

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

**LUCAS MALDONADO POSSO
MATHEUS GALHARDO ALBORGHETTI**

**COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE EXTRAÇÃO SÓLIDO-LÍQUIDO NA
OBTENÇÃO DE COMPOSTOS ANTIOXIDANTES DE FOLHAS DE COENTRO
(*Coriandrum sativum L.*)**

POÇOS DE CALDAS/MG

2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

**LUCAS MALDONADO POSSO
MATHEUS GALHARDO ALBORGHETTI**

**COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE EXTRAÇÃO SÓLIDO-LÍQUIDO NA
OBTENÇÃO DE COMPOSTOS ANTIOXIDANTES DE FOLHAS DE COENTRO
(*Coriandrum sativum L.*)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia pelo Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas.

Orientadora: Prof. Dr. Alessandra Regina Pepe Ambrozin

POÇOS DE CALDAS/MG

2025

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Campus Poços de Caldas

Posso, Lucas Maldonado.

Comparação de métodos de extração sólido-líquido na obtenção de compostos antioxidantes das folhas de coentro (*Coriandrum sativum L.*) / Lucas Maldonado Posso, Matheus Galhardo Alborghetti. - Poços de Caldas, MG, 2025.

47 f. : il. -

Orientador(a): Alessandra Regina Pepe Ambrozim.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2025.

Bibliografia.

1. *Coriandrum sativum L.* 2. Extração sólido-líquido. 3. Rendimento. 4. Antioxidantes. 5. Soxhlet. I. Alborghetti, Matheus Galhardo . II. Ambrozim, Alessandra Regina Pepe, orient. III. Título.

Ficha gerada automaticamente com dados fornecidos pelo autor.

LUCAS MALDONADO POSSO
MATHEUS GALHARDO ALBORGHETTI

**COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE EXTRAÇÃO SÓLIDO-LÍQUIDO NA
OBTENÇÃO DE COMPOSTOS ANTIOXIDANTES DE FOLHAS DE COENTRO**
(Coriandrum sativum L.)

A presidente da banca examinadora abaixo assina a aprovação do Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia pelo Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas.
Orientadora: Prof. Dr. Alessandra Regina Pepe Ambrozin

Aprovados em: 04 de dezembro de 2025

Profa. Dra. Alessandra Regina Pepe Ambrozin Assinatura:
Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL MG)

Profa. Dra. Maurielen Guterres Dalcin Assinatura:
Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL MG)

Profa. Dra. Tânia Regina Giraldi Andrade Assinatura:
Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL MG)

AGRADECIMENTOS

À orientadora Dra. Alessandra Regina Pepe Ambrozin, pelo apoio, orientação e incentivo ao longo de todo o processo.

À nossa família pelo incentivo e estrutura fornecida ao longo do processo.

Aos técnicos do laboratório, pela disponibilidade e colaboração sempre que precisávamos.

E aos nossos amigos que foram parte fundamental da trajetória.

RESUMO

O interesse por antioxidantes naturais tem crescido devido à sua capacidade de neutralizar radicais livres e prevenir processos degenerativos, além de sua aplicação na conservação de alimentos e cosméticos. O coentro (*Coriandrum sativum* L.) destaca-se como fonte promissora de compostos bioativos como ácidos fenólicos, flavonoides e terpenos, presentes tanto nas folhas quanto nas sementes. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de quatro métodos de extração sólido-líquido na obtenção de extratos das folhas de coentro: maceração, infusão, decocção e extração via Soxhlet (10 e 20 ciclos), utilizando etanol absoluto como solvente. Os ensaios foram realizados em triplicata e a eficiência foi determinada pelo rendimento em massa. Os resultados demonstraram que o método contínuo via Soxhlet (10 ciclos) foi o mais eficaz, apresentando o maior rendimento médio (12,52%), seguido pelo ensaio de 20 ciclos do Soxhlet (10,53%) e decocção (8,41%). Já a maceração e a infusão obtiveram os menores rendimentos, com 3,35% e 3,01%, respectivamente, indicando que a ausência de calor (na maceração) ou a falta de renovação do solventes e a possível degradação térmica (na infusão) resultam em menor extração de massa. Observou-se ainda que o prolongamento da extração em Soxhlet para 20 ciclos resultou em queda do rendimento para 10,53%, sugerindo possível saturação na extração ou degradação térmica dos compostos. Conclui-se que a extração via Soxhlet é superior para o rendimento global, porém o tempo de exposição ao calor é uma variável crítica para a eficiência do processo.

Palavras-chave: *Coriandrum sativum* L.; Extração sólido-líquido; Rendimento; Antioxidantes; Soxhlet.

ABSTRACT

The interest in natural antioxidants has increased due to their ability to neutralize free radicals, prevent degenerative processes, and enhance the stability of food and cosmetic products. Coriander (*Coriandrum sativum* L.) stands out as a promising source of bioactive compounds such as phenolic acids, flavonoids, and terpenes, present in both its leaves and seeds. This study aimed to evaluate the efficiency of four solid–liquid extraction methods applied to coriander leaves: maceration, infusion, decoction, and Soxhlet extraction (10 and 20 cycles), using absolute ethanol as the solvent. All experiments were performed in triplicate, and efficiency was determined based on extraction yield. The results showed that continuous extraction using Soxhlet (10 cycles) was the most efficient method, achieving the highest average yield (12.52%), followed by Soxhlet with 20 cycles (10.53%) and decoction (8.41%). Maceration and infusion resulted in the lowest yields, 3.35% and 3.01%, respectively, indicating that the absence of heating (in maceration) or the limited solvent renewal and potential thermal degradation (in infusion) reduced the extraction efficiency. A decrease in yield was also observed when extending Soxhlet extraction to 20 cycles, suggesting possible saturation of the extraction process or thermal degradation of compounds. Overall, Soxhlet extraction proved superior in terms of mass yield; however, heat exposure time is a critical factor influencing process efficiency.

Keywords: *Coriandrum sativum*; Solid–liquid extraction; Yield; Antioxidants; Soxhlet.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Fotografia 1 — Produção de coentro (variedade verdão) em Chã Grande PE.....	11
Fotografia 2 — Foto aproximada do coentro mostrando suas flores.....	12
Figura 1 — Estruturas do (a) linalol, (b) rutina e (c) geraniol.....	13
Figura 2 — Estruturas dos ácidos: (a) cafeico, (b) cinâmico, (c) ferúlico, (d) p-cumárico, (e) protocatecuico, (f) cianidina-3-glucosido, (g) clorogênico e (h) quínico.....	16
Figura 3 — Representação esquemática do extrator Soxhlet.....	23
Fotografia 3 — Amostra de coentro fresco.....	24
Fotografia 4 — Estufa com circulação de ar.....	25
Fotografia 5 — Amostra de coentro seco.....	26
Fotografia 6 — Coentro macerado e balança analítica.....	26
Fotografia 7 — Sistema de rotaevaporação.....	27
Fotografia 8 — Montagem utilizada para extração Soxhlet.....	29
Fotografia 9 — Amostra sob agitação magnética.....	31
Fotografia 10 — Montagem utilizada para decocção.....	34
Fotografia 11 — Extrato obtido através de rotaevaporação.....	35
Tabela 1 — Medidas obtidas em laboratório.....	37
Fotografia 12: Extratos secos utilizados para cálculo dos rendimentos: (a) Soxhlet 10 ciclos, (b) Soxhlet 20 ciclos, (c) maceração, (d) infusão e (e) decocção.....	38
Tabela 2 — Resultados dos rendimentos obtidos por diferentes métodos para extração do coentro.....	39

SUMÁRIO

1-	INTRODUÇÃO.....	9
2-	OBJETIVOS.....	10
3-	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
	3.1-Coriandrum Sativum L.	11
	3.2-Compostos bioativos do coentro e sua ação contra o estresse oxidativo.....	14
	3.3-Substâncias fenólicas do coentro.....	15
	3.4-Métodos de extração.....	18
	3.4.1-Maceração.....	20
	3.4.2-Infusão.....	21
	3.4.3-Decocção.....	22
	3.4.4-Soxhlet.....	22
4-	MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
	4.1-Obtenção e Preparo do Material Vegetal.....	24
	4.2-Métodos de Extração.....	28
	4.2.1-Extração por Soxhlet.....	28
	4.2.2-Extração por Maceração.....	30
	4.2.3-Extração por Infusão.....	32
	4.2.4-Extração por Decocção.....	33
	4.2.5-Rotaevaporação.....	35
5-	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
6-	CONCLUSÃO.....	41
	REFERÊNCIAS.....	42

1. INTRODUÇÃO

O coentro (*Coriandrum sativum*), popularmente utilizado como condimento em diversas culturas gastronômicas, é também uma planta amplamente estudada por suas propriedades bioativas e potenciais aplicações terapêuticas. Assim como outras ervas aromáticas, o coentro contém uma variedade de fitoquímicos com destaque para compostos fenólicos, flavonoides e terpenos, responsáveis por sua ação antioxidante e antimicrobiana (MONIN et al, 2012). Entre os principais constituintes estão o linalol, o geraniol e o ácido cafeico, que contribuem para a neutralização de radicais livres e para a redução do estresse oxidativo no organismo, favorecendo a prevenção de doenças crônicas como diabetes, distúrbios cardiovasculares e câncer (DEEPA; ANURADHA, 2011).

Além de suas propriedades antioxidantes, o coentro apresenta atividades anti-inflamatórias, ansiolíticas e hipoglicemiantes, sendo utilizado tanto na medicina tradicional quanto em estudos recentes voltados ao desenvolvimento de fitoterápicos e suplementos naturais. Pesquisas também têm apontado o potencial uso de extratos de coentro como substitutos de antioxidantes sintéticos na indústria alimentícia, prolongando a vida útil de produtos e garantindo maior segurança ao consumidor (ANWAR et al., 2011).

Mesmo com todos esses benefícios, o uso do coentro e de seus extratos no tratamento de doenças e sintomas ainda é alvo de controvérsias. A variabilidade nos métodos de extração e processamento, a ausência de padronização rigorosa e a necessidade de maior controle de qualidade dificultam a consolidação dos resultados, além da ausência de regulamentação rigorosa e dos potenciais efeitos colaterais ainda em investigação. Nesse cenário, observa-se um interesse crescente da comunidade científica em desenvolver métodos de extração mais sustentáveis e eficazes, visando assegurar maior controle de qualidade e padronização dos produtos obtidos (MOUHOUUB et al., 2024). Dessa forma, torna-se relevante aprofundar os estudos sobre plantas aromáticas, como o coentro, com o objetivo de ampliar seu uso seguro nas áreas alimentícia, farmacêutica e médica, além de contribuir para a substituição de antioxidantes sintéticos por alternativas naturais mais seguras. Nesse sentido, o presente trabalho se propôs a comparar quatro técnicas de extração sólido-líquido: maceração, infusão, decocção e Soxhlet, com o objetivo de avaliar qual delas apresenta maior eficiência na obtenção de extratos ricos em substâncias antioxidantes.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo analisar e comparar a eficiência de quatro métodos distintos de extração sólido-líquido: maceração, infusão, decoção e Soxhlet, na obtenção de extratos de coentro ricos em substâncias bioativas, especialmente em substâncias antioxidantes.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. *Coriandrum sativum* L.

Originário da região leste do mediterrâneo e oeste da Ásia, o coentro, *Coriandrum sativum* L. se trata de uma hortaliça da família *apiácea* (VAZ; JORGE, 2007). As folhas frescas de coentro são utilizadas como condimento em diferentes culturas gastronômicas. No Brasil, é utilizado principalmente nas regiões norte e nordeste, sendo considerado por muitas pessoas, como indispensável em preparos culinários. Dentre diversos tipos catalogados de coentro destacam-se: Verdão (Fotografia 1), Americano, Gigante e Português. Sua cultura é de clima quente, geralmente sendo semeado na primavera-verão. Entretanto, pode ser eficientemente cultivado ao longo de todo ano em locais de baixa altitude (FILGUEIRA, 2003).



Fotografia 1 — Produção de coentro (variedade verdão) em Chã Grande - PE

Fonte: <https://canaldohorticultor.com.br/coentros-muqueca-e-verdao-sucesso-em-diferentes-metodos-de-cultivo/>

O coentro (*Coriandrum sativum*) é uma planta herbácea anual, de crescimento rápido, com caule ereto e pouco ramificado, atingindo em média 30 a 60 cm de altura, podendo chegar a 80 cm em condições favoráveis (SÍTIO DA MATA, 2023). [...] Semeia-se em canteiros definitivos, em sulcos longitudinais distanciados 25 cm. Recomenda-se a semeadura direta em canteiros definitivos, adotando-se sulcos longitudinais espaçados em 25 cm. As sementes são distribuídas em linha contínua, sendo necessário, posteriormente, realizar o desbaste das plântulas excedentes para ajustar o estande final, mantendo um distanciamento de 8 a 10 cm entre plantas (FILGUEIRA, 2003).

As plantas de coentro (*Coriandrum sativum*) são normalmente propagadas por sementes, que apresentam boa germinação quando submetidas a condições adequadas de solo, umidade e temperatura. O coentro cresce melhor em solos férteis, bem drenados e com boa disponibilidade de matéria orgânica, sendo uma hortaliça amplamente cultivada em diversas regiões do mundo, inclusive no Brasil (FILGUEIRA, 2003).

O coentro é aproveitado também pelas sementes, que são muito valorizadas para a produção de óleos essenciais aplicados nas indústrias alimentícia, cosmética e farmacêutica. As flores do coentro são pequenas, de coloração branca a rosada, dispostas em inflorescências do tipo umbela (Fotografia 2) e compõem uma parte da planta que também tem a presença do óleo essencial (AL-KHAYRI, 2023).



Fotografia 2 — Foto aproximada do coentro mostrando suas flores

Fonte: <https://myloview.com.br/poster-flores-e-coentro-na-fazenda-no-3A9E3DD>

As folhas do coentro são compostas e recortadas, liberando um aroma característico proveniente de seus óleos essenciais, ricos em linalol (Figura 1a), rutina (Figura 1b), geraniol (Figura 1c) e outros terpenos bioativos. Além de seu uso culinário, o coentro é tradicionalmente empregado na medicina popular em diferentes regiões do mundo, sendo associado a propriedades digestivas, anti-inflamatórias e calmantes (AL-KHAYRI, 2023).

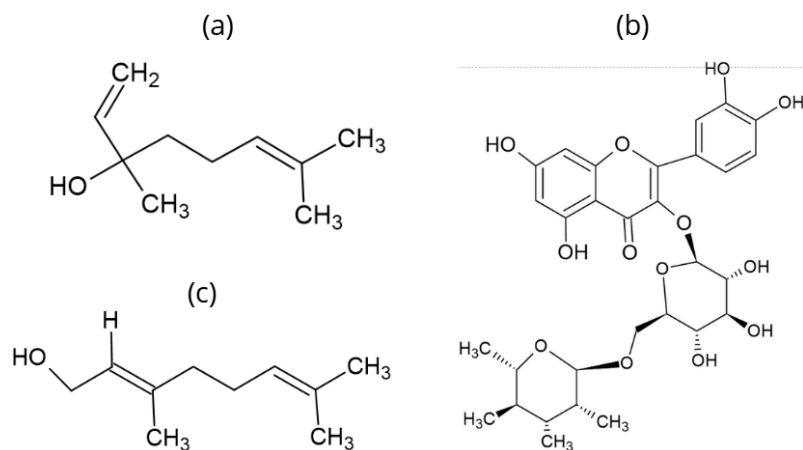


Figura 1 — Estruturas do (a) linalol, (b) rutina e (c) geraniol

Fonte: Próprio autor (Estruturas esquematizadas pelo programa Chemscketch)

O chá preparado a partir de suas sementes é conhecido por efeitos estimulantes e digestivos. Pesquisas indicam que o coentro possui atividades farmacológicas relevantes, incluindo ação antioxidante, hipoglicemiante, antimicrobiana e ansiolítica, o que justifica seu uso histórico em sistemas tradicionais de saúde, como a medicina Ayurvédica indiana (origem de formulações medicinais tradicionais à base de plantas) (AL-SNAFI, 2016). Atualmente, também se reconhece seu potencial na indústria alimentícia, com a utilização de extratos como conservantes naturais em substituição a antioxidantes sintéticos (BARROS et al., 2012).

Do ponto de vista científico, há um interesse crescente em investigar novas metodologias de extração para otimizar o aproveitamento dos compostos bioativos presentes nas folhas e sementes de coentro, buscando aplicações sustentáveis nas áreas farmacêutica, alimentícia e cosmética (MOUHOUBI et al., 2024).

3.2. *Compostos bioativos do coentro e sua ação contra o estresse oxidativo*

Compostos fenólicos são substâncias antioxidantes que atuam na redução dos riscos de doenças degenerativas e cardiovasculares associadas ao estresse oxidativo (DEEPA; ANURADHA, 2011).

O estresse oxidativo caracteriza-se pelo desequilíbrio entre espécies reativas de oxigênio e os sistemas antioxidantes endógenos, resultando em danos celulares e estando associado ao desenvolvimento de diversas doenças crônicas, como câncer, distúrbios neurodegenerativos e cardiovasculares. Estudos demonstram que a produção excessiva de radicais livres intensifica esse processo, enquanto alimentos ricos em compostos antioxidantes, como o coentro (*Coriandrum sativum* L.), podem auxiliar na restauração do equilíbrio celular e na prevenção de complicações metabólicas (MONIN et al., 2012; DEEPA; ANURADHA, 2011; AL-SNAFI, 2016).

Diversos fatores aumentam a produção de radicais livres, como inalação de poluentes atmosféricos, uso do tabaco, exposição prolongada à radiação solar, ingestão de álcool e situações de estresse. Os radicais livres, por sua vez, são subprodutos naturais do metabolismo energético, desempenhando funções importantes no sistema imunológico e na defesa contra microrganismos. O problema surge quando a concentração desses radicais ultrapassa a capacidade dos antioxidantes em neutralizá-los, tornando-os altamente reativos e capazes de atacar lipídios, proteínas e o DNA, gerando danos celulares e teciduais (AL-SNAFI, 2016).

Apesar disso, é importante ressaltar que os radicais livres não devem ser eliminados completamente, já que desempenham funções fisiológicas relevantes (HALLIWELL; GUTTERIDGE, 2015). O equilíbrio entre sua produção e a ação dos antioxidantes é o que garante o bom funcionamento do organismo. Nesse contexto, o coentro se destaca como uma planta rica em compostos fenólicos e flavonoides, reconhecida por seu elevado potencial antioxidante, o que reforça sua importância como alimento funcional capaz de auxiliar no combate ao estresse oxidativo (DEEPA; ANURADHA, 2011; AL-SNAFI, 2016).

Os compostos fenólicos englobam uma ampla variedade de moléculas, incluindo flavonoides, ácidos fenólicos, taninos e lignanas (BARROS et al., 2012), cada uma apresentando diferentes propriedades antioxidantes. Esses compostos atuam principalmente através da neutralização de radicais livres, da quelatação de metais e da modulação de enzimas antioxidantes endógenas, como a superóxido dismutase e a catalase. (DEEPA; ANURADHA, 2011; NUNES et al., 2024).

O coentro é uma fonte rica em fitoquímicos, com destaque para compostos fenólicos, como o ácido cafeico, e terpenos, como o linalol e o geraniol. Essas substâncias bioativas são responsáveis por sua potente ação antioxidante e antimicrobiana, contribuindo para a neutralização de radicais livres e a redução do estresse oxidativo no organismo (EKANAYAKE et al., 2025; YILDIZ et al., 2016).

Outro biocomposto importante é a rutina, que segundo Barros et al. 2012, foi o principal polifenol encontrado nas folhas e caules do coentro, sendo classificado entre os derivados de quercetina que constituem os principais flavonoides dessa parte da planta.

A biodisponibilidade dos compostos fenólicos é um fator crucial para sua eficácia. Fatores como a estrutura química dos compostos, o processamento dos alimentos, a presença de fibras e a microbiota intestinal influenciam diretamente na absorção e no metabolismo desses compostos, determinando a extensão dos efeitos antioxidantes no organismo (MANACH et al., 2005).

Estudos indicam que o consumo regular de alimentos ricos em compostos fenólicos, como frutas, vegetais, ervas e especiarias, está associado à redução do risco de doenças crônicas relacionadas ao estresse oxidativo. Além disso, o consumo desses alimentos pode contribuir para a manutenção de funções cognitivas, a melhora do perfil lipídico e a modulação de processos inflamatórios (AUNE et al, 2017).

Pesquisas sugerem que a inclusão do coentro na dieta regular pode auxiliar na prevenção de danos celulares, contribuindo para a manutenção neurológica, reforçando seu papel como alimento funcional (SALEM et al, 2025).

3.3 Substâncias fenólicas do coentro

As folhas do coentro (*Coriandrum sativum*) são compostas por substâncias voláteis que constituem seus óleos essenciais. Elas também contêm flavonoides e ácidos fenólicos, os quais têm sido associados a atividade antioxidante em estudos de extratos aquosos e etanólicos (MELO; MANCINI-FILHO; GUERRA, 2004); (SALEM et al, 2025).

Os ácidos fenólicos constituem uma das principais classes de compostos bioativos presentes em *Coriandrum sativum L.*, sendo amplamente associados à sua capacidade antioxidante. Entre os compostos identificados destacam-se o ácido cafeico (Figura 2a), o ácido clorogênico (Figura 2g) e o ácido protocatecuico (Figura 2e), os quais têm sido relatados tanto em extratos aquosos quanto etanólicos de sementes e folhas da espécie (DEEPA; ANURADHA, 2011).

Além desses, estudos fitoquímicos apontam também a presença de ácido ferúlico, embora em menor proporção, sendo, juntamente com os demais ácidos fenólicos, responsáveis pela neutralização de radicais livres e pela proteção contra a peroxidação lipídica (AL-SNAFI, 2016). De forma geral, os compostos fenólicos são considerados os principais contribuintes para a atividade antioxidante do coentro, conforme relatado por Monin et al. (2012), que associam esses ácidos às propriedades farmacológicas e terapêuticas observadas nos extratos da planta.

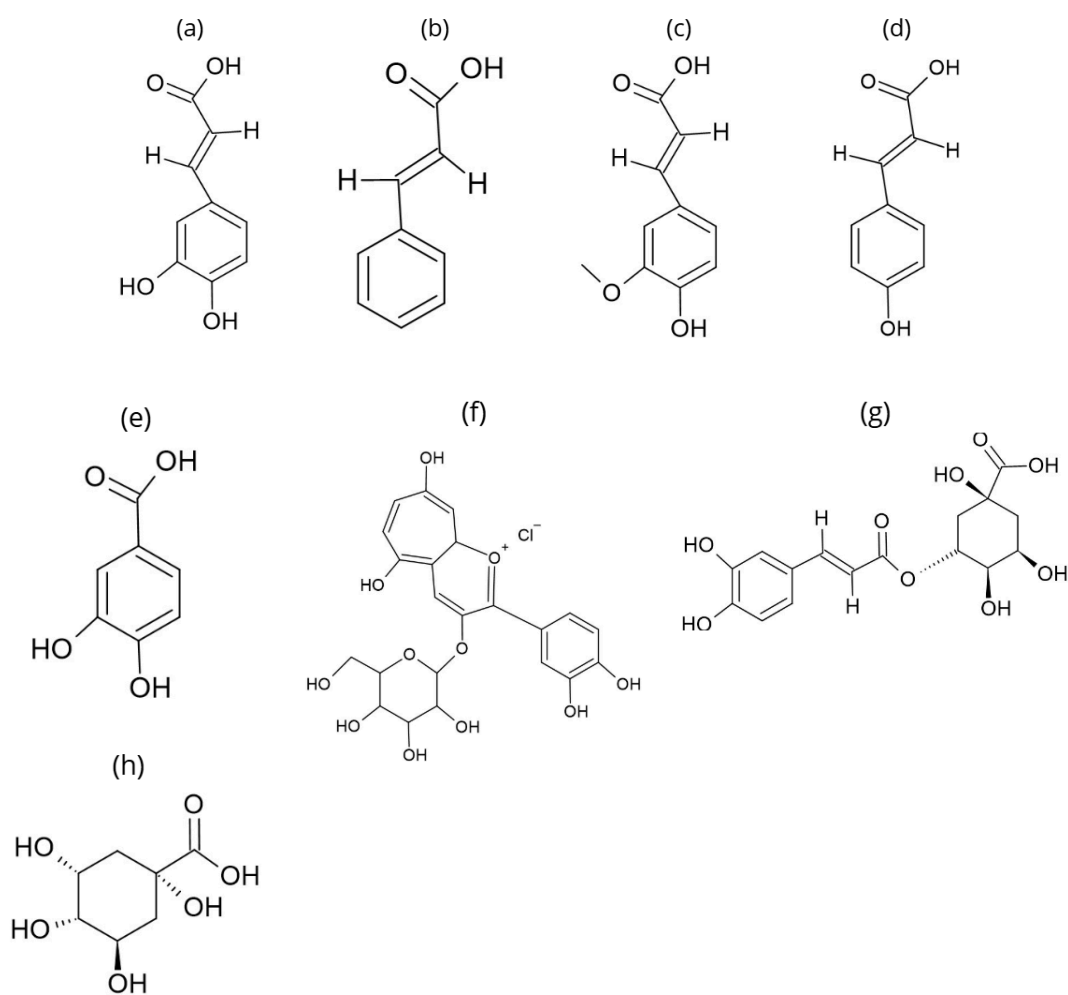


Figura 2 — estruturas dos ácidos: (a) cafeico, (b) cinâmico, (c) ferúlico, (d) p-cumárico, (e) protocatecuico, (f) cianidina-3-glucosido, (g) clorogênico e (h) quinico

Fonte: Próprio autor (Estruturas esquematizadas pelo programa ChemsSketch)

O ácido cafeico (Figura 2a) é um dos compostos fenólicos mais amplamente distribuídos no reino vegetal e está presente em diversas espécies, incluindo o coentro (*Coriandrum sativum L.*) (BARROS et al., 2012). Trata-se de um derivado do ácido cinâmico (Figura 2b), caracterizado pela presença de dois grupos hidroxila no anel aromático, o que lhe confere elevada capacidade antioxidante. É um dos principais precursores na biossíntese de outros compostos fenólicos, como o ácido clorogênico e o ácido rosmarínico, e desempenha papel fundamental na formação da lignina, substância que confere rigidez às paredes celulares das plantas. Além de sua expressiva atividade antioxidante, o ácido cafeico também apresenta efeitos anticancerígenos, anti-inflamatórios e antimicrobianos, tornando-se um composto de interesse farmacológico e alimentar (ESPÍNDOLA et al., 2019).

O ácido ferúlico (Figura 2c) é outro composto fenólico, encontrado em menores proporções nas espécies da família Apiaceae, à qual pertence o coentro. Estruturalmente, é um derivado metoxilado do ácido p-cumárico (Figura 2d) e apresenta um grupo funcional adicional que potencializa suas propriedades antioxidantes. Sua relevância farmacológica reside primariamente em seu elevado potencial antioxidante, atribuído à capacidade dos grupos hidroxila em sua estrutura de sequestrar radicais livres e inibir a peroxidação lipídica, superando, em alguns ensaios *in vitro*, a eficácia das vitaminas C e E. O ácido ferúlico se destaca também por uma ampla variedade de efeitos biológicos e terapêuticos, incluindo atividades anti-inflamatória, antimicrobiana, anticancerígena, antienvhecimento, anti diabética e neuroprotetora (NUNES, 2024).

O ácido protocatecuico (Figura 2e) é um ácido fenólico que se destaca por ser o principal metabolito resultante da degradação da cianidina-3-glicosido (Figura 2f) no trato gastrointestinal. Sua estrutura química caracteriza-se pela presença de grupos hidroxila ligados ao anel aromático, o que lhe confere uma elevada capacidade de redução de radicais livres. Ensaios *in vitro* demonstram que este composto possui atividade antioxidante significativa, chegando a ser superior à de antioxidantes padrão como o Trolox em sistemas livres de células (como DPPH e ABTS). Além disso, o ácido protocatecuico é investigado por seu potencial em modular respostas inflamatórias e o stress oxidativo em células epiteliais, sendo relevante no contexto de doenças inflamatórias intestinais (OLIVEIRA 2014).

O ácido clorogênico (Figura 2g), por sua vez, é um éster formado entre o ácido cafeico e o ácido quínico (Figura 2h), sendo amplamente encontrado em folhas, frutas e sementes de diversas plantas, incluindo o coentro (AL-SNAFI, 2016; NAVEED et al., 2018). É considerado um dos compostos fenólicos mais abundantes na dieta humana e um dos principais responsáveis pela atividade antioxidante de extratos vegetais. Segundo Naveed et al. (2018), suas propriedades biológicas incluem efeitos antidiabéticos, hepatoprotetores, neuroprotetores, antiobesidade e antivirais. Além disso, o composto atua na regulação do metabolismo da glicose e dos lipídios, o que o torna relevante em estudos sobre doenças metabólicas e envelhecimento celular.

3.4 Métodos de extração

A extração é uma das operações unitárias mais importantes nas ciências químicas e biotecnológicas, sendo empregada para extrair componentes específicos de misturas complexas, tanto em matrizes sólidas quanto líquidas. O princípio fundamental desse processo baseia-se na transferência de massa, que ocorre devido ao gradiente de concentração entre duas fases, uma mais concentrada e outra menos concentrada, até que o equilíbrio seja atingido (TREYBAL, 1980).

De modo geral, a extração pode ser classificada em três categorias principais: sólido-sólido, sólido-líquido e líquido-gás. Entre essas, o método sólido-líquido é amplamente empregado para o tratamento de matrizes vegetais, sendo a técnica preferida na obtenção de compostos bioativos, pigmentos, óleos essenciais e outros metabólitos secundários (PATRA et al., 2022). Nesse tipo de processo, o solvente líquido penetra na estrutura sólida do material vegetal, dissolvendo e carregando consigo as substâncias de interesse por meio da difusão (AZMIR et al., 2013). A eficácia de um processo de extração sólido-líquido está diretamente ligada à capacidade do solvente em penetrar nos poros da matriz vegetal, solubilizar os compostos de interesse e permitir sua difusão para o meio externo. Esse transporte é impulsionado pelo gradiente de concentração estabelecido entre o interior da matriz e o solvente circundante. (CHANIOTI; LIADAKIS; TZIA, 2014). A extração sólido-líquido é também utilizada em aplicações industriais e laboratoriais por permitir a separação eficiente de compostos presentes em materiais vegetais, animais ou minerais, baseando-se na interação entre o solvente e a matriz sólida, a qual promove a solubilização e a migração dos constituintes desejados para a fase líquida (DUTTA, 2007).

No caso do coentro (*Coriandrum sativum L.*), a extração sólido-líquido é amplamente aplicada para obter seus compostos fenólicos, como o ácido cafeico e diversos flavonoides, reconhecidos por suas propriedades bioativas, incluindo efeitos antioxidantes e anti-inflamatórios. A eficiência desse processo depende de fatores como o tipo de solvente, temperatura e tempo de extração, que influenciam diretamente a taxa de difusão e a seletividade dos compostos extraídos (MESSAOUDENE et al., 2023). Solventes polares, como água e misturas hidroalcoólicas (água e etanol), são frequentemente utilizados para a extração de compostos fenólicos devido à alta solubilidade desses metabólitos em meios polares. Por outro lado, solventes apolares, como o hexano, são mais adequados para a recuperação de compostos lipossolúveis, como carotenoides e outros constituintes hidrofóbicos presentes no extrato (MELO et al, 2003).

Além disso, técnicas modernas como a extração assistida por ultrassom (EAU), que usa ondas sonoras para formar bolhas que explodem e quebram as células da planta, liberando mais rapidamente os compostos para o solvente e a extração assistida por micro-ondas (EAM), que aquece e pressuriza internamente as células da planta, rompendo-as e liberando rapidamente os compostos no solvente, vêm sendo estudadas para aumentar o rendimento, reduzir o consumo de solventes e diminuir o tempo de processamento, tornando o processo mais sustentável e eficiente (MESSAOUDENE et al., 2023).

Assim, a extração não apenas permite o aproveitamento integral do coentro como fonte de compostos bioativos, mas também desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de produtos alimentícios funcionais, cosméticos e farmacêuticos baseados em ingredientes naturais.

No contexto da obtenção de compostos antioxidantes de folhas de coentro, a seleção da técnica de extração é uma etapa crítica, porém depende diretamente do preparo adequado do material vegetal. A redução do tamanho das partículas antes da extração constitui uma etapa fundamental, pois aumenta a área de contato com o solvente, favorecendo a transferência de massa e, conseqüentemente, melhorando o rendimento e a reprodutibilidade do processo. Esse princípio é amplamente evidenciado na literatura, incluindo estudos com técnicas verdes como extração assistida por ultrassom (EAU) e extração assistida por micro-ondas (EAM), que demonstram maior eficiência quando o material vegetal é previamente fragmentado (SILVA, 2022).

A seletividade e o rendimento da extração são influenciados pela polaridade do solvente, sendo que, para a extração de antioxidantes polares no coentro, solventes como água e etanol são preferíveis devido à solubilidade dos compostos fenólicos e à menor toxicidade (MELO *et al.*, 2003). Além disso, a escolha industrial do solvente deve priorizar critérios de baixo custo e reduzido impacto ambiental (CHANIOTI; LIADAKIS; TZIA, 2014).

Segundo Sousa (2016), parâmetros operacionais como temperatura, tempo e granulometria da amostra são variáveis chave que impactam diretamente o processo:

- Temperatura: O aumento da temperatura geralmente acelera a cinética de extração, mas deve ser controlado para evitar a degradação térmica dos compostos antioxidantes, que são frequentemente sensíveis ao calor.
- Tempo de Extração: O tempo deve ser otimizado para maximizar a recuperação dos compostos, mas períodos excessivamente longos podem promover a oxidação e decomposição dos antioxidantes.
- Tamanho da Partícula: Partículas menores, resultantes de uma moagem mais eficiente, proporcionam uma maior área superficial, favorecendo a difusão e, conseqüentemente, aumentando o rendimento da extração.

Segundo SCHEUER *et al.* (2021), o desempenho do método de extração pode ser quantificado pelo rendimento de massa, calculado pela seguinte relação:

$$\text{Rendimento (\%)} = (\text{massa extraída} \times 100) / \text{massa total (g)}$$

3.4.1. Maceração com agitação

A maceração é um método simples e amplamente utilizado para extração de compostos termossensíveis, pois ocorre em temperatura ambiente ou com a mistura levemente aquecida. A matriz vegetal permanece em contato prolongado com o solvente, permitindo que as substâncias (por exemplo, os compostos fenólicos) se difundam gradualmente para o meio líquido (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

Quando associada à agitação, a técnica torna-se mais eficiente, pois o movimento contínuo renova constantemente a interface entre sólido e solvente, acelera a difusão e reduz o tempo necessário para que o equilíbrio seja atingido. Nesses processos, a agitação geralmente é realizada por meio de um agitador mecânico ou de um agitador magnético, utilizando uma barra imersa no solvente que gira continuamente e promove o movimento da mistura. A agitação mecânica ou magnética rompe parcialmente barreiras físicas impostas pelo tecido vegetal, aumentando o rendimento principalmente de compostos polares, como ácidos fenólicos e flavonoides, que apresentam elevada solubilidade em solventes hidroalcoólicos (OLIVEIRA et al., 2016; SCHEUER et al., 2021).

Por ser realizada geralmente em temperatura ambiente, a maceração com agitação apresenta a vantagem de preservar compostos termossensíveis, evitando degradações oxidativas e hidrolíticas que podem ocorrer em processos que utilizam aquecimento. Estudos confirmam que extratos obtidos por métodos brandos, como banho-maria a 40°C, podem apresentar atividade antioxidante superior àqueles obtidos em temperaturas mais elevadas (SCHEUER et al., 2021).

3.4.2. Infusão

A infusão é um método de extração aquosa amplamente descrito em farmacopeias e no Formulário de Fitoterápicos da Anvisa (F.F.F.B, 2011). Consiste em verter o solvente aquecido, próximo ao ponto de ebulição, sobre a planta previamente triturada, mantendo o sistema em repouso por alguns minutos. Trata-se de uma técnica bastante utilizada para partes vegetais de consistência macia, como folhas, flores e caules jovens, o que inclui as folhas de *Coriandrum sativum*.

O emprego de solvente quente (por exemplo, água) promove maior solubilização de compostos polares e aumenta a difusão molecular, resultando em uma extração rápida e eficiente de ácidos fenólicos simples, como ácido cafeico, ácido protocatecuico e ácido clorogênico, que não se degradam facilmente com a temperatura. No entanto, o uso de altas temperaturas por períodos prolongados deve ser evitado, pois pode levar à degradação térmica ou à oxidação de compostos mais instáveis. A principal vantagem da infusão é o baixo custo e a rapidez do processo (SIMÕES et al, 2010).

3.4.3. Decocção

A decocção envolve a fervura direta da planta no solvente por um tempo determinado, geralmente entre cinco e trinta minutos. É um método indicado para materiais vegetais mais rígidos, como raízes, cascas e sementes, mas também pode ser aplicado para folhas quando se busca maior ruptura das estruturas celulares e maior extração de compostos ligados à matriz vegetal, desde que os compostos de interesse sejam termoestáveis (SIMÕES et al., 2010).

O processo de fervura provoca uma desorganização acentuada da parede celular, o rompimento parcial de membranas e a liberação mais intensa de compostos. O efeito combinado da alta temperatura e da maior solubilidade em solvente aquecido resulta em extratos mais concentrados, por exemplo, em relação aos polifenóis totais (dependendo do solvente utilizado). A principal vantagem desse método é a eficiência em desestruturar o material vegetal; contudo, a sua aplicação requer que os compostos de interesse sejam termoestáveis, a fim de evitar a degradação térmica ou a perda de substâncias voláteis. (AZMIR et al, 2013).

3.4.4. Soxhlet

A extração via Soxhlet (Figura 3) é uma técnica fundamental de extração sólido-líquido utilizada para a purificação e separação de componentes de uma mistura, operando através de um sistema cíclico e contínuo. O princípio de funcionamento baseia-se no aquecimento de um solvente num balão de fundo redondo até à sua ebulição, onde o vapor gerado ascende por um braço lateral em direção a um condensador de refluxo posicionado no topo do aparelho. Ao condensar, o solvente goteja sobre a amostra sólida, que se encontra acondicionada num cartucho feito de papel-filtro, permitindo que o líquido solubilize os compostos de interesse sem carregar partículas sólidas. Quando o nível do solvente na câmara de extração atinge a altura do sifão, ocorre o esvaziamento total da câmara, retornando o extrato ao balão de aquecimento, onde o solvente será destilado novamente para reiniciar o ciclo, concentrando o soluto extraído no balão (AZMIR et al, 2013)

Do ponto de vista das vantagens operacionais, destacam que o método é extremamente eficiente pois mantém a amostra em contato permanente com solvente renovado e puro, o que maximiza o gradiente de concentração e favorece a transferência de massa. Além disso, a temperatura do sistema mantém-se relativamente alta devido ao calor aplicado para a evaporação constante, o que acelera a cinética de solubilização, permitindo extrair grandes quantidades de material com um volume reduzido de solvente. Outra facilidade operacional é a dispensa de filtração final, uma vez que a amostra permanece confinada no cartucho durante todo o procedimento (BRUM et al. 2009).

Entretanto, a aplicação do método Soxhlet exige cautela devido a limitações severas quanto à estabilidade química dos compostos extraídos. Tanto Yu et al. (2023) quanto Brum et al. (2009) alertam que o aquecimento prolongado, característico deste processo, pode levar à degradação de substâncias termossensíveis.

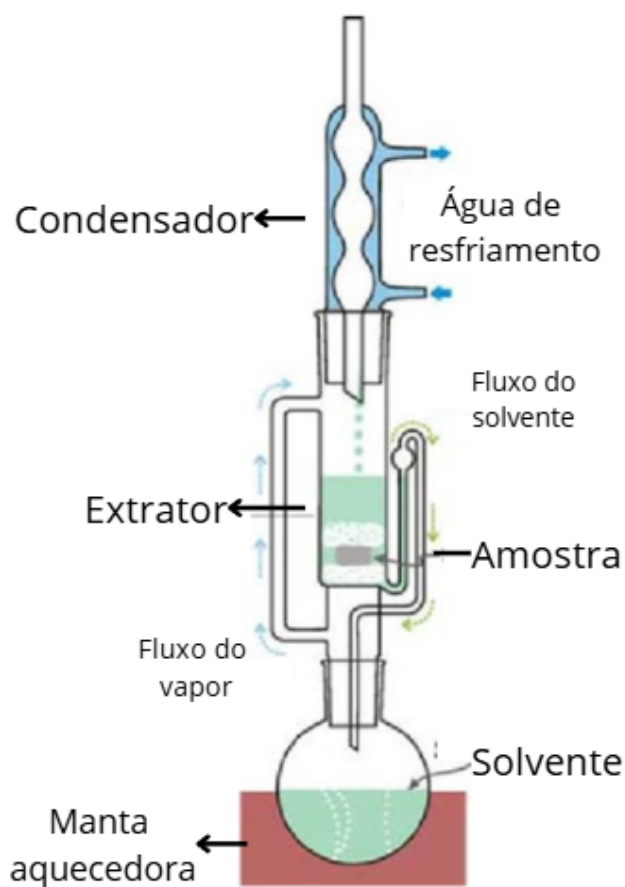


Figura 3 — Representação esquemática do aparelho extrator Soxhlet

Fonte: https://www.researchgate.net/publication/251753895_Solvothermal_removal_of_the_organic_template_from_L_3_sponge_templated_silica_monoliths/figures?lo=1

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1.Obtenção e Preparo do Material Vegetal

Inicialmente, as folhas de coentro que seriam utilizadas na pesquisa seriam obtidas na horta do Projeto “Aromas da Terra: Cultivando Plantas Aromáticas”, do Programa Renovaflora da Universidade Federal de Alfenas, localizada no campus de Poços de Caldas. Contudo, devido à grande quantidade de folhas necessária para a realização do estudo, tornou-se necessário adquirir o material por meio da compra de ramos frescos em diversos comércios da cidade de Poços de Caldas e São João da Boa Vista, realizada no segundo semestre de 2024.

Ao longo de dois meses, o processo de secagem das folhas de coentro foi realizado. Primeiramente, a maior parte dos talos dos ramos frescos foi retirada, sendo dispostas em bandejas de alumínio apenas as folhas e os talos mais finos. (Fotografia 3).



Fotografia 3 — Amostra de coentro fresco

Fonte: Próprio autor

Após isso, conforme as bandejas foram preparadas, elas foram levadas a uma estufa com circulação de ar da marca Sterilifer (SXCR40) (Fotografia 4) e aquecidas a uma temperatura constante de 55 °C, por um período mínimo de 24 horas ou até que as amostras se tornassem secas.



Fotografia 4 — Estufa com circulação de ar

Fonte: Próprio autor

Após o período de secagem, as bandejas contendo as amostras secas (Fotografia 5) foram retiradas da estufa, e as folhas secas de coentro foram maceradas manualmente, a fim de reduzir seu tamanho (Fotografia 6). A ideia inicial era obter 150 g de material seco para a realização de triplicatas de 10 g em cinco processos de extração diferentes; porém, no decorrer do experimento, decidiu-se alterar para triplicatas de 3 g devido a uma limitação de tamanho dos aparelhos disponíveis para a extração por Soxhlet, resultando em um total de 42 g de material seco utilizado. Essa padronização foi estabelecida durante a execução do experimento para evitar erros de medida decorrentes da variação entre amostras.

Para todas as medidas de massa foi utilizada uma balança analítica da marca Shimadzu (ATY224) (Fotografia 6).



Fotografia 5 — Amostra de coentro seco

Fonte: Próprio autor



Fotografia 6 — Coentro macerado e balança analítica

Fonte: Próprio autor

O solvente utilizado em todos os experimentos foi o álcool etílico absoluto (99,8%) da marca Halogen. Esse solvente foi medido em uma proveta de 250 mL da marca Diogolab e, após cada extração, foi recuperado por meio de rotaevaporação (Fotografia 7), de modo que pudesse ser reutilizado nas extrações seguintes.



Fotografia 7 — Sistema de
rotaevaporação
Fonte: Próprio autor

4.2. Métodos de Extração

Os quatro procedimentos de extração sólido-líquido utilizados para a obtenção de substâncias não voláteis das folhas de coentro foram: maceração, decocção, infusão e extração com aparelho Soxhlet. A maceração, a decocção e a infusão foram realizadas em intervalos de 10 minutos, enquanto a extração com o aparelho Soxhlet foi conduzida de duas maneiras, com 10 ciclos e com 20 ciclos. Como já mencionado, em todos os processos de extração foram utilizados 3 g de material seco e macerado.

4.2.1. Extração por Soxhlet

Os materiais utilizados foram:

- Béquer de 500 mL;
- Espátula de metal;
- Papel de filtro;
- Proveta de 250 mL;
- 3 Erlenmeyers de 500 mL;
- 3 Balões de fundo redondo;
- Cacos de porcelana;
- Manta de aquecimento;
- Condensador de bolas;
- Funil de vidro;
- Extrator Soxhlet.

Inicialmente, pesaram-se 3 g da amostra seca em um vidro de relógio. Em seguida, o material foi transferido, com o auxílio de uma espátula metálica, para pequenos papéis-filtro e selados com grampos, que serviram como cartuchos para acondicionar a amostra dentro do Soxhlet.

O solvente extrator foi preparado medindo-se 200 mL de etanol em proveta, os quais foram transferidos para um balão de fundo redondo de 500 mL juntamente com fragmentos de porcelana, adicionados para favorecer uma ebulição não-tumultuosa.

Posteriormente, montou-se o sistema de extração, composto pela manta de aquecimento, o balão contendo o solvente, o extrator Soxhlet carregado com o envelope de amostra, e um condensador de bolas conectado por mangueiras de circulação de água, fixados por garras e suporte universal (Fotografia 8).



Fotografia 8 — Montagem utilizada para extração Soxhlet

Fonte: Próprio autor

As conexões de entrada e saída de água foram ajustadas ao condensador, e a manta elétrica foi acionada para iniciar o aquecimento do sistema. O aumento da temperatura ocorreu de forma gradual até que uma ebulição estável fosse estabelecida no balão, permitindo que o extrator realizasse cerca de dez ciclos completos de refluxo. Para otimizar o tempo experimental, outras duas montagens idênticas foram preparadas simultaneamente, de modo que as três extrações ocorressem no mesmo período, todas seguindo o mesmo número de ciclos.

Ao término dos dez ciclos, o aquecimento foi imediatamente interrompido e o conjunto permaneceu em repouso até retornar à temperatura ambiente. Após o resfriamento, o sistema foi desmontado, e o solvente que ainda se encontrava no corpo do Soxhlet, devido à condensação contínua no momento do desligamento, foi coletado e transferido para o balão, reunindo-se ao restante do extrato. O envelope contendo a amostra vegetal foi removido com auxílio de uma espátula metálica e posteriormente descartado.

A solução extraída presente no balão foi então passada para um Erlenmeyer utilizando-se um funil de vidro. Os frascos contendo os extratos foram selados com filme plástico e armazenados para serem rotaevaporados posteriormente.

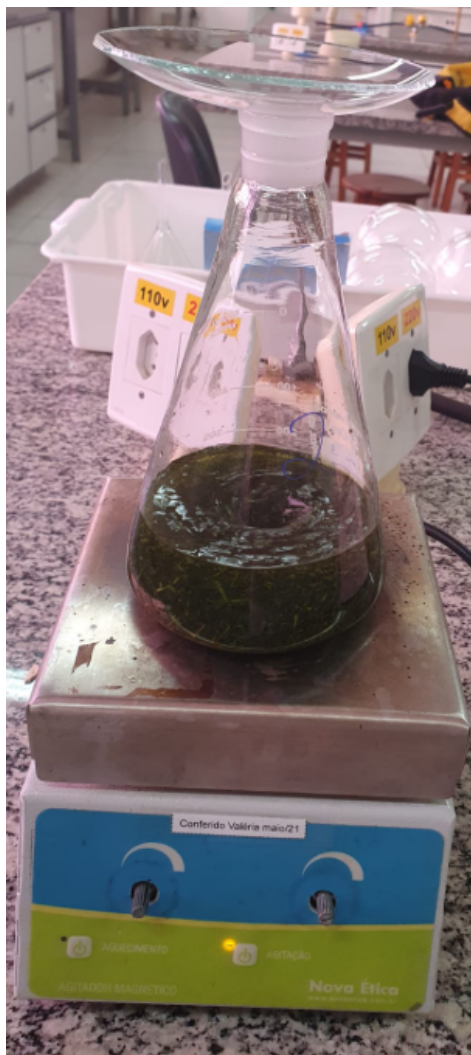
O procedimento foi repetido em uma segunda etapa experimental, porém executando vinte ciclos de extração. Os extratos obtidos ao final deste segundo conjunto seguiram o mesmo tratamento aplicado aos extratos preparados na primeira série.

4.2.2. Extração por Maceração com agitação

Os materiais utilizados foram:

- Béquer de 500 mL;
- Papel de filtro;
- 3 Erlenmeyers de 500 mL;
- Proveta de 25 mL;
- Vidro de relógio;
- 3 balões de fundo redondo;
- Chapa de aquecimento e agitação;
- Funil de Vidro;
- Barra magnética.

Aproximadamente 3g da amostra foram medidos em um vidro de relógio. Utilizando-se uma proveta, foram medidos 200 mL de etanol, os quais foram adicionados ao Erlenmeyer contendo a amostra. O frasco foi então coberto com vidro de relógio para minimizar perdas por evaporação e colocado sobre uma base de agitação magnética, mantendo-se a mistura sob agitação constante com a ajuda de uma barra magnética (Fotografia 9).



Fotografia 9 — Amostra sob agitação magnética

Fonte: Próprio autor

Após 10 minutos, o vidro de relógio foi removido e o conteúdo do frasco foi filtrado com funil de vidro e papel filtro, coletando-se o filtrado em um balão de fundo redondo de 500 mL. O resíduo vegetal retido no papel filtro foi descartado.

O procedimento foi realizado em triplicata, e as soluções obtidas em cada repetição foram submetidas à rotaevaporação para a obtenção dos extratos e para a recuperação do solvente a ser reutilizado nas extrações seguintes.

4.2.3. Extração por Infusão

Os materiais utilizados foram:

- Béquero 500 mL;
- Papel de filtro;
- 6 Erlenmeyers de 500 mL;
- 3 Balões de fundo redondo de 500 mL;
- Proveta de 250 mL;
- Manta de aquecimento;
- Condensador de bolas;
- Tela de amianto;
- Cacos de porcelana;
- Funil de vidro;
- Vidro de relógio.

Aproximadamente 3 g da amostra previamente seca foram pesadas em um vidro de relógio e com o auxílio de papel de filtro, transferidas para um erlenmeyer de 500 mL. Em um balão de fundo redondo de mesma capacidade, adicionaram-se cacos de porcelana para promover a ebulição uniforme e evitar a formação de borbulhamento excessivo. Em seguida, mediu-se 200 mL de etanol utilizando uma proveta, e o solvente foi transferido para o balão de fundo redondo.

Para a realização da extração, montou-se um sistema de refluxo. O sistema foi constituído por: suporte universal, duas garras de fixação, manta de aquecimento, balão de fundo redondo contendo o solvente e um condensador de bolas vertical. Este último foi conectado a uma fonte de água corrente por meio de mangueiras de borracha, permitindo o resfriamento contínuo dos vapores de etanol e seu retorno ao balão na forma líquida.

A manta elétrica foi acionada no nível 5 da escala do equipamento (variando de 1 a 10), uma vez que a temperatura efetiva não é indicada numericamente pelo aparelho. Esse ajuste intermediário permitiu que o sistema aquecesse gradualmente até que fossem observadas a formação de bolhas no etanol e o início do refluxo no condensador. A partir desse ponto, o aquecimento foi mantido até que a ebulição atingisse seu ponto máximo; em seguida, o sistema foi desligado e o conjunto desmontado com cuidado.

O solvente aquecido foi adicionado lentamente ao frasco contendo a amostra seca previamente pesada, utilizando-se um funil de vidro. Em seguida, o frasco foi apoiado sobre uma tela de amianto a fim de evitar choque térmico com a bancada e coberto com um vidro de relógio para minimizar perdas por evaporação durante o processo.

Após 10 minutos da adição do solvente, a solução foi filtrada com o auxílio de um funil de vidro e papel-filtro para um Erlenmeyer posicionado sobre uma tela de amianto. A massa vegetal remanescente foi descartada. O procedimento foi realizado em triplicata, e a solução filtrada foi submetida à rotaevaporação para obtenção do extrato e recuperação do solvente para os ensaios subsequentes.

4.2.4. Extração por Decocção

Os materiais utilizados foram:

- Béquer 500 de mL;
- Papel de filtro;
- 3 balões de fundo redondo de 500 mL;
- 3 Erlenmeyers de 500 mL;
- Proveta de 250 mL;
- Manta de aquecimento elétrica;
- Condensador de bolas;
- Tela de amianto;
- Cacos de porcelana;
- Funil de vidro;
- Vidro de relógio.

Utilizando uma espátula metálica e um vidro de relógio, aproximadamente 3 g da amostra seca foram pesados. Para facilitar a transferência, utilizou-se papel de filtro, por meio do qual as amostras foram transferidas aos balões de fundo redondo de 500 mL. Em seguida, adicionaram-se 200 mL de álcool etílico a cada balão. Todo o procedimento foi realizado em triplicata.

Cada frasco contendo a amostra foi colocado sobre uma manta de aquecimento, ao qual foram adicionados cacos de porcelana, e, em seguida, montou-se o sistema de refluxo com um condensador de bolas acoplado ao balão e mangueiras de borracha conectadas às entradas e saídas de água do condensador (Fotografia 10). A temperatura foi elevada gradualmente até a observação de condensação do álcool etílico nas paredes internas do frasco, indicando início da ebulição. A partir desse ponto, manteve-se a temperatura constante e iniciou-se a cronometragem, permanecendo o sistema em refluxo por exatamente 10 minutos.



Fotografia 10 — Montagem utilizada para decocção

Fonte: Próprio autor

Concluído o tempo de aquecimento, o sistema foi desligado. Os frascos foram removidos cuidadosamente e o conteúdo foi filtrado, utilizando funis de vidro com papel de filtro, direcionando o filtrado para Erlenmeyers apoiados sobre placas de amianto, a fim de minimizar o choque térmico.

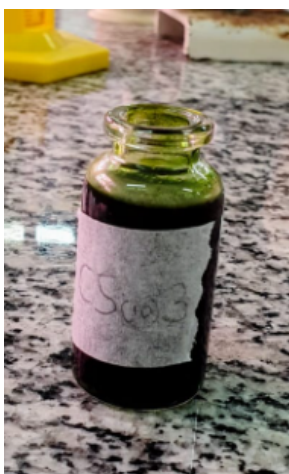
Os Erlenmeyers foram cobertos com vidros de relógio para resfriar e evitar que houvesse perda do solvente por volatilização. Após serem resfriados, os conteúdos foram rotaevaporados.

4.2.5 Rotaevaporação

Ao final de cada um dos testes, todas as soluções obtidas por cada método de extração foram rotaevaporadas utilizando um rotaevaporador, já mostrado anteriormente na Figura 8, para que fosse possível a obtenção dos extratos (Fotografia 11) e, também, a recuperação do solvente. Esse procedimento foi feito para todos os métodos de extração descritos anteriormente.

As amostras em triplicata foram separadas em balões de fundo redondo de 500 mL tampados para serem utilizados diretamente no sistema do rotaevaporador.

Então, abasteceu-se o compartimento de isopor, que funciona como um trocador de calor, onde a mangueira do sistema de resfriamento é instalada, com água e gelo. A bomba peristáltica é ligada, garantindo que a tubulação estivesse completamente cheia de água para evitar a entrada de bolhas de ar no condensador do equipamento. A bomba circula a água refrigerada por dentro do condensador presente no equipamento.



Fotografia 11: Extrato obtido através de rotaevaporação

Fonte: Próprio Autor

O banho maria foi então ligado e ajustado para a temperatura previamente estabelecida de 55 °C. Em seguida, um balão de fundo redondo vazio é acoplado ao equipamento para receber o solvente que é evaporado e posteriormente condensado durante o processo.

O balão contendo a amostra foi inserido no equipamento em contato com o banho-maria e preso utilizando-se de presilha de plástico. A bomba de vácuo do sistema foi acionada, promovendo a redução da pressão interna e, conseqüentemente, diminuindo a temperatura de ebulição do solvente.

A agitação foi acionada em intensidade média e mantida de modo que as paredes externas do balão com a amostra permaneçam constantemente recobertas por uma fina película da solução extraída, o que assegura uma evaporação rápida e eficiente.

O processo foi mantido em operação até que praticamente todo o solvente presente na amostra seja evaporado, condensado e direcionado ao balão coletor. Ao final, o material remanescente no balão inicial adquire uma consistência viscosa, caracterizando o extrato concentrado.

A etapa foi finalizada antes da completa secagem da amostra, prevenindo que o resíduo fique excessivamente aderido ao balão e dificulte sua retirada.

O procedimento foi encerrado com o desligamento do sistema por completo e o balão foi cuidadosamente retirado.

O etanol recuperado foi transferido novamente para seu frasco de armazenamento para usos posteriores. Em seguida, o balão com o material concentrado permanece em repouso até atingir a temperatura ambiente.

Enquanto isso, foram separados vidros de penicilina contendo a identificação de cada tipo de extração e, então, pesados vazios.

Após o resfriamento do balão, foi utilizada uma pipeta para remover todo o concentrado e transferi-lo para o vidro de penicilina vazio. Uma pequena quantidade de etanol foi utilizada para garantir que todo extrato fosse recuperado.

Após a transferência do extrato para o vidro de penicilina, foi montado um sistema utilizando um secador de cabelo convencional preso por garras em um suporte universal, a fim de acelerar o processo de secagem do solvente.

Após isso, todos os frascos contendo as amostras foram colocados em um dessecador até que todo o solvente fosse removido do extrato.

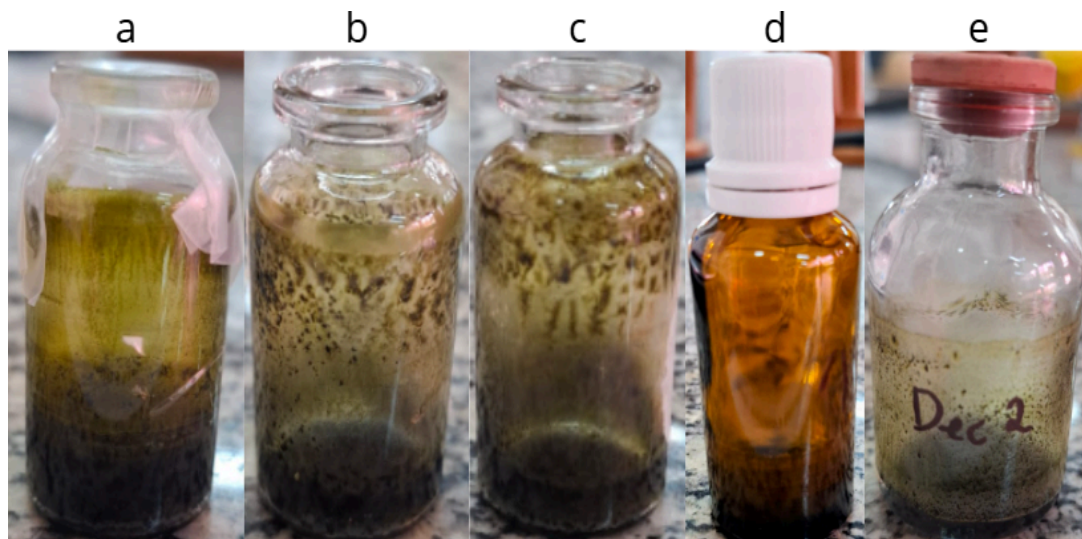
Os frascos foram posteriormente pesados, e as respectivas massas finais foram registradas para análise.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados de todos os métodos de extração executados estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Medidas obtidas em laboratório

Método de extração	Massa da amostra inicial (g)	Massa do vidro de penicilina vazio (g)	Massa final (vidro + amostra) (g)	Massa do extrato (final - vidro) (g)
Soxhlet (10 ciclos)	3,1174±0,001	13,1054±0,001	13,4474±0,001	0,3420±0,002
	3,0863±0,001	13,2294±0,001	13,6498±0,001	0,4204±0,002
	3,0286±0,001	13,1276±0,001	13,5205±0,001	0,3929±0,002
Soxhlet (20 ciclos)	3,0061±0,001	13,1311±0,001	13,4142±0,001	0,2831±0,002
	3,0352±0,001	13,2552±0,001	13,5581±0,001	0,3029±0,002
	3,0760±0,001	13,5341±0,001	13,9086±0,001	0,3745±0,002
Maceração	3,0321±0,001	18,0861±0,001	18,1867±0,001	0,1006±0,002
	3,0115±0,001	16,1572±0,001	16,2565±0,001	0,0993±0,002
	3,0284±0,001	15,7949±0,001	15,8996±0,001	0,1047±0,002
Infusão	3,0167±0,001	45,5158±0,001	45,5972±0,001	0,0814±0,002
	3,0043±0,001	44,1196±0,001	44,2225±0,001	0,1054±0,002
	3,0090±0,001	45,2710±0,001	45,3561±0,001	0,0851±0,002
Decocção	3,0422±0,001	33,0985±0,001	33,3795±0,001	0,2810±0,002
	3,0035±0,001	33,0064±0,001	33,2470±0,001	0,2406±0,002
	3,0123±0,001	33,3227±0,001	33,5637±0,001	0,2410±0,002



Fotografia 12: Extratos secos utilizados para cálculo dos rendimentos: (a) Soxhlet 10 ciclos, (b) Soxhlet 20 ciclos, (c) maceração, (d) infusão e (e) decocção

Fonte: Próprio autor

Utilizando-se da fórmula de rendimento descrita por Scheuer (2021), já apresentada no tópico 3.4, foi calculado o rendimento de cada amostra das extrações e o rendimento médio.

Utilizando a fórmula do desvio padrão retirada do livro Estatística: teoria e aplicações (LEVINE et al, 2013), foram calculados os desvios padrões para cada método de extração.

$$DP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - R_m)^2}{n - 1}}$$

Onde R_i é o rendimento individual das amostras, R_m é o rendimento médio de cada extração e n é o número de medidas.

Para o cálculo do erro de cada rendimento médio das extrações, foi utilizado a fórmula do erro padrão da média (EPM):

$$EPM = \frac{DP}{\sqrt{n}}$$

Onde DP é o desvio padrão e n é o número de medidas.

Os resultados finais estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados dos rendimentos obtidos por diferentes métodos para extração do coentro

Método	Rendimento Médio	Desvio padrão	Rendimento final com erro padrão
Soxhlet (10 ciclos)	0,1252	0,0137	12,52±0,79%
Soxhlet (20 ciclos)	0,1053	0,0145	10,53±0,84%
Maceração	0,0335	0,0008	3,35±0,05%
Infusão	0,0301	0,0043	3,01±0,25%
Decocção	0,0841	0,0073	8,41±0,42%

A extração por método contínuo (Soxhlet) se destacou como a abordagem mais eficaz, sendo o protocolo de 10 ciclos o de maior rendimento, atingindo 12,52%. Esse desempenho é significativamente superior aos métodos não contínuos e justifica a ampla utilização do Soxhlet como padrão em estudos laboratoriais.

No entanto, o prolongamento do processo para 20 ciclos resultou em uma redução da eficácia, com rendimento médio caindo para 10,53%. Essa diminuição sugere que o número ótimo de ciclos para a extração máxima já havia sido alcançado em 10 ciclos. Além disso, a exposição estendida do material vegetal ao aquecimento contínuo pode ter induzido a degradação térmica de compostos bioativos desejáveis, o que contribuiu para o menor rendimento final.

A variabilidade observada na extração contínua resultou em desvios padrões mais altos, sendo o Soxhlet (10 ciclos) influenciado pela disparidade da Amostra 1 e o Soxhlet (20 ciclos) pela Amostra 3. Tais ocorrências apontam para uma variância intrínseca da matriz vegetal ou uma flutuação no ponto de exaustão do material.

A eficiência dos métodos clássicos foi marcadamente inferior ao processo contínuo. A Decocção (8,41%) apresentou o melhor desempenho entre os métodos descontínuos. O resultado é justificado pela ebulição, que promove maior ruptura da parede celular e aumenta a solubilidade dos compostos hidrossolúveis em comparação com os métodos a frio à temperatura ambiente.

Por sua vez, a Maceração (3,35%) e a Infusão (3,01%) registraram os menores rendimentos. Em ambos os métodos, a ausência de renovação do solvente limita a extração e reduz a eficiência do processo. No caso específico da maceração, essa limitação é agravada pela baixa energia cinética (temperatura ambiente), insuficiente para promover a desestruturação completa da matriz vegetal e favorecer uma transferência de massa mais eficiente.

Ao comparar os resultados obtidos no presente trabalho com a literatura, o rendimento obtido por Soxhlet em 10 ciclos (12,52%) se aproxima bastante do rendimento apresentado no trabalho de EKANAYAKE et al. (2025) no qual o maior rendimento de extração utilizando etanol 80% em sementes de coentro foi de 12,1%. Embora o material utilizado neste estudo tenha sido folhas de coentro, o solvente empregado tenha sido etanol absoluto e o método de extração escolhido para essa análise foi o Soxhlet (10 ciclos), essa similaridade reforça a alta capacidade extrativa do solvente etanólico.

Além disso, o efeito favorável do aumento da temperatura na extração de compostos das partes aéreas do coentro, observada na maior eficácia da decocção (8,41%) sobre a infusão (3,01%), alinha-se aos achados de Messaoudene et al. (2023). Estes autores demonstraram que temperaturas mais elevadas (até 70°C) são críticas para maximizar a recuperação de ácidos fenólicos, como o ácido cafeico, do *Coriandrum sativum*. Contudo, a redução do rendimento observada ao prolongar o Soxhlet para 20 ciclos (10,53%) sugere a ocorrência de degradação térmica de compostos sensíveis, uma limitação dos métodos convencionais também alertada por Azmir et al. (2013) e Messaoudene et al. (2023), indicando que o tempo de exposição ao calor é uma variável crítica que deve ser otimizada para evitar perdas.

O rendimento do processo de maceração obtido no presente trabalho (3,35%) corrobora os resultados de Melo et al. (2003), que relataram a extração de 340 mg de massa a partir de 10 g de folhas de coentro, resultando em um rendimento de 3,4% sob condições similares de temperatura ambiente. Tal constatação reforça a superioridade do rendimento alcançado neste estudo com a elevação da temperatura, conforme observado nos processos de decocção (8,41%) e Soxhlet por 10 ciclos (12,52%). Conclui-se, portanto, que a aplicação de calor é fundamental para romper a resistência da matriz vegetal e aumentar a solubilidade dos compostos em etanol.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho alcançou seu objetivo ao comparar a eficiência de quatro métodos de extração sólido-líquido na obtenção de compostos antioxidantes de folhas de coentro (*Coriandrum sativum* L.).

A maior eficiência do Soxhlet está na sua capacidade de manter a amostra em contato permanente com solvente renovado e aquecido, o que maximiza o gradiente de concentração e a transferência de massa.

A redução do rendimento para 10,53% ao estender o processo para 20 ciclos sugere que o ponto ótimo de exaustão foi ultrapassado. Este resultado, juntamente com a maior dispersão dos dados, aponta para a degradação térmica de compostos desejáveis devido à exposição prolongada ao aquecimento.

Os métodos com aquecimento (Decocção e Soxhlet) demonstraram maior capacidade de rompimento estrutural e dissolução de compostos hidrossolúveis, sendo a Decocção (8,41%) significativamente mais eficaz que a maceração.

A eficácia superior do método contínuo justifica a sua aplicação como base inicial em estudos laboratoriais de extração. No entanto, para fins de aplicação industrial ou para a obtenção de um extrato padronizado, estudos futuros são indispensáveis para otimizar o número de ciclos de Soxhlet identificando o ponto de exaustão ideal para maximizar a recuperação de bioativos e minimizar o gasto energético.

REFERÊNCIAS

Al-Khayri JM, Banadka A, Nandhini M, Nagella P, Al-Mssallem MQ, Alessa FM. Essential Oil from *Coriandrum sativum*: **A review on Its Phytochemistry and Biological Activity.** *Molecules.* **2023** Jan 10;28(2):696. doi: 10.3390/molecules28020696. PMID: 36677754; PMCID: PMC9864992. Acesso em 23 de Abril de 2025.

AL-SNAFI, A. E. **A review on chemical constituents and pharmacological activities of *Coriandrum sativum*.** *IOSR Journal of Pharmacy*, 2016.

ANWAR, F.; LATIF, S.; ASHRAF, M.; GILANI, A. H. **Coriander (*Coriandrum sativum* L.): a potential source of high-value components for functional foods and nutraceuticals – a review.** *Phytotherapy Research*, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Farooq_Anwar/publication/234029175_Coriander_Coriandrum_sativum_L_A_Potential_Source_of_High-Value_Components_for_Functional_Foods_and_Nutraceuticals_-_A_Review/links/5a6dfc7daca2722c947f27d3/Coriander-Coriandrum-sativum-L-A-Potential-Source-of-High-Value-Components-for-Functional-Foods-and-Nutraceuticals-A-Review.pdf. Acesso em: 4 de Abril de 2025.

AUNE, D. et al. **Fruit and vegetable intake and the risk of cardiovascular disease, total cancer and all-cause mortality—a systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies.** *International Journal of Epidemiology, Oxford*, 2017. DOI: 10.1093/ije/dyw319. Acesso em: 4 de Junho de 2025.

AZMIR, J. et al. **Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review.** *Journal of Food Engineering*, 2013. Disponível em: [/https://faculty.ksu.edu.sa/sites/default/files/23-jfe_117_2013.pdf](https://faculty.ksu.edu.sa/sites/default/files/23-jfe_117_2013.pdf). Acesso em: 10 de Julho de 2025.

BARROS, L. et al. **Phenolic profiles of in vivo and in vitro grown *Coriandrum sativum* L.** *Food Chemistry*, 2012. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/476416242/Barros-et-al-2012-Phenolic-profiles-of-in-vivo-and-in-vitro-grown-Coriandrum-sativum-L>. Acesso em: 23 de Abril de 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Formulário de Fitoterápicos da Farmacopeia Brasileira. 1. ed. Brasília: Anvisa**, 2011. Disponível em:

<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/farmacopeia/formulario-fitoterapico>. Acesso em: 2 de Outubro de 2025.

BRUM, A. A. S.; ARRUDA, L. F.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B. **Métodos de extração e qualidade da fração lipídica de matérias-primas de origem vegetal e animal**. *Química Nova*, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000400005>. Acesso em: 22 de Outubro de 2025.

CANAL DO HORTICULTOR. **Coentros Muqueca e Verdão: sucesso em diferentes métodos de cultivo**. *Canal do Horticultor*, 2022 (aproximadamente). Disponível em: <https://canaldohorticultor.com.br/coentros-muqueca-e-verdao-sucesso-em-diferentes-metodos-de-cultivo/>. Acesso em: 8 de Abril de 2025.

CHANIOTI, S.; LIADAKIS, G.; TZIA, C. **Solid–Liquid Extraction**. In: VARZAKAS, T.; TZIA, C. (Ed.). *Food Engineering Handbook: Food Process Engineering*. Boca Raton: CRC Press, 2014. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/289844027_Solid-Liquid_Extraction. Acesso em: 16 de Julho de 2025.

DEEPA, B.; ANURADHA, C. V. **Antioxidant Potential of *Coriandrum sativum* L. Seed Extract**. *Indian Journal of Experimental Biology*, 2011.

DUTTA, B. K. *Principles of Mass Transfer and Separation Processes*. Nova Delhi: PHI Learning, 2007. Acesso em:

<https://ia800401.us.archive.org/8/items/B.KDutta/B.K%20Dutta.pdf>. Acesso em: 23 de Julho de 2025.

EKANAYAKE, C. P.; JOHNSON, J.; BATLEY, R. J.; et al. **Targeted metabolomic analysis reveals solvent-dependent phenolic variation and associated antioxidant and antibacterial activity in coriander seeds (*Coriandrum sativum* L.)**, 2025. DOI:

<https://doi.org/10.3390/molecules30224387>. Acesso em: 27 de Maio de 2025.

ESPÍNDOLA, K. M. et al. **Chemical and pharmacological aspects of caffeic acid and its activity in hepatocarcinoma.** *Frontiers in Oncology*, 2019. DOI: 10.3389/fonc.2019.00541. Acesso em: 18 de Junho de 2025.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo Manual de Olericultura: Agrotecnologia Moderna na Produção e Comercialização de Hortaliças.** 3. ed. Viçosa: UFV, 2003. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/543128179/Novo-Manual-de-Olericultura-3-Ed-407p-UFV-LI> VRO. Acesso em: 8 de Abril de 2025.

HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J. M. C. **Free radicals in biology and medicine.** 5. ed. Oxford: Oxford University Press, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198717478.001.0001>. Acesso em: 10 de Maio de 2025.

LEVINE, D. M. et al. **Estatística: teoria e aplicações.** 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/306914763/Estatistica-Teoria-e-Applicacoes-Usando-Microsoft-Excel-Em-Portugues>. Acesso em: 20 de Novembro de 2025.

MANACH, C. et al. **Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. I. Review of 97 bioavailability studies.** *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2005. DOI: 10.1093/ajcn/81.1.230S. Acesso em: 3 de Junho de 2025.

MELO, E. A.; MANCINI-FILHO, J.; GUERRA, N. B. **Characterization of antioxidant compounds in aqueous coriander extract (*Coriandrum sativum* L.).** *Food Science and Technology*, 2004.

MELO, E. A. et al. **Atividade antioxidante de extratos de coentro (*Coriandrum sativum* L.).** *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612003000400036>. Acesso em: 15 de Junho de 2025.

MESSAOUDENE, L. et al. **Optimization of a New Ultrasound-Assisted Extraction Method of Caffeic Acid from the Aerial Parts of *Coriandrum sativum* by Using Experimental Design and UPLC,** 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/separations10020106> Acesso em: 5 de Agosto de 2025.

MOUHOUBI, Khokha *et al.* **Effect of Pre-Treatment, Treatment, and Extraction Technologies on the Bioactive Substances of Coriander.** *Applied Sciences*, Basel, v. 14, n. 19, art. 8989, out. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app14198989>. Acesso em: 9 de Junho de 2025. Acesso em: 8 de Abril de 2025.

MONIN, A. H.; ACHARYA, S. S.; GAJJAR, A. V. **Coriandrum sativum – Review of Advances in Phytopharmacology.** *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2012.

NAVEED, M. et al. **Chlorogenic acid (CGA): A pharmacological review and call for further research.** *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2018. DOI: 10.1016/j.biopha.2017.10.064. Acesso em: 19 de Junho de 2025.

NUNES, M. K. S. et al. **Efeito antimicrobiano do ácido ferúlico: uma revisão integrativa de bioensaios.** *Revista Eletrônica Acervo Saúde*, 2024. DOI: <https://doi.org/10.25248/reas.e16186.2024>. Acesso em: 16 de Maio de 2024.

OLIVEIRA, R. J. C. **Estudo comparativo do potencial anti-inflamatório e antioxidante da cianidina-3-glucosido e do ácido protocatecuico em células intestinais.** 2014. Dissertação (Mestrado) – Univ. de Coimbra, 2014. Disponível em: <https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/28178>. Acesso em: 19 de Junho de 2025.

OLIVEIRA, V. B. et al. **Efeito de diferentes técnicas extrativas no rendimento, atividade antioxidante, doseamentos totais e no perfil por CLAE-DAD de *Dicksonia sellowiana* (Presl.).** *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 2016. DOI: https://doi.org/10.1590/1983-084X/15_106. Acesso em: 20 de Setembro de 2025.

PATRA, A. et al. . **Extraction of bioactive compounds from fruit by-products: A review.** *Bioresources and Bioprocessing*, 2022. DOI: 10.1186/s40643-022-00498-3. Acesso em: 10 de Julho de 2025.

SALEM, MA, Khalil HMA, Manaa EG, Bass AKA, Osama N, Samaka RM, Ibrahim MT, Hamdan DI. **Antioxidant Potential of Selected Apiaceae Plant Extracts: A Study Focused on the Chemical Composition and Neuroprotective Effect of *Coriandrum sativum* L. Extract Against Lead (Pb)-Induced Neurotoxicity in Rats, 2025.** DOI: 10.1007/s12011-025-04627-9. Acesso em: 4 de Junho de 2025.

SCHEUER, P. M.; GROMOVSKI, R. N.; LANZA, M.; REIS, P. M. C. L. **Influência da concentração de solventes verdes e da temperatura de cocção no rendimento e na capacidade antioxidante total dos extratos das folhas de taioba.** *Brazilian Journal of Food Research*, 2021. Disponível em:

<https://periodicos.utfpr.edu.br/rebrapa/article/viewFile/15008/pdf>. Acesso em: 10 de Setembro de 2025.

SILVA, F. A. M.; BORGES, N. A.; SANTOS, J. R. **Mecanismos de ação de compostos fenólicos na proteção contra o estresse oxidativo.** *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 2015.

SILVA, R. F. da. **Alternativas analíticas ecologicamente amigáveis: utilização de procedimentos verdes na investigação química.** 2022. Tese (Doutorado) – UFRB, 2022.

Disponível em:

https://www.ufrb.edu.br/pgcienciasagrarias/images/TESE_-_PPGCA_-_PPGCAG_-_Rodrigo_Fran%C3%A7a_da_Silva.pdf. Acesso em: 5 de Agosto de 2025.

SIMÕES, C. M. O. et al. **Farmacognosia: da planta ao medicamento.** 6. ed. Porto Alegre: UFRGS; Florianópolis: UFSC, 2010. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/315772641_Farmacognosia_da_Planta_ao_Medicamento. Acesso em: 15 de Outubro de 2025.

SÍTIO DA MATA. **Coentro** – *Coriandrum sativum*. Disponível em:

<https://www.sitiodamata.com.br/especies-de-plantas/coentro-coriandrum-sativum.html>.

Acesso em: 8 de Abril de 2025.

SOUSA, Larissa dos Santos. **Extração e purificação dos compostos fenólicos presentes nas folhas de *Camellia sinensis*.** 2016. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016. Disponível em:

<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/15267>. Acesso em: 20 de Agosto de 2025.

TREYBAL, R. E. **Mass-Transfer Operations.** 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1980.

Disponível em:

https://www.academia.edu/31240497/Mass_Transfer_Operations_Robert_Treybal?auto=download. Acesso em: 8 de Julho de 2025.

VAZ, A. P. A.; JORGE, M. H. A. *Coentro*. Corumbá, MS: Embrapa Pantanal, 2007.

Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/786568/1/FOL107.pdf>. Acesso em: 8 de Abril de 2025.

YILDIZ, H. et al. **Chemical composition, antimicrobial, and antioxidant activities of *Coriandrum sativum* L. essential oil.** *International Journal of Food Properties*, 2015.

DOI:10.1080/10942912.2015.1092161. Acesso em: 27 de Maio de 2025.

YU, X. et al. **Royal Jelly Fatty Acids: Chemical Composition, Extraction, Biological Activity, and Prospect.** *Journal of Functional Foods*, 2023. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464623004681>. Acesso em: 12 de Novembro de 2025.