

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Influência da secagem com pré-tratamento de ultrassom combinando com etanol na qualidade do óleo essencial dos frutos de *Schinus terebinthifolius* Raddi

Caroline Fernanda Albuquerque
Doctor Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

CAROLINE FERNANDA ALBUQUERQUE

Influência da secagem com pré-tratamento de ultrassom combinando com etanol na qualidade do óleo essencial dos frutos de *Schinus terebinthifolius* Raddi

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Evandro de Castro Melo

Coorientadores: Maira C. M. Fonseca
Luis Cesar da Silva
Mariane B. R. de Ávila
Antonio P. S. Carneiro

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

A345i
2025
Albuquerque, Caroline Fernanda, 1995-
Influência da secagem com pré-tratamento de ultrassom
combinando com etanol na qualidade do óleo essencial dos
frutos de *Schinus terebinthifolius* Raddi / Caroline Fernanda
Albuquerque. – Viçosa, MG, 2025.

1 tese eletrônica (92 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Evandro de Castro Melo.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Agrícola, 2025.

Referências bibliográficas: f. 79-92.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.341>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Pimenta. 2. Plantas medicinais. 3. Agentes
anti-infecciosos. 4. Pimenta - Secagem. 5. Essências e óleos
essenciais. I. Melo, Evandro de Castro, 1959-. II. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. III. Título.

CDD 22. ed. 583.77

CAROLINE FERNANDA ALBUQUERQUE

Influência da secagem com pré-tratamento de ultrassom combinando com etanol na qualidade do óleo essencial dos frutos de *Schinus terebinthifolius* Raddi

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 27 de fevereiro de 2025.

Assentimento:

Caroline Fernanda Albuquerque
Autora

Evandro de Castro Melo
Orientador

Essa tese foi assinada digitalmente pela autora em 26/05/2025 às 21:04:29 e pelo orientador em 28/05/2025 às 21:32:45. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **MOGN.GRBV.IDUC** e clique no botão 'Validar documento'.

Aos meus pais Romualdo e Sirlei e irmãs Aline e Patrícia,
Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por sempre guiar e iluminar meu caminho.

Aos meus pais, Romualdo e Sirlei e as minhas irmãs Aline e Patrícia, por todo o amor, carinho, educação, apoio, confiança e por sempre me incentivarem em todos os momentos de minha vida.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) pela oportunidade de estudo, infraestrutura, corpo docente e apoio.

Ao Professor Evandro de Castro Melo, pela orientação, confiança, amizade, ensinamentos e pelas oportunidades concedidas.

Aos professores e pesquisadores Maira Christina Marques Fonseca, Mariane Borges Rodrigues de Ávila, Luís César da Silva e Antônio Policarpo de Souza Carneiro por toda a ajuda e ensinamentos.

À querida Tatiany pelo apoio, amizade, pela ajuda na execução dos experimentos, pelos momentos que juntas compartilhamos e por tornar a caminhada mais leve e divertida.

A todos que, de alguma forma, colaboraram com a realização deste trabalho e que torceram por mim.

Este trabalho foi realizado com o apoio das seguintes agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

“O saber é o único bem que quanto mais se partilha, mais se multiplica.”
— Platão

RESUMO

ALBUQUERQUE, Caroline Fernanda, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2025. **Influência da secagem com pré-tratamento de ultrassom combinando com etanol na qualidade do óleo essencial dos frutos de *Schinus terebinthifolius* Raddi.** Orientador: Evandro de Castro Melo. Coorientadores: Maira Christina Marques Fonseca, Luis Cesar da Silva, Mariane Borges Rodrigues de Ávila e Antonio Policarpo Souza Carneiro.

Este estudo teve como objetivo avaliar a influência do pré-tratamento com ultrassom+etanol na qualidade do óleo essencial extraído de frutos maduros de *Schinus terebinthifolius* Raddi. Inicialmente, foi realizada uma revisão da literatura sobre as propriedades medicinais da espécie e o uso do pré-tratamento ultrassom+etanol na secagem. O estudo avaliou como a combinação de diferentes temperaturas de secagem e o pré-tratamento influenciam a cinética de secagem, o rendimento e a composição química do óleo essencial extraído, além de determinar o seu potencial bioativo frente a diferentes micro-organismos. Os ensaios foram conduzidos segundo um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) considerando quatro fatores, com os seguintes intervalos: duração do banho de ultrassom de 3 a 9 minutos, temperatura do ar de secagem de 50 a 70 °C, tempo de inserção do descanso de 16 a 32 minutos após o início da secagem, e duração do descanso de 8 a 24 minutos. Foram ajustados quatro modelos matemáticos para descrever as curvas de secagem. O óleo essencial foi extraído por hidrodestilação e seus constituintes identificados por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS). A atividade antimicrobiana do óleo foi testada contra *Candida albicans*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Salmonella choleraesuis* e *Escherichia coli*, utilizando o método de microdiluição para determinação da Concentração Inibitória Mínima (MIC). Não foi possível realizar a aplicação do tempo de inserção do descanso durante os ensaios de secagem devido ao fato do material atingir teor de água final antes do período previamente estabelecido no delineamento experimental. Os resultados indicaram que o tempo de secagem foi significativamente influenciado tanto pela duração do pré-tratamento (efeito linear) quanto pela temperatura do ar de secagem (efeitos linear e quadrático). No entanto, nenhum desses fatores demonstrou impacto significativo sobre o rendimento do óleo essencial. Não foi possível ajustar um modelo que otimizasse simultaneamente o tempo de secagem e o rendimento do óleo essencial. A análise cromatográfica revelou que os principais compostos identificados no óleo essencial extraído dos frutos maduros previamente

tratados com ultrassom+etanol foram: α -Pineno, β -Pineno, Sabineno, β -Cariofileno e Germacreno D. Observou-se que a aplicação de diferentes tempos de pré-tratamento combinando ultrassom e etanol, aliada a diferentes temperaturas de secagem, promoveu modificações qualitativas na composição química do óleo essencial. Os resultados mais promissores referentes à composição química foram obtidos com temperaturas de secagem entre 50°C e 70°C e tempos reduzidos de pré-tratamento. No que tange à atividade antimicrobiana, verificou-se que a MIC do óleo essencial de *S. terebinthifolius* para os micro-organismos testados foi superior a 2 mg/mL, evidenciando a ausência de inibição dentro do intervalo de concentrações avaliadas.

Palavras-chave: Pimenta-rosa; Planta Medicinal; Atividade antimicrobiana; Secagem intermitente

ABSTRACT

ALBUQUERQUE, Caroline Fernanda, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2025. **Influence of drying with ultrasound+ethanol pretreatment on the quality of essential oil from ripe fruits of *Schinus terebinthifolius* Raddi.** Adviser: Evandro de Castro Melo. Co-advisers: Maira Christina Marques Fonseca, Luis Cesar da Silva, Mariane Borges Rodrigues de Ávila and Antonio Policarpo Souza Carneiro.

This study aimed to evaluate the influence of ultrasound+ethanol pretreatment on the quality of the essential oil extracted from ripe fruits of *Schinus terebinthifolius* Raddi. Initially, a literature review was conducted on the medicinal properties of the species and the use of ultrasound+ethanol pretreatment in drying. The study assessed how the combination of different drying temperatures and pretreatment affects the drying kinetics, yield, and chemical composition of the extracted essential oil, in addition to determining its bioactive potential against different microorganisms. The experiments were conducted using a Central Composite Rotational Design (CCRD), considering four factors with the following ranges: ultrasound bath duration from 3 to 9 minutes, drying air temperature from 50 to 70 °C, rest insertion time from 16 to 32 minutes after the beginning of drying, and rest duration from 8 to 24 minutes. Four mathematical models were fitted to describe the drying curves. The essential oil was extracted by hydrodistillation, and its constituents were identified by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The antimicrobial activity of the oil was tested against *Candida albicans*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Salmonella choleraesuis*, and *Escherichia coli* using the microdilution method to determine the Minimum Inhibitory Concentration (MIC). It was not possible to apply the rest insertion time during the drying trials because the material reached its final moisture content before the time previously established in the experimental design. The results indicated that the drying time was significantly influenced by both the pretreatment duration (linear effect) and the drying air temperature (linear and quadratic effects). However, none of these factors had a significant impact on the essential oil yield. It was not possible to fit a model that simultaneously optimized both drying time and essential oil yield. Chromatographic analysis revealed that the main compounds identified in the essential oil extracted from ripe fruits pretreated with ultrasound+ethanol were: α -Pinene, β -Pinene, Sabinene, β -Caryophyllene, and Germacrene D. It was observed that the application of different pretreatment times combining ultrasound and ethanol, along with different drying temperatures, promoted qualitative changes in the chemical

composition of the essential oil. The most promising results regarding chemical composition were obtained with drying temperatures between 50°C and 70°C and shorter pretreatment times. Regarding antimicrobial activity, it was found that the MIC of *S. terebinthifolius* essential oil for the tested microorganisms was above 2 mg/mL, indicating the absence of inhibition within the concentration range evaluated.

Keywords: Pink Pepper; Medicinal Plant; Antimicrobial Activity; Intermittent Drying

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 Pimenta-rosa (<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi)	13
2.2 Secagem intermitente	24
3. OBJETIVOS	40
3.1 Objetivo geral	40
3.2 Objetivos específicos	40
4. MATERIAIS E MÉTODOS	41
4.1 Delineamento experimental	41
4.2 Material Vegetal	42
4.3 Pré-tratamento de ultrassom + etanol	43
4.4 Secagem	44
4.5 Extração do óleo essencial	46
4.6 Análise qualitativa e quantitativa dos constituintes do óleo essencial	48
4.7 Atividade antimicrobiana do óleo essencial	50
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
5.1. Teor de água	52
5.2 Otimização do processo de secagem dos frutos maduros de <i>Schinus terebinthifolius</i> pré-tratados com ultrassom+etanol Na Tabela 3, constam os valores do tempo de duração da secagem para cada tratamento realizados aos frutos maduros de <i>S. terebinthifolius</i> pré-tratados com ultrassom+etanol	53
5.3 Composição química do óleo essencial	62
5.4 Influência da temperatura do ar de secagem e do tempo de pré-tratamento de ultrassom+etanol	68
5.5 Atividade antimicrobiana do óleo essencial	73
6 CONCLUSÕES	76
6.1 Otimização do processo de secagem	76
6.2 Composição química do óleo essencial	77
6.3 Atividade antimicrobiana	77
6.4 Recomendação - Secagem	77
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	78
8 REFERÊNCIAS	79

1 INTRODUÇÃO

A utilização das plantas medicinais é uma prática milenar, enraizada no saber popular e marcada pela interrelação entre cultura e saúde (Alvim et al., 2006). Seu uso é amplamente disseminado entre a população brasileira, sendo impulsionado por diversos fatores que favorecem a adoção de práticas de saúde baseadas em espécies medicinais. Entre esses fatores, destacam-se o baixo custo da medicina caseira e as propriedades terapêuticas provenientes dos compostos bioativos presentes nessas plantas.

A espécie *Schinus terebinthifolius* Raddi, popularmente conhecida como pimenta-rosa, aroeira, aroeirinha, aroeira-da-praia, aroeira-vermelha e aroeira-pimenteira, é amplamente empregada na medicina tradicional. Suas propriedades biológicas são conhecidas há décadas e foram descritas desde a primeira edição da Farmacopeia Brasileira, publicada em 1926 (Carvalho et al., 2013). Além disso, essa espécie está listada tanto na Relação Nacional de Medicamentos Essenciais (RENAME) quanto na Relação de Plantas Medicinais de Interesse ao Sistema Único de Saúde (RENISUS) (Brasil, 2019).

De acordo com o Formulário de Fitoterápicos da Farmacopeia Brasileira, os principais órgãos vegetais de interesse farmacológico dessa espécie são a casca do caule seco e os frutos (Brasil, 2011). O óleo essencial extraído de *Schinus terebinthifolius* apresenta como constituintes majoritários: α -felandreno, α -pineno, β -pineno, β -cariofileno e germacreno D. Barbosa et al. (2007) analisaram os óleos voláteis extraídos dos frutos verdes de *Schinus terebinthifolius* e observaram a predominância dos constituintes químicos β -pineno (10,21%), α -terpineol (5,35%), β -elemeno (5,92%), (E)-cariofileno (13,61%), germacreno-D (37,55%), biciclogermacreno (20,82%), Epi- α -murolol (9,89%), δ -cadineno (15,48%) e α -cadinol (20,60%), sendo a maioria pertencente à classe dos sesquiterpenos. Esses compostos conferem à espécie diversas propriedades terapêuticas, incluindo ação cicatrizante, anti-inflamatória e antisséptica tópica para uso ginecológico (Brasil, 2019). Além disso, outras partes da planta, como folhas, frutos maduros e raízes, são tradicionalmente utilizadas como agentes antibacterianos (Dannenberg et al., 2016; Melo-Júnior et al., 2002), cicatrizantes (Melo-Júnior et al., 2002), analgésicos para dores reumáticas, artrite e dores lombares (Rosas et al., 2015), bem como no

tratamento de infecções urinárias (Uliana *et al.*, 2016), ginecológicas (Lorenzi; Matos, 2008), respiratórias e úlceras (Carlini *et al.*, 2010).

Apesar da ampla gama de aplicações terapêuticas das plantas medicinais, sua disponibilidade contínua para a população e a preservação de suas propriedades biológicas requerem processos adequados de conservação. Nesse contexto, a secagem é considerada a operação mais eficiente para manter a qualidade desses materiais vegetais.

A secagem consiste em um processo simultâneo de transferência de calor e massa entre o ar de secagem e o material vegetal úmido. O objetivo desse processo, quando aplicado a espécies medicinais, é reduzir o teor de água das plantas, garantindo a preservação dos compostos bioativos e preparando o material para o armazenamento seguro e prolongado (Pimentel *et al.*, 2012). Entretanto, a exposição contínua ao ar quente durante a secagem pode ocasionar modificações físicas no produto, alterar características organolépticas (como cor, sabor e aroma), promover a perda de compostos voláteis, modificar sua composição química e influenciar diretamente a aceitação comercial do produto (Argyropoulos; Müller, 2014; Chin; Law, 2011; Jin *et al.*, 2017; Orphanides; Goulas; Gekas, 2015). Além disso, processos de secagem prolongados acarretam maior consumo de energia térmica e elétrica (Kumar; Karim; Joardder, 2014). Dessa forma, a otimização dos métodos de secagem e a qualidade do material vegetal seco tornam-se variáveis essenciais para a obtenção de um produto de alto valor comercial.

Na busca por técnicas de secagem mais eficientes que preservem a qualidade final do material vegetal seco, a utilização do ultrassom e do etanol como pré-tratamentos à secagem de espécies medicinais surge como uma alternativa promissora. A aplicação de ondas ultrassônicas no tecido vegetal gera ciclos de compressão e expansão, resultando em forças superiores à tensão superficial que mantém a umidade retida nas células. Esse fenômeno cria microcanais que facilitam a remoção da água, reduzindo, assim, o teor de água sem aumentar significativamente a temperatura do material (Fuente-Blanco; Blanco, 2006).

O uso do etanol no processo de secagem justifica-se pelo fato de esse solvente favorecer a dissolução de componentes da parede celular e facilitar a transferência de massa durante a imersão e a secagem. Ambas as técnicas (ultrassom e etanol) possibilitam uma secagem mais rápida e a temperaturas mais baixas em comparação

aos métodos convencionais, preservando, assim, a qualidade do material vegetal seco.

Diante desse cenário, este estudo teve como objetivo avaliar a influência do pré-tratamento com ultrassom+etanol na qualidade do óleo essencial extraído de frutos maduros de *Schinus terebinthifolius* Raddi.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Pimenta-rosa (*Schinus terebinthifolius* Raddi)

2.1.1 Características gerais

A *Schinus terebinthifolius* Raddi, conhecida popularmente como pimenta-rosa ou aroeira-vermelha, é uma espécie arbórea pertencente à família Anacardiaceae. Trata-se de uma árvore perene com ampla distribuição geográfica, podendo atingir alturas entre 5 e 10 metros. Seu tronco é relativamente curto e tortuoso, apresentando um diâmetro entre 20 e 30 cm, além de possuir uma casca fina, que se desprende em placas irregulares (Lenzi; Orth, 2003).

O crescimento dessa árvore é predominantemente horizontal, uma vez que seus ramos surgem a partir de galhos primários e se estendem lateralmente. Essa característica confere à *Schinus terebinthifolius* um desenvolvimento típico plagiotrópico, sem a presença de galhos verticais predominantes (Carmello-Guerreiro; Sartori-Paoli, 1999). Sua copa tem formato arredondado e aberto, enquanto a casca externa do tronco apresenta uma textura rugosa e sulcada, sendo espessa e se desprendendo de maneira irregular.

As folhas dessa espécie são compostas imparipenadas, alternas e glabras, compostas por 9 a 11 folíolos lanceolados e pontiagudos. Durante o estágio inicial de desenvolvimento, as folhas apresentam-se trifolioladas, sendo possível diferenciá-las por seu ráquis estreito entre os pares de folíolos. A tonalidade das folhas pode variar entre diferentes tons de verde, sendo membranáceas e de bordas lisas ou levemente passerreadas (Lenzi; Orth, 2003).

A floração ocorre por meio de inflorescências paniculadas, contendo flores pequenas e pentâmeras. As flores masculinas apresentam dez estames com anteras dorsifixas de coloração amarelada, enquanto as femininas possuem um gineceu com estigma trilobado e ovário súpero unilocular, abrigando um único óvulo (Belhoussaine et al., 2022).

Os frutos são do tipo drupa globosa, medindo entre 4 e 5,5 mm de diâmetro. Durante a fase inicial de maturação, apresentam coloração verde-clara, tornando-se vermelhos brilhantes quando completamente desenvolvidos. De sabor adocicado e levemente picante, seus frutos são amplamente utilizados na culinária, sendo conhecidos comercialmente como pimenta-rosa (Lenzi; Orth, 2003; Belhoussaine et al., 2022). (Figura 1).

Figura 1 – Frutos de *Schinus terebinthifolius* Raddi



Fonte: Acervo pessoal da autora (2024).

Cada fruto apresenta uma única semente, na qual, estas são reniformes, com envoltório membranáceo, lisa, de coloração amarelo-clara, com uma mancha marrom escura. O envoltório tem dupla origem, uma parcialmente paquicalazal, que na semente madura se manifesta externamente como uma mancha marrom escura, e a outra tegumentar. As sementes apresentam canais secretores bem desenvolvidos e

complexos (Machado; Carmello-Guerreiro, 2001) que são protegidos pela casca vermelha.

A disseminação da planta de *Schinus terebinthifolius* Raddi ocorre através das sementes e, provavelmente, por estaquia a partir de segmentos da raiz e do caule. O crescimento é relativamente rápido, podendo atingir 1 metro de altura no primeiro ano (Carmello-Guerreiro; Sartori, 1999; Oliveira Junior, 2013).

No Brasil, *Schinus terebinthifolius* é encontrada principalmente entre as regiões do estado de Pernambuco ao Rio Grande do Sul (Oliveira; Araújo, 2007; Santos, *et al.*, 2006). Embora mais frequente ao longo do litoral brasileiro, a pimenta-rosa também pode estar presente no interior do Brasil, como evidenciam os trabalhos históricos em relação ao seu uso na região da Amazônia e de Minas Gerais, entre outras localidades (Gilbert; Favoreto, 2011; Carvalho *et al.*, 2013). Além do nome comumente conhecido, “pimenta-rosa”, ela apresenta diversas outras nomenclaturas populares, de acordo com a região encontrada, podendo ser chamada de “aroeira da praia”, “aroeira negra”, “aroeira vermelha”, “aroeira de Minas”, “corneiba” (Brasil), “chichita” (Argentina); “copal” (Cuba) e “pimenta de Brasil”. (Carvalho *et al.*, 2013).

2.1.2 Composição química do óleo essencial

A composição química bem como o teor de óleo essencial dos frutos maduros de *Schinus terebinthifolius* Raddi pode estar associada a diversos fatores, tais como: temperatura, luminosidade, sazonalidade, variedade genética, estágio de desenvolvimento da planta, horário da colheita, nutrição, além das interações da planta com outras plantas, com microorganismos e insetos. Além disso, etapas de pré-processamento tal como a secagem, também pode afetar a composição química dos óleos essenciais dos frutos maduros (Silva, 2014).

A primeira análise sobre a composição química do óleo essencial de frutos maduros de *S. terebinthifolius* foi realizada por Lloyd *et al.* (1977). Os autores relatam que foram identificados mais de 50 compostos, incluindo monoterpenos, sesquiterpenos e 2 triterpenos. Os terpenos são uma combinação de várias unidades de 5 carbonos-base chamadas isopreno e podem formar classes com estruturas e funções diferentes. Os monoterpenos são formados a partir de duas unidades de isopreno e constituem 90% dos óleos essenciais (Rubió, Motilva; Romero, 2013). Bacchi (1986), também relatou que mono-, sesqui- e triterpenos e os fenóis são os

principais compostos químicos encontrados no óleo essencial dos frutos maduros da pimenta rosa.

Quanto aos monos- e sesqui-terpenos presentes no óleo essencial dos frutos maduros da pimenta rosa, Flavex (2022), reportou que o óleo essencial coletado no Espírito Santo ou no Estado do Rio de Janeiro assemelha-se bastante com óleo essencial comercializado na Europa como flavorizante ou condimento sob o nome de Flavex. Os principais componentes do óleo local obtido por hidrodestilação foram o α -felandreno (13%), α -careno (20-30 %), α -pineno (13-25%) e limoneno (20%), (este não registrado por Barbosa e colaboradores (2007) em frutos de Viçosa, Minas Gerais) contra α -felandreno (5- 20%), α -pineno (10-20%), e limoneno (10-20%) no óleo comercial obtido por extração com CO₂ supercrítico de frutos maduros de origem brasileira (Flavex, 2022). Os monoterpenos, α -careno e α -pineno também predominaram nos frutos de Rio Grande do Sul, embora houvesse uma variação grande dos sesquiterpenos da mistura (Gehrke *et al.*, 2007). Hussien *et al.* (2017) afirmam que os principais constituintes do óleo essencial dos frutos maduros de *S. terebinthifolius* são α -pineno (36,9%), α -felandreno (32,8%), limoneno (11,9%) e α -terpineol (6,0%).

Pesquisadores conseguiram isolar e identificar a predominância de monoterpenos como α -pineno, β -pineno, mirceno e limoneno, seguidos de menor concentração de sesquiterpenos como D-germacreno, no óleo essencial de frutos maduros de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Gois, 2016).

Clemente (2006) relatou a presença de α -pineno (18,82%), β -pineno (5,02%) α -felandreno (23,55%), α -3-careno (29,22%), β -felandreno (18,08%) e D-germacreno (11,89%), no óleo essencial proveniente de frutos maduros de *S.terebinthifolius*.

Em um estudo realizado por Bendaoud *et al.* (2010), a composição química do óleo essencial dos frutos de *S.terebinthifolius* revelou os seguintes compostos majoritários: α -felandreno (34,34%); β -felandreno (10,61%); α -terpineol (5,60%); α -pineno (6,49%); β -pineno (3,09%); e p-cymeno (7,34%).

Uma comparação entre os componentes dos óleos de frutos maduros e imaturos da pimenta rosa, no estudo de Barbosa *et al.* (2007), mostrou uma certa variação, predominando no óleo dos imaturos os sesquiterpenos α -cadinol, α -cadineno, epi- α -muurolol. Nos frutos maduros foram identificados monoterpenos (δ -3-careno, α -felandreno, β -felandreno, α -pineno e β -pineno) e um menor teor de sesquiterpenos (cariofileno e D-germacreno).

Cavalcanti *et al.* (2015), relata que β -cariofileno (35,2%), α -pineno (28,1%) e D-germacrênico (15,5%) representam os principais componentes do óleo essencial de folhas de *S. terebinthifolius*, enquanto o α -pineno (44,9%), D-germacrênico (17,6%) e β -pineno (15,1%) estão presentes no óleo essencial dos frutos maduros.

Zotti-Sperotto *et al.* (2021), em seu estudo sobre a influência da secagem intermitente na qualidade do óleo essencial de frutos maduros de *S. terebinthifolius*, relatou que nove compostos foram identificados nos frutos secos. Entretanto, em todas as formas de secagem avaliadas, os compostos α -felandreno, limoneno e α -pineno foram encontrados em maiores concentrações. Ennigrou *et al.* (2017) também observaram o α -felandreno (45,88%), α -pineno (13,96%) e limoneno (8,14%) como compostos majoritários do óleo essencial dos frutos maduros de *S. terebinthifolius*. Hussein *et al.* (2017) identificaram como principais compostos o α -pineno (36,9%), seguido pelo α -felandreno (32,8%) e limoneno (11,9%).

Périno-Issartier *et al.* (2010) encontraram 37 componentes no óleo essencial de frutos de *S. terebinthifolius*. Segundo os autores, o limoneno, α -felandreno, α -pineno e germacreno-D são os componentes principais.

Além dos monoterpenos e sesquiterpenos, algumas atividades biológicas dos frutos da *S. terebinthifolius* são atribuídas a compostos de maior massa molecular presentes nos frutos, tais como compostos fenólicos (apigenina, ácido elágico e naringina) e carotenoides, sendo estes compostos apontados como os principais responsáveis pela atividade antioxidante dos frutos de *S. terebinthifolius* (Degáspari, Waszczynskyj; Santos, 2004; Pagani *et al.*, 2014).

2.1.3 Atividades biológicas

Na medicina popular, *S. terebinthifolius* é utilizada na forma de chás, infusões ou tinturas, como agente anti-inflamatório (Medeiros *et al.*, 2007; Rosas *et al.*, 2015), antibacteriano (Martinez *et al.*, 1996; Melo-Junior *et al.*, 2002; Burt, 2004; Dannenberg *et al.*, 2016), cicatrizador de feridas (Melo-Junior *et al.*, 2002), alívio de dores reumáticas, artrite e nas costas (Rosas *et al.*, 2015), tratamento de infecções urinárias (Uliana *et al.*, 2016), ginecológicas (Lorenzi; Matos, 2008), respiratórias e úlceras (Carlini *et al.* 2010).

Em dissertação de mestrado realizada no Núcleo de Pesquisas de Produtos Naturais da UFRJ foram isoladas e identificadas dos frutos de *S. terebinthifolius*, duas

substâncias fenólicas, da classe dos biflavonóides, a agathisflavona e tetraidroamentoflavona. Tais substâncias são conhecidas por suas atividades anticancerígena, antiviral e antioxidante (Oliveira, 2012). Os principais grupos de compostos com propriedades antimicrobianas extraídos de plantas incluem: terpenóides e óleos essenciais, alcaloides, lectinas e polipeptídios, e substâncias fenólicas e polifenóis, que são: fenóis simples, ácidos fenólicos, quinonas, flavonas, flavonóis e flavonoides, taninos e cumarinas (Gonçalves *et al.*, 2005).

A seguir, serão descritas as principais atividades biológicas e propriedades terapêuticas atribuídas aos constituintes químicos do óleo essencial extraído dos frutos maduros de *Schinus terebinthifolius* Raddi.

Atividade antihiperalgésica

Piccinelli (2017), ao avaliar a atividade antihiperalgésica do óleo essencial dos frutos de *S. terebinthifolius* e os compostos isolados (R)-(+)-limoneno e α -felandreno em modelos de lesão do nervo ciático e injeção intratecal de citocinas ou gp120 em roedores, relatou que o composto limoneno reverteu significativamente a hiperalgisia induzida pela gp120 após 3 horas da injeção e alterou ainda os níveis de IL-1 β e IL-10 no sangue dos animais. O limoneno também foi capaz de inibir significativamente a hiperalgisia mecânica induzida pelo TNF- α e IL-1 β e modulou a expressão de SOD e HSP90 nas células da medula espinhal. Quanto ao composto α -felandreno (10mg/kg), os resultados demonstraram que a administração intratecal de gp120 e IL-1 β aumentou significativamente a sensibilidade mecânica e sensibilidade ao frio em camundongos e o felandreno foi capaz de reverter esses efeitos após 2 e 3 horas. O autor concluiu que o limoneno e o felandreno possuem atividade antihiperalgésica através da modulação da produção de citocinas inflamatórias.

Atividade antifúngica, antibacteriana e antimicrobiana

Diversos estudos comprovam a ação antimicrobiana dos frutos da pimenta rosa, associando-a com sua composição química rica em terpenóides e óleos essenciais, alcalóides, lectinas e polipeptídios, e substâncias fenólicas e polifenóis, que são: fenóis simples, ácidos fenólicos, quinonas, flavonas, flavonóis e flavonoides, taninos e cumarinas.

Os óleos essenciais extraídos de frutos de pimenta rosa apresentaram atividade antibacteriana contra 15 (83%) das 18 bactérias testadas por Dannenberg *et al.* (2016), dentre elas, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus*, *Streptococcus mutans*, *Shigella dysenteriae*, *Enterobacter aerogenes*, *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, *Pseudomonas aeruginosa*. No óleo essencial foram identificados terpenos, terpenoides e fenilpropenos, sendo atribuídos a esses compostos a atividade antibacteriana encontrada. O óleo essencial dos frutos também apresentou atividade contra *Streptococcus agalactiae* e *Enterococcus faecium* (Ennigrou *et al.*, 2017).

Gehrke *et al.* (2007) avaliaram a atividade antimicrobiana de diversas frações do óleo essencial dos frutos maduros de *S. terebinthifolius* utilizando a técnica de microdiluição em caldo, com obtenção da concentração inibitória mínima (MIC) frente a cepas de *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella setubal*, *Klebsiella pneumoniae* e os fungos *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida albicans* e *Cryptococcus neoformans*. Concentrações ativas, obtidas de certas frações de óleo, demonstraram atividade contra as bactérias *Pseudomonas aeruginosa* e *Salmonella setubal* com valores CIM entre 2,5 mg/mL e 5,0 mg/mL e entre 1,25 mg/mL e 0,625 mg/mL contra os fungos *Candida albicans*, *Saccharomyces cerevisiae* e *Cryptococcus neoformans*.

Santos *et al.* (2019) e Silva-Neto *et al.* (2018) relataram que os óleos essenciais dos frutos maduros da pimenta-rosa proporcionam ações antimicrobianas, desencadeando efeitos bactericida e bacteriostática, sendo assim, um possível agente efetivo na prevenção a infecções, até mesmo em ambiente hospitalar, uma vez que o seu óleo é rico em mono, sesquiterpenos e taninos. Tendo em vista que a resistência bacteriana é uma problemática atual, a não erradicação de bactérias multirresistentes pode acabar acarretando a piora do quadro clínico dos pacientes e até mesmo a mortalidade (Silva-Neto *et al.*, 2018).

Santos *et al.* (2019), relataram que, apesar do óleo essencial do fruto verde de pimenta rosa não apresentar atividade antibacteriana, o óleo essencial do fruto maduro é capaz de inibir, em diferentes concentrações, o crescimento de isolados de *Acinetobacter baumannii* produtoras de metalo-beta-lactamase e oxacilinases (sendo a concentração mínima inibitória de até 0,03125%). Além disso, segundo os autores, o óleo essencial de frutos maduros de pimenta rosa representa uma nova possível

fonte terapêutica contra isolados de *Acinetobacter baumannii* multirresistentes (Santos *et al.*, 2019).

Braga *et al.* (2020) também relataram atividade antibacteriana do óleo essencial do fruto maduro de pimenta rosa contra *Staphylococcus aureus* e *Staphylococcus epidermidis* resistente à meticilina, bactérias causadoras de infecção hospitalar, com concentração inibitória mínima variando de 1 a 0,5 %. Além disso, o óleo essencial também apresentou eficácia frente a *Klebsiella pneumoniae* (bactéria produtora de carbapenemase, à uma concentração mínima de 2,0%) e a *Escherichia coli* (produtora de Beta-lactamase de espectro estendido à uma concentração de 0,5%) e potencial antifúngico diante da espécie *Candida albicans* (concentração mínima de 1,0%). Em contraste, a fração do fruto verde da pimenta rosa não apresentou ação antibacteriana e antifúngica. Desse modo, a atividade antimicrobiana está ligada com a composição química e maturação dos frutos, fator imprescindível na ação do mesmo fruto em diferente estado de maturação. Dentre os inúmeros compostos químicos que apresentam propriedades antimicrobianas e se encontram no extrato e óleo da espécie *Schinus terebinthifolius* Raddi, podem-se citar o ácido hidroximasticadienóico, o ácido terebinthifólico, o ácido ursólico e a terebinthona (Bendaoud *et al.*, 2010).

Os óleos essenciais dos frutos de pimenta rosa também apresentaram efeito antibacteriano frente às cepas de *Escherichia coli* da linhagem (ATCC 25922). A *Escherichia coli* é uma bactéria Gram-negativa e aeróbia, a qual também está associada a quadros de infecções urinárias, na corrente sanguínea, intestinais entre outros (Greatti *et al.*, 2014).

El-Massry *et al.* (2009), ao analisarem a atividade antifúngica do óleo essencial do fruto maduro de *S. terebinthifolius*, relataram que o mesmo apresentou percentual de inibição de crescimento moderado contra cepas de *S. aureus*, *P. aeruginosa*, *E. coli*, *A. niger*, *Aspergillus parasiticus* e *C. albicans*.

Embora a atividade antimicrobiana possa ser reforçada por um único composto químico, geralmente é resultante da sinergia entre os compostos presentes no óleo essencial das plantas medicinais (Silva *et al.*, 2010).

Atividade anti-inflamatória

Formagio *et al.* (2011), ao avaliarem a atividade anti-inflamatória do óleo essencial dos frutos maduros de pimenta rosa (*S. terebinthifolius*), relataram que,

quando administrado oralmente, o óleo foi capaz de inibir significativamente os edemas induzidos por carragenano em patas de ratos e a inflamação persistente induzida pelo adjuvante Freund, confirmando sua atividade anti-inflamatória. Segundos os autores, os principais compostos químicos identificados no óleo foram, predominante, os monoterpenos (85,81%), dos quais destacam-se: α -pineno (12,59%), δ -3-careno (30,37%), limoneno (17,44%), α felandreno (12,60%), mirceno (5,82%) e o-cimeno (3,46%); os sesquiterpenos apareceram menores proporções (5,34%).

Atividade anticancerígena

Nos estudos de Matsuo *et al.* (2011), os pesquisadores observaram que o composto α -pineno obtido a partir do óleo essencial dos frutos maduros de *S. terebinthifolius* apresentaram atividade de apoptose em células de câncer de mama B16F10 e em metástase B16F10-Nex2 com tratamento intraperitoneal i.p. com doses entre 100 μ L mL⁻¹ de α -pineno a 10 mg mL⁻¹ em dias alternados. Os pesquisadores ainda observaram a produção de um ânion superóxido que auxiliava na eliminação das células cancerígenas.

Ibrahim, Fobbe e Nolte (2004), relataram que o óleo dos frutos de *S. terebinthifolius* de origem egípcia mostrou uma atividade notável in vitro em células de carcinoma Ehrlich ascítica. Este óleo continha como componentes principais elixeno (15,18%), α -pineno (15,01 %), e germacreno D (14,31%).

Bendaoud *et al.* (2010), ao avaliarem o efeito do óleo essencial dos frutos de *S. terebinthifolius* em células de câncer de mama humano (MCF-7), relataram que o óleo apresentou atividade anticancerígena significativa. Segundo os autores, o óleo essencial apresentou alta atividade antioxidante, de modo que a citotoxicidade causada nas células cancerígenas pode estar relacionada a essa atividade. Além disso, esse óleo é rico em sesquiterpenos, conhecido por sua atividade anticancerígena. Portanto, os compostos isolados podem apresentar atividade anticancerígena muito maior, podendo ser uma fonte promissora para estratégias terapêuticas e/ou preventivas inovadoras contra o câncer.

Atividade cicatrizante e tripanossomida

Estevão *et al.* (2013), ao avaliar o efeito de uma pomada fabricada com óleo essencial de *S. terebinthifolius* a 5%, no processo de cicatrização de feridas cutâneas em ratos, durante 21 dias, observaram que a contração das lesões foi maior nas feridas tratadas com óleo de pimenta do que no controle.

Sartorelli *et al.* (2012), ao avaliarem o composto (-) - α -pineno derivado do óleo essencial de frutos maduros de *S. terebinthifolius* coletados em Ouro Fino, estado de Minas Gerais, Brasil, relataram que o óleo apresentou moderado potencial contra a forma de *T. cruzi*, com CI50 com 63,56 mg.mL⁻¹. Todavia, para o óxido de (-) - α -pineno, o mesmo não demonstrou atividade tripanossomida com CI50 de 400 mg.mL⁻¹. O (-)-pinano apresentou uma CI50 igual a 56,50 mg.mL⁻¹.

Atividade antioxidante

Os radicais livres são capazes de provocar a oxidação celular no organismo humano e podem ainda desencadear entraves diante da homeostase corporal, ocasionando o surgimento de diversas doenças (Silva *et al.*, 2017).

Em estudo realizado por Dannenberg *et al.* (2016), foram avaliadas atividade antioxidante *in vitro* e *in situ* do óleo essencial de pimenta rosa. A atividade antioxidante *in vitro* do óleo essencial em dois estádios de amadurecimento foi realizada através do método de captura do radical DPPH (2,2, difenil-2-picrilhidrazil). Já a atividade antioxidante *in situ* do óleo essencial dos frutos maduros, foi avaliada por dois parâmetros de oxidação química, indicativos do grau de deterioração no processo de oxidação lipídica, em queijos. Ambos os óleos essenciais apresentaram atividade antioxidante, já que a concentração do DPPH foi reduzida, indicando que não há nenhum efeito da maturidade do fruto na capacidade antioxidante do óleo. Ao longo dos 30 dias de armazenamento, o queijo de todos os tratamentos apresentou valores mais baixos de peróxido em relação ao controle, demonstrando a atividade inibitória do óleo essencial no estágio inicial do processo de oxidação lipídica, prolongando sua vida útil e preservando as características sensoriais por um longo período de tempo.

Pesquisadores avaliaram a atividade antioxidante usando reagentes de ácido 2, 2-difenil-1-picrilhidrazil, β caroteno / linoléico e ácido 2,2'-azino-bis- (3-etilbenzotiazolina) -6-sulfônico. O óleo essencial de pimenta rosa apresentou atividade antioxidante nos três ensaios realizados em duplicata (2,88 \pm 0,02; 2,31 \pm 0,06;

2,39±0,02 µmoles equivalente de trolox/ g de óleo essencial de pimenta rosa). Portanto, como principal resultado deste estudo, foi encontrado que o óleo essencial dos frutos in natura da pimenta rosa conseguiu apresentar atividade antioxidante (Silva *et al.*, 2017). Dessa maneira, esse óleo é capaz de desencadear significativa ação preventiva a processos oxidativos, em ensaios in vitro (Silva *et al.*, 2017; SILVA-Neto *et al.*, 2018).

Bendaoud *et al.* (2010) verificaram eficiente atividade antioxidante para os modelos de radicais livres (1,1-difenil-2-picrilhidrazil) DPPH e (2,2'-azinobis-3-etil benzotiazolina-6- sulfonato) ABTS, onde o óleo essencial dos frutos maduros de *S. terebinthifolius* apresentou para ABTS uma CI50 superior de 24,1 mg.L⁻¹ e de *S. molle* com CI50 inferior de 270,5 mg.L⁻¹.

Atividade Larvicida

Atualmente, mosquitos do gênero *Aedes* e *Stegomyia* podem transmitir doenças de interesse da saúde pública como dengue e febre amarela (Silva *et al.*, 2010; Vasconcelos, 2014). Nesse seguimento, pesquisadores identificaram no óleo essencial de frutos e sementes da pimenta rosa, seis constituintes principais: δ-3-careno, α-pineno, silvestreno, germacreno D, β-mirceno e isoterpinoleno potencialmente tóxicos para tais mosquitos. E ainda, a dose inibitória mínima para o desenvolvimento das larvas foi de 862,20 µg mL⁻¹, já a dose letal média (LD50) do óleo essencial para larvas ficou entre as concentrações de 172,44-344,88 µg mL⁻¹. Os dados citados indicaram que do óleo essencial da pimenta rosa apresenta potencial larvicida natural contra *S. aegypti* (Silva *et al.*, 2010).

Atualmente, cascas da pimenta rosa já são utilizadas para a produção dos fitoterápicos: Kronel®, indicado no tratamento das cervicites, vaginites e cérvico-vaginites, e do Kios®, medicamento destinado ao tratamento sintomático da gastrite leve a moderada.

O óleo essencial, extraído principalmente dos frutos, é outro produto que tem ganhado mercado nacional e internacional. A indústria Natura® já produz alguns cosméticos (hidratante, óleo corporal, sabonete e creme antissinais) utilizando o óleo essencial e folhas de pimenta-rosa (Neves *et al.*, 2016; Gomes *et al.*, 2013).

Ressalta-se ainda que a pimenta-rosa é utilizada, especialmente, como condimento alimentar, sendo muito usada na culinária nacional e internacional devido

ao sabor suave e apimentado, bem como sua aparência, que permite o seu emprego em diversas preparações culinárias, podendo ser utilizada na forma de grãos inteiros ou moída (Castro *et al.*, 2012; Neves *et al.*, 2016).

2.2 Secagem intermitente

De acordo com Melo e Barbosa (2020), a secagem de produtos vegetais pode ser compreendida como um processo simultâneo de transferência de calor do ar de secagem para o produto úmido, além da transferência de massa (água) do produto para o ar de secagem. No caso das espécies medicinais, esse processo tem como função reduzir o teor de água, estabilizar o metabolismo da planta, minimizar a atividade microbiana e imobilizar a ação enzimática degradadora dos princípios ativos. Dessa forma, a secagem possibilita um armazenamento seguro e viabiliza a disponibilidade do material vegetal ao longo do ano (Mattana, 2015; Harbourne *et al.*, 2009).

Diversos métodos de secagem podem ser empregados, incluindo a secagem com ar natural, em altas e baixas temperaturas (Melo; Radunz; Melo, 2004; Sharma; Prasad, 2001). Segundo Garcia *et al.* (2004), os métodos de secagem podem ser classificados com base no uso de equipamentos (natural ou artificial), na periodicidade de fornecimento de calor (contínuo ou intermitente) e na movimentação da massa de sementes (estacionário ou contínuo).

A secagem natural, conforme Maia (1995), baseia-se na ação do vento e da radiação solar para a remoção da umidade do produto. No entanto, esse método apresenta desvantagens significativas, como a dependência das condições climáticas, a necessidade de mão de obra intensiva e o baixo rendimento em termos de volume de produto seco por unidade de tempo (Carvalho, 1994).

A secagem artificial, por sua vez, é caracterizada pelo uso de mecanismos mecânicos, elétricos ou eletrônicos que forcem a passagem do ar pelo material úmido (Cavariani, 1996). Esse método apresenta vantagens como o controle rigoroso de fatores que garantem a eficiência do processo, incluindo temperatura, fluxo de ar e tempo de exposição ao calor. Segundo Villela (1991), a secagem artificial pode ser subdividida em dois tipos: secagem em baixa temperatura, na qual o ar natural ou aquecido entre 1 e 6 °C acima da temperatura ambiente é utilizado, e secagem em

alta temperatura, que ocorre quando o ar é aquecido a temperaturas superiores a 6 °C acima da temperatura ambiente.

Quanto à periodicidade no fornecimento de calor, os métodos de secagem artificial podem ser classificados em contínuo e intermitente. A secagem contínua envolve a exposição constante do material ao ar quente até que o teor de água desejado seja atingido. No entanto, esse processo pode levar à elevação excessiva da temperatura da biomassa vegetal, resultando em danos térmicos. Segundo Cavariani (1996), a sensibilidade fisiológica ao dano térmico varia de acordo com a espécie vegetal, o genótipo, o teor de água, a temperatura, o tempo de exposição e a velocidade de secagem. A principal causa dos danos térmicos nos tecidos vegetais é a desintegração das membranas celulares, o que pode resultar em alterações subcelulares, incluindo danos a cromossomos e mitocôndrias, redução da permeabilidade das membranas celulares, diminuição da taxa respiratória, bem como modificações físicas e químicas, como alterações na coloração e aroma, além da perda de compostos bioativos voláteis (Aguirre; Peske, 1992; Villela; Silva, 1992; Carvalho, 1994; Baritoux *et al.*, 1992; Martins *et al.*, 2015).

Uma alternativa promissora para minimizar esses danos térmicos é a adoção da secagem intermitente. Conforme Villela e Peske (1997), esse método caracteriza-se pela exposição do produto ao ar quente em períodos curtos, intercalados com pausas, denominadas períodos de repouso. Durante esses intervalos, ocorre a redistribuição da água no interior da biomassa vegetal, reduzindo os gradientes térmico e hídrico. Além disso, segundo Baudet *et al.* (1999), a secagem intermitente permite o uso de temperaturas elevadas sem que haja aumento excessivo da temperatura da massa do material, mitigando riscos de danos térmicos e aumentando a eficiência do processo. Esse método possibilita uma extração mais eficiente da umidade, tornando-o superior a sistemas convencionais (Villela, 1991).

A aplicação adequada da técnica de secagem, aliada ao conhecimento dos fatores que podem comprometer a eficiência do processo, é essencial para a preservação da biomassa vegetal e suas propriedades terapêuticas. Dentre os principais parâmetros que influenciam a perda de compostos bioativos durante a secagem, destacam-se a temperatura, a umidade relativa do ar, a velocidade do ar, a taxa de secagem da biomassa, a temperatura do material, a pressão estática em função da altura da camada do produto, o teor inicial e final de água, o tipo de sistema

de secagem, o tempo de residência do material na câmara de secagem e o modo de fornecimento do ar aquecido.

Dada a sensibilidade fisiológica de diversas espécies medicinais ao dano térmico e a importância de preservar suas propriedades terapêuticas, inúmeros estudos têm sido realizados para avaliar a influência da secagem intermitente em diferentes espécies vegetais, como *Ocimum gratissimum* L. (Souza *et al.*, 2020), *Lippia origanoides* Kunth (Sperotto, 2020), *Mangifera indica* L. (Váquiro *et al.*, 2009) e *Ilex paraguariensis* (Ramallo *et al.*, 2010).

2.3 Pré-tratamento de ultrassom + etanol à secagem de espécies vegetais com compostos bioativos

2.3.1 Mecanismo de ação do Ultrassom

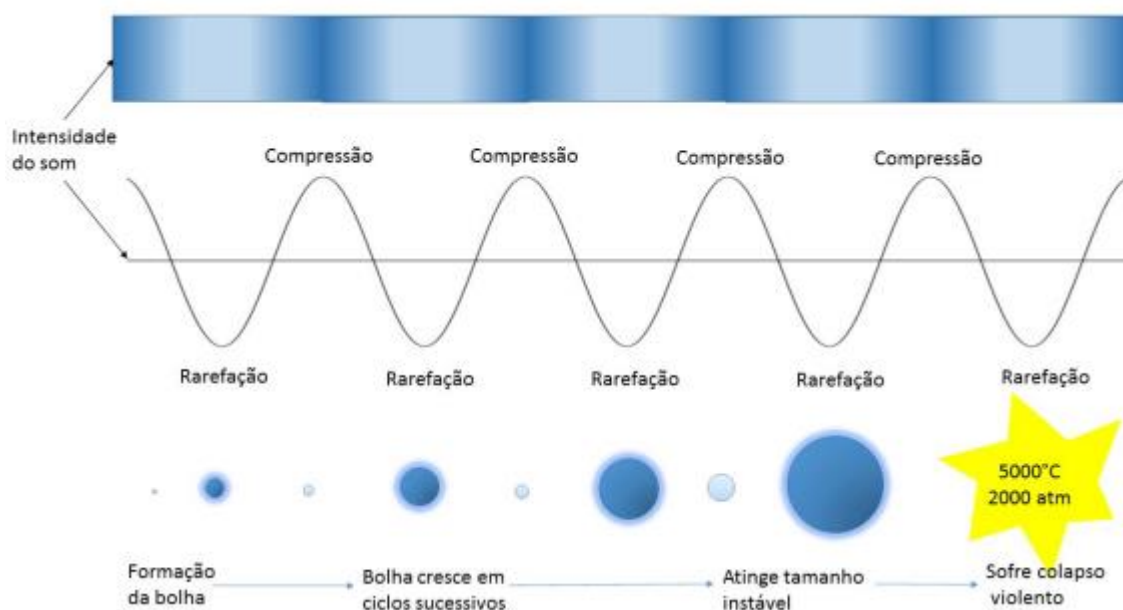
Descoberto por Pierre e Marie Curie em 1880, o ultrassom é uma tecnologia versátil que pode ser definida como uma onda sonora com frequência superior a 16 kHz, não audível pelo ser humano quando transmitida pelo ar. No contexto da secagem de produtos vegetais, a utilização do ultrassom como pré-tratamento justifica-se por seus efeitos diretos e indiretos no produto aplicado.

Os efeitos diretos relacionam-se ao chamado “Efeito Esponja”. Nesse fenômeno, as ondas ultrassônicas, ao percorrerem o material vegetal, provocam uma série de compressões e expansões, semelhantes ao movimento de uma esponja sendo repetidamente espremida e solta. A magnitude dessas forças supera a tensão superficial que mantém a água retida no interior do produto, formando microcanais e cavidades que aumentam a porosidade e facilitam a transferência de massa, promovendo a remoção da água da matriz vegetal (Guo *et al.*, 2019). A cada ciclo de compressão e expansão, há um deslocamento da água das camadas internas para a superfície do material, onde, ao entrar em contato com o ar de secagem, evapora-se rapidamente (De La Fuente *et al.*, 2006; Chemat *et al.*, 2011; Yao, 2016; Miano; Ibarz; Augusto, 2016). Esse mecanismo contribui significativamente para a redução do tempo e do custo da secagem, preservando, ao mesmo tempo, as características físico-químicas do produto (Yao, 2016).

Os efeitos indiretos do ultrassom decorrem da formação de microcanais devido à cavitação acústica (Chemat *et al.*, 2011). As ondas ultrassônicas geram cavitação

na água presente dentro ou fora das células do material vegetal. O colapso das bolhas formadas libera forças de cisalhamento associadas a ondas de choque de pressão, microjatos líquidos e transmissão acústica (Leong *et al.*, 2017). A Figura 2 ilustra esse fenômeno.

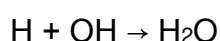
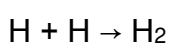
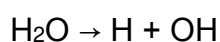
Figura 2 – Formação e colapso das bolhas devido aplicação de ondas ultrassônicas.



Fonte: Leonelli e Masson (2010).

As ondas de choque propagam-se radialmente a partir do ponto de colapso da bolha no fluido circundante, potencializando a transferência de massa (Leong *et al.*, 2017). Os microjatos líquidos formam-se quando as bolhas colapsam, impulsionando jatos de alta velocidade que facilitam a remoção da umidade. Já a transmissão acústica corresponde à propagação de distúrbios no fluido devido à oscilação induzida pela cavitação, gerando forças de cisalhamento nas imediações das bolhas.

Em meio aquoso, a cavitação acústica pode desencadear a formação de radicais livres H^+ e OH^- pela quebra das moléculas de água, resultando em reações químicas como (Kentish; Ashokkumar, 2011):



A presença desses radicais pode influenciar a qualidade de certas substâncias, ao mesmo tempo em que potencializa a funcionalidade de determinados ingredientes alimentares (Ashokkumar *et al.*, 2008). A atividade antioxidante em sistemas alimentares e biológicos depende do grau de hidroxilação dos compostos envolvidos (Soria; Villamiel, 2010). Apesar de a formação de radicais ser considerada um fator limitante para a preservação de compostos bioativos, como os fenóis (Soria; Villamiel, 2010), ela pode elevar a atividade antioxidante de outras substâncias, como os flavonoides (Ashokkumar *et al.*, 2008). Em aplicações onde os radicais OH⁻ podem comprometer a integridade dos compostos de interesse, recomenda-se o uso de ultrassom de baixa frequência, uma vez que a cavitação estável e a geração excessiva de bolhas ativas tendem a intensificar a produção de radicais em altas frequências ultrassônicas (Ashokkumar *et al.*, 2008).

Zotti-Sperotto *et al.* (2021) avaliaram a influência do pré-tratamento ultrassônico combinado com a secagem por bomba de calor, no tempo de secagem, no rendimento e na composição química do óleo essencial de *Varronia curassavica* Jacq., *Ocimum gratissimum* Linn e *Lippia origanoides*. As folhas das três espécies foram submetidas ao pré-tratamento ultrassônico de 0, 3, 5, 10, 15, 20 e 30 minutos a 37 kHz e secas a 40 ° C em secador de leito fixo, equipado com bomba de calor, com velocidade do ar de 0,8 m.s⁻¹. Como resultado, os autores constataram que, o ultrassom reduziu o tempo de secagem, não ocasionou alteração qualitativa nos constituintes químicos dos óleos essenciais extraídos das folhas das espécies estudadas e maximizou o rendimento do óleo essencial de *V. curassavica*. Entretanto, o rendimento do óleo essencial de *O. gratissimum* apresentou uma redução significativa. Além disso, os autores concluíram que os efeitos mecânicos das ondas ultrassônicas podem, efetivamente, potencializar o processo de extração de óleos essenciais, aumentando a penetração do solvente no material celular, facilitando a liberação do conteúdo das células. O tempo recomendado de pré-tratamento com ultrassom para redução do tempo de secagem e para preservação da cor verde das folhas das espécies *Varronia curassavica* e *Ocimum gratissimum* deve ser igual a 5 minutos e para a espécie *Lippia origanoides*, 15 minutos.

Sledz *et al.* (2016) estudaram o efeito do pré-tratamento de ultrassom em frequências diferentes (21 e 35 kHz) nos tempos de 20 e 30 minutos sobre a cinética de secagem e os parâmetros qualitativos de folhas de salsa secas em microondas convectivo (com potência de 200 W e temperatura de 30 °C). A aplicação de ultrassom

em 35 kHz contribuiu para a redução no tempo de secagem de 56 e 11%, para os tempos de 20 e 30 minutos, respectivamente. Os autores concluem que a frequência de 21 kHz no tempo de 20 minutos foi recomendada como pré-tratamento de secagem para folhas de salsa pela redução no tempo de secagem (52%), na preservação do conteúdo fenólico e na manutenção da cor.

Em estudo complementar, Sledz *et al.* (2015a) avaliaram a influência do pré-tratamento com ultrassom (21 kHz) durante a secagem em microondas com diferentes potências (100 e 300 W) e temperaturas de secagem (20, 30 e 40 °C), no tempo de secagem, consumo de energia e qualidade das folhas de salsa. O ultrassom reduziu significativamente o tempo de secagem em até 29,8% e os gastos com energia em até 33,6%, em comparação com o material não tratado. Além disso, o ultrassom propiciou melhor retenção da cor e não afetou o teor de luteína. Nos dois trabalhos, os autores atribuíram a redução do tempo de secagem à formação dos canais microscópicos causadas pela cavitação ultrassônica, reduzindo a resistência à transferência de água, aumentando a evaporação.

Pei *et al.* (2021) estudaram a influência do pré-tratamento com ultrassom (42 kHz à 25 °C) seguido da secagem por infravermelho na taxa de secagem, diferença de cor e microestrutura do açafrão. O efeito da duração do pré-tratamento (30 e 60 segundos) e da temperatura de secagem (50, 60, 70 e 80 °C) na composição química principal, conteúdo total de flavonoides, atividade antioxidante e compostos voláteis no açafrão também foram avaliados. O resultado mostrou que as temperaturas de secagem e as durações de pré-tratamento com ultrassom, afetaram significativamente a taxa de secagem, a cor, a microestrutura, bem como também, as propriedades químicas e os compostos voláteis do açafrão. O pré-tratamento com ultrassom reduziu significativamente o tempo de secagem e melhorou a qualidade da cor à 50 °C. Os autores relataram que isso pode ser explicado devido à criação de microcanais na superfície do açafrão, o que reduziu a resistência à migração de água. Com base na análise de cromatografia gasosa (GC-MS), descobriu-se que os aldeídos e as cetonas são os principais compostos do aroma no açafrão seco, e a proporção desses dois compostos excedeu 85% da quantidade de voláteis em todos os métodos de secagem. O melhor resultado foi obtido com a combinação do pré-tratamento ultrassônico por 30 segundos e secagem à 50 °C, onde as propriedades químicas, principalmente as características de cor e aroma, bem como a atividade antioxidante e os teores de flavonoides estavam nos valores máximos. Assim, os autores

concluíram que o pré-tratamento com o ultrassom antes da secagem por infravermelho pode reduzir o tempo do processo sem alterar a qualidade do açafraão.

A eficiência do ultrassom na secagem está diretamente relacionada à resistência à transferência de massa. Seus efeitos na taxa de secagem são mais expressivos em temperaturas mais baixas, uma vez que a energia fornecida pelo ar de secagem é limitada. No entanto, quando a temperatura do ar de secagem é elevada, a energia ultrassônica torna-se irrelevante, pois o suprimento energético proveniente do ar quente sobrepõe-se aos efeitos do ultrassom, mascarando sua atuação (Nascimento *et al.*, 2015; Yao, 2016). Dessa forma, a aplicação do ultrassom revela-se uma estratégia promissora para otimizar processos de secagem a baixas temperaturas.

A magnitude do efeito do ultrassom na secagem é influenciada por diversas variáveis do processo, tais como potência acústica, frequência, velocidade e temperatura do ar, bem como o teor de água do material. Um maior aporte de energia tende a potencializar os efeitos do ultrassom no processo. Tao *et al.* (2016) investigaram a viabilidade do ultrassom como pré-tratamento para melhorar a secagem convectiva de folhas de amoreira. O estudo abrangeu potências de 25,2 a 117,6 W/L, tempos de exposição entre 5 e 15 minutos, seguido de secagem a 60 °C. Os resultados demonstraram que o pré-tratamento ultrassônico acelerou a cinética de secagem e reduziu o consumo total de energia. Além disso, a coloração, a atividade antioxidante e os teores de compostos bioativos nas folhas submetidas ao ultrassom a 63 W/L por 10 minutos foram semelhantes aos das amostras controle. De maneira geral, o ultrassom mostrou-se um método eficaz para reduzir o tempo de secagem das folhas de amoreira sem comprometer a qualidade do produto final.

Embora a aplicação do ultrassom na secagem vegetal possibilite a redução do tempo do processo, pode também resultar na perda de certos compostos nutricionais, como antioxidantes, fenóis, açúcares e óleos essenciais, devido à oxidação e à degradação celular. Entretanto, essas perdas podem ser minimizadas por meio do ajuste adequado das condições operacionais do ultrassom. A definição da frequência ultrassônica, potência e tempo de exposição ideais deve ser realizada individualmente para cada tipo de material vegetal, considerando suas características específicas, que influenciam diretamente os resultados do processo.

Ressalta-se que, apesar do seu potencial, a tecnologia ultrassônica ainda não é amplamente aplicada em escala industrial. Um dos principais desafios para sua

implementação está na limitação da distância do ponto de origem da sonicação, geralmente restrita, o que dificulta a ampliação do processo para volumes maiores. Uma alternativa para superar essa limitação seria o uso de células de fluxo contínuo, nas quais o líquido circula através de uma região estreita próxima ao transdutor ultrassônico, assegurando que todas as partículas do fluido sejam submetidas ao ultrassom de forma homogênea (Leong; Martin; Ashokkumar, 2017).

2.3.2 Mecanismo de ação do Etanol

Diferentes mecanismos estão associados ao efeito do pré-tratamento com etanol na cinética de secagem e na qualidade de produtos vegetais desidratados. Segundo Llavata *et al.* (2020), a principal justificativa para a utilização do etanol como pré-tratamento à secagem fundamenta-se no chamado Efeito de Marangoni, fenômeno caracterizado pela transferência de massa (água) em função da diferença de tensão superficial entre dois fluidos distintos, nesse caso, o etanol (solvente orgânico) e a água presente no tecido vegetal.

O etanol, cuja fórmula molecular é $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$, trata-se de um líquido incolor com peso molecular de 46,07, amplamente descrito como um dos compostos orgânicos oxigenados de maior relevância. Suas propriedades físicas e químicas são determinadas, em grande parte, pela presença do grupo hidroxila (-OH), que confere à molécula uma significativa polaridade e permite interações intermoleculares por meio de ligações de hidrogênio. Essas características são responsáveis pelas diferenças observadas entre álcoois de baixo peso molecular (como metanol e etanol) e seus respectivos hidrocarbonetos. No estado líquido, as ligações de hidrogênio formam-se devido à atração entre o hidrogênio da hidroxila de uma molécula e o oxigênio da hidroxila de outra. A Tabela 1 apresenta as principais propriedades físicas do etanol.

Tabela 1 – Propriedades físicas do etanol.

Propriedade	Valor
Ponto de congelamento, °C	-114,1
Ponto de ebulição, °C	78,3
Temperatura crítica, °C	243,1
Pressão crítica, KPa	6.383,5
Calor de fusão, J.g ⁻¹	104,6
Calor de vaporização no ponto de ebulição, J.g ⁻¹	839,3
Calor específico do líquido à 20 °C, J.g ⁻¹ .°C ⁻¹	2,42
Solubilidade em água	miscível

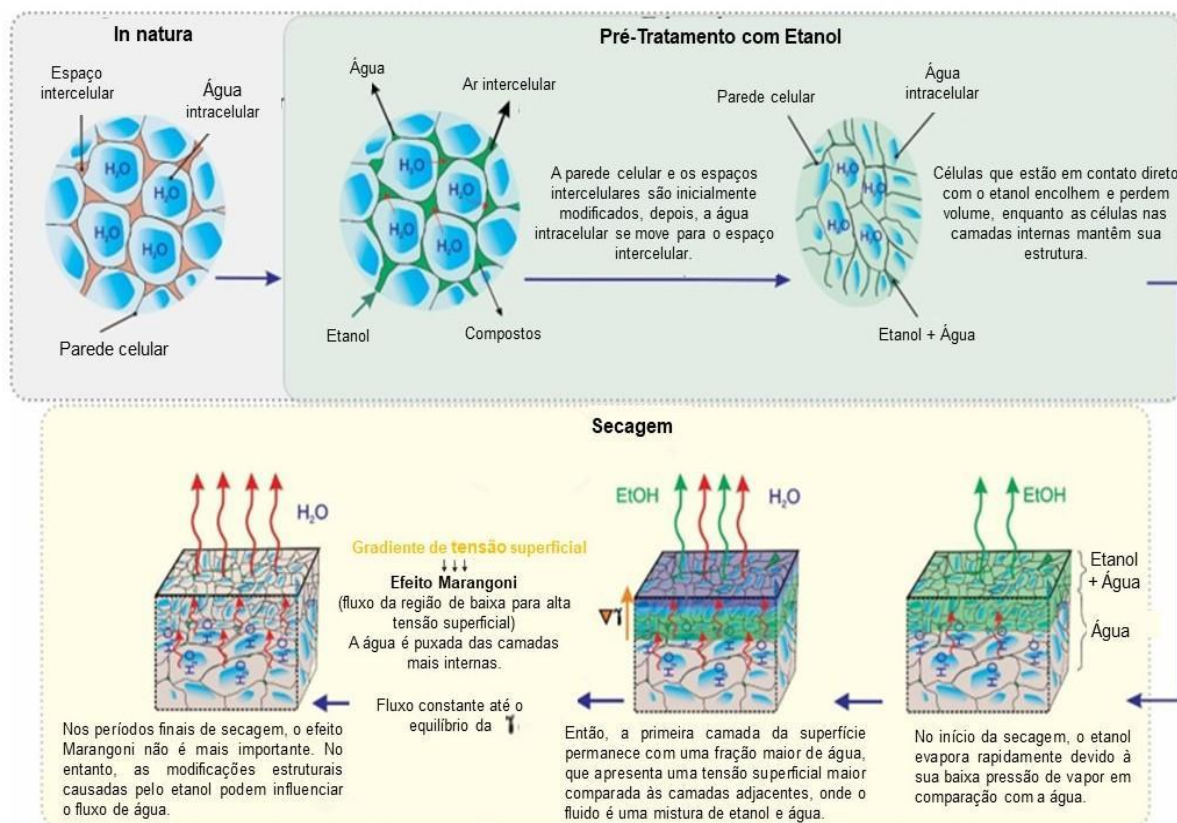
Fonte: Pereira e Andrade (1998).

Quando uma molécula de etanol faz ligação com um grupo hidroxila de uma molécula de água, essa ligação faz com que o mesmo seja totalmente miscível com a água, ou seja, as duas substâncias juntas resultam em uma mistura homogênea em qualquer proporção. Desta forma, quando em contato com o produto vegetal, o etanol (cuja tensão superficial é menor do que a da água presente na superfície do produto), é capaz de entrar na matriz vegetal misturando-se com a água ali contida. As diferenças na pressão osmótica resultam em um deslocamento de água da superfície do produto para o meio circundante contendo etanol. Como consequência, a camada externa do tecido vegetal passa a conter uma combinação de água e etanol.

Quando submetido à secagem, a rápida evaporação do etanol gera um gradiente de concentração entre água e etanol o que favorece a migração da água do interior para a superfície do produto. Essa região com maior concentração de água possui uma maior tensão superficial, o que impulsiona a movimentação da água interna para a superfície, promovendo uma maior taxa de transferência de massa e acelerando o processo de secagem. Esse processo de migração de água ocorre sucessivamente até que se alcance um equilíbrio na tensão superficial. Como resultado, tem-se uma maior transferência de massa (água), maior velocidade e taxa de secagem (Rojas; Augusto, 2018^a; Kompany *et al.*, 1990). Esse mecanismo de migração hídrica intensificada devido à presença do etanol é denominado Efeito de Marangoni.

Um diagrama esquemático do Efeito Marangoni durante o pré-tratamento e secagem de produtos vegetais é demonstrado na Figura 3.

Figura 3 – Diagrama esquemático do Efeito Marangoni durante o pré-tratamento e secagem de produtos vegetais.



Fonte: Santos *et al.* (2021).

Diversas teorias relacionadas à retenção de compostos voláteis (como é o caso dos compostos bioativos presentes nos óleos essenciais) proporcionada pela pulverização ou imersão do produto vegetal em etanol como pré-tratamento ao processo de secagem, têm sido relatadas na literatura.

Segundo Khio (2012), a extração de compostos voláteis é influenciada pelo teor de etanol presente na amostra. Um aumento excessivo do teor de etanol causa um decréscimo na eficiência de extração. Isto ocorre devido à competição do etanol com os compostos voláteis e semi-voláteis no processo de extração, que, apesar da elevada solubilidade do etanol em água, este confere às soluções um certo caráter hidrofóbico, interferindo diretamente na volatilidade dos compostos de baixa polaridade, como é o caso dos compostos bioativos presentes nos óleos essenciais.

Braga (2009) avaliou o teor de compostos voláteis em fatias de abacaxi submetidas à secagem com atmosfera etanólica, considerando diferentes temperaturas (40 e 60 °C), velocidades do ar (0,42 e 0,84 m/s), concentração de etanol (50% v/v) e fluxos (0, 9,16 e 17 mL/min). Em todas as condições, as amostras secas

sob atmosfera com etanol apresentaram maior retenção de voláteis. Segundo os autores, isso se deve à condensação de etanol na superfície da amostra durante a secagem, o que favorece a retenção desses compostos.

Outra característica importante do uso de pré-tratamentos com etanol é a menor temperatura atingida pelas amostras durante a secagem devido a evaporação do etanol e a constante presença de água na superfície do produto em virtude do efeito de Maragogi, (o que faz com que haja a constante transformação de calor sensível em calor latente), como observado para abóbora (Rojas; Silveira e Augusto, 2020) e abacaxi (Bitencourt *et al.*, 2022). Esse fato está associado à alta pressão de vapor do etanol em relação à água (Carvalho *et al.*, 2020), o que pode reduzir a volatilização e a degradação de compostos bioativos – como observado por Rojas, Silveira e Augusto (2020) para os carotenoides em abóbora.

Wang *et al.* (2019) investigaram o efeito do vácuo, do pré-tratamento com etanol e da secagem infravermelha com ar quente nas características de fatias de cebolinha (*Allium fistulosum*). Foram testadas quatro condições de pré-tratamento (controle, etanol, água + vácuo, e etanol + vácuo), com tempos de 5 a 30 minutos. A secagem foi realizada a 60 °C. As amostras pré-tratadas com etanol e etanol + vácuo apresentaram maior retenção de ácido ascórbico, atribuída à proteção do etanol contra oxidação e solubilização da vitamina. Essas condições também melhoraram a perda de água, reduzindo o tempo de secagem e favorecendo a conservação do composto.

Junqueira *et al.* (2021) investigaram o efeito do pré-tratamento com etanol no teor de compostos fenólicos durante a secagem a vácuo de folhas de taioba. As folhas foram pulverizadas com etanol e secas a 40 e 50 °C sob 10 kPa. A temperatura de 50 °C resultou em menor tempo de secagem, atribuído ao aumento da pressão de vapor causado pelo etanol (Efeito de Maragogi), que facilita a migração da água. No entanto, os tratamentos reduziram os teores de compostos fenólicos e a atividade antioxidante, devido à descompartimentação celular e à ação de enzimas oxidativas liberadas durante a secagem.

Lima (2015) avaliou a influência do pré-tratamento com etanol na cinética de secagem das folhas de guaco (*Mikania glomerata/M. laevigata*). As folhas foram imersas em etanol (40%, 70% e absoluto) por 5, 45 e 85 segundos à temperatura ambiente, e secas a 50 °C. O etanol absoluto reduziu o tempo de secagem em até 4%, devido ao aumento da difusão de água e à maior pressão de vapor da mistura

etanol-água. Contudo, provocou maior encolhimento das folhas. Quanto ao teor de cumarina, o tratamento com etanol 70% por 45 segundos apresentou o maior valor (4,10 mg/g), enquanto o uso de etanol absoluto por 85 segundos resultou no menor (1,12 mg/g), possivelmente por maior extração da substância.

2.3.3 Pré-tratamento Ultrassom + Etanol: efeitos sobre a secagem e composição química

Apesar de haver relatos na literatura sobre o uso e os efeitos do etanol e ultrassom, separadamente, como pré-tratamento à secagem de plantas medicinais, aromáticas e condimentares, estudos relacionados aos efeitos positivos e negativos da combinação dos pré-tratamentos etanol+ultrassom na qualidade dos constituintes químicos destas plantas, ainda são incipientes. Entretanto, recentemente, a combinação do uso do ultrassom+etanol tem sido estudados como pré-tratamentos à secagem de outros produtos vegetais.

Rojas, Silveira e Augusto (2020) avaliaram o efeito dos pré-tratamentos com etanol e etanol+ultrassom na secagem de cilindros de abóbora, considerando cinética de secagem, consumo de energia e preservação de carotenoides. Os cilindros foram secos a 50 °C, com velocidade do ar de $0,8 \pm 0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. O pré-tratamento com etanol (15 ou 30 min) ocorreu por imersão em etanol absoluto, enquanto o de ultrassom (25 kHz) foi realizado à temperatura ambiente pelo mesmo período. Todos os pré-tratamentos reduziram o tempo de secagem (48–59%) em relação ao controle, sendo etanol+ultrassom (30 min) o mais eficiente (59% de redução no tempo e 44% no consumo de energia). O teor de carotenoides foi preservado (~100%) em todas as amostras pré-tratadas, enquanto o controle apresentou degradação de 23%.

Da Cunha *et al.* (2020), avaliaram a influência do pré-tratamento (etanol, pulso de vácuo e/ou ultrassom) na secagem de melões (*Cucumis melo*). Segundo os autores, foram avaliados oito tipos de pré-tratamentos onde as amostras foram imersas em solução de etanol por 10 minutos com diferentes concentrações (100% e 50% de proporção etanol/água), sendo utilizadas quatro condições de tratamento: controle, outra empregando apenas o ultrassom com frequência de 25 kHz, uma com apenas o vácuo a uma pressão de -650 a -700 mmHg e outra utilizando a associação do ultrassom com o vácuo. Para todas as condições, foram aplicados o tempo de processamento de 10 minutos, a uma temperatura de 30° C. A secagem foi realizada

em um secador de leito fixo com temperatura do ar de secagem igual a 60 °C e velocidade do ar de 2 m.s⁻¹. A condição que obteve menor tempo de secagem foi a que utilizou o pré-tratamento com ultrassom por 10 minutos em solução de etanol a 100%. Entretanto, a secagem provocou uma redução considerável dos compostos bioativos do melão e redução da atividade antioxidante. Tratando-se dos compostos fenólicos, as amostras imersas em etanol 100%, apresentaram valores de 0,44 e 0,38 mg EAG.g⁻¹ MS para os tratamentos etanol e etanol+ultrassom, respectivamente, ao passo que, para amostras imersas em etanol à 50%, foram encontrados teores de 0,50 e 0,42 mg EAG.g⁻¹ MS (etanol e etanol+ultrassom, respectivamente). Para o teor de carotenoides, as amostras imersas em etanol a 100%, apresentaram valores de 35 e 28 µg.g⁻¹ MS para os tratamentos etanol e etanol+ultrassom, respectivamente, ao passo que, para amostras imersas em etanol a 50% foram encontrados teores de 64 e 37 µg.g⁻¹ MS (etanol e etanol+ultrassom, respectivamente). Para o teor de ácido ascórbico, amostras imersas em etanol a 100%, apresentaram valores de 116 e 121 mg.100g⁻¹ MS para os tratamentos etanol e etanol+ultrassom, respectivamente, ao passo que para amostras imersas em etanol a 50% foram encontrados teores de 184 e 133 mg.100g⁻¹ MS, para os tratamentos com etanol e etanol+ultrassom. Os autores concluem que, de modo geral, as condições de pré-tratamento que utilizaram a imersão em meio etanólico à 50% obtiveram menores perdas para compostos fenólicos totais, carotenoides totais e ácido ascórbico. A redução dos compostos fenólicos, segundo os autores, se deve ao fato destes compostos serem hidrofílicos, ou seja, terem afinidade com a água, que por sua vez tem afinidade com o etanol. Outra explicação se deve ao fato de o etanol intensificar os efeitos do ultrassom sobre a estrutura da amostra. Tais colocações podem justificar a maior perda de compostos verificada nas amostras que utilizaram a solução de etanol a 100% comparadas às de 50%. Além disso, segundo Ahmad-qasem *et al.* (2013), os compostos fenólicos são sensíveis a temperaturas elevadas e a oxidação, estando assim, passíveis de maiores taxas de degradação na presença de calor e oxigênio. Já a perda de carotenoides está associada ao fato destas moléculas serem lipossolúveis, ou seja, solúveis em solventes orgânicos como o etanol. Em relação à atividade de água, todas as amostras secas apresentaram valores inferiores a 0,62, configurando alimento seguro para armazenamento. Para os parâmetros de cor, após o processo de secagem, foi observado uma diminuição da luminosidade (L*) de todas as amostras e da cor amarela (b*), enquanto o parâmetro a* (cor vermelha) foi intensificado.

Feng et al. (2019) avaliaram os efeitos de diferentes pré-tratamentos (etanol, etanol+ultrassom, água+ultrassom e controle) na microestrutura do alho durante a secagem por infravermelho. As amostras foram imersas em etanol 75% (v/v) a 25 ± 1 °C por 30 minutos. O ultrassom foi aplicado em modo tri-frequência (20, 40 e 60 kHz), com densidade de potência de $50 \text{ W} \cdot \text{L}^{-1}$ e pulsos de 10 segundos, durante 30 minutos. Os autores observaram que, exceto pelo teor de alicina, as amostras tratadas com etanol+ultrassom apresentaram melhores características de qualidade (encolhimento, rugosidade, sabor, cor e carga microbiana) em comparação às demais. O menor teor de alicina nesse grupo foi atribuído à desnaturação de proteínas causada pelo etanol, que inativa a alinase responsável pela conversão de alina em alicina (Brandts e Hunt, 1967), bem como à maior solubilidade da alicina em etanol. Além disso, o ultrassom rompeu a estrutura celular, liberando alicina que foi dissolvida no etanol. As amostras etanol+ultrassom apresentaram maior densidade de orifícios na microestrutura, explicada pelo fortalecimento da cavitação acústica, favorecida pelas propriedades físico-químicas do etanol (viscosidade, pressão de vapor e tensão superficial) em comparação à água (Miano, Ibarz e Augusto, 2016; Tao et al., 2018). A dissolução parcial de componentes das paredes e membranas celulares pelo etanol pode ter aumentado a vulnerabilidade aos danos por cavitação.

Ainda com relação à secagem infravermelha de alho pré-tratadas, Feng *et al.* (2019) relataram que, quando comparados ao controle, os pré-tratamentos de etanol+ultrassom, etanol e água+ultrassom promoveram a redução do tempo de secagem de 27,27%, 13,64% e 9,09%, respectivamente. De acordo com os autores, a maior redução no tempo de secagem proporcionada pela aplicação do pré-tratamento etanol+ultrassom pode ser explicada pela maior taxa de transferência de massa (água) e maior incidência de rupturas nas membranas e parede celular das fatias de alho, resultantes da aplicação do tratamento. Como consequência, uma maior liberação dos gases presentes nos espaços intercelulares das fatias de alho e uma maior migração de água do interior para a superfície do produto foi observada.

Santos *et al.* (2021) avaliaram o efeito dos pré-tratamentos (etanol, etanol+ultrassom, água+ultrassom e controle) na estrutura, qualidade e consumo de energia de cenouras submetidas à secagem convectiva à 40 °C. No estudo, as fatias de cenoura foram submersas em água ou etanol absoluto por 30 minutos e o ultrassom foi aplicado à uma frequência de 25 kHz, à 20 °C, também por 30 minutos.

Os resultados demonstraram que os pré-tratamentos com etanol e etanol+ultrassom foram os mais eficientes. Segundo os autores, os pré-tratamentos etanol e etanol+ultrassom, reduziram o tempo de secagem em 51 e 50%, respectivamente, enquanto que o tratamento água+ultrassom, reduziu em 33%, quando comparado com o controle. Em termos de consumo de energia, quando comparados com o controle, os pré-tratamentos etanol e etanol+ultrassom reduziram a energia em 53% e 62%, respectivamente, enquanto o tratamento água+ultrassom reduziu em 41%. Quanto a estrutura, os autores relataram que o parênquima cortical das cenouras apresentou maior encolhimento da parede celular quando os pré-tratamentos com etanol e etanol+ultrassom foram aplicados. Esse encolhimento, segundo os autores, se deve ao fato de o etanol intensificar o efeito do ultrassom, além de favorecer o efeito de Maragogi, que impulsionaram a transferência de massa do produto durante a secagem. Quanto ao teor de carotenoides, não houve degradação destes compostos durante a secagem para todos os tratamentos. De acordo com os autores, a preservação dos carotenoides pode estar relacionada com a temperatura de secagem (40 °C).

Freitas *et al.* (2021) avaliaram o efeito dos pré-tratamentos com etanol e ultrassom na secagem convectiva de abacaxi na cor do produto, atividade de água, ácido ascórbico e teores de carotenoides totais. Para a etapa de pré-tratamento, amostras foram imersas em soluções de etanol de diferentes frações volumétricas (50 e 100%), e os experimentos foram realizados por 10 minutos com e sem o uso de ultrassom (frequência de 25 kHz e temperatura de 30 °C). As amostras de frutos foram secas em um secador de leito fixo à 60 °C com velocidade do ar de secagem igual a 2 m.s⁻¹. Os resultados demonstraram que o tempo de secagem foi de 146 minutos para controle, 97 minutos para etanol (50%), 95 minutos para etanol (100%), 85 minutos para etanol+ultrassom (50%) e 60 minutos para amostras etanol+ultrassom (100%). Além disso, maiores difusividades efetivas de umidade foram obtidas quando etanol+ultrassom foram aplicados antes da secagem. O modelo exponencial de dois termos apresentou o melhor ajuste para secagem de dados experimentais. Segundo os autores, o menor tempo de secagem no tratamento etanol+ultrassom (100%) se deve a presença de rupturas no tecido celular e a formação de microcanais como resultado da cavitação acústica (efeito esponja do ultrassom), que favorecem o escoamento por capilaridade, além do Efeito Marangoni, proporcionado pelo etanol.

Quanto a atividade de água, embora Freitas *et al.* (2021) não tenha observado diferenças significativas entre as amostras de abacaxi secas com e sem pré-tratamento, o abacaxi imerso em etanol à 100%, apresentou os menores valores de atividade de água, o que contribui para maior estabilidade microbiológica da fruta seca. Quanto ao teor de carotenoides, apesar de haver perda destes compostos em todas as amostras secas (cerca de 5; 1,23; 2,1; 2; 1,3 e 1,4 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ para as amostras frescas, controle, etanol (50%), etanol (100%), etanol+ultrassom (50%) e etanol+ultrassom (100%), respectivamente), o pré-tratamento com etanol sem ultrassom foi o que preservou maior quantidade de carotenoides. Apesar dos carotenoides serem compostos sensíveis a fatores como calor e ao tempo de processamento, o motivo da maior retenção destes compostos no produto, segundo os autores, se deve ao fato do etanol ao entrar na matriz vegetal, substituir o ar no tecido formando uma mistura etanol-água, o que produziu um melhor efeito da secagem, evitando assim, reações de oxidação (devido a menor presença de oxigênio no interior dos tecidos), além de acelerar o processo de secagem (Efeito Marangoni). Wu *et al.* (2019) afirmam que a secagem rápida pode inativar enzimas oxidativas e preservar melhor os compostos bioativos.

Amanor-atiemoh *et al.* (2020), em seu estudo sobre a secagem de maçã a pulso de vácuo, com pré-tratamento de etanol (30% v/v) + ultrassom (potência de $300 \text{ W}\cdot\text{L}^{-1}$, frequência de 20 kHz, por um período de tempo de 10, 20 e 30 minutos nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C), observaram que a aplicação de etanol+ultrassom no tempo de 30 minutos, reduziu o tempo de secagem em 27% (60 °C), 31% (70 °C) e 22% à 80 °C, em relação ao tratamento controle. Além disso, os autores relatam que o aminoácido livre total aumentou significativamente com etanol+ultrassom por 30 minutos, quando secos à temperatura de 60°C. Esse tratamento também apresentou maior teor de carboidratos, fenólicos, aminoácidos totais livres e ácido carboxílico.

Embora a aplicação da combinação ultrassom+etanol na secagem poder otimizar o processo de secagem, reduzindo o tempo e o consumo de energia, o seu efeito sobre a retenção de compostos bioativos presentes nas espécies medicinais, aromáticas e condimentares secas ainda são incertos, visto que cada matriz específica responde de forma diferente a cada pré-tratamento e processo – reforçando a necessidade de mais estudos. Além disso, diferentes variáveis podem influenciar o teor de compostos bioativos presentes no produto seco, como temperatura do ar de secagem, tempo e tipo de pré-tratamento, concentração de etanol, tipo de composto

presente, além da microestrutura, composição química e particularidade da amostra. Portanto, a aplicação do pré-tratamento etanol+ultrassom em outros produtos ou usando outras condições de secagem ainda são necessárias para entender e explicar profundamente seu efeito no processo de secagem e na qualidade dos produtos secos (Bitencourt *et al.*, 2022).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar a influência da combinação de diferentes temperaturas de secagem e do pré-tratamento ultrassom+etanol na composição química e no rendimento do óleo essencial dos frutos maduros de *Schinus terebinthifolius* Raddi.

3.2 Objetivos específicos

- Avaliar a influência da combinação de diferentes temperaturas de secagem na composição química e no rendimento do óleo essencial de *S. terebinthifolius* Raddi.
- Avaliar a influência do pré-tratamento ultrassom+etanol na composição química e no rendimento do óleo essencial de *S. terebinthifolius* Raddi.
- Caracterizar o perfil químico do óleo essencial obtidos dos frutos maduros de *S. terebinthifolius* Raddi
- Avaliar a atividade antifúngica do óleo essencial de *S. terebinthifolius* Raddi contra *Candida albicans*, determinando sua eficácia e potencial de inibição.
- Investigar a atividade antibacteriana do óleo essencial de *S. terebinthifolius* Raddi frente a *Staphylococcus epidermidis* e *Staphylococcus aureus*, analisando sua capacidade antimicrobiana.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Delineamento experimental

A condução dos ensaios de secagem foi realizada segundo um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), considerando quatro fatores com os seguintes limites: duração do banho de ultrassom de 3 a 9 minutos, temperatura do ar de secagem de 50 a 70 °C, tempo de inserção do descanso de 16 a 32 minutos após o início da secagem e duração do descanso de 8 a 24 minutos. Dessa forma, foi calculada a necessidade de 25 tratamentos, sendo: dezesseis pontos fatoriais, oito pontos axiais e um ponto central. O valor adotado de α foi 2,00. Para o tratamento 17, correspondente ao ponto central, foram realizadas três repetições, enquanto para os demais, uma repetição, totalizando 27 ensaios. A Tabela 2 demonstra o planejamento do experimento de acordo com o Delineamento Composto Central Rotacional.

Tabela 2 – Valores de duração do pré-tratamento de ultrassom+etanol, temperatura do ar de secagem, duração do descanso e momento de inserção do descanso, adotados para a secagem dos frutos de *Schinus terebinthifolius* Raddi, segundo o Delineamento Composto Central.

Tratamento	Duração do pré-tratamento ultrassom+etanol (minutos)	Temperatura do ar de secagem (°C)	Tempo de descanso (minutos)	Inserção do descanso no tempo (minutos)	Repetições
1	3	50	8	16	1
2	9	50	8	16	1
3	3	70	8	16	1
4	9	70	8	16	1
5	3	50	24	16	1
6	9	50	24	16	1
7	3	70	24	16	1
8	9	70	24	16	1
9	3	50	8	32	1
10	9	50	8	32	1
11	3	70	8	32	1
12	9	70	8	32	1
13	3	50	24	32	1
14	9	50	24	32	1
15	3	70	24	32	1
16	9	70	24	32	1
17	6	60	16	24	3
18	0	60	16	24	1
19	12	60	16	24	1
20	6	40	16	24	1
21	6	80	16	24	1
22	6	60	0	24	1
23	6	60	32	24	1
24	6	60	16	8	1
25	6	60	16	40	1
Total					27

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

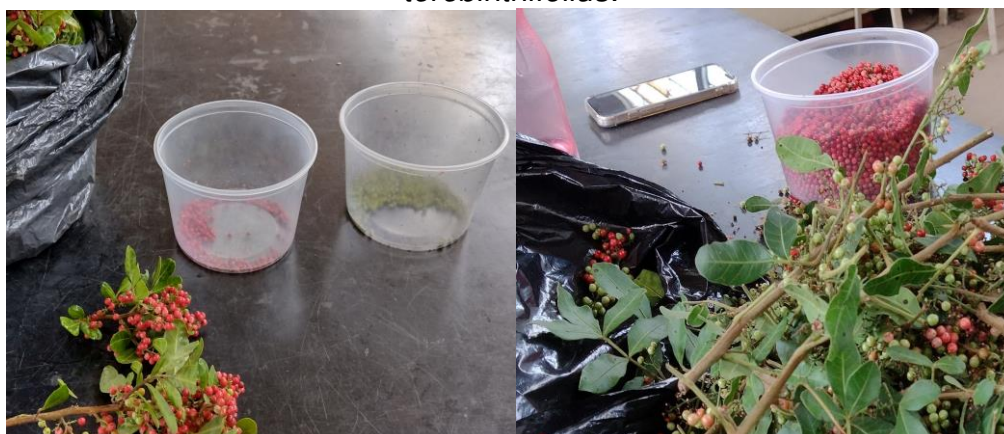
4.2 Material Vegetal

Os frutos de *Schinus terebinthifolius* Raddi foram obtidas de um plantio sob sistema de cultivo orgânico localizado no Campo Experimental Vale do Piranga, em Oratórios-MG, Brasil, pertencente a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG). Os frutos foram coletados entre 8 e 10 horas, no dia 16 de maio de 2023, limpos, homogêneos e armazenados em câmara climática, tipo B.O.D. a 3,5 °C até o início dos ensaios de secagem, por um período máximo de 5 dias.

O teor inicial de água da espécie foi determinado pelo método gravimétrico, utilizando 10 gramas do material vegetal, em estufa com circulação forçada de ar, com temperatura de 104 ± 2 °C, até atingir massa constante (Anvisa, 2010).

Ressalta-se ainda que, para a realização dos ensaios de secagem, foi realizada a limpeza e a separação do material, de tal forma que apenas os frutos maduros foram utilizados para o experimento, uma vez que o estágio de maturação interfere no rendimento e composição química do óleo essencial (Schimitberger *et al.*, 2018) (Figura 4). Os frutos eram considerados maduros quando apresentaram coloração rosa-avermelhada, textura firme, leve brilho na casca e fácil desprendimento do cacho.

Figura 4 – Procedimento de limpeza e separação dos frutos maduros de *S. terebinthifolius*.



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2024).

4.3 Pré-tratamento de ultrassom + etanol

O equipamento para banho ultrassônico utilizado foi Elmasonic E, modelo E300H, de capacidade útil de 20,6 L, com dimensões internas (LxPxA): 505 x 300 x 200 mm, faixa de frequência de 37 kHz a 80 kHz e potência de 800 Watts. A frequência foi fixada em 37 kHz e o etanol absoluto utilizado em seu interior para propagação das ondas ultrassônicas foi mantido em temperatura ambiente (25 °C). Foram avaliados 5 tempos de exposição as ondas ultrassônicas (0, 3, 6, 9 e 12 minutos). Para o pré-tratamento, os frutos foram colocados em um béquer com etanol absoluto, que posteriormente foi alocado dentro da cesta de inox preenchida com água, pertencente ao equipamento. Em seguida, o dispositivo foi ligado, funcionando por intervalos de tempo, previamente fixados, para cada tratamento. Após o banho ultrassônico, os frutos ficaram sobre papel toalha absorvente, com a finalidade de remover o excesso

de etanol e, posteriormente, foram encaminhados para a secagem em secador de leito fixo. As amostras de frutos correspondentes ao tratamento sem banho ultrassônico (testemunha) foram imersas em etanol por 3 minutos com o equipamento desligado, antes de serem encaminhados para a secagem. A Figura 5 demonstra os frutos de *S. terebinthifolius* sob pré-tratamento de ultrassom com etanol.

Figura 5 – Frutos de *S. terebinthifolius* sob pré-tratamento de ultrassom com etanol.



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2024).

4.4 Secagem

Para a realização dos ensaios de secagem foram utilizados, quatro secadores experimentais de leito fixo, equipados com resistores elétricos com potência total de 7.500 W e ventiladores axiais de 48 W, cada um (Figura 6).

Figura 6 – Secadores utilizados na secagem de frutos de *Schinus terebinthifolius Raddi*.



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2024).

Para cada tratamento, foram utilizados 70 g de frutos maduros frescos. As amostras de frutos foram dispostas em cestos cilíndricos confeccionados em tela

metálica e colocadas nas câmaras cilíndricas. A velocidade do ar foi de $1,5 \text{ m.s}^{-1}$, determinada por testes preliminares.

O controle da temperatura nos secadores foi automático e a velocidade ajustada manualmente, permanecendo fixa durante todo o ensaio. A medição da velocidade do ar de secagem foi realizada com o auxílio de um anemômetro digital (Prova Instruments Inc, AVM-07, New Taipei City, Taiwan), com sensor de pás rotativas, tendo faixa de leitura de $0,05$ a 25 m s^{-1} e sensibilidade de $0,01 \text{ m s}^{-1}$. A temperatura e a umidade relativa do ar ambiente foram registradas com um termohigrômetro digital (HOBO datalogger, Onset, Bourne, USA).

Para acompanhar a redução do teor de água, foram realizadas pesagens regulares a cada cinco minutos em balança semi-analítica e a secagem foi finalizada ao atingir a massa equivalente ao teor de água de $0,11 \text{ b.s.}$

Para a realização da aplicação do período de repouso, o cesto contendo os frutos de *S. terebinthifolius* era removido da câmara de secagem e acondicionado em uma caixa de EPS (Isopor), Figura 7, com a tampa fechada. Decorrido o tempo de repouso, o cesto com os frutos, era devolvido à câmara de secagem.

Figura 7 – Amostras de frutos de *S. terebinthifolius* durante a aplicação do período de descanso.



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2024)

Finalizada a secagem, os frutos foram acondicionados em embalagens de polietileno (a vácuo), envoltos em embalagens de papel Kraft (Figura 8), identificados e armazenados em temperatura ambiente, até a etapa de extração de óleo essencial.

Figura 8 – Frutos de *S. terebinthifolius* secos e acondicionados à vácuo em embalagens de polietileno.



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2024)

4.5 Extração do óleo essencial

A extração do óleo essencial das amostras de frutos maduros secos de *Schinus terebinthifolius* (pimenta-rosa) foi realizada segundo o método da hidrodestilação, utilizando um aparelho tipo Clevenger, adaptado a um balão volumétrico de fundo redondo com capacidade de 2 litros (Figura 9), no Laboratório de Plantas Medicinais da EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais), Viçosa - MG.

Figura 9 – Aparelho de destilação do tipo Clevenger utilizado na extração do óleo essencial de *Schinus terebinthifolius* Raddi.



Fonte: Acervo pessoal da autora (2024).

Para cada extração, foram utilizados 40 gramas de frutos secos e moídos, juntamente com 1 litro de água destilada, em balões de destilação. O tempo de extração foi estabelecido em 180 minutos, sendo contabilizado a partir do início da ebulição, conforme determinado em testes preliminares.

Antes da extração, os frutos maduros de *Schinus terebinthifolius* passaram por processo de limpeza, visando a remoção de impurezas e frutos imaturos. Somente os frutos maduros foram selecionados para a extração. Após a etapa de limpeza, os frutos secos foram triturados utilizando um moinho tipo Willye, equipado com peneira de malha 10 mm (marca TECNAL®), e em seguida adicionados ao balão de fundo redondo para o processo de extração.

Ao término da extração, o hidrolato (composto pela mistura da água condensada e do óleo essencial) foi submetido ao processo de separação para obtenção do óleo essencial puro. Para isso, 20 mL de pentano foram adicionados ao hidrolato em um funil de separação. A mistura foi então agitada manualmente para promover a separação entre a fase aquosa e a fase orgânica. Após um período de

repouso, o óleo essencial separado foi coletado com auxílio de uma pipeta de Pasteur e transferido para um frasco âmbar de 5 mL, previamente tarado.

Por fim, o frasco âmbar (Figura 10) contendo o óleo essencial foi pesado em uma balança analítica e posteriormente envolvido em papel alumínio para proteção contra a luz. O material foi armazenado sob refrigeração a - 20 °C, garantindo a preservação dos compostos voláteis do óleo essencial até sua análise por cromatografia.

Figura 10 – Frasco âmbar com óleo essencial de frutos de *Schinus terebinthifolius* Raddi.



Fonte: Acervo pessoal da autora (2024)

Os rendimentos dos óleos essenciais (R) foram expressos em porcentagem de óleo essencial em relação à matéria seca do produto (% m.s), através da Equação 2.

$$R (\% \text{ m.s}) = \frac{\text{Massa de óleo essencial (g)}}{\text{Massa de material seco (g)}} \quad (2)$$

4.6 Análise qualitativa e quantitativa dos constituintes do óleo essencial

A composição química do óleo essencial extraído dos frutos maduros de *Schinus terebinthifolius* foi determinada por meio de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM). As análises foram realizadas em um cromatógrafo a gás equipado com detector seletivo de massas, modelo QP5050A (Shimadzu), utilizando uma coluna cromatográfica SPB-5 (30 m × 0,25 mm diâmetro interno × 0,25 µm de espessura do filme). O gás de arraste empregado foi hélio, com um fluxo de 1,8 mL/min, razão de divisão de 1:5 e tempo de corte do solvente estabelecido em 5 minutos. As temperaturas do injetor e do detector foram mantidas em 220 °C e 240 °C, respectivamente. O programa de temperatura da coluna iniciou-se em 40 °C por 2 minutos, seguido de um aquecimento gradual de 3 °C/min até atingir 240 °C, onde permaneceu estável por mais 5 minutos. No espectrômetro de massas, apenas íons com razão massa/carga (m/z) entre 40 e 500 foram detectados. A amostra foi injetada em um volume de 1 µL, com concentração de 10.000 ppm, utilizando diclorometano como solvente.

Para a identificação dos compostos químicos, os espectros de massas obtidos foram comparados com os dados disponíveis no banco de espectros do equipamento, além dos Índices de Retenção Linear (IR) ou Índices de Kovatz (IK), cujos valores foram confrontados com os descritos na literatura (Adams, 2007). Para esse cálculo, uma mistura de hidrocarbonetos (C7 a C30) foi analisada sob as mesmas condições cromatográficas, servindo como referência para a determinação dos tempos de retenção dos constituintes do óleo essencial.

A quantificação dos compostos presentes no óleo essencial foi realizada por meio de cromatografia gasosa com detector de ionização por chama (CG-FID), utilizando um cromatógrafo a gás Shimadzu CG-17A. O equipamento estava configurado com uma coluna capilar de sílica fundida, contendo a mesma fase estacionária SPB-5 (30 m × 0,25 mm diâmetro interno × 0,25 µm de espessura de poro). O gás de arraste utilizado foi nitrogênio, com fluxo de 1,8 mL/min. As temperaturas do injetor e do detector foram mantidas em 220 °C e 240 °C, respectivamente. O programa de aquecimento da coluna começou com 40 °C por 4 minutos, seguido de aumentos progressivos de 3 °C por minuto, até atingir 240 °C, onde permaneceu por 3 minutos. O volume da amostra injetada foi de 1,5 µL, com concentração de 10.000 ppm, utilizando diclorometano como solvente.

Para a quantificação dos constituintes, foi aplicado o método de normalização de áreas, considerando o valor total da soma das áreas dos picos como 100%, e

calculando a porcentagem relativa de cada composto com base na área correspondente do seu sinal.

4.7 Atividade antimicrobiana do óleo essencial

A atividade antimicrobiana do óleo essencial de *Schinus terebinthifolius* Raddi foi testada contra cepas padrão de diferentes micro-organismos, incluindo *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538), *Staphylococcus epidermidis* (ATCC 12228), *Candida albicans* (ATCC 10231), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 13388), *Escherichia coli* (ATCC 11775) e *Salmonella choleraesuis* (ATCC 10708).

Os ensaios microbiológicos foram realizados na Divisão de Microbiologia do Centro Pluridisciplinar de Pesquisas Químicas, Biológicas e Agrícolas (CPQBA), pertencente à Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), situada no município de Paulínia, São Paulo, Brasil.

4.7.1 Preparo do inóculo de *Candida albicans*

Para o cultivo de *Candida albicans*, a levedura foi inoculada em tubos de ensaio contendo meio ágar Sabouraud e mantida a 35 °C por 48 horas. Após o período de incubação, amostras da cultura foram coletadas com uma alça de platina e transferidas para tubos de ensaio contendo 4 mL de solução salina estéril a 0,85%. A suspensão foi então homogeneizada utilizando um agitador tipo vortex.

Em seguida, uma alíquota de 2 mL foi analisada em um espectrofotômetro (Shimadzu UV mini 1240) a 530 nm, ajustando-se a densidade óptica (DO) entre 0,09 e 0,11 com solução salina a 0,85%, o que corresponde a uma concentração aproximada de $5,0 \times 10^6$ UFC/mL. A parte remanescente da suspensão (2 mL) recebeu um volume idêntico de solução salina utilizada no ajuste da leitura espectrofotométrica.

A partir dessa solução inicial padronizada, realizaram-se diluições seriadas, alcançando ao final uma concentração de $5,0 \times 10^4$ UFC/mL. Para a etapa final do preparo, 1 mL da solução diluída foi transferido para um tubo de ensaio contendo 9 mL de caldo RPMI-1640, meio de cultivo padrão para *C. albicans*. Esse procedimento resultou em uma concentração final de $2,5 \times 10^3$ UFC/mL, equivalente a $2,5 \times 10^2$ UFC/100 µL (Clsi, 2002).

4.7.2 Preparo do inóculo de *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Salmonella choleraesuis*

O preparo dos inóculos bacterianos para os testes de susceptibilidade foi realizado conforme as diretrizes estabelecidas pelo protocolo M7-A6 (Clsi, 2012). Para isso, culturas bacterianas com 24 horas de crescimento em meios específicos foram transferidas para tubos de ensaio contendo 4 mL de solução salina estéril.

As suspensões bacterianas foram agitadas em um vortex para homogeneização e, em seguida, alíquotas de 2 mL foram retiradas para análise em um espectrofotômetro (Shimadzu UV mini 1240) a 625 nm. A densidade óptica (DO) foi ajustada entre 0,08 e 0,10, o que corresponde a uma concentração aproximada de $1,5 \times 10^8$ UFC/mL. A porção remanescente das suspensões bacterianas (2 mL) recebeu um volume idêntico de solução salina previamente utilizada na calibração do espectrofotômetro.

A partir das soluções ajustadas, foram realizadas diluições seriadas até atingir uma concentração final de $1,5 \times 10^6$ UFC/mL. Em seguida, 6 mL dessas suspensões foram transferidos para tubos contendo 3 mL de meio de cultura específico, como caldo Mueller-Hinton ou BHI (Brain Heart Infusion). Esse procedimento resultou em uma concentração final de 1×10^6 UFC/mL, equivalente a $1,0 \times 10^5$ UFC/100 μ L.

4.7.3 Teste de concentração inibitória mínima (MIC)

A avaliação da atividade antimicrobiana foi realizada utilizando o método de microdiluição, conforme as diretrizes estabelecidas pelo Clinical & Laboratory Standards Institute (Clsi, 2002, 2005). A concentração inibitória mínima (MIC) foi determinada para cada microrganismo testado.

Inicialmente, uma microplaca estéril de 96 poços foi preparada com a adição de 100 μ L de caldo Mueller Hinton para bactérias ou caldo RPMI-1640 para leveduras. Nos poços da primeira coluna da placa, foram adicionados 100 μ L da solução do óleo essencial, previamente preparado na concentração de 8 mg/mL, utilizando Tween 1% como emulsificante. Em seguida, realizou-se a homogeneização do conteúdo e transferiram-se 100 μ L para os poços subsequentes, repetindo esse processo até a última coluna, onde os 100 μ L finais foram descartados. Esse procedimento resultou

em uma série de diluições sucessivas, gerando concentrações finais do óleo essencial variando entre 2 mg/mL e 0,0009765 mg/mL.

Após a preparação das diluições, 100 µL do inóculo padronizado foram adicionados a cada poço, contendo 5×10^5 UFC/mL para bactérias e $2,5 \times 10^3$ UFC/mL para *Candida albicans*. Cada concentração foi testada em triplicata para garantir a confiabilidade dos resultados. Como controle de esterilidade, uma coluna separada da microplaca recebeu apenas 50 µL do óleo essencial, enquanto outra coluna contendo apenas os caldos de crescimento serviu como controle de viabilidade do microrganismo, com a adição de 100 µL do inóculo.

As microplacas foram então incubadas sob condições específicas para cada microrganismo: 37 °C por 24 horas para bactérias e 36 °C por 48 horas para *C. albicans*.

Após o período de incubação, 50 µL de uma solução de cloreto de trifeniltetrazólio (TTC) a 0,5% (Vetec, Duque de Caxias, RJ, Brasil) foram adicionados nos poços contendo bactérias, e as placas foram reincubadas por mais 3 horas.

A determinação da MIC para bactérias foi realizada observando-se a menor concentração do óleo essencial capaz de impedir a formação da coloração vermelha, indicativa de atividade respiratória celular. No caso de *C. albicans*, a MIC foi definida como a menor concentração da amostra capaz de impedir o crescimento visível, identificado pela alteração da coloração do meio RPMI-1640 de rosa (cor original) para amarelo, indicando variação de pH devido à atividade microbiana.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Teor de água

O teor de água inicial dos frutos maduros e frescos de *Schinus terebinthifolius* Raddi utilizadas foi de 32,3% (b.u). Em um estudo anterior sobre secagem intermitente da mesma espécie, conduzido por Zotti – Sperotto *et al.* (2020), foi documentado o teor de água inicial de 38,2% (base úmida - b.u). Essa variação no teor de água inicial é atribuída principalmente a uma série de fatores, incluindo a época, o dia e a hora da colheita, a temperatura ambiente, a latitude e a altitude da área de cultivo, as variações

sazonais, a disponibilidade de água, a implementação de práticas agrícolas, entre outros.

5.2 Otimização do processo de secagem dos frutos maduros de *Schinus terebinthifolius* pré-tratados com ultrassom+etanol Na Tabela 3, constam os valores do tempo de duração da secagem para cada tratamento realizados aos frutos maduros de *S. terebinthifolius* pré-tratados com ultrassom+etanol.

Tabela 3 – Tempo de secagem para cada tratamento de secagem aplicados aos frutos maduros de *S. terebinthifolius* pré-tratados com ultrassom+etanol.

Tratamento	Duração do pré-tratamento ultrassom+etanol (minutos)	Temperatura do ar de secagem (°C)	Tempo de descanso (minutos)	Inserção do descanso no tempo (minutos)	Tempo efetivo de secagem (minutos)
1	3	50	8	16	53,36
2	9	50	8	16	43,66
3	3	70	8	16	18,99
4	9	70	8	16	14,90
5	3	50	24	16	35,10
6	9	50	24	16	26,14
7	3	70	24	16	18,27
8	9	70	24	16	15,54
9	3	50	8	32	32,89
10	9	50	8	32	29,50
11	3	70	8	32	19,15
12	9	70	8	32	14,26
13	3	50	24	32	32,30
14	9	50	24	32	17,81
15	3	70	24	32	16,98
16	9	70	24	32	12,80
17 (1)	6	60	16	24	18,51
17 (2)	6	60	16	24	19,18
17 (3)	6	60	16	24	17,93
18	0	60	16	24	23,79
19	12	60	16	24	10,44
20	6	40	16	24	50,65
21	6	80	16	24	8,11
22	6	60	0	24	14,83
23	6	60	32	24	14,94
24	6	60	16	8	15,05
25	6	60	16	40	16,62
				Total	27

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Ressalta-se que nos tratamentos 4, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22 e 23 não foi possível realizar a aplicação do período de descanso, devido ao fato dos frutos, durante a secagem, ter atingido o valor de teor de água final (10% b.s) antes do tempo pré-definido para a aplicação do descanso no delineamento experimental. Após a correção dos valores desses fatores e a realização da análise estatística, verificou-se que eles não apresentaram significância. Dessa forma, os modelos ajustados consideraram apenas os fatores duração do pré-tratamento com ultrassom+etanol e temperatura do ar de secagem.

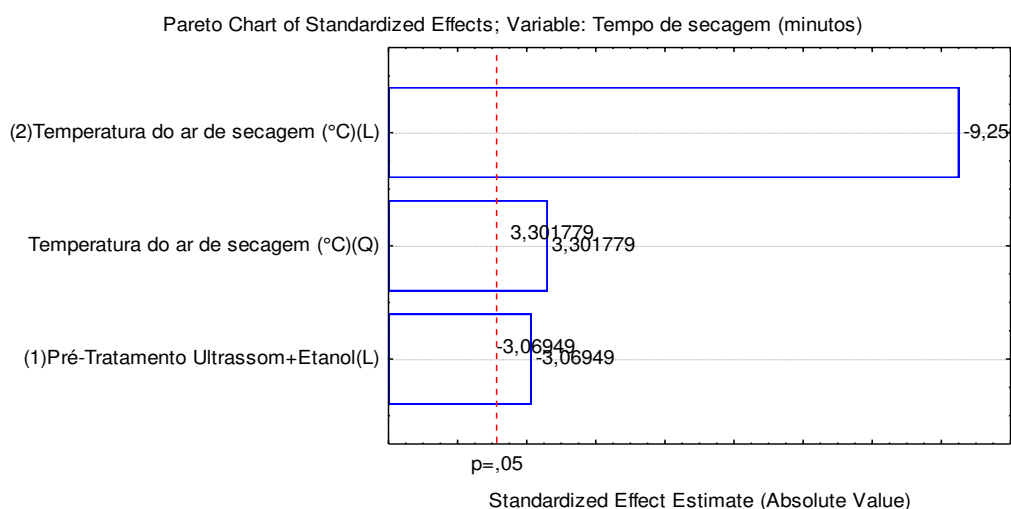
No Tratamento 21 (Tabela 3), é possível notar que na uma temperatura de secagem de 80 °C e 6 minutos de ultrassom, registrou-se o menor tempo de secagem, enquanto o Tratamento 20, com uma temperatura de secagem de 40 °C e 6 minutos de ultrassom, apresentou o tempo mais longo de secagem. Essas observações estão alinhadas com o que Zotti-Sperotto *et al.* (2021) mencionou em seu estudo sobre a secagem intermitente de frutos maduros de *S. terebinthifolius*, onde também relataram tempos de secagem mais longos e mais curtos nas temperaturas mais baixas e mais altas (50 °C e 70 °C), respectivamente.

Ao aplicar o pré-tratamento de ultrassom+etanol antes da secagem a 60 °C, os valores de tempo efetivo de secagem na Tabela 3 foram os seguintes: 23,79 minutos para nenhum ultrassom, 16,72 minutos para 6 minutos de ultrassom e 10,44 minutos para 12 minutos de ultrassom. Em relação à secagem com apenas o pré-tratamento de etanol (0 minutos de ultrassom), observa-se uma significativa redução no tempo efetivo de secagem de 29,72% e 56,12% para os pré-tratamentos com 6 e 12 minutos de ultrassom, respectivamente.

Para analisar a influência dos fatores, ou seja, a duração do pré-tratamento de ultrassom+etanol e a temperatura do ar de secagem, na variável: tempo de secagem, utilizou-se o delineamento composto central (DCC). Observou-se que efeitos linear (L) e quadrático (Q) da variável temperatura, bem como o efeito linear do pré-tratamento ultrassom+etanol (L), foram significativos ($p < 0,05$) para a variável resposta tempo de secagem, conforme evidenciado na Figura 11.

Figura 11 – Diagrama de Pareto para os efeitos dos fatores duração do pré-tratamento de ultrassom+etanol (U+E) e Temperatura do ar de secagem (T) no tempo de secagem de *S. terebinthifolius*.

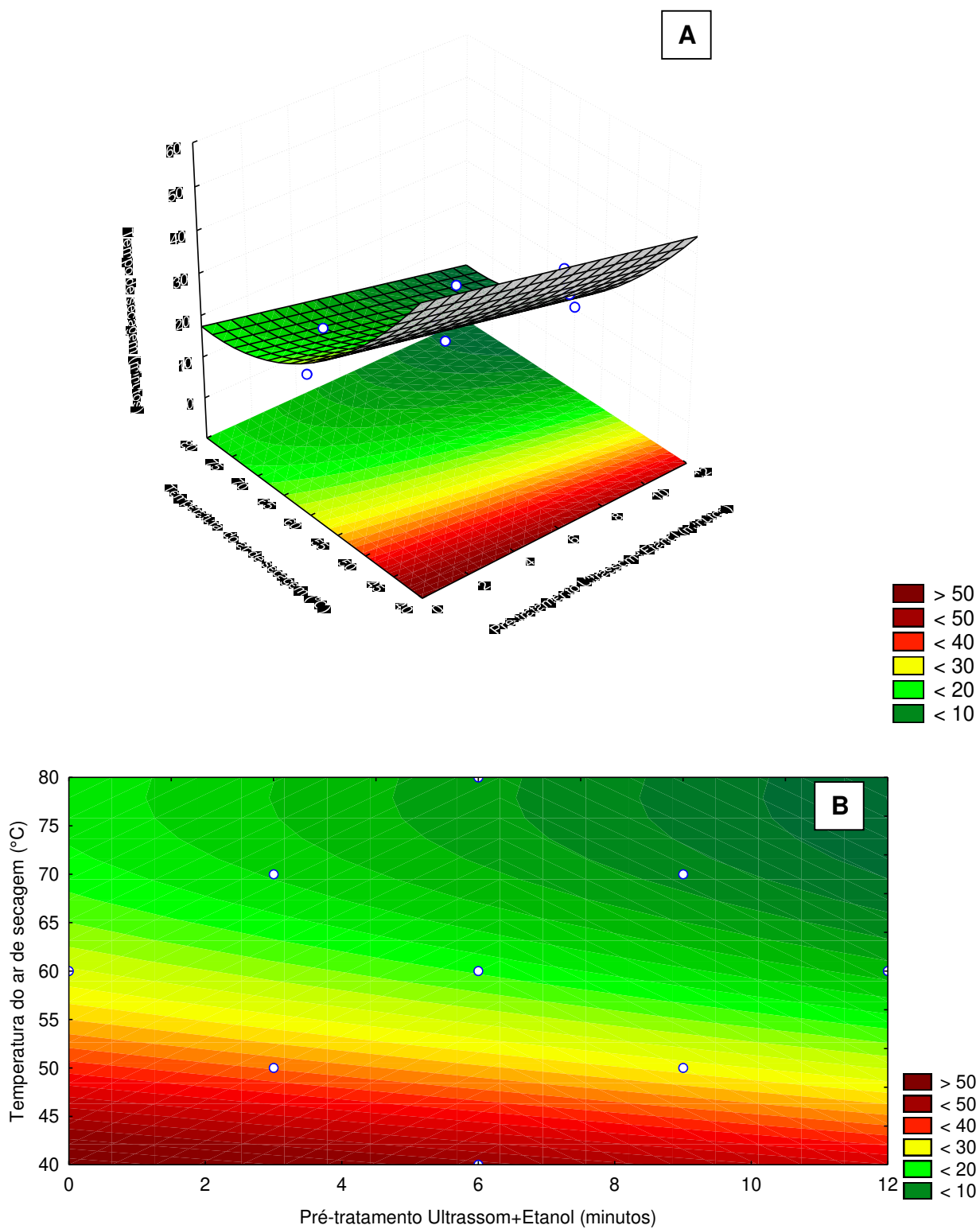
Fonte:



Elaborado pela autora (2024).

A Figura 12 exibe a superfície de resposta (A) e o gráfico de contorno (B) relacionados ao tempo efetivo de secagem. O menor tempo de secagem entre todos os pré-tratamentos avaliados ocorre quando se combina uma temperatura do ar de secagem de 80 °C com uma exposição ao ultrassom entre 10 e 12 minutos. Em contrapartida, temperaturas mais baixas, como 40 °C, resultam em tempos de secagem mais longos, independentemente da duração do pré-tratamento com ultrassom+etanol.

Figura 12 – Superfície de resposta (A) e gráfico de contorno (B) referente aos efeitos dos fatores de processo ao tempo de secagem.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Em uma perspectiva prática, um modelo matemático é considerado de qualidade quando demonstra uma regressão significativa e uma falta de ajuste não significativa (Bezerra *et al.*, 2008), um alto coeficiente de determinação (R^2) e um coeficiente de variação baixo (inferior a 20%) (Zakaria *et al.*, 2021). Os coeficientes que constituem o modelo de tempo de secagem dos frutos maduros de *S. terebinthifolius* foram analisados utilizando o teste t de Student ($p < 0,05$) e estão apresentados na Tabela 4. Observa-se na tabela que os fatores duração do pré-tratamento com ultrassom+etanol (efeito linear) e temperatura do ar de secagem (efeitos linear e quadrático) apresentaram significância estatística no modelo ajustado.

Tabela 4 – Coeficientes de regressão estimados para efeito linear (L), quadrático (Q) e efeito da interação (UE x T) para Duração do pré-tratamento ultrassom+etanol (UE) e Temperatura do ar de secagem (T) sobre tempo de secagem de frutos maduros de *S. terebinthifolius*.

Fatores	Coeficientes		<i>p valor</i>
Constante	β_0	185,8357	0,0016
Duração do pré-tratamento ultrassom+etanol (min)(L)	β_1	-1,1059	0,0278
Duração do pré-tratamento ultrassom+etanol (min)(Q)	β_1^2	0,0000	-
Temperatura do ar de secagem ($^{\circ}$ C)(L)	β_2	-4,3175	0,0079
Temperatura do ar de secagem ($^{\circ}$ C)(Q)	β_2^2	0,0276	0,0214
UE x T	$\beta_1\beta_2$	0,0000	-
	R^2	0,9550	-
	CV	16,03%	-

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

CV: Coeficiente de Variação experimental. R^2 : Coeficiente de determinação. *p*: *p-valor* do teste t para significância dos coeficientes de regressão (não significativo: $p > 0,05$).

Por meio da aplicação da análise de variância (ANOVA), conforme apresentado na Tabela 4, foi possível avaliar a qualidade do modelo, que não apresentou falta de ajuste significativa. Esse resultado indica que o modelo descreve adequadamente a relação entre a resposta e os preditores. Além disso, o coeficiente de determinação (R^2) obtido para o tempo de secagem foi de 0,9550, evidenciando um excelente ajuste do modelo. Observa-se também que o coeficiente de variação (CV) para o tempo de secagem ficou abaixo de 20%, atendendo aos padrões de reprodutibilidade do modelo.

A eficácia do pré-tratamento com ultrassom + etanol está vinculada à capacidade de ambos os procedimentos, quando utilizados em conjunto, potencializarem os fenômenos de transporte de massa (água) de forma mais significativa do que quando aplicados isoladamente, resultando, dessa maneira, na diminuição do tempo e dos custos do processo.

A completa miscibilidade do etanol com a água permite que, ao entrar em contato com o produto vegetal, o etanol se misture de forma homogênea com a água presente na estrutura da planta. Isso leva a uma migração da água da superfície do produto para a área circundante do etanol, devido às variações na pressão osmótica. Conseqüentemente, a camada externa do produto passa a conter tanto água quanto etanol. Durante o processo de secagem, o etanol evapora rapidamente, estabelecendo um gradiente de concentração de água/etanol. Essa diferença provoca uma maior tensão superficial na região com maior concentração de água em relação ao etanol, o que resulta na efetiva atração da água do interior do produto para a superfície. Esse processo de migração da água se repete sucessivamente até que um equilíbrio na tensão superficial seja alcançado. Como resultado, ocorre uma transferência de massa (água) mais eficiente, o que se traduz em uma maior velocidade e taxa de secagem (Kompany *et al.*, 1990; Rojas; Augusto, 2018^a).

As ondas ultrassônicas, ao se propagarem pelo produto, possuem a capacidade intrínseca de gerar repetidas compressões e expansões. Essas forças, devido à intensidade dos movimentos de compressão e expansão, superam a tensão superficial que mantém a água retida na matriz do produto vegetal, resultando na formação de microcanais e cavidades. Esse processo aumenta a porosidade e facilita a transferência de massa, permitindo que a água, fortemente retida na estrutura do produto, seja liberada (Guo *et al.*, 2019). Além disso, é relevante observar que as ondas ultrassônicas, de forma indireta, desencadeiam o fenômeno da cavitação, o que também contribui para a remoção da água do produto.

Na literatura atualmente disponível, não foram identificados estudos anteriores relacionados ao uso do pré-tratamento de ultrassom+etanol em frutos de *S. terebinthifolius*. No entanto, diversos pesquisadores têm documentado os efeitos desse pré-tratamento na cinética de secagem de outros produtos vegetais. Um estudo conduzido por Rojas, Silveira e Augusto (2020), que investigou o impacto do pré-tratamento de ultrassom + etanol na secagem de cilindros de abóbora (com o pré-tratamento de etanol realizado por meio de imersão em etanol absoluto), constatou

que a combinação de etanol+ultrassom resultou na maior redução tanto no tempo de secagem (cerca de 59%) quanto no consumo de energia (44%).

Reduções no tempo de secagem também foram observadas por Santos *et al.* (2021) em seu estudo sobre a avaliação do efeito dos pré-tratamentos (etanol, etanol+ultrassom, água+ultrassom e controle) no consumo de energia durante a secagem convectiva de cenouras a 40 °C. Os autores relataram que os pré-tratamentos com etanol e etanol+ultrassom reduziram o tempo de secagem em 50% e 51%, respectivamente, quando comparados ao grupo de controle. Quanto ao consumo de energia, todos os pré-tratamentos reduziram significativamente o consumo quando comparados ao controle, com reduções de 53% e 62% para etanol e etanol+ultrassom, respectivamente, enquanto o pré-tratamento água+ultrassom apresentou uma redução de 41%.

Feng *et al.* (2019), em seu estudo sobre os efeitos de diferentes pré-tratamentos (etanol, etanol+ultrassom, água+ultrassom e controle) na microestrutura do alho durante a secagem por infravermelho, relataram que, em comparação com o grupo de controle, os pré-tratamentos de ultrassom+etanol, etanol e água+ultrassom reduziram o tempo de secagem em 27,27%, 13,64% e 9,09%, respectivamente. Os autores atribuíram a maior redução no tempo de secagem ao pré-tratamento de ultrassom+etanol devido a uma maior taxa de transferência de massa (água), bem como a rupturas nas membranas e nas paredes celulares das fatias de alho, resultado da aplicação desse tratamento. Isso resultou em uma maior liberação de gases presentes nos espaços intercelulares das fatias de alho e uma maior migração de água do interior para a superfície do produto.

Rendimento de óleo essencial

Na Tabela 5, constam os valores de rendimento de óleo essencial (% m.s.) para cada tratamento aplicado aos frutos maduros de *S. terebinthifolius*.

Tabela 5 – Rendimento de óleo essencial para cada tratamento aplicado aos frutos maduros de *S. terebinthifolius*.

Tratamento	Duração do pré-tratamento ultrassom+etanol (minutos)	Temperatura do ar de secagem (°C)	Tempo de descanso (minutos)	Inserção do descanso no tempo (minutos)	Rendimento de óleo essencial (% m.s.)
1	3	50	8	16	2,0725
2	9	50	8	16	1,9103
3	3	70	8	16	3,7095
4	9	70	8	16	2,2093
5	3	50	24	16	3,2155
6	9	50	24	16	1,8453
7	3	70	24	16	3,5120
8	9	70	24	16	3,0860
9	3	50	8	32	3,1673
10	9	50	8	32	2,1268
11	3	70	8	32	2,8110
12	9	70	8	32	2,5638
13	3	50	24	32	3,4885
14	9	50	24	32	3,4383
15	3	70	24	32	3,4565
16	9	70	24	32	3,3443
17 (1)	6	60	16	24	2,0685
17 (2)	6	60	16	24	2,1278
17 (3)	6	60	16	24	2,0140
18	0	60	16	24	1,9925
19	12	60	16	24	0,5463
20	6	40	16	24	2,1290
21	6	80	16	24	1,1953
22	6	60	0	24	2,1210
23	6	60	32	24	2,1115
24	6	60	16	8	2,8448
25	6	60	16	40	2,1363
				Total	27

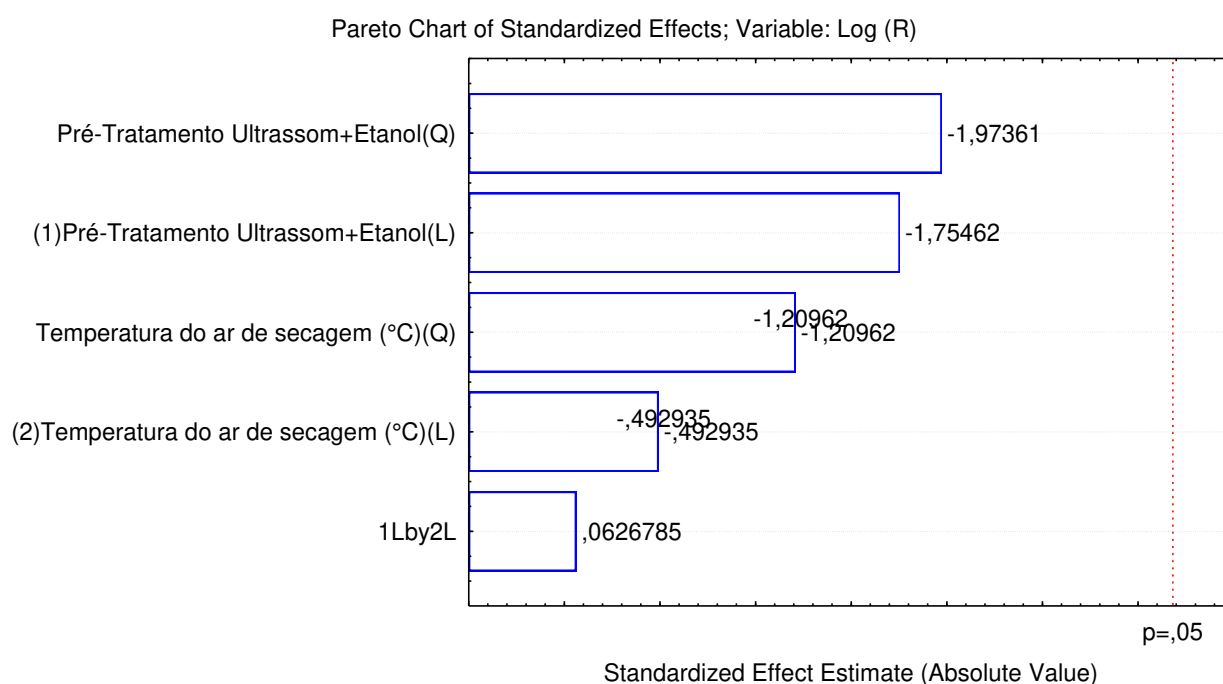
Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Na Tabela 5, é importante ressaltar que nos tratamentos 4, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22 e 23, não foi possível aplicar o período de descanso. Isso ocorreu devido ao fato de que, durante o processo de secagem, os frutos atingiram o teor de água final (0,10 b.s) antes do tempo previamente estabelecido para a aplicação do descanso, conforme planejado no delineamento experimental. Após a correção dos valores desses fatores e a realização da análise estatística, verificou-se que eles não apresentaram significância ($p > 0,05$).

Com o objetivo de avaliar o efeito dos fatores: duração do pré-tratamento de ultrassom+etanol temperatura do ar de secagem, na variável rendimento de óleo

essencial, utilizou-se o delineamento composto central (DCC). No entanto, foi realizada a transformação dos dados, uma vez que os resíduos não apresentaram distribuição normal nos dados brutos, mas passaram a seguir essa distribuição após a transformação. Posteriormente, constatou-se que nenhum fator apresentou efeito significativo sobre o rendimento de óleo essencial, conforme evidenciado na Figura 13.

Figura 13 – Diagrama de Pareto para os efeitos dos fatores duração do pré-tratamento de ultrassom+etanol (UE) e Temperatura do ar de secagem (T) no rendimento de óleo essencial dos frutos maduros de *S. terebinthifolius*.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Os coeficientes que constituem o modelo de rendimento de óleo essencial dos frutos maduros de *S. terebinthifolius* foram analisados utilizando o teste t de Student ($p < 0,05$) e estão apresentados na Tabela 6. Nota-se na tabela que, nenhum fator demonstrou significância no modelo ajustado.

Tabela 6 – Coeficientes de regressão estimados para efeito linear (L), quadrático (Q) e efeito da interação (UExT) para Duração do pré-tratamento de ultrassom+etanol (U) e Temperatura do ar de secagem (T) sobre o rendimento de óleo essencial de frutos maduros de *S. terebinthifolius*.

Fatores		Coeficientes	p
Constante	β_0	-2,07458	0,4798
Duração do pré-tratamento de ultrassom+etanol (min)(L)	β_1	0,10881	0,6702
Duração do pré-tratamento de ultrassom+etanol (min)(Q)	β_1^2	-0,01323	0,1429
Temperatura do ar de secagem ($^{\circ}$ C)(L)	β_2	0,08317	0,3528
Temperatura do ar de secagem ($^{\circ}$ C)(Q)	β_2^2	-0,00073	0,3130
UE x T	$\beta_1\beta_2$	0,00023	0,9540
	R^2	0,7065	-
	CV	74,63 %	-

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

CV: Coeficiente de Variação experimental. R^2 : Coeficiente de determinação. p: p-valor do teste t para significância dos coeficientes de regressão (não significativo: $p > 0,05$).

Observa-se na Tabela 6 que o modelo matemático ajustado para a variável rendimento de óleo essencial, apresentou um coeficiente de determinação (R^2) de magnitude reduzida (0,7065), indicando ajuste insatisfatório. Além disso, o coeficiente de variação (CV) ultrapassou o limite de 20%, indicando uma notável dispersão nos dados. Na tentativa de aprimorar o ajuste, foram eliminados efeitos não significativos do modelo. No entanto, isso não teve um impacto significativo nos resultados.

Logo, conclui-se que não possível desenvolver um modelo que permitisse a otimização simultânea do tempo de secagem e do rendimento do óleo essencial a partir de frutos maduros de *S. terebinthifolius*, por meio da variação do tempo de pré-tratamento de ultrassom+etanol e da temperatura do ar de secagem.

5.3 Composição química do óleo essencial

Na Tabela 7, constam os constituintes do óleo essencial extraído dos frutos maduros secos de *S. terebinthifolius*.

Tabela 7 – Composição química do óleo essencial dos frutos de *S. terebinthifolius*, submetidos a diferentes tempos de duração de banho ultrassônico, tempo de descanso, tempo de inserção ao descanso e secos a temperaturas do ar de secagem entre 40 e 80°C.

Composto	IK ^c	IK ^t	% por área								
			Maduro Fresco	Trat 1	Trat 2	Trat 3	Trat 4	Trat 5	Trat 6	Trat 7	Trat 8
α-Pinene	935	939	25,18	10,64	13,33	17,79	11,71	25,67	11,58	18,36	23,05
β-Pinene	977	979	40,46	23,27	27,74	32,58	25,16	42,40	20,03	26,36	39,29
β-Myrcene	994	988	-	21,53	19,92	16,32	9,45	2,26	41,57	31,84	5,85
Sabinene	1030	969	4,64	3,40	3,39	3,84	3,66	4,85	2,97	3,33	4,60
β-Caryophyllene	1418	1408	5,59	10,05	9,40	8,06	13,48	7,26	4,49	4,42	7,60
Germacrene D	1482	1484	6,45	19,77	17,28	12,46	20,23	10,30	12,09	10,36	11,32
γ-Elemene	1494	1434	-	2,67	2,20	1,68	2,99	1,70	1,43	1,32	1,81
α-Caryophyllene	1454	1454	-	-	-	-	1,00	-	-	-	-
Ácido acético	1285		-	-	-	-	1,15	-	-	-	-
Óxido de Caryophyllene	1579	1582	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Elemol	1545	1548	-	-	-	-	-	-	-	-	-
α-Eudesmol	1654	1652	-	-	-	-	-	-	-	-	-
γ-Eudesmol	1633	1630	-	-	-	-	-	-	-	-	-
β-Eudesmol	1652	1649	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hedycaryol	1544	1546	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Germacrene B	1494	1559	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Spathulenol	1577	1577	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Muurolol T	1644	1644	-	-	-	-	-	-	-	-	-
α-Cadinol	1657	1652	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ledane	1672		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Thujene	924	931	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL			82,32	91,33	93,26	92,73	88,83	94,44	94,16	95,99	93,52

Nota: IK ^c = Índice de Kovats calculado; IK ^t = Índice de Kovats citado na literatura (Adams, 2007).

Continuação Tabela 7.

Composto	IK ^c	IK ^t	% por área								
			Trat 9	Trat 10	Trat 11	Trat 12	Trat 13	Trat 14	Trat 15	Trat 16	Trat 17 (1)
α-Pinene	935	939	23,88	22,54	27,06	20,15	28,00	28,81	37,07	24,49	28,80
β-Pinene	977	979	40,79	41,49	46,60	39,98	42,15	32,24	34,66	42,04	31,84
β-Myrcene	994	988	5,97	2,88	-	-	-	2,45	-	1,31	-
Sabinene	1030	969	4,98	4,50	5,06	4,74	5,05	4,27	4,87	5,00	4,04
β-Caryophyllene	1418	1408	7,27	8,64	6,13	10,41	7,59	9,14	7,07	8,77	8,88
Germacrene D	1482	1484	10,14	9,71	7,53	12,15	10,06	10,28	8,63	12,37	7,64
γ-Elemene	1494	1434	1,55	1,40	1,16	1,91	1,42	1,63	1,25	1,71	-
α-Caryophyllene	1454	1454	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ácido acético	1285		-	-	-	1,30	-	-	-	-	-
Óxido de	1579	1582	-	1,04	-	-	-	-	-	-	1,24
Caryophyllene											
Elemol	1545	1548	-	-	-	-	-	1,92	1,17	-	3,87
α-Eudesmol	1654	1652	-	-	-	-	-	1,19	-	-	1,61
γ-Eudesmol	1633	1630	-	-	-	-	-	-	-	-	1,04
β-Eudesmol	1652	1649	-	-	-	-	-	-	-	-	1,30
Hedycaryol	1544	1546	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Germacrene B	1494	1559	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Spathulenol	1577	1577	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Muurolol T	1644	1644	-	-	-	-	-	-	-	-	-
α-Cadinol	1657	1652	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ledane	1672		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Thujene	924	931									
TOTAL			94,58	92,20	93,54	90,64	94,27	91,93	94,72	95,69	90,26

Nota: IK ^c = Índice de Kovats calculado; IK ^t = Índice de Kovats citado na literatura (Adams, 2007).

Continuação Tabela 7.

Composto	IK ^c	IK ^t	% por área							
			Trat 17 (2)	Trat 17 (3)	Trat 18	Trat 19	Trat 20	Trat 21	Trat 22	Trat 23
α-Pinene	935	939	28,10	28,51	29,13	10,25	36,54	28,03	32,67	35,02
β-Pinene	977	979	36,09	31,56	30,17	20,67	14,92	13,27	19,32	18,38
β-Myrcene	994	988	1,96	-	1,37	-	1,50	-	8,59	-
Sabinene	1030	969	4,96	4,11	4,71	1,74	3,82	-	-	-
β-Caryophyllene	1418	1408	7,62	8,92	8,24	17,96	7,60	7,97	7,01	8,91
Germacrene D	1482	1484	9,79	9,08	6,07	12,83	5,76	5,66	1,08	7,25
γ-Elemene	1494	1434	1,53	1,26	1,02	-	-	-	-	-
α-Caryophyllene	1454	1454	-	-	-	1,45	-	-	-	-
Ácido acético	1285		-	-	-	-	-	-	-	-
Óxido de Caryophyllene	1579	1582	-	-	1,16	4,13	-	-	-	-
Elemol	1545	1548	-	2,90	-	1,98	1,39	1,92	1,59	7,92
α-Eudesmol	1654	1652	-	1,65	2,04	1,27	3,96	5,92	3,60	3,20
γ-Eudesmol	1633	1630	-	1,20	1,35	1,17	3,71	5,62	3,28	3,28
β-Eudesmol	1652	1649	-	1,28	2,10	1,41	3,92	6,31	3,24	3,05
Hedycaryol	1544	1546	1,46	-	3,17		9,96	12,39	7,99	-
Germacrene B	1494	1559	-	-	-	1,97	-	-	-	1,15
Spathulenol	1577	1577	-	-	-	2,45	-	-	-	-
Muurolol T	1644	1644	-	-	-	1,22	-	-	-	-
α-Cadinol	1657	1652	-	-	-	1,59	-	-	-	-
Ledane	1672		-	-	-	2,37	-	-	-	-
Thujene	924	931	-	-	-	-	-	2,84	4,01	3,80
TOTAL			91,51	90,47	90,86	86,50	93,08	89,93	92,38	93,21

Nota: IK ^c = Índice de Kovats calculado; IK ^t = Índice de Kovats citado na literatura (Adams, 2007).

Continuação Tabela 7.

Composto	IK ^c	IK ^t	% por área			
			Trat 24	Trat 25	Verde Fresco	Verde Seco
α-Pinene	935	939	23,88	22,54	27,06	20,15
β-Pinene	977	979	40,79	41,49	46,60	39,98
β-Myrcene	994	988	5,97	2,88	-	-
Sabinene	1030	969	4,98	4,50	5,06	4,74
β-Caryophyllene	1418	1408	7,27	8,64	6,13	10,41
Germacrene D	1482	1484	10,14	9,71	7,53	12,15
γ-Elemene	1494	1434	1,55	1,40	1,16	1,91
α-Caryophyllene	1454	1454	-	-	-	-
Ácido acético	1285		-	-	-	1,30
Óxido de Caryophyllene	1579	1582	-	1,04	-	-
Elemol	1545	1548	-	-	-	-
α-Eudesmol	1654	1652	-	-	-	-
γ-Eudesmol	1633	1630	-	-	-	-
β-Eudesmol	1652	1649	-	-	-	-
Hedycaryol	1544	1546	-	-	-	-
Germacrene B	1494	1559	-	-	-	-
Spathulenol	1577	1577	-	-	-	-
Muurolol T	1644	1644	-	-	-	-
α-Cadinol	1657	1652	-	-	-	-
Ledane	1672		-	-	-	-
Thujene	924	931				-
TOTAL			94,58	92,20	93,54	90,64

Nota: IK ^c = Índice de Kovats calculado; IK ^t = Índice de Kovats citado na literatura (Adams, 2007).

Para a avaliação da composição química do óleo essencial dos frutos maduros de *S. terebinthifolius*, é importante ressaltar que as áreas dos picos correspondentes a porcentagens inferiores a 1% foram excluídas da análise. Desta forma, observa-se na Tabela 7 que, a maior proporção dos compostos químicos presentes no óleo obtido dos frutos maduros de *S. terebinthifolius* é composta por monoterpenos e sesquiterpenos. No óleo essencial dos frutos maduros frescos (controle), cinco compostos químicos majoritários foram identificados: α -Pineno, β -Pineno, Sabineno, β -Cariofileno e D-Germacreno. Estes compostos constituíram, aproximadamente, 82,32% da área total dos picos resultantes da análise cromatográfica.

Todos os compostos químicos considerados majoritários no óleo essencial dos frutos maduros frescos também foram identificados em todos os tratamentos avaliados. Dentro deste contexto, a porcentagem de área de α -Pineno variou de 10,25 a 37,07% da área do pico, o β -Pineno de 13,27 a 46,60%, o Sabineno de 1,74 a 5,06%, o β -Cariofileno de 6,13 a 17,96% e o Germacreno D de 1,08 a 20,23%. Além disso, todos os tratamentos manifestaram a presença de novos compostos químicos, quando comparados com o grupo controle (frutos maduros frescos).

No que diz respeito aos cinco compostos majoritários, o tratamento 13 (3 min / 50 °C) se destacou com a maior área total dos picos cromatográficos, atingindo 92,85%. Nessa perspectiva, o α -Pineno representou 28% dessa área, o β -Pineno contribuiu com 42,15%, o Sabineno com 5,05%, o β -Cariofileno com 7,59% e o D-Germacreno com 10,06%.

O Tratamento 19 (12 min / 60 °C), comparado com os frutos maduros frescos, registrou a maior diversidade de compostos com área do pico superior a 1%, totalizando a identificação de 16 picos no total. Além dos cinco compostos majoritários, foram detectados outros onze novos compostos.

Cavalcanti *et al.* (2015) também observaram que os principais componentes do óleo essencial de frutos maduros de *S. terebinthifolius* são o α -Pineno (44,9%), o D-Germacreno (17,6%) e o β -Pineno (15,1%). No entanto, Zotti-Sperotto *et al.* (2021), em seu estudo sobre o efeito da secagem intermitente na qualidade do óleo essencial de frutos maduros de *S. terebinthifolius*, identificaram que os compostos majoritários foram o α -felandreno, o limoneno e o α -pineno. Essa discrepância na composição química do óleo essencial de frutos maduros e secos de *Schinus terebinthifolius* pode ser atribuída a uma variedade de fatores, como temperatura, luminosidade, sazonalidade, estágio de desenvolvimento dos frutos, horário da colheita, nutrição,

interações da planta com outras plantas, microorganismos e insetos. Além disso, as etapas de pré-processamento, como a secagem, também podem influenciar a composição química dos óleos essenciais dos frutos maduros.

5.4 Influência da temperatura do ar de secagem e do tempo de pré-tratamento de ultrassom+etanol

Ao analisar os compostos majoritários individualmente, alguns tratamentos se destacaram em termos de maior retenção. O tratamento 15 (6 min / 40 °C), apesar de ter registrado reduções em outros compostos majoritários, como o β -Pinoeno, Sabineno e Germacreno D em comparação com o controle, demonstrou ser o mais eficaz na preservação do α -Pinoeno, apresentando a maior proporção da área do pico cromatográfico, representando 37,07% da área total. Da mesma forma, o tratamento 11 (3 min / 70 °C) se destacou ao registrar a maior proporção da área do pico relacionada ao β -Pinoeno e Sabineno, com 46,60 e 5,06%, respectivamente. O tratamento 19, com 12 minutos de duração do ultrassom e temperatura do ar de secagem de 60°C, alcançou a maior área associada ao β -Cariofileno, totalizando 17,96%. Por fim, o tratamento 4 (12 min / 60 °C) atingiu a maior área associada ao Germacreno D, totalizando 20,23%, embora tenha apresentado reduções nos teores de α -Pinoeno, β -Pinoeno e Sabineno. Em termos de porcentagem, esse aumento nos teores dos compostos α -Pinoeno, β -Pinoeno, Sabineno, β -Cariofileno e Germacreno D, em comparação com os frutos maduros frescos (controle), foi de 47,22%, 15,18%, 9,05%, 221,29% e 213,64%, respectivamente.

Rojas, Silveira e Augusto (2020), avaliaram o efeito dos pré-tratamentos (etanol e ultrassom+etanol) na secagem e no teor de carotenóides, um tipo de terpeno, em cilindros de abóbora. No estudo, os pedaços cilíndricos de abóbora passaram por um processo de secagem à 50 °C, com o pré-tratamento de etanol consistindo na imersão em etanol absoluto por 15 e 30 minutos, enquanto o pré-tratamento de ultrassom foi conduzido a uma frequência de 25 kHz, à temperatura ambiente, também por um período de 15 e 30 minutos. Os resultados demonstraram que, em todos os tratamentos avaliados, não houve diferenças significativas entre eles após a secagem, ou seja, não ocorreu degradação dos carotenóides nas amostras submetidas ao pré-tratamento com ultrassom+etanol. Por outro lado, as amostras de controle (sem pré-

tratamento) exibiram uma degradação parcial de 23% no teor de carotenoides, após o processo de secagem.

Comportamento semelhante em relação à preservação e retenção de carotenoides também foi relatada por Santos *et al.* (2021), em seu estudo sobre o efeito dos pré-tratamentos (etanol, etanol+ultrassom, água+ultrassom e controle) no teor de carotenoides de cenouras submetidas à secagem convectiva à 40 °C e por Freitas *et al.* (2021), na avaliação dos efeitos dos pré-tratamentos com etanol e ultrassom+etanol (com o etanol em diferentes frações volumétricas) na secagem convectiva de abacaxi.

Granella, Bechlin e Christ (2022), realizaram um estudo sobre o efeito da secagem por convecção de fatias de banana pré-tratadas com ultrassom+etanol, sobre o teor de compostos fenólicos. Na avaliação, as amostras de banana foram secas à temperatura de 55 °C e o pré-tratamento de ultrassom+etanol foi realizado via imersão das amostras à solução de etanol a 75%, por 10 minutos, com o banho ultrassônico na frequência de 40 kHz e temperatura ambiente. Os resultados demonstraram que, além das amostras terem apresentado qualidade física superior com cor mais atrativa quando submetidas ao pré-tratamento com ultrassom+etanol, também foi observado teor mais elevado de compostos fenólicos em comparação com a amostra controle (sem pré-tratamento) e aquelas pré-tratadas apenas com etanol. Segundo os autores, o maior teor de composto fenólico nas amostras pré-tratadas com ultrassom+etanol, pode ser atribuído ao menor tempo de secagem observado no tratamento ultrassom+etanol, o qual expôs uma menor quantidade de fenólicos ao calor, resultando em uma maior retenção desses compostos.

Comportamento semelhante em relação à maior retenção de compostos fenólicos também foi observado por Silva, Azoubel e Maciel (2022), em seu estudo sobre o efeito do pré-tratamento de ultrassom+etanol no teor de compostos fenólicos durante o processo de secagem por convecção da uva BRS Vitória e por Amanor-atiemoh *et al.* (2020), na avaliação da secagem de maçã à pulso de vácuo, pré-tratadas com etanol+ ultrassom.

No estudo conduzido por Ren *et al.* (2022), acerca da secagem catalítica por infravermelho do gengibre chinês (*Zingiber officinale* Roscoe), os autores também relataram que o pré-tratamento com ultrassom+etanol não apenas acelerou o processo de secagem, mas também resultou em um aumento de 32% nos teores de fenólicos totais e 29% na retenção de flavonoides totais, quando comparadas com as

amostras controle (pré-tratadas apenas com etanol). No entanto, o gingerol, um dos compostos bioativos majoritários do gengibre, apresentou redução nas amostras pré-tratadas com ultrassom+etanol, em comparação com as amostras controle. Feng *et al.* (2019) também obtiveram resultados semelhantes em relação ao teor de alicina em fatias de alho secas pré-tratadas com ultrassom+etanol.

Embora alguns compostos bioativos sejam considerados quimicamente voláteis e termossensíveis, a principal razão para a maior preservação e retenção destes compostos em materiais vegetais secos pré-tratados com ultrassom+etanol, deve-se à eficácia de ambos os tratamentos, quando utilizados em conjunto, potencializarem os fenômenos de transporte de massa (água) de forma mais significativa e eficiente do que quando aplicados isoladamente. Isto resulta na redução do tempo de secagem e menor exposição dos compostos bioativos ao calor. Wu *et al.* (2019) também afirmam que a secagem rápida pode desativar enzimas oxidativas e, assim, preservar de forma mais eficaz alguns compostos bioativos.

O etanol, ao entrar na matriz vegetal, substitui o ar dos tecidos formando uma mistura etanol-água. Isto resulta na diminuição dos níveis de oxigênio nos tecidos, o que, por sua vez, reduz a incidência de reações de oxidação e, conseqüentemente, minimiza a degradação dos compostos bioativos. Além disso, a solução de etanol possui um ponto de ebulição mais baixo e uma menor tensão superficial em comparação com a água pura, o que acelera a evaporação do etanol na superfície do produto, criando um gradiente de concentração. Esse gradiente age como uma espécie de mecanismo de bombeamento, operando até que o equilíbrio da tensão superficial seja alcançado, resultando em taxa de transferência de massa (água) mais eficiente, conhecida como o efeito de Marangoni (Llavata *et al.*, 2020). Isso se traduz em redução no tempo de secagem, menor exposição dos compostos bioativos ao calor e, conseqüentemente, maior retenção desses compostos após o processo de secagem.

Outra característica distintiva do etanol é sua capacidade de induzir o fenômeno da desidratação osmótica, que envolve a remoção antecipada de uma porção do teor de água do material vegetal, antes mesmo do início do processo de secagem. Além disso, o fato do etanol ser um solvente orgânico natural com a capacidade de dissolver proteínas, lipídios, compostos fenólicos e terpenos, pode igualmente contribuir para uma maior retenção desses compostos, especialmente quando associados à tempos de secagem reduzidos (Canteri *et al.*, 2019). Isso ocorre porque, quando dissolvidos,

esses compostos podem ser mais prontamente extraídos durante o processo de extração, após a secagem.

No que diz respeito ao ultrassom, estudos demonstraram que estresses abióticos, como a exposição ao ultrassom, têm o potencial de intensificar o metabolismo secundário em vegetais pós-colheita, incluindo a produção de terpenos, polifenóis e flavonoides (Koh *et al.*, 2016). Além disso, os efeitos diretos e indiretos resultantes da aplicação do ultrassom, desencadeiam uma série de rápidas expansões e compressões alternadas, o que resulta em modificações na microestrutura do material vegetal a ser seco. Esse processo leva ao colapso da parede celular das células do parênquima, formando estruturas porosas, conhecidas como microporos. Essa alteração reduz a resistência da parede celular e da membrana à passagem de água, o que facilita a redução do teor de água no material (Osae *et al.*, 2019; Santos *et al.*, 2021; Singla; Sit, 2021). Isso, por sua vez, resulta em uma menor exposição dos compostos bioativos ao calor devido ao menor tempo de secagem.

Entretanto, da mesma forma que o etanol pode auxiliar na maior retenção de compostos bioativos, ele também pode levar à menor retenção de certos compostos, em específico, no material vegetal, após o processo de secagem. Isto ocorre devido a capacidade intrínseca de solubilização de cada tipo de composto, em etanol (Ren *et al.* (2022). Compostos fenólicos, por exemplo, são notoriamente mais polares, apresentando grupos funcionais que interagem de maneira mais eficaz com solventes de natureza polar, como o etanol. Em contrapartida, os terpenos, que englobam compostos como o α -Pinenos, β -Pinenos, Sabinenos, β -Cariofilenos e D-Germacrenos são substâncias menos polares e demonstram uma afinidade maior por solventes apolares. Conseqüentemente, em uma solução de etanol, é mais provável que os compostos fenólicos se dissolvam de maneira mais eficiente do que os terpenos.

No entanto, é importante ressaltar que a solubilidade de terpenos em etanol pode variar significativamente entre diferentes tipos de terpenos. A solubilidade de um composto em um solvente depende de suas características químicas intrínsecas, incluindo polaridade, massa molecular, estrutura molecular e afinidade relativa entre o soluto e o solvente. Alguns terpenos são mais polares devido à presença de grupos funcionais polares, como hidroxilas (OH) ou cetonas, em suas estruturas moleculares. Terpenos mais polares têm maior tendência a solubilizarem-se em solventes de

natureza polar, como o etanol. Por outro lado, terpenos menos polares, desprovidos de grupos funcionais polares, podem exibir maior afinidade por solventes apolares.

É importante salientar também que a sensibilidade única de cada composto bioativo a fatores ambientais externos, como pH, oxigênio e temperatura, devido às suas propriedades químicas intrinsecamente suscetíveis a modificações, também pode causar alterações nos teores destes compostos. Moyler (1994) sugere que as discrepâncias na composição química entre o material vegetal fresco e o seco podem ser atribuídas à evaporação que ocorre durante o processo de secagem. Nesse processo, muitos compostos são perdidos à medida que são arrastados para a superfície devido à evaporação da água. Terpenos com estruturas mais simples e menos ramificadas, por exemplo, tendem a ser mais voláteis. Isso ocorre porque esses terpenos têm menos forças intermoleculares (como ligações de hidrogênio) que os seguram juntos, o que permite que eles se vaporizem mais facilmente a temperaturas mais baixas. Além disso, terpenos com menor peso molecular, com ligações instáveis ou ligações duplas (ligações insaturadas) são geralmente mais voláteis, do que terpenos polares e que apresentam ligações simples e possuam grupos funcionais, como hidroxilas (OH) ou grupos ceto (C=O).

O efeito térmico gerado pela aplicação do ultrassom, especialmente devido à cavitação, por exemplo, também pode reduzir a concentração de compostos bioativos no material vegetal. Isso ocorre porque a fissão estrutural dos compostos, provocada pela cavitação, desencadeia uma variedade de reações químicas, incluindo a formação de radicais altamente reativos que têm a capacidade de se recombinar para originar outros produtos moleculares, resultando, assim, na redução da concentração desses compostos no material vegetal (Ashokkumar 2015). Além disso, os microporos que surgem nas células do parênquima do material vegetal como resultado do ultrassom também podem auxiliar na liberação das moléculas dos compostos bioativos que estavam previamente dissolvidas em etanol para fora das células, durante o processo de secagem (Ok e Jeong, 2012; An *et al.*, 2016).

Pirbalouti e Craker (2013) conduziram um estudo sobre os efeitos de diferentes métodos de secagem nas propriedades qualitativas e quantitativas do óleo essencial de manjeriço. Observou-se que, à medida que a temperatura de secagem foi aumentada tanto no forno quanto no micro-ondas, muitos hidrocarbonetos monoterpênicos foram perdidos em comparação com a secagem em temperaturas mais baixas. Segundo os autores os compostos sensíveis à temperatura, como o α -

tujeno, α -pineno, sabineno, β -mirceno e β -felandreno, tinham maior afinidade com a fração de água presente nas folhas e, portanto, eram perdidos juntamente com a água durante o processo de secagem. Além disso, o aumento da temperatura de secagem resultou na formação de sesquiterpenos oxigenados (epi- α -cadinol), hidrocarbonetos sesquiterpênicos (β -bisaboleno e β -elemeno) e monoterpenos oxigenados (acetato de geranyl, acetato de α -terpinenil, timol e α -terpineol) no óleo essencial do manjeriço.

No entanto, neste estudo, não é possível concluir que tenha ocorrido a oxidação dos compostos, uma vez que, devido à sua estrutura molecular, não foi possível detectar a formação de compostos hidroxilados, carbonilas ou novos compostos insaturados. Além disso, a conversão de um composto em outro é difícil de ser analisada, já que eles apresentam estruturas moleculares bastante similares. Portanto, é essencial realizar uma investigação mais aprofundada para compreender o comportamento individual de cada espécie em relação aos efeitos resultantes do pré-tratamento com ultrassom+etanol, bem como da temperatura de secagem.

Conclui-se que os principais compostos identificados no óleo essencial de *S. terebinthifolius* foram o α -Pineno, β -Pineno, Sabineno, β -Cariofileno e D-Germacrene. A aplicação de diferentes tempos de pré-tratamento combinando ultrassom e etanol, associadas às diferentes temperaturas de secagem, resultou em alterações qualitativas na composição química do óleo essencial de *S. terebinthifolius*. Os resultados mais satisfatórios foram alcançados a temperaturas de 50°C e 70°C, com tempos de pré-tratamento de ultrassom+etanol mais curtos minutos. Além disso, foi observado que tempos de pré-tratamento mais prolongados de ultrassom+etanol (12 minutos) resultaram em uma redução na qualidade do óleo essencial de *S. terebinthifolius*.

5.5 Atividade antimicrobiana do óleo essencial

Na Tabela 8 constam os resultados da atividade antimicrobiana do óleo essencial de *S. terebinthifolius* expressos em termos de Concentração Inibitória Mínima (MIC) com os respectivos valores em mg.mL⁻¹.

Tabela 8 – Atividade biológica do óleo essencial de *S. terebinthifolius* expressos em MIC em mg.mL⁻¹.

Micro-organismos	MIC (mg.mL ⁻¹)
<i>Candida albicans</i> (ATCC 10231)	> 2
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (ATCC 13388)	> 2
<i>Staphylococcus aureus</i> (ATCC 6538)	> 2
<i>Staphylococcus epidermidis</i> (ATCC 12228)	> 2
<i>Salmonella choleraesuis</i> (ATCC 10708)	> 2
<i>Escherichia coli</i> (ATCC 11775)	> 2

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Na Tabela 8, observa-se que a Concentração Inibitória Mínima (MIC) para os microrganismos testados foi superior a 2 mg/mL, indicando que não houve inibição dentro do intervalo de concentrações avaliadas. Diante desse resultado, a determinação da Concentração Bactericida Mínima (MBC) e da Concentração Fungicida Mínima (MFC) não foi realizada, uma vez que esses parâmetros são calculados a partir das concentrações inibitórias. Como a MIC representa a menor concentração capaz de inibir o crescimento visível do microrganismo, sua ausência impossibilita a avaliação da atividade bactericida e fungicida, pois não há referência de inibição para prosseguir com os testes de viabilidade celular.

A ausência de atividade antimicrobiana observada no óleo essencial de *Schinus terebinthifolius* testado no presente estudo pode ser atribuída a diversos fatores, incluindo a composição química específica do óleo, a concentração dos compostos bioativos, a resistência intrínseca dos micro-organismos analisados e as condições experimentais empregadas. Estudos anteriores demonstram que a eficácia antimicrobiana dos óleos essenciais está diretamente relacionada à presença e sinergia de determinados constituintes majoritários, os quais podem variar significativamente em função de fatores ambientais, genéticos e metodológicos (Cole *et al.*, 2014; Carvalho *et al.*, 2017; Linden *et al.*, 2020; Oliveira *et al.*, 2024).

A análise química do óleo essencial utilizado neste estudo revelou que seus principais constituintes foram β -pineno (42%), α -pineno (28%), germacreno D (10%) e β -cariofileno (7,59%). No entanto, pesquisas anteriores sugerem que a atividade antimicrobiana do óleo essencial de *S. terebinthifolius* pode estar associada à presença de compostos como limoneno e δ -3-carene, os quais não foram detectados em quantidades relevantes na amostra analisada (El-Massry *et al.*, 2009; Cole *et al.*,

2014). Esse perfil químico pode justificar a baixa atividade antimicrobiana observada, uma vez que a ausência de determinados compostos ou a falta de sinergismo entre os constituintes pode comprometer a eficácia do óleo.

Estudos anteriores reforçam essa hipótese. Carvalho et al. (2017) relataram uma zona de inibição reduzida contra *Staphylococcus aureus* (9,17 mm) e ausência de atividade contra *Escherichia coli*, sugerindo que a eficácia do óleo pode estar relacionada não apenas à presença de compostos ativos, mas também às suas concentrações e interações específicas. De maneira semelhante, Melo et al. (2014) avaliaram a atividade antimicrobiana do óleo essencial de *S. terebinthifolius* contra *Salmonella Typhimurium*, *Salmonella Enteritidis*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e *Enterococcus faecalis*. Os resultados indicaram que, embora tenha havido atividade antimicrobiana, as concentrações inibitórias variaram significativamente entre as cepas, evidenciando diferenças na susceptibilidade dos microrganismos.

Adicionalmente, Cole (2008) identificou um perfil químico distinto para o óleo essencial de *S. terebinthifolius*, com δ -3-careno (30,37%), limoneno (17,44%), α -felandreno (12,60%) e α -pineno (12,59%) como constituintes majoritários. Embora esses monoterpenos apresentem propriedades antimicrobianas conhecidas, a ausência de compostos com maior ação biológica ou a falta de interações sinérgicas entre os constituintes pode resultar em uma eficácia reduzida contra determinados microrganismos.

Outro fator relevante a ser considerado é a resistência intrínseca dos microrganismos testados. *Pseudomonas aeruginosa*, por exemplo, possui um sistema altamente eficiente de bombas de efluxo e uma membrana celular seletiva, dificultando a penetração de compostos antimicrobianos (Da Silva Dannenberg et al., 2016). De forma semelhante, *Staphylococcus aureus* e *Salmonella choleraesuis* podem apresentar mecanismos naturais de resistência que reduzem a eficácia dos compostos bioativos presentes no óleo essencial.

Além disso, a metodologia experimental pode ter influenciado os resultados obtidos. Embora o método de microdiluição em caldo seja amplamente empregado para a determinação da MIC, a ausência de atividade antimicrobiana pode estar associada à solubilidade limitada do óleo essencial e à interação dos compostos bioativos com os componentes do meio de cultura. Pesquisas sugerem que óleos essenciais podem apresentar menor difusão em meio líquido, comprometendo sua ação antimicrobiana. Ademais, a necessidade de concentrações mais elevadas para

determinados microrganismos também deve ser considerada (Cole et al., 2014; Da Silva Dannenberg et al., 2016).

Estudos prévios demonstram que o óleo essencial de *S. terebinthifolius* apresentou atividade antimicrobiana contra *Listeria monocytogenes* (MIC = 0,5 mg/mL) e *Candida albicans* (MIC = 1,0 mg/mL) (Da Silva Dannenberg et al., 2016). Assim, é possível que concentrações superiores às testadas neste estudo sejam necessárias para manifestar algum efeito biológico significativo.

Por fim, a interação entre os compostos químicos presentes no óleo pode ter desempenhado um papel crucial na ausência de atividade observada. Enquanto monoterpenos como α -pineno e β -pineno possuem propriedades antimicrobianas reconhecidas, a ausência de outros constituintes que atuam sinergicamente podem reduzir sua eficácia (El-Massry et al., 2009). Além disso, sesquiterpenos como germacreno D e β -cariofileno, embora apresentem algumas propriedades bioativas, geralmente não são os principais responsáveis pela ação antimicrobiana dos óleos essenciais (Ennigrou et al., 2018).

Diante dessas considerações, conclui-se que a ausência de atividade antimicrobiana detectada no óleo essencial de *Schinus terebinthifolius* pode estar associada a uma combinação de fatores, incluindo sua composição química específica, a possível resistência dos microrganismos testados e os parâmetros experimentais adotados. Estudos futuros podem explorar a influência de diferentes métodos de extração, a avaliação da atividade de frações purificadas do óleo e sua combinação com outros compostos antimicrobianos, visando elucidar melhor seu potencial terapêutico.

Esses resultados sugerem uma limitação na atividade antimicrobiana do óleo essencial dentro das concentrações avaliadas, reforçando a necessidade de investigações adicionais para elucidar seu potencial biológico em diferentes concentrações ou formulações.

6 CONCLUSÕES

6.1 Otimização do processo de secagem

- O tempo de secagem dos frutos de *S. terebinthifolius* foi influenciado tanto pela duração do pré-tratamento de ultrassom+etanol (com efeito linear) quanto pela temperatura do ar de secagem (efeitos linear e quadrático);

- Nenhum dos fatores avaliados demonstrou significância sobre o rendimento de óleo essencial;
- Não foi possível ajustar um modelo que otimizasse, simultaneamente, o tempo de secagem e o rendimento do óleo essencial dos frutos maduros e secos de *S. terebinthifolius*, previamente tratados com ultrassom+etanol.

6.2 Composição química do óleo essencial

- No óleo essencial de *S. terebinthifolius*, cinco compostos foram identificados, correspondendo a mais de 80% das áreas totais dos picos resultantes da leitura cromatográfica;
- A aplicação de diferentes tempos de pré-tratamento combinando ultrassom e etanol, associadas às diferentes temperaturas de secagem, resultou em alterações qualitativas na composição química do óleo essencial de *S. terebinthifolius*.
- Os resultados mais satisfatórios foram alcançados com temperaturas do ar de secagem de 50 °C e 70 °C e tempos de pré-tratamento de ultrassom+etanol mais curtos.
- Observou-se que tempos de pré-tratamento com ultrassom+etanol mais prolongados (12 minutos), resultaram em redução na qualidade do óleo essencial de *S. terebinthifolius*.

6.3 Atividade antimicrobiana

- A Concentração Inibitória Mínima (MIC) para os microrganismos testados foi superior a 2 mg/mL, indicando que não houve inibição dentro do intervalo de concentrações avaliadas.

6.4 Recomendação - Secagem

Recomenda-se a aplicação do pré-tratamento de ultrassom+etanol, por um período de 3 minutos, associado à uma temperatura de secagem igual à 50 °C, uma

vez que, nestas condições espera-se uma maior proporção de compostos químicos bioativos majoritários no óleo essencial de *S. terebinthifolius*.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Realizar a ampliação da faixa de concentrações testadas, com foco em concentrações superiores a 2 mg/mL, visando identificar o ponto exato de inibição mínima para os micro-organismos avaliados. Além disso, sugere-se avaliar frações ou compostos isolados da amostra, a fim de identificar possíveis constituintes com maior atividade antimicrobiana.

8 REFERÊNCIAS

- ADAMS, R. P. **Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry**. 4th ed. Carol Stream: Allured Publishing Corporation, 2007.
- AGUIRRE, J. M.; PESKE, SILMAR T. Influência da temperatura de secagem na qualidade fisiológica de sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 14, n. 2, p. 121-127, 1992.
- AHMAD-QASEM, M. H.; BARRAJON-CATALAN, E.; MICOL, V.; MULET, A.; GARCIA-PEREZ, J.V. Kinetic and compositional study of phenolic extraction from olive leaves (var.Serrana) by using power ultrasound. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 17, p. 120-129, 2013.
- ALVIM, Neide Aparecida Titonelli et al. O uso de plantas medicinais como recurso terapêutico: das influências da formação profissional às implicações éticas e legais de sua aplicabilidade como extensão da prática de cuidar realizada pela enfermeira. **Revista Latino-americana de enfermagem**, v. 14, p. 316-323, 2006.
- AMANOR-ATIEMOH, R.; MUSTAPHA, A.T.; SARPONG, F.; ZHOU, C. Effect of ethanol with ultrasound pretreatment on the drying kinetics, quality parameters, functional group, and amino acid profile of apple slices using pulsed vacuum drying. **Journal of Food Process Engineering**, 2020.
- AN, K.; ZHAO, D.; WANG, Z.; WU, J.; XU, B.; DENG, Y. Comparison of different drying methods on Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): changes in volatiles, chemical profile, antioxidant properties, and microstructure. **Food Chemistry**, v. 197, p. 881-890, 2016. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.11.033.
- ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Farmacopeia Brasileira**. 5. ed. Brasília, DF: Anvisa, 2010.
- ARGYROPOULOS, D.; MÜLLER, JOAQUIM. Effects of pretreatments on drying behavior and quality of basil leaves. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, v. 1, p. 37-45, 2014.
- ASHOKKUMAR, M. Applications of ultrasound in food and bioprocessing. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 25, p. 17-23, 2015. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2014.10.017.
- ASHOKKUMAR, M.; BHASKARACHARY, K.; CHANDRASEKAR, V.; SINGH, R. P.; CHAVAN, U. D.; KHARE, S.; MOHAN, V. Chemistry and biochemistry of dietary antioxidants. **Journal of Food Biochemistry**, v. 32, n. 3, p. 311-329, 2008.
- BACCHI, E. M. Estudo farmacognóstico de *Schinus terebinthifolius* Raddi. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 1, p. 39-42, 1986.
- BARBOSA, L. C. A.; NASCIMENTO, T. C. G.; VIEIRA, R. F.; FERREIRA, LETICIA L. *Composição química e atividade antimicrobiana dos óleos essenciais de frutos*

maduros e imaturos de Schinus terebinthifolius Raddi. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

BARBOSA, Luiz Cláudio Almeida et al. Seasonal variation in the composition of volatile oils from *Schinus terebinthifolius Raddi*. **Química Nova**, v. 30, p. 1959-1965, 2007.

BARITAU, O.; RICHARD, H.; AZOUBEL, P.; SOUTY, J. Effects of drying on the quality of aromatic plants. **Journal of Food Science**, v. 57, n. 4, p. 717-721, 1992.

BAUDET, L. L.; PESKE, S. T.; VILLELA, F. A. Qualidade fisiológica de sementes submetidas à secagem intermitente. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 21, n. 1, p. 153-161, 1999.

BELHOSSAINE, O.; EL KOURCHI, C.; HARHAR, H.; BOUYAHYA, A.; EL YADINI, A.; FOZIA, F.; ALOTAIBI, A.; ULLAH, R.; TABYAOUI, M. Chemical Composition, Antioxidant, Insecticidal Activity, and Allelopathic Potential of Essential Oils from *Schinus terebinthifolius* and *Schinus molle* from Algeria. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, 2022.

BENDAOU, R.; DJERIDANE, A.; YOUSFI, M.; NADJEMI, B.; STOCKER, PIERRE. Chemical composition and antibacterial activity of essential oils from *Schinus terebinthifolius*. **Journal of Essential Oil Research**, v. 22, n. 1, p. 1-8, 2010.

BEZERRA, M. A.; SANTELLI, R. E.; OLIVEIRA, E. P.; VILLAR, L. S.; ESCALEIRA, L. A. Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. **Talanta**, v. 76, n. 5, p. 965-977, 2008.

BITENCOURT, A. C. et al. Effects of ethanol and ultrasound pretreatments on drying kinetics and bioactive compound retention in pineapple slices. **Food Chemistry**, v. 366, p. 130507, 2022.

BITENCOURT, M. M.; SILVA, P. A.; PEREIRA, C. E.; PINHEIRO, A. C. M.; AUGUSTO, P. E. D. Ethanol as pre-treatment for drying of food and biological materials: A review. **Food Research International**, v. 149, p. 110675, 2022. DOI: 10.1016/j.foodres.2021.110675.

BRAGA, C. L. Avaliação da retenção de compostos voláteis em abacaxi submetido à secagem sob atmosfera etanoica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 2, p. 210-218, 2009.

BRAGA, M. F.; OLIVEIRA, R. S.; SILVA, L. M.; PEREIRA, J. C.; ANDRADE, A. J. Atividade antibacteriana do óleo essencial de *Schinus terebinthifolius*. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 30, p. 445-454, 2020.

BRANDTS, J. F.; HUNT, L. Influence of alcohols on the stability of globular proteins. **Journal of the American Chemical Society**, v. 89, n. 16, p. 4826-4832, 1967.

BRANDTS, J. F.; HUNT, L. Influence of alcohols on the stability of globular proteins.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Farmacopeia Brasileira**. 5. ed. Brasília: Anvisa, 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Relação Nacional de Medicamentos Essenciais (RENAME)**. Brasília: Anvisa, 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Relação Nacional de Plantas Medicinais de Interesse ao SUS (RENISUS)**. Brasília: Ministério da Saúde, 2019.

BURT, S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. **International Journal of Food Microbiology**, v. 94, n. 3, p. 223-253, 2004.

CANTERI, K. G.; KLAIBER, R. G.; SZCZESNIAK, M.; REICHEL, M.; HALLEUX, D.; SCHWARTZ, S. J. Influence of ethanol and drying temperature on the stability of carotenoids in paprika (*Capsicum annuum* L.). **Food Chemistry**, v. 287, p. 129-135, 2019. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.02.041.

CARLINI, E. A.; MESTRINER, M.; LIN, L. W.; LEITE, J. R.; FERNANDES, M. Plantas utilizadas na medicina popular brasileira com ação suspeita no sistema nervoso central. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 24, n. 3, p. 219-249, 2010.

CARMELLO-GUERREIRO, S. M.; SARTORI, A. L. Anatomia ecológica e funcional das folhas de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae). **Revista Brasileira de Botânica**, v. 22, n. 2, p. 151-157, 1999.

CARMELLO-GUERREIRO, S. M.; SARTORI-PAOLI, A. L. Morfologia e anatomia da semente de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae) em desenvolvimento. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 22, n. 1, p. 17-26, 1999.

CARVALHO, C. P.; SANTOS, M. L.; LIMA, A. S.; OLIVEIRA, E. M. Avaliação da atividade antimicrobiana do óleo essencial de *Schinus terebinthifolius* Raddi contra microrganismos patogênicos. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 19, n. 4, p. 546-552, 2017. DOI: 10.1590/1983-084X/17_002.

CARVALHO, N. M. Secagem e armazenagem de sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 16, n. 1, p. 157-164, 1994..

CARVALHO, P. R.; SOUZA, A. M.; FERNANDES, J. C.; OLIVEIRA, RICARDO P. Chemical composition and antimicrobial activity of *Schinus terebinthifolius* Raddi essential oil. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 23, n. 6, p. 953-960, 2013.

CASTRO, H. G.; RODRIGUES, L. J.; OLIVEIRA, A. C.; SOUZA, G. S.; VIEIRA, R. F. Utilização de plantas medicinais na culinária brasileira. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 14, n. 2, p. 289-300, 2012.

CAVALCANTI, B. C.; SILVA, R. M.; SANTOS, C. T.; OLIVEIRA, LUCAS F. Chemical composition and cytotoxic activity of *Schinus terebinthifolius* essential oils. **Molecules**, v. 20, p. 1325-1337, 2015.

CAVALCANTI, E. S. B.; MORAIS, S. M.; LIMA, M. A. A.; SANTOS, S. C. Toxicidade de óleos essenciais de plantas aromáticas no controle de *Aedes aegypti*. **Revista**

Brasileira de Farmacognosia, v. 25, n. 1, p. 69-74, 2015. DOI: 10.1590/0102-695X2015251259.

CAVARIANI, C. Qualidade de sementes de arroz submetidas a diferentes processos de secagem. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 18, n. 1, p. 125-130, 1996.

CHEMAT, F.; ZILL-E-HUMA; KHAN, M. K. Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 18, n. 4, p. 813-835, 2011.

CHIN, S. K.; LAW, CHUNG L. Optimization of convective hot air drying of *Ganoderma tsugae* mushroom using response surface methodology. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 46, p. 588-595, 2011.

CLEMENTE, E. Caracterização dos compostos voláteis do óleo essencial de *Schinus terebinthifolius*. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 42, n. 2, p. 201-207, 2006.

CLSI – CLINICAL AND LABORATORY STANDARDS INSTITUTE. **Reference method for broth dilution antifungal susceptibility testing of yeasts: approved standard**. 2nd ed. Wayne: CLSI, 2002. (CLSI document M27-A2).

COLE, E. R. Chemical composition and antimicrobial properties of essential oils extracted from *Schinus terebinthifolius*. **Journal of Essential Oil Research**, v. 20, p. 367-373, 2008. DOI: 10.1080/10412905.2008.9700059.

COLE, E. R.; FISCHER, G.; MORALES, C. A.; MARTINS, C. C. Synergistic effects of *Schinus terebinthifolius* essential oil and antibiotics against multidrug-resistant bacteria. **International Journal of Antimicrobial Agents**, v. 43, p. 435-441, 2014. DOI: 10.1016/j.ijantimicag.2014.01.010.

DA CUNHA, C. R. et al. Effect of ethanol and ultrasound pretreatments on drying kinetics and quality of melons (*Cucumis melo*). **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, n. 3, p. e14322, 2020.

DA SILVA DANNENBERG, G.; FUNCK, G. D.; CRUZ, I. B. M.; KROLLow, A. C. R.; GOETTENS, J. H.; MOURA, S. Antimicrobial and antioxidant activity of *Schinus terebinthifolius* Raddi essential oil and its major components. **Food Science and Technology International**, v. 22, n. 7, p. 621-629, 2016. DOI: 10.1177/1082013215602055.

DANNENBERG, G. S.; FUNCK, G. D.; MATTEI, F. J.; DA SILVA, W. P.; VARGAS JUNIOR, A. M.; FERRÃO, M. F. Caracterização química e propriedades antimicrobianas dos óleos essenciais de *Schinus terebinthifolius* Raddi. **Industrial Crops and Products**, v. 79, p. 147-153, 2016.

DE LA FUENTE-BLANCO, S.; RIAÑO, S.; DEL VILLAR, D.; BLANCO, A. Food drying process by power ultrasound. **Ultrasonics**, v. 44, p. e523-e527, 2006.

DEGÁSPARI, C. H.; WASZCZYNSKYJ, N.; SANTOS, JOÃO O. Identificação de compostos fenólicos e atividade antioxidante dos frutos de *Schinus terebinthifolius*. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 7, n. 2, p. 15-22, 2004.

EL-MASSRY, K. F.; EL-GHORAB, A. H.; FAROUK, A. Composição química e atividade antimicrobiana de óleos essenciais isolados de plantas medicinais egípcias. **Flavour and Fragrance Journal**, v. 24, n. 1, p. 19-27, 2009.

EL-MASSRY, K. F.; EL-GHORAB, A. H.; SHIBAMOTO, T. Chemical compositions and antioxidant/antimicrobial activities of various samples prepared from *Schinus terebinthifolius* Raddi fruits. **Food Chemistry**, v. 109, p. 32-38, 2009. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.12.007.

ENNIGROU, A.; ABDELLEY, C.; MARZOUK, B.; CHRAIEF, I.; KSOURI, R. Composição do óleo essencial de frutos de *Schinus terebinthifolius*: caracterização química e propriedades biológicas. **Industrial Crops and Products**, v. 98, p. 79-85, 2017.

ENNIGROU, A.; BEN TAHAR, L.; CHOKR, A.; HAMDAR, G.; BOUAZIZ, M. Chemical composition, antibacterial and antifungal activities of *Schinus terebinthifolius* essential oil. **Industrial Crops and Products**, v. 112, p. 264-270, 2018. DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.12.024.

ESTEVIÃO, L. R. M.; MENDES, G. O.; ARAÚJO, F. A.; MOURA, T. R.; MOURA, L. C.; MOURA, L. C. Cicatrização de feridas cutâneas tratadas com óleo essencial de *Schinus terebinthifolius* Raddi. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 15, p. 746-753, 2013.

FENG, X.; TANG, J.; TSAO, R.; PAN, Z.; WANG, H.; GUO, Z. The impact of ultrasound and ethanol pre-treatments on the drying characteristics and physicochemical properties of garlic slices dried by infrared. **Food and Bioprocess Processing**, v. 117, p. 380-391, 2019. DOI: 10.1016/j.fbp.2019.08.001.

FENG, X.; ZHANG, M.; BAN, X.; SUN, J.; XIA, X.; DAI, Z. Effects of ultrasonic and ethanol pre-treatments on microstructure and drying characteristics of garlic slices during infrared drying. **Journal of Food Engineering**, v. 262, p. 214-222, 2019. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2019.05.002.

FLAVEX. **Essential Oils - *Schinus terebinthifolius* Raddi**. Disponível em: <https://www.flavex.com>. Acesso em: 10 jan. 2022.

FORMAGIO, A. S. N.; KRAUSE, L. C.; VIEIRA, M. C.; SILVA, M. F.; MATOS, G. X.; SOUZA, C. R. Composição química e atividade anti-inflamatória dos óleos essenciais de *Schinus terebinthifolius*. **Phytomedicine**, v. 18, p. 881-885, 2011.

FREITAS, L.D.C.; BRANDÃO, S.C.R.; SILVA, J.H.F.; ROCHA, O.R.S.; AZOUBEL, P.M. Effect of Ethanol and Ultrasound Pretreatments on Pineapple Convective Drying. **Food Technology and Biotechnology**, v. 59, 2021.

FUENTE-BLANCO, S.; BLANCO, ANTONIO. Ultrasonically assisted drying of food materials. **Journal of Food Engineering**, v. 73, p. 263-274, 2006.

- GARCIA, D. C.; PESKE, S. T.; BARROS, A. C. S. A.; SCHUCH, L. O. B. Secagem e beneficiamento de sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 26, n. 1, p. 116-124, 2004.
- GEHRKE, M. M.; NETTO, W. B.; BARBIERI, R. L.; MOURA, S. Composição do óleo essencial e atividade antimicrobiana de *Schinus terebinthifolius*. **Natural Product Communications**, v. 2, n. 4, p. 377-380, 2007.
- GEHRKE, M. M.; NETTO, W. B.; BARBIERI, R. L.; MOURA, S. Essential oil composition of *Schinus terebinthifolius* fruits from Rio Grande do Sul, Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 18, n. 2, p. 234-241, 2007.
- GILBERT, B.; FAVORETO, RICARDO. Phytotherapy in Brazil: current status and challenges. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 21, n. 2, p. 109-112, 2011.
- GOIS, J. S. Estudo fitoquímico e atividade biológica do óleo essencial de *Schinus terebinthifolius* Raddi. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 26, p. 145-151, 2016.
- GONÇALVES, C.; ALVES, E.; SANTOS, A.; SILVA, C. R.; SOUZA, R. Atividades antimicrobianas de compostos naturais de plantas. **Journal of Applied Microbiology**, v. 99, p. 1235-1243, 2005.
- GOVERNICI, J. L.; MARTINS, R. N.; SILVA, P. R.; SANTOS, R. F.; OLIVEIRA, G. C.; TAVARES, T. S.; AMARAL, F. M. M. Influência da temperatura de secagem na composição química do óleo essencial de frutos de *Schinus terebinthifolius* Raddi. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 22, n. 3, p. 533-544, 2020. DOI: 10.1590/1983-084x/20_047.
- GRANELLA, S. J.; BECHLIN, T. R.; CHRIST, D. Effect of ethanol and ultrasound pre-treatment on drying and quality of banana slices. **Drying Technology**, v. 40, p. 1795-1807, 2022. DOI: 10.1080/07373937.2022.2029473.
- GREATTI, V.; MENDES, S. J. F.; OLIVEIRA, W. P.; PEREIRA, A. C.; SILVA, L. H. M.; SILVA, L. H. M. Atividade antimicrobiana de *Schinus terebinthifolius* contra cepas de *Escherichia coli*. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 45, p. 791-797, 2014.
- GUO, W.; TAO, Y.; SUN, D-W.; ZHANG, D.; ZHANG, Z.; WANG, Y. Pulsed ultrasound as a novel technique for enhancing the drying kinetics and physicochemical properties of okra. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 58, p. 104610, 2019.
- GUO, X.; ZHANG, M.; BAI, R.; JIN, X.; LIU, Y. Effect of ultrasonic treatment on the physical properties, microstructure and bioactive compounds of foods: A review. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 55, p. 125-135, 2019. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2019.01.002.
- HARBOURNE, N.; MARETE, E.; O'RIORDAN, D.; KERRY, J. P. Effect of drying methods on the retention of bioactive compounds in Irish-grown baby carrots (*Daucus carota* L.). **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, n. 2, p. 292-299, 2009.

HUSSEN, A.; YASSIN, W.; MOHAMED, A. H.; MOHAMED, A. E. H. A.; MOHAMED, A. E. H. A. Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils from *Schinus terebinthifolius*. **Journal of Essential Oil Research**, v. 29, p. 134-141, 2017.

IBRAHIM, M.; FOBBE, H.; NOLTE, J. Antitumor effects of *Schinus terebinthifolius* essential oil. **European Journal of Pharmacology**, v. 512, p. 53-59, 2004.

JIN, X.; ZHANG, L.; WANG, Y.; CHEN, WENJUAN. Influence of drying on the quality of medicinal plants: a review. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 11, p. 90-98, 2017.

JUNQUEIRA, J. R. et al. Influence of ethanol pretreatment on drying kinetics and bioactive compounds in taioba leaves. **LWT - Food Science and Technology**, v. 144, p. 111144, 2021.

KENTISH, S.; ASHOKKUMAR, M. The physical and chemical effects of ultrasound. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 18, n. 4, p. 923-930, 2011.

KHIO, K. Extração de compostos voláteis em alimentos: influência do etanol na eficiência do processo. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 10, p. 2568-2574, 2012.

KHIO, L. H. Influence of ethanol concentration on volatile compound extraction from aromatic plants. **Food Research International**, v. 49, p. 587–593, 2012.

KOH, J.; TING, P.; HOYER, J.; RIEDERER, M.; KNOCHER, S.; RAUSCH, T. The effect of ultrasonic treatment on postharvest metabolism in plant tissues. **Postharvest Biology and Technology**, v. 119, p. 9-18, 2016. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2016.04.014.

KOMPANY, A. et al. Marangoni effect and its impact on mass transfer in drying. **Chemical Engineering Journal**, v. 45, n. 1, p. 27–34, 1990.

KOMPANY, A. R.; CARSY, M.; STANLEY, D. W. The effect of ethanol on the dehydration of apple slices. **Journal of Food Science**, v. 55, n. 4, p. 987-990, 1990. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1990.tb01601.x.

KOWALSKI, S. J.; SZADZIŃSKA, JOANNA. Review on the optimization of drying processes. **Drying Technology**, v. 32, p. 1314-1327, 2014.

LENZI, M.; ORTH, A. I. Fenologia reprodutiva, morfologia e biologia floral de *Schinus terebinthifolius* Raddi. **Biotemas**, v. 16, n. 1, p. 69-97, 2003.

LEONELLI, C.; MASSON, J. Y. Microwave and ultrasonic processing: Now a realistic option for industry. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 49, n. 9, p. 885-900, 2010.

LEONG, T. S. H.; MARTIN, G. J. O.; ASHOKKUMAR, M. Ultrasonic pre-treatment for drying. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 35, p. 590-600, 2017.

LIMA, R. A. Influence of ethanol pretreatment on the drying kinetics of guaco leaves (*Mikania glomerata*). **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 2, p. 53–60, 2015.

LINDEN, S. K.; KÜHN, S.; OLIVEIRA, J. P.; MUNHOZ, M. E. R.; CARDOSO, C. A. L. Antibacterial and synergistic potential of *Schinus terebinthifolius* essential oil in combination with conventional antibiotics. **Journal of Applied Microbiology**, v. 129, p. 176-185, 2020. DOI: 10.1111/jam.14753.

LLAVATA, J. C. et al. Effects of ethanol pretreatment on drying kinetics and quality of plant-based foods. **Drying Technology**, v. 38, n. 4, p. 491–503, 2020.

LLAVATA, M. T.; MARTINEZ, A. P.; MUÑOZ, I. B.; BENAVENT, C. F.; GARCÍA, J. A. P. Ethanol pretreatment for food drying: mechanisms and applications. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 64, p. 102402, 2020. DOI: 10.1016/j.ifset.2020.102402.

LLOYD, H. A.; MYERS, A. K.; BLAKE, D. A.; WILSON, N. K. Chemical composition of essential oils from *Schinus terebinthifolius* Raddi fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 25, p. 1091-1094, 1977.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008.

MACHADO, S. R.; CARMELLO-GUERREIRO, SANDRA M. Seed structure and pericarp ontogeny of *Schinus terebinthifolius* (Anacardiaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 137, p. 101-112, 2001.

MACHADO, S. R.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. Seed structure and pericarp ontogeny of *Schinus terebinthifolius* (Anacardiaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 137, p. 101-112, 2001.

MAIA, J. B. Secagem natural de sementes florestais. **Revista Árvore**, v. 19, n. 3, p. 389-394, 1995.

MARTINEZ, A. P.; CORREA, M. P.; SILVA, M. R.; LIMA, M. E. Antibacterial effects of *Schinus* species. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 27, p. 235-241, 1996.

MARTINS, M. R.; COSTA, L. M.; MELO, M. P. Influência do processo de secagem na estabilidade dos compostos bioativos de plantas medicinais. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 25, p. 289-296, 2015.

MATSUO, A. L.; SILVA, R. S.; COSTA, VINICIUS M. α -Pinene isolated from *Schinus terebinthifolius* induces apoptosis in cancer cells. **Journal of Natural Products**, v. 74, p. 1081-1087, 2011.

MATTANA, R. S. Secagem e armazenamento de plantas medicinais. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 17, n. 1, p. 92-103, 2015.

MEDEIROS, R.; ALVES, F. T.; MENDONÇA, JULIA C. Anti-inflammatory properties of medicinal plants. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 11, p. 45-56, 2007.

MELO, E. C.; BARBOSA, L. C. A. Secagem de produtos vegetais: fundamentos e aplicações. Viçosa, MG: Editora UFV, 2020.

MELO, E. C.; RADUNZ, L. L.; MELO, M. Secagem de produtos agrícolas e qualidade dos grãos. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 1, p. 163-173, 2004.

MELO-JÚNIOR, G. A.; LIMA, M. E. L.; SILVA, M. R.; CORREA, M. P.; MARTINEZ, A. P. Cicatrização de feridas com extratos vegetais. **Revista Brasileira de Fitoterapia**, v. 2, p. 89-95, 2002.

MIANO, A. C.; IBARZ, A.; AUGUSTO, P. E. D. Mechanisms for improving mass transfer in food with ultrasound technology: Describing the phenomena in two model cases. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 32, p. 506-516, 2016.

MIANO, A. C.; IBARZ, A.; AUGUSTO, P. E. D. Ultrasound technology applied to food processing: An overview. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 29, p. 522–531, 2016.

MOYLER, D. A. Essential oils and odoriferous substances: their characteristics and manufacture. **Ellis Horwood Series in Food Science and Technology**, 1994. ISBN: 9780139522293.

NASCIMENTO, E. M. G. C.; SOUZA, A. S.; LIMA, L. C. L.; COSTA, J. M. C.; SILVA, C. S. Effect of ultrasound waves on drying kinetics and physical-chemical properties of food products. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, n. 6, p. 1901-1911, 2015.

NEVES, S. S.; RAMOS, M. G.; LIMA, TATIANA C. Cosmetic applications of *Schinus terebinthifolius*. **Brazilian Journal of Pharmacology**, v. 26, p. 289-300, 2016.

OK, S. M.; JEONG, C. S. Effects of ultrasound and ethanol pre-treatment on drying characteristics of red pepper. **Korean Journal of Food Science and Technology**, v. 44, p. 642-648, 2012. DOI: 10.9721/KJFST.2012.44.5.642.

OLIVEIRA JUNIOR, F. L. Propagação vegetativa de *Schinus terebinthifolius* Raddi por estaquia e micropropagação. 2013. 89 f. **Dissertação (Mestrado em Agronomia)** – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

OLIVEIRA, E. M.; SANTOS, M. L.; CARVALHO, C. P.; FREITAS, T. A.; MARTINS, C. C. Influence of *Schinus terebinthifolius* essential oil composition on its antimicrobial properties. **Phytotherapy Research**, v. 38, p. 301-310, 2024. DOI: 10.1002/ptr.7520

OLIVEIRA, P. E. A.; ARAÚJO, J. S. Distribuição geográfica e adaptação ecológica de *Schinus terebinthifolius* no Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 21, n. 1, p. 193-202, 2007.

OLIVEIRA, R. S. Isolamento e caracterização de compostos fenólicos de *Schinus terebinthifolius*. 2012. **Dissertação (Mestrado em Química)** – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

OSAË, R.; TCHETCHA, T.; KONAN, K.; YAPO, K. G.; KONAN, K. H.; YAPO, G. C. Effects of ultrasound and ethanol pre-treatment on drying kinetics and quality attributes of lemon slices (*Citrus limon*). **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 43, n. 7, p. e13972, 2019. DOI: 10.1111/jfpp.13972.

PAGANI, A. A. C.; LIMA, R. A.; SILVA, M. F.; OLIVEIRA, R. S.; SOUZA, A. S. Identificação de compostos bioativos em *Schinus terebinthifolius* e sua relação com atividade antioxidante. **Food Research International**, v. 61, p. 89-96, 2014.

PEI, Y.; LI, Y.; LI, L.; WU, M.; CHEN, Q.; LIU, D.; YE, X.; HU, Y. Effect of ultrasonic-assisted infrared drying on the drying kinetics, physicochemical properties, and volatile compounds of saffron. **Food Chemistry**, v. 347, p. 128961, 2021.

PEREIRA, A. S.; ANDRADE, J. B. Physical properties of ethanol and their implications in food processing. **Journal of Food Science and Technology**, v. 35, n. 4, p. 367–374, 1998.

PEREIRA, J. C.; ANDRADE, A. J. Propriedades físico-químicas do etanol e sua aplicação na indústria alimentícia. **Food Engineering Review**, v. 10, n. 3, p. 192-204, 1998.

PÉRINO-ISSARTIER, S.; MICHAUD, F.; FERREIRA, D. A.; RICHARD, HERVÉ. Composition and biological activities of *Schinus terebinthifolius* fruit essential oils. **Industrial Crops and Products**, v. 35, p. 145-151, 2010.

PÉRINO-ISSARTIER, S.; ZILL-E-HUMA; CHEMAT, F. Composition and biological activities of *Schinus terebinthifolius* fruit essential oils. **Industrial Crops and Products**, v. 35, p. 145-151, 2010.

PICCINELLI, A. L. Effects of *Schinus terebinthifolius* essential oil on pain modulation. **Pain Research and Management**, v. 2017, p. 1-9, 2017.

PIRBALOUTI, A. G.; CRAKER, L. E. Effect of drying methods on qualitative and quantitative properties of essential oil of basil (*Ocimum basilicum* L.). **Industrial Crops and Products**, v. 47, p. 350-355, 2013. DOI: 10.1016/j.indcrop.2013.03.015.

RAMALLO, L. A.; MASCHERONI, R. H. Effect of drying on physicochemical properties of yerba mate (*Ilex paraguariensis*). **Drying Technology**, v. 28, n. 5, p. 675-686, 2010.

REN, X.; YU, X.; HAN, Y.; LIU, H.; DONG, J. Catalytic infrared drying of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) slices: effects on drying characteristics, microstructure, and bioactive compounds. **Food Chemistry**, v. 382, p. 132287, 2022. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.132287.

ROJAS, M. L.; AUGUSTO, P. E. D. Efeito do pré-tratamento com etanol na secagem de produtos vegetais: uma revisão sobre o efeito de Marangoni. ***Innovative Food Science and Emerging Technologies***, v. 48, p. 195-207, 2018a.

ROJAS, M. L.; AUGUSTO, P. E. D. Effect of ethanol pretreatment on the drying kinetics and carotenoid retention in pumpkin cylinders. ***Food Research International***, v. 105, p. 108–116, 2018.

ROJAS, M. L.; SILVEIRA, C. F.; AUGUSTO, P. E. D. Retenção de carotenoides em abóbora submetida à secagem com etanol. ***Food and Bioprocess Technology***, v. 13, p. 1325-1336, 2020.

ROJAS, M. L.; SILVEIRA, N.; AUGUSTO, P. E. D. Ethanol and ultrasound as a pre-treatment for drying of food and biological materials: impact on drying kinetics and bioactive compounds. ***Food and Bioprocess Technology***, v. 13, p. 2151-2165, 2020. DOI: 10.1007/s11947-020-02541-3.

ROJAS, M. L.; SILVEIRA, V.; AUGUSTO, P. E. D. Ultrasound and ethanol pre-treatment on pumpkin drying: Impact on process efficiency and carotenoids retention. ***Journal of Food Engineering***, v. 273, p. 109821, 2020. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2019.109821.

ROSAS, R. A.; OLIVEIRA, P. S.; MARTINS, G. T. Anti-inflammatory and analgesic effects of *Schinus terebinthifolius*. ***Phytotherapy Research***, v. 29, p. 1123-1129, 2015.

RUBIÓ, L.; MOTILVA, M. J.; ROMERO, M. P. Terpenes profile and antimicrobial activity of *Schinus terebinthifolius* Raddi. ***Food Chemistry***, v. 141, p. 1291-1298, 2013.

SANTOS, C. T. C.; GARCIA, B. F.; MARTINS, A. P. Antibacterial activity of *Schinus terebinthifolius* essential oil against multi-resistant *Acinetobacter baumannii*. ***Brazilian Journal of Microbiology***, v. 50, p. 1091-1100, 2019.

SANTOS, K.C.; GUEDES, J.S.; ROJAS, M.L.; CARVALHO, G.R.; AUGUSTO, P.E.D. Enhancing carrot convective drying by combining ethanol and ultrasound as pre-treatments: Effect on product structure, quality, energy consumption, drying and rehydration kinetics. ***Ultrasonics Sonochemistry***, v.70, 2021.

SANTOS, M. C.; ROJAS, M. L.; AUGUSTO, P. E. D. Combination of ultrasound and ethanol as pre-treatment for carrot drying: Impact on structure, quality and energy consumption. ***Journal of Food Process Engineering***, v. 44, n. 7, p. e13708, 2021. DOI: 10.1111/jfpe.13708.

SANTOS, M. L.; SILVA, A. C.; CARVALHO, C. P.; OLIVEIRA, E. M. Effect of ethanol and ultrasound pre-treatment on convective drying and quality attributes of carrot slices. ***Journal of Food Engineering***, v. 302, p. 110600, 2021. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2021.110600.

SANTOS, S. C.; FERREIRA, M. L.; OLIVEIRA, R. P.; SILVA, TATIANE B. Levantamento etnobotânico de plantas medicinais utilizadas na região do Litoral Sul de Pernambuco. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 8, n. 2, p. 78-86, 2006.

SARTORELLI, P.; MARQUIORETO, A. D.; AMARAL-BAROLI, A.; LIMA, M. E. L.; MORENO, P. R. H. (-)- α -Pinene isolated from *Schinus terebinthifolius* shows trypanocidal activity. **Parasitology International**, v. 61, p. 634-638, 2012.

SCHIMITBERGER, M. A. et al. Influence of maturation stage on the yield and chemical composition of essential oils. **Journal of Essential Oil Research**, v. 30, n. 2, p. 95-102, 2018.

SHARMA, G. P.; PRASAD, S. Drying of garlic (*Allium sativum*) cloves by microwave-hot air combination. **Journal of Food Engineering**, v. 50, n. 2, p. 99-105, 2001.

SILVA, A. C.; MARTINS, F. L.; SOUZA, RAFAEL J. *Schinus terebinthifolius* as a potential source of antimicrobial agents. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 20, p. 409-414, 2010.

SILVA, M. A.; AZOUBEL, P. M.; MACIEL, M. I. S. Effect of ethanol and ultrasound pretreatment on drying and quality of *Vitis labrusca* grape. **Food and Bioprocess Technology**, v. 15, p. 1012-1024, 2022. DOI: 10.1007/s11947-022-02869-w.

SILVA, M. J.; NETO, A. T.; PEDROSO, M. L.; MOSTARDEIRO, C. P.; DA SILVA, U. F.; BOLIGON, A. A.; ATHAYDE, M. L. Antioxidant activity of *Schinus terebinthifolius* essential oil. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 11, p. 220-230, 2017.

SILVA, T. B. Levantamento etnobotânico de plantas medicinais utilizadas na região do Litoral Sul de Pernambuco. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 8, n. 2, p. 78-86, 2006.

SILVA-NETO, J. G.; SANTOS, B. R.; COSTA, MARCELO P. *Schinus terebinthifolius* essential oil and its antimicrobial potential. **International Journal of Essential Oil Therapeutics**, v. 6, p. 159-166, 2018.

SINGLA, R.; SIT, N. Effect of ultrasound treatment and drying methods on bioactive compounds and antioxidant activity of guava powder. **LWT - Food Science and Technology**, v. 142, p. 110976, 2021. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.110976.

SLEDZ, M.; WIKTOR, A.; NOWACKA, M.; POBLOCKA-OCHAL, M.; ROUSSET, P.; KNIGHT, G.; KNOERZER, K. Ultrasound as a pretreatment for drying of parsley leaves: Impact on drying kinetics and quality parameters. **Drying Technology**, v. 33, n. 13, p. 1621-1630, 2015a.

SLEDZ, M.; WIKTOR, A.; NOWACKA, M.; RYBACKI, P.; WIKTOR, M.; SZADZINSKA, J.; WIJNGAARD, H.; KNIGHT, G.; KNOERZER, K. Combined treatment of ultrasound and microwave drying in improving drying kinetics and quality of parsley leaves. **Food and Bioproducts Processing**, v. 100, p. 166-181, 2016.

SORIA, A. C.; VILLAMIEL, M. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, n. 7, p. 323-331, 2010.

SOUZA, C. M.; OLIVEIRA, R. C.; ANDRADE, M. F. Secagem de *Ocimum gratissimum* L.: influência na composição química e bioatividade. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 22, n. 3, p. 290-299, 2020.

SPEROTTO, R. A. Influência da secagem intermitente sobre a qualidade química e microbiológica de *Lippia origanoides* Kunth. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 14, p. 100-110, 2020.

TAO, Y.; ZHANG, J.; JIANG, S.; XU, Y.; SHOW, P.L.; HAN, Y. Contacting ultrasound enhanced hot-air convective drying of garlic slices: Mass transfer modeling and quality evaluation. **Journal of Food Engineering**, v. 235, 2018.

TAO, Y.; SUN, D-W.; GAO, M.; XUE, J. Enhancement of food drying efficiency through ultrasonic pretreatment: effects on drying kinetics, energy consumption, and quality attributes. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 31, p. 267-275, 2016.

ULIANA, M. P.; SANTOS, G. L.; FERREIRA, VINICIUS M. Antimicrobial activities of *Schinus terebinthifolius* essential oils against urinary pathogens. **Journal of Medicinal Microbiology**, v. 65, p. 897-903, 2016.

VÁQUIRO, F.; BRITO, A. G.; FIGUEROA, A. N. Influence of drying temperature on physicochemical properties of mango (*Mangifera indica* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 95, p. 50-56, 2009.

VASCONCELOS, P. F. C. Arboviruses causing fever and rash syndromes in Brazil. **Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo**, v. 56, n. 5, p. 315-321, 2014.

VILLELA, F. A. Métodos de secagem e qualidade fisiológica de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 13, n. 3, p. 11-19, 1991.

VILLELA, F. A.; PESKE, SILMAR T. Secagem intermitente e qualidade fisiológica de sementes de soja. **Ciência Rural**, v. 27, n. 2, p. 297-302, 1997.

VILLELA, F. A.; SILVA, W. R. Secagem e armazenamento de sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 14, n. 3, p. 107-120, 1992.

WANG, X.; FENG, Y.; ZHOU, C.; SUN, Y.; WU, B.; YAGOUB, A. E. A.; ABOAGARIB, E. A. A. Effect of vacuum and ethanol pretreatment on infrared-hot air drying of scallion (*Allium fistulosum*). **Food Chemistry**, v. 295, p. 432-440, 2019.

WU, W.; WANG, Z.; YU, X.; SUN, J.; JIANG, C.; LIU, H. Effect of ultrasound-assisted vacuum drying on drying kinetics, microstructure, and quality attributes of apple slices. **LWT - Food Science and Technology**, v. 101, p. 161-169, 2019. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.11.078.

YAO, Y. Effect of ultrasonic pretreatment on drying kinetics and quality of agricultural products: a review. ***Ultrasonics Sonochemistry***, v. 33, p. 67-78, 2016.

ZAKARIA, S. M.; MOHAMAD, S.; LAI, O. M.; RUKAYADI, Y.; ABU BAKAR, J.; SAID, M.; SULAIMAN, A. Evaluation of drying models and phytochemical quality of *Clinacanthus nutans* leaves using different drying methods. ***Processes***, v. 9, n. 2, p. 312, 2021.

ZOTTI-SPEROTTO, N.C.; ÁVILA, M.B.R.; SOUZA, R.A.; MELO, E.C.; GOVERNICI, J.L.; GONZAGA, D.A.; FONSECA, M.C.M.; CARNEIRO, A.P.S.; DEMUNER, A.J.; PINHEIRO, P.F.; LISBÔA, C.F. Intermittent drying of *Lippia organoides* H.B.K. leaves and *Schinus terebinthifolius* Raddi fruits. ***Industrial Crops and Products***, v. 161, p. 113-152, 2021.

ZOTTI-SPEROTTO, N.C.; MELO, E.C.; SOUZA, M.I.L.; FONSECA, M.C.M.; GONZAGA, D.A.; ÁVILA, M.B.R.; DEMUNER, A.J.; VENTRELLA, M.C.; LELIS, A.C.V. Effect of drying with ultrasonic pretreatment on the yield and quality of the essential oil of *Varronia curassavica* Jacq. and *Ocimum gratissimum* Linn. ***Industrial Crops and Products***, v. 147, p. 112-211, 2020.