óleo essencial de hortelã-pimenta, pode-se perceber que a hidrodestilação é considerada inferior

ao comparada com as técnicas mais modernas em termos técnicos de extração. Porém, surge a necessidade de avaliar o custo de capital associado a esses processos mais avançados para determinar, com precisão, se eles oferecem vantagens compensatórias reais.

Desse modo, conclui-se que a qualidade e a quantidade do óleo extraído da hortelã-pimenta são afetadas significativamente pelo método de extração, o que revela a grande importância industrial no sentido de produtos bem feitos.

4 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

4.1 Conclusões

A partir da revisão bibliográfica observou-se a importância de estudos referentes aos óleos essenciais, tanto no sentido de sua extração quanto em relação aos seus componentes e aplicações, já que a indústria atual necessita deles para o desenvolvimento de produtos indispensáveis para as pessoas. Os campos da medicina, cosmetologia e agricultura são os principais focos de ação desses produtos, cuja fonte inicial é a natureza (plantas).

Em relação à extração, foi possível perceber a grande quantidade de métodos que podem ser utilizados, os quais possuem vantagens e desvantagens que devem ser avaliadas em cada situação de aplicação. Além disso, a questão ambiental possui destaque fundamental na escolha de qual técnica adotar. Nesse contexto, surgiram várias formas de extrair o óleo essencial dos vegetais, desde as convencionais, como destilação, prensagem e solventes, até as modernas que visam menos impacto no meio ambiente e maior rendimento e qualidade, como extrações usando fluido supercrítico, microondas, ultrassom, e até mesmo, a combinação de técnicas, tal qual a hidrodestilação combinada com extração assistida por ultrassom.

A análise química dos óleos essenciais é feita após o processo de extração e utiliza de técnicas, como por exemplo a cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas, que refletem todos os fatores que podem influenciar positivamente ou negativamente a qualidade do óleo. Condições de temperatura e pressão, o manejo e colheita do vegetal são exemplos disso. Ademais, desafios e limitações estão presentes, principalmente a busca por soluções sustentáveis e econômicas.

A partir do estudo de caso nota-se de forma mais específica a aplicação dos óleos essenciais. Doenças crônicas como a Síndrome do Intestino Irritável podem ter seus sintomas aliviados pelo óleo essencial extraído de hortelã-pimenta. Dessa forma, a comparação de técnicas de extração revelou a visibilidade positiva das técnicas modernas em virtude do seu bom desempenho ao analisar as variáveis do processo, em detrimento da técnica de hidrodestilação convencional.

Portanto, o trabalho foi útil para obter uma visão geral em torno da obtenção dos óleos essenciais e despertar o interesse em pesquisas futuras nessa área.

4.2 Sugestões para trabalhos futuros

Com o intuito de avaliar se as técnicas modernas são mais aplicáveis em relação às convencionais, sugere-se:

- O estudo do custo de capital de implementação de técnicas atuais no processo de extração de óleos essenciais;
- Estudo experimental das novas técnicas de extração.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, A. et al. **GC-MS analysis and nutra-pharmaceutical potential of *Mentha piperita* essential oil extracted by supercritical fluid extraction and hydro-distillation.** Heliyon, v. 10, n. 16, 2024.
- ALMEIDA, J. M. **Análise do óleo essencial de variedades de lúpulo (*Humulus lupulus* L.) cultivadas no Brasil por cromatografia gasosa uni e bidimensional.** Dissertação de mestrado – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", 2020.
- AMARAL, R. A. G. et al. **Experimental design for ultrasound-assisted extraction of *Schinus terebinthifolius*.** Research, Society and Development, v. 10, n. 3, 14 mar. 2021.
- BASER, K; BUCHBAUER, G. **Handbook of essential oils: Science, Technology, and Spplications.** CRC press, 2009.
- BIZZO, H. R.; HOVELL, A. M. C.; REZENDE, C. M. **Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas.** Química nova, v. 32, p. 588-594, 2009.
- BRUNI, G. P. et al. **Estudo do método de ultrassom para a extração de óleo de sementes de uva provenientes de rejeitos do processo vinícola.** XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Universidade Federal do Pampa. 2014.
- BUSATO, N. V. et al. **Modeling strategies for essential oil extraction by hydrodistillation and steam distillation.** Ciencia Rural, v. 44, n. 9, p. 1574–1582, 1 set. 2014.
- CARNEIRO, T. S. **Compostos fenólicos em cascas, sementes e óleo da pimenta rosa obtido por prensagem a frio: estudo da bioacessibilidade da casca.** 2022. Disponível em: <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/16216/2/TUANIA_SOARES_CARNEIRO.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2024.

CASSOL, L. **Extração de compostos bioativos do hibisco (*Hibiscus sabdariffa* L.) por micro-ondas e seu encapsulamento por atomização e liofilização**. Dissertação de mestrado - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018.

CHEN, G. et al. **Enhanced extraction of essential oil from *Cinnamomum cassia* bark by ultrasound assisted hydrodistillation**. Chinese Journal of Chemical Engineering, v. 36, p. 38–46, 1 ago. 2021.

GASPARIN, P. P. et al. **Secagem da *Mentha piperita* em leito fixo utilizando diferentes temperaturas e velocidades de ar**. Dissertação de mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2012.

GAVAHIAN, M. et al. **Effect of applied voltage and frequency on extraction parameters and extracted essential oils from *Mentha piperita* by ohmic assisted hydrodistillation**. Innovative Food Science and Emerging Technologies, v. 29, p. 161–169, 1 maio 2015a.

GAVAHIAN, M. et al. **Extraction of essential oils from *Mentha piperita* using advanced techniques: Microwave versus ohmic assisted hydrodistillation**. Food and Bioproducts Processing, v. 94, p. 50–58, 1 maio 2015b.

JADHAV, J. J.; JADEJA, G. C.; DESAI, M. A. **Ultrasound-assisted hydrodistillation for extraction of essential oil from clove buds – A step towards process improvement and sustainable outcome**. Chemical Engineering and Processing - Process Intensification, v. 189, 1 jul. 2023.

JURIĆ, T. et al. **The evaluation of phenolic content, in vitro antioxidant and antibacterial activity of *Mentha piperita* extracts obtained by natural deep eutectic solvents**. Food Chemistry, v. 362, 15 nov. 2021.

KHOURI, A. G. et al. **Utilização de *Mentha piperita* para o tratamento da síndrome do intestino irritável (SII): Revisão narrativa**. Referências em Saúde do Centro Universitário Estácio de Goiás, v. 4, n. 02, p. 35-39, 2021.

LEMES, M. R. **Extração do óleo de gergelim**. Trabalho de Conclusão de Curso - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, 2018.

LETELLIER, M.; BUDZINSKI, H. **Microwave assisted extraction of organic compounds**. *Analisis*, v. 27, n. 3, p. 259–271, 1999.

MARANGONI, C.; MOURA, N. F.; GARCIA, F. R. M. **Utilização de óleos essenciais e extratos de plantas no controle de insetos**. *Revista de ciências ambientais*, v. 6, n. 2, p. 92-112, 2012.

MARCOLINA, M. **Óleos essenciais: estudo de extração e atividade antimicrobiana**. Trabalho de Conclusão de Curso - Departamento de Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2021.

MELO, W. F. et al. **Composição química e principais aplicações do óleo essencial da *Mentha piperita*: uma revisão de literatura**. *Caderno Pedagógico*, v. 21, n. 7, p. 01-17, 2024.

MORAIS, L. **Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais**. *Horticultura Brasileira*, Brasília, DF, v. 27, n. 2, p. S3299-S3302, ago. 2009a.

MORAIS, L. **Óleos Essenciais no Controle Fitossanitário**. Embrapa Meio Ambiente, Capítulo 9, p. 139-152, 2009b.

OLIVEIRA, F. A. G. M. et al. Efeitos da extração verde assistida por ultrassom como pré-tratamento na obtenção do óleo essencial e hidrolato de aroeira vermelha (*Schinus terebinthifolius raddi*). **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 11, p. 159-174, 2022.

OLIVEIRA, M. T. **Extração de compostos bioativos a partir de resíduo de molho de soja com dióxido de carbono em condições supercríticas**. Dissertação de mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, 27 fev. 2023.

OLIVEIRA, R. A. et al. **Estudo da interferência de óleos essenciais sobre a atividade de alguns antibióticos usados na clínica**. Revista Brasileira de Farmacognosia, v. 16, p. 77-82, 2006.

PEREIRA, H. K. M. **Estudo anatômico e histoquímico do caule e das folhas de *Jasminum azoricum* L. (Oleaceae)**. Trabalho de Conclusão de Curso - Departamento de Ciências Farmacêuticas, Universidade Federal do Pernambuco, 2022.

PIRES, V. P. **Processo de extração de óleo essencial de *Achyrocline satureioides* (LAM) DC. por arraste a vapor: modelagem, análise do potencial aromático e retificação de compostos**. Dissertação de Mestrado - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2017.

RIBEIRO, L. G. **Extração assistida por micro-ondas de óleo essencial de folhas de eucalipto (*Eucalyptus Urophylla* X *Globulus*)**. Dissertação de mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018.

RODRIGUES, A. R. S. P. **Atividade antifúngica do óleo essencial de *Mentha piperita* (Lamiaceae: Labiatae)–uma revisão**. Conexão Ciência (Online), v. 19, n. 2, p. 103-114, 2024.

RODRIGUES, D. W.; OLIVEIRA, J. A. S. **Óleos essenciais de *Piper* L.(Piperaceae) e sua aplicação biotecnológica na agricultura: uma revisão da literatura**. Arquivos do Mundi, v. 25, n. 2, p. 100-110, 2021.

SILVA, C. B. et al. **A importância da ação antioxidante de óleos essenciais em benefício da saúde**. Diversitas Journal, v. 2, n. 1, p. 52-55, 30 abr. 2017.

SILVEIRA, J. C. et al. **Levantamento e análise de métodos de extração de óleos essenciais**. Enciclopédia Biosfera, v. 8, n. 15, 2012.

SOUZA, M. V. C. et al. **Propriedades fitoquímicas, uso terapêutico e toxicidade da *Mentha piperita***. Revista de Casos e Consultoria, v. 12, n. 1, e27028, 2021.

STEFFENS, A. H. **Estudo da composição química dos óleos essenciais obtidos por destilação por arraste a vapor em escala laboratorial e industrial.** Dissertação de Mestrado - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2010.

TRANCOSO, M. D. **Projeto Óleos Essenciais: extração, importância e aplicações no cotidiano.** Revista Práxis, v. 5, n. 9, 2013.

TSUKUI, A.; REZENDE, C. M. **Microwave assisted extraction and green chemistry.** Revista Virtual de Química, v. 6, n. 6, p. 1713–1725, 1 nov. 2014.

ZHANG, W. et al. Repeated Inhalation of Peppermint Essential Oil Improves Exercise Performance in Endurance-Trained Rats. **Nutrients**, v. 15, n. 11, 1 jun. 2023.