



JEANE EDUARDA SILVEIRA

**SECAGEM DE ERVAS AROMÁTICAS E
CARACTERIZAÇÃO DOS SEUS ÓLEOS ESSENCIAIS**

**LAVRAS – MG
2023**

JEANE EDUARDA SILVEIRA

**SECAGEM DE ERVAS AROMÁTICAS E CARACTERIZAÇÃO DOS SEUS ÓLEOS
ESSENCIAIS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Química, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Irineu Petri Júnior
Orientador

Prof. Dr. Pedro Castro Neto
Coorientador

**LAVRAS – MG
2023**

JEANE EDUARDA SILVEIRA

**SECAGEM DE ERVAS AROMÁTICAS E CARACTERIZAÇÃO DOS SEUS ÓLEOS
ESSENCIAIS**

**DRYING OF AROMATIC HERBS AND CHARACTERIZATION OF THEIR
ESSENTIAL OILS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Química, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 05 de julho de 2023.

Banca:

Me. Guilherme Mathias Lopes

Prof. Dr. Irineu Petri Júnior – UFLA

Prof. Dr. Rafael Peron Castro

Prof. Dr. Irineu Petri Júnior
Orientador

Prof. Dr. Pedro Castro Neto
Coorientador

**LAVRAS – MG
2023**

*Aos meus pais.
Dedico*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por sempre estar ao meu lado e me permitir ter saúde e resiliência para ultrapassar todos os obstáculos, me fazendo acreditar que seria possível.

Ao meu pai João Nelson, por sempre me incentivar e por ter acreditado em mim como ninguém, agradeço também à minha mãe Nelsiléia, que sempre me apoiou e é meu grande exemplo de força, determinação e coragem. Sem vocês eu não teria conseguido.

À minha irmã Jéssica, por todo o companheirismo e amizade, me incentivando e dando suporte para que meu sonho pudesse se tornar realidade.

À toda minha família, mas em especial à Tia Nana e a Mayra que foram meu porto seguro em Lavras, me acolheram e nunca mediram esforços para me ajudar, vocês foram essenciais para toda a minha trajetória, muito obrigada por todo o apoio e carinho.

Ao Lucas por ser meu grande companheiro, por toda a paciência e apoio, não me deixando desanimar.

Aos meus amigos, em especial a Luiza e Vinicius, que são meus amigos da vida inteira e que estiveram comigo em todos os momentos e também à Bethânia, Charles, Artur, Bettina e Daniel que estiveram comigo desde o início da faculdade tornando essa caminhada mais leve e divertida. Vocês fizeram meus dias mais felizes, foram suporte e se tornaram parte da minha família.

Agradeço ao G-óleo e à todos os meus colegas do grupo, foi a experiência mais incrível de aprendizado e trabalho que tive durante toda a graduação. O G-óleo com toda sua equipe e estrutura maravilhosa me permitiu desenvolver diversos projetos, inclusive esse trabalho de conclusão de curso. Agradeço, em especial, às meninas do projeto Óleo Essencial que me ajudaram no desenvolvimento desse trabalho.

À toda equipe do Sítio Trovão e do Horto de Plantas Medicinais da UFLA, que me forneceram muitas orientações e disponibilizaram todas as plantas utilizadas nesse trabalho.

Ao meu orientador Dr. Irineu por ter aceitado me orientar e ter desempenhado tal função com muita dedicação e amizade, obrigada por todos os ensinamentos, pela paciência e principalmente por ser tão compreensivo e gentil.

Ao meu coorientador Dr. Pedro, nosso querido Pedrão, por ter me proporcionado toda a vivência e aprendizado que tive no grupo do G-óleo e por toda a dedicação em me orientar e disponibilizar toda a estrutura do G-óleo e do Sítio Trovão para o desenvolvimento deste trabalho, muito obrigada por todos esses anos de amizade e ensinamentos.

A Universidade Federal de Lavras e a todos do Departamento de Engenharia, agradeço por toda a estrutura necessária para a nossa formação, por todo o aprendizado e por nos permitir viver essa experiência maravilhosa e única. Agradeço por todo o desenvolvimento pessoal e profissional.

RESUMO

As ervas aromáticas são popularmente utilizadas pelos seus benefícios medicinais, sendo, também, de interesse para as indústrias de alimentos, farmacêutica, de cosméticos, aromas e produtos agroquímicos. Essas plantas são responsáveis pela produção de óleos essenciais formados por compostos voláteis e lipofílicos e produzidos pelo metabolismo secundário das plantas. Tais óleos são de grande interesse pela sua atividade biológica. Para realizar sua extração, é necessário que as plantas sejam submetidas a um processo de secagem logo após sua colheita, visando manter a conservação de sua composição química e qualidade de seus princípios ativos. No entanto, é necessário que a secagem das folhas seja feita em condições ideais para não gerar danos à qualidade dos óleos essenciais obtidos a partir delas e, para isso, deve-se realizar um estudo da cinética de secagem dessas plantas a fim de estabelecer as melhores condições de temperatura, velocidade e umidade relativa do ar. Deste modo, este trabalho tem como objetivo o estudo da secagem das folhas de capim-limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf) e manjerição branco (*Ocimum basilicum*), avaliando o efeito da temperatura do ar de secagem em relação ao teor e composição química dos óleos essenciais produzidos por essas folhas, assim como fazer um ajuste dos dados experimentais aos modelos matemáticos e realizar a caracterização desses óleos essenciais. As temperaturas de secagem avaliadas foram de 40°, 50° e 60°C. Para realizar a extração dos óleos essenciais, foi utilizado o método de hidrodestilação com o aparelho Clevenger. A partir dos resultados obtidos das curvas de cinética de secagem, foi possível observar que o aumento da temperatura de secagem causa a redução direta no tempo de secagem, assim como aumenta a taxa de secagem. O modelo de Page foi o que melhor representou a secagem das folhas de capim-limão e o de Page Modificado para o manjerição. A temperatura de secagem das folhas também teve interferência direta no rendimento dos óleos essenciais, sendo a temperatura de 40°C a que obteve o melhor rendimento de óleo essencial. Os compostos majoritários encontrados foram o 1,8-Cineol e Linalol, para o manjerição, e o Geranial para o capim-limão. A variação na temperatura de secagem também gerou alteração na composição dos óleos essenciais, apresentando variações na porcentagem relativa e na perda de alguns compostos.

Palavras-chave: Capim-limão. Manjerição. Cinética de Secagem. Temperatura. Hidrodestilação.

ABSTRACT

Aromatic herbs are popularly used for their medicinal benefits, and are also of great interest to the food, pharmaceutical, cosmetics, aromas and agrochemical industries. These plants are responsible for the production of essential oils formed by volatile and lipophilic compounds and produced by the secondary metabolism of plants. Such oils are of great interest for their biological activity. To carry out its extraction, it is necessary that the plants undergo a drying process right after harvesting, in order to maintain the conservation of their chemical composition and quality of their active ingredients. However, it is necessary that the drying of the leaves is carried out under ideal conditions so as not to damage the quality of the essential oils obtained from them and, for this, a study of the drying kinetics of these plants must be carried out in order to establish the better temperature, speed and relative humidity conditions. Thus, this work aims to study the drying of leaves of lemongrass (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf) and white basil (*Ocimum basilicum*), evaluating the effect of drying air temperature in relation to the content and composition chemistry of essential oils produced by these leaves, as well as adjusting experimental data to mathematical models and characterizing these essential oils. The evaluated drying temperatures were 40°, 50° and 60°C. To perform the extraction of essential oils, the hydrodistillation method was used with the Clevenger apparatus. From the results obtained from the drying kinetics curves, it was possible to observe that the increase in the drying temperature causes a direct reduction in the drying time, as well as an increase in the drying rate. The Page model best represented the drying of lemongrass leaves and the Modified Page model for basil. The drying temperature of the leaves also had direct interference in the yield of essential oils, with a temperature of 40°C which obtained the best yield of essential oil. The major compounds found were 1,8-Cineol and Linalool, for basil, and Geranial for lemongrass. The variation in the drying temperature also generated alteration in the composition of the essential oils, showing variations in the relative percentage and in the loss of some compounds.

Keywords: Lemongrass. Basil. Drying Kinetics. Temperature. Hydrodistillation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Manjeriç�o branco (<i>Ocimum basilicum</i>).....	20
Figura 2 - Capim-Limão [<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf].....	22
Figura 3 - Isoterma de equil�rio de umidade em diferentes materiais a 25�C.	27
Figura 4 - Curva do tempo de secagem vs umidade.	31
Figura 5 - Curva da umidade vs taxa de secagem.	31
Figura 6 - Sítio Trovão, Ijaci-MG.	36
Figura 7 - Horto Medicinal, Universidade Federal de Lavras.	37
Figura 8 - Capim-limão (<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf) logo após a colheita e separa�o entre as folhas sadias das folhas danificadas.	37
Figura 9 - Manjerição (<i>Ocimum basilicum</i>) logo após a colheita e separa�o entre as folhas sadias das folhas danificadas.	38
Figura 10 - Estufa SOLAB modelo SL-102.	39
Figura 11 - Figura 11 – Estufa QUIMIS modelo Q314M.	39
Figura 12 - Amostras de folhas frescas; a) Capim-Limão (<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf) e b) Manjerição (<i>Ocimum basilicum</i>).	40
Figura 13 - Amostras de folhas secas; a) Capim-Limão (<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf) e b) Manjerição (<i>Ocimum basilicum</i>).	40
Figura 14 - Prepar�o das amostras de folhas frescas para processo de secagem; a) Pesagem da amostra com Manjerição (<i>Ocimum basilicum</i>) e b) Suporte com haste com Capim-Limão (<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf).	41
Figura 15 - Suporte com haste conectado � balanç� analítica dentro da estufa.....	41
Figura 16 - Secagem das folhas frescas; a) Manjerição (<i>Ocimum basilicum</i>) e b) Capim-Limão (<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf).	42
Figura 17 - Processo de extração de óleos essenciais; a) Prepar�o da amostra e b) Sistema de extração.....	43
Figura 18 - Separa�o do óleo essencial e hidrolato; a) Sistema �leo essencial e hidrolato no Clevenger e b) �leo essencial de capim-limão (<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf).....	44
Figura 19 - Curva de Secagem em base seca por tempo; a) Manjerição (<i>Ocimum basilicum</i>) e b) Capim-limão (<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf).	45
Figura 20 - Curvas experimentais e estimadas de razão de umidade por tempo pela estimativa dos parâmetros do modelo; a) Modelo de Page para o capim-limão (<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf) e b) Modelo de Page modificado para o manjerição (<i>Ocimum basilicum</i>).	49

Figura 21 - Taxa de secagem; a) Para o capim-limão (<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf) e b) Para o manjeriço (<i>Ocimum basilicum</i>).....	50
Figura 22 - Rendimento médio de óleo essencial de Capim-limão (<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf) e Manjeriço (<i>Ocimum basilicum</i>) obtidos por hidrodestilação, para cada uma das temperaturas de secagem das folhas.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelos de regressão não-linear utilizados para predizer o fenômeno de secagem.	33
Tabela 2 - Tempo de secagem em diferentes temperaturas para o (<i>Ocimum basilicum</i>) e para (<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf).	46
Tabela 3 - Parâmetros de ajuste dos modelos da cinética de secagem para as espécies <i>Ocimum basilicum</i> e para <i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf e respectivos coeficientes de determinação.	47
Tabela 4 - Rendimento do Óleo Essencial extraídos do Capim-Limão (<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf) e do Manjeriçãõ (<i>Ocimum basilicum</i>).	52
Tabela 5 - Quantidades de Óleo Essencial extraídos do Capim-Limão (<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf) e do Manjeriçãõ (<i>Ocimum basilicum</i>) em bateladas de 500kg de folhas secas. .	53
Tabela 6 - Composição química do óleo essencial das folhas frescas de Capim-Limão (<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf).	55
Tabela 7 - Composição química do óleo essencial das folhas secas à temperatura de 40°C de Capim-Limão (<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf).	56
Tabela 8 - Composição química do óleo essencial das folhas frescas de Manjeriçãõ (<i>Ocimum basilicum</i>).	58
Tabela 9 - Composição química do óleo essencial das folhas secas de Manjeriçãõ (<i>Ocimum basilicum</i>).	59

LISTA DE SÍMBOLOS

u^*	Umidade de equilíbrio	[kg/kg]
T	Temperatura do ar de secagem	[°C]
u_a	Umidade relativa do ar	[kg/kg]
u_{bs}	Umidade em base seca	[kg/kg]
u_{bu}	Umidade em base úmida	[kg/kg]
m_h	Massa de água no sólido	[g]
m_o	Massa de óleo essencial	[g]
m_{ms}	Massa de folhas secas	[g]
m_s	Massa do sólido seco	[g]
RU	Razão de Umidade	[-]
u	Umidade em um dado tempo	[kg/kg]
u_o	Umidade inicial	[kg/kg]
X	Teor de umidade	[-]
k	Parâmetro dos modelos de cinética de secagem	[min^{-1}]
n	Parâmetro dos modelos de cinética de secagem	[-]
a	Parâmetro dos modelos de cinética de secagem	[-]
b	Parâmetro dos modelos de cinética de secagem	[-]
c	Parâmetro dos modelos de cinética de secagem	[-]
k_0	Parâmetro e dos modelos de cinética de secagem	[-]
k_1	Parâmetro e dos modelos de cinética de secagem	[-]
n_1	Parâmetro dos modelos de cinética de secagem	[-]
n_2	Parâmetro dos modelos de cinética de secagem	[-]
R	Taxa de secagem	[kg água/kg sólido seco.h]
TO	Teor de óleo essencial	[%]
A	Área disponível para a transferência de calor massa	[m ²]
X	Umidade	[kg/kg]
t	Tempo	[h]
k_0	Fator pré-exponencial da equação de Arrhenius	[h ⁻¹]
E_a	Energia de ativação	[kJ/mol]
R	Constante dos Gases	[kJ.mol ⁻¹ .K ⁻¹]

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivos gerais	16
2.2	Objetivos específicos	16
3	REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1	Óleos essenciais	17
3.1.1	Manjeriçãõ branco (<i>Ocimum basilicum</i>)	19
3.1.2	Capim-limãõ (<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf)	21
3.1.3	Métodos de extraçãõ de óleos essenciais	23
3.1.4	Análises qualitativas para óleos essenciais	24
3.2	Secagem	26
3.2.1	Umidade	27
3.2.2	Mecanismos de migraçãõ interna da águã	29
3.2.3	Cinética de secagem	30
3.3	Trabalhos correlatos	34
4	MATERIAL E MÉTODOS	36
4.1	Coleta e separaçãõ das plantas utilizadas	36
4.2	Unidades experimentais	38
4.3	Procedimento operacional para determinaçãõ de umidade inicial	39
4.4	Procedimento operacional de secagem	40
4.5	Secagem das plantas para extraçãõ de óleos essenciais	42
4.6	Extraçãõ de óleos essenciais (hidrodestilaçãõ)	43
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
5.1	Cinética de secagem	45
5.2	Taxa de secagem	49
5.3	Rendimento dos óleos essenciais	51
5.4	Análise qualitativa dos óleos essenciais	55
5.4.1	<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf	55
5.4.2	<i>Ocimum basilicum</i>	57
6	CONCLUSÕES	60
6.1	Sugestões para trabalhos futuros	61

REFERÊNCIAS	62
ANEXO A.....	70
ANEXO B.....	72

1 INTRODUÇÃO

Tem-se observado um crescente interesse na produção de plantas aromáticas, medicinais e condimentares, por serem plantas utilizadas na produção de óleos essenciais. Esses óleos e os seus constituintes apresentam grande potencial econômico, pois possuem propriedades medicinais e nutricionais que podem ser amplamente aplicadas na indústria de medicamentos, cosméticos, alimentos, fragrâncias, tabaco e até em produtos agrícolas (GERSHENZON; MCCONKEY; CROTEAU, 2000).

Os óleos essenciais são misturas complexas de substâncias voláteis e lipofílicas, possuem baixo peso molecular e, normalmente, são odoríferas e líquidas, originados do metabolismo secundário das plantas e são caracterizados pelo odor agradável e marcante presente em muitos deles (MORAIS, 2009). A composição desses óleos voláteis pode conter mais de cem substâncias, no entanto, pode apresentar alguns constituintes em maiores quantidades, sendo denominados de componentes majoritários (GOBBO-NETO; LOPES, 2007).

Ademais, a composição química e o rendimento dos óleos essenciais presentes nas plantas podem variar de acordo com a espécie, condições ambientais, como temperatura e composição do solo, órgão da planta, idade e estágio vegetativo (GOBBO-NETO; LOPES, 2007). Contudo, o tratamento primário de secagem das plantas após a colheita também interfere na qualidade e nos teores de óleos essenciais que serão obtidos, tornando-se necessário o desenvolvimento de técnicas eficientes de secagem destes produtos para que todas as propriedades químicas sejam integralmente aproveitadas (MARTINS *et al.*, 2015; TABALDI *et al.*, 2012).

A secagem de um sólido consiste em remover água ou outro líquido presente no material sólido, reduzindo o teor de líquido residual a um valor aceitável e, assim, a redução no teor de água do sólido ocorre através de transferência de massa e de calor acontecendo simultaneamente (MCCABE *et al.*, 2004). Esse processo é aplicado em plantas aromáticas com o objetivo de diminuir a perda de princípios ativos e preservar a planta de sua deterioração por causa da redução na atividade enzimática, aumentando a conservação das plantas por um período maior (COSTA *et al.*, 2005).

O tempo gasto durante o processo de secagem depende de fatores como o método de secagem, temperatura, velocidade e umidade relativa do ar. Entre esses, as combinações da temperatura com a velocidade do ar interferem diretamente na taxa de secagem e, dessa maneira, estas se constituem como as variáveis mais importantes na influência da qualidade dos

óleos essenciais pelo fato do aumento da temperatura causar a perda de componentes voláteis importantes (CARLESSO *et al.*, 2005). Sendo assim, é importante estudar e conhecer a cinética de secagem dessas plantas para obter quais são as melhores condições de operação para que não ocorra danos ao produto, bem como simular o processo de secagem utilizando alguns modelos matemáticos já disponíveis na literatura e, também, ajustá-los aos dados obtidos experimentalmente.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Realizar o estudo da cinética de secagem das folhas de capim-limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf) e de manjeriço branco (*Ocimum basilicum*). Adicionalmente, avaliar o efeito da temperatura do ar de secagem em relação à qualidade e ao teor de óleo essencial obtido a partir dessas folhas.

2.2 Objetivos específicos

- a) Obter as curvas de cinética de secagem e taxa de secagem utilizando diferentes temperaturas, sendo essas 40, 50 e 60°C;
- b) identificar o tempo de secagem ideal para cada uma das temperaturas utilizadas;
- c) fazer o ajuste dos resultados de secagem aos modelos cinéticos disponíveis na literatura;
- d) definir o teor de óleo essencial obtido a partir das folhas secas que foram submetidas a cada um dos tratamentos de secagem das temperaturas utilizadas;
- e) realizar a caracterização dos óleos essenciais a partir da identificação dos seus constituintes por meio de análises de cromatografia gasosa acoplada ao espectrofotômetro de massas.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção é apresentada uma fundamentação teórica sobre óleos essenciais, assim como as propriedades, caracterização e rendimento dos óleos essenciais de capim-limão e de manjeriço. Também é apresentado o processo de secagem e umidade e conceitos importantes sobre a cinética de secagem.

3.1 Óleos essenciais

Os vegetais são capazes de produzir, transformar e acumular diversas substâncias fundamentais para a manutenção da vida, o que são importantes para as interações ecológicas entre estes vegetais e o ambiente em que habitam. O metabolismo primário das plantas, através de um conjunto de processos bioquímicos, é o responsável em produzir, degradar e transformar algumas macromoléculas como os carboidratos, lipídios, ácidos nucleicos e proteínas, formando, assim, metabólitos primários que auxiliam na nutrição e na manutenção da vida dessas plantas (SIMÕES *et al.*, 2007).

Já o metabolismo secundário é composto por um conjunto de reações químicas, produzindo as demais substâncias que não são necessariamente vitais ao organismo produtor (MONTEIRO; BRANDELLI, 2017). Tais substâncias são chamadas de metabólitos secundários e auxiliam as plantas na sua comunicação com o meio ambiente, ou seja, estão envolvidos na interação que ocorre entre o organismo produtor com o ecossistema, apresentando meios de defesa químico contra o ataque de microrganismos, insetos e animais (KALLUF, 2015). Dessa forma, consegue garantir a sobrevivência e a perpetuação da espécie (TAIZ; ZEIGER, 2004; SIMÕES *et al.*, 2007).

As plantas desenvolveram um sistema biossintético no qual conseguem gerar misturas complexas bioativas provenientes do metabolismo secundário e tais substâncias são responsáveis pela formação dos óleos essenciais (SAAD *et al.*, 2016). Uma das características mais significativas é o forte odor agradável e a alta volatilidade, ademais, os óleos essenciais são límpidos, raramente coloridos, lipossolúveis e solúveis em solventes orgânicos, com densidade geralmente menor que da água. São normalmente armazenados em células secretoras especializadas como os tricomas glandulares, as cavidades e os canais secretores. Então, durante o processo de destilação, essas glândulas secretoras são rompidas e esvaziadas liberando os óleos essenciais (BAKKALI *et al.*, 2007; BIZZO *et al.*, 2009).

Na natureza, os óleos essenciais desempenham um importante papel na proteção das plantas, podendo atuar como agentes antibacterianos, antivirais, antifúngicos, inseticidas e, também, agindo contra o ataque de herbívoros. Dessa maneira, detêm as funções de atrair insetos polinizadores e de repelir outros que podem ser nocivos para a planta (PICHERSKY; GANG, 2000).

Em adição, esses óleos abrangem uma gama bastante variada de constituintes e podem conter cerca de 20-60 componentes em variáveis concentrações, geralmente associados aos monos e sesquiterpenos, mas também aparecendo em suas composições ésteres, álcoois, aldeídos, cetonas, acetais, fenóis, glicosídeos, ceras, hidrocarbonetos lineares, ácidos graxos, alcaloides, cumarinas e esteroides. No entanto, as composições dos óleos essenciais possuem uma enorme variedade, não sendo possível conhecer de forma absoluta a sua composição química. Logo, diversos fatores são responsáveis em modificar a composição e a quantidade de cada um dos compostos químicos presentes (BANDONI; CZEPAK, 2008).

Em temperatura ambiente, os óleos essenciais possuem aspecto oleoso, um sabor ácido e picante, sendo instáveis em presença de luz, calor e ar, porém são muito voláteis e exalam um forte odor, geralmente agradável. Tais características são responsáveis por diferenciá-los dos óleos fixos, que são misturas de substâncias lipídicas, geralmente extraídos de sementes (SAITO; SHIRLEY, 2000).

Do mesmo modo que eles atuam para auxiliar a própria planta, também podem ser utilizados para trazer diversos benefícios em outras aplicações por serem capazes de exercer atividade biológica tanto nos animais como, principalmente, no homem. Por conseguinte, a humanidade percebeu a importância desses compostos e estes tem sido amplamente utilizado pelas indústrias de alimentos, farmacêutica, agroquímica, perfumaria e afins (SAAD *et al.*, 2016; MORAIS, 2009).

Os fatores genéticos são os principais responsáveis pela composição química produzida por cada espécie de plantas, contudo, fatores externos também geram alterações significativas na produção dos metabólitos secundários. As influências que as plantas recebem decorrentes do ambiente podem alterar a rota metabólica, resultando na formação de diferentes compostos. Dentre os fatores que geram influência, podem ser citados o impacto de microrganismos, insetos, idade e estágio de desenvolvimento, fatores abióticos, como a luminosidade, temperatura, pluviosidade, nutrição, época e horário de colheita, assim como as técnicas de colheita e os tratamentos pós-colheita, como por exemplo a operação de secagem (MORAIS, 2009).

Para realizar o controle de qualidade dos óleos essenciais são feitas análises por técnicas cromatográficas com o intuito de identificar a composição desses óleos. A cromatografia gasosa trata-se de uma técnica que permite realizar a separação de substâncias voláteis presentes no óleo essencial, sendo separadas devido às diferenças entre os coeficientes de partição, de acordo com a afinidade da fase estacionária. Outra técnica utilizada é a espectrometria de massas que consiste na técnica aplicada a compostos voláteis que estão presentes no óleo, assim, tal espectro de massa é detectado e, então, torna-se possível identificar o composto químico a partir da comparação com a biblioteca de espectros do equipamento (SERAFINE *et al.*, 2002). Portanto, a cromatografia gasosa associada à espectrometria de massas permite determinar os componentes que são majoritários do óleo essencial.

Entre a vasta diversidade de ervas aromáticas que podem ser encontradas na natureza, o manjeriço branco (*Ocimum basilicum*) e o capim-limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf) se destacam como plantas popularmente consumidas e cultivadas no Brasil, por possuírem diversas propriedades medicinais e culinárias, além do fácil cultivo em todas as regiões brasileiras. São responsáveis, também, em produzir óleos essenciais com um relevante rendimento quando comparado com outras espécies, assim como possuem substâncias semelhantes e de grande interesse para vários ramos na indústria. Sendo assim, torna-se relevante a importância do estudo dos processos de tratamento pós-colheita, como a secagem dessas ervas e a avaliação da composição e qualidade de seus óleos essenciais.

3.1.1 Manjeriço branco (*Ocimum basilicum*)

O manjeriço branco (*Ocimum basilicum*), também conhecido como alfavaca, alfavaca-cheirosa ou basílico, trata-se de uma das ervas mais populares do mundo, muito conhecido como o rei das ervas, destacando-se mundialmente pelas suas aplicações na culinária e, principalmente, nas aplicações medicinais (MAKRI; KINTZIOS, 2008). Essas espécies fazem parte do gênero *Ocimum*, da família *Lamiaceae*, que são caracterizadas por uma grande variabilidade morfológica e quimiotípica, sendo uma importante fonte de óleos essenciais e utilizada popularmente em todo o continente (VIEIRA; SIMON, 2000).

Em relação às características medicinais, possuem muitos atributos terapêuticos, pelo consumo de chás e infusões das folhas. São relatadas propriedades analgésicas, antifebril, anti-hipertensiva, antisséptica, aperiente, antiespasmódica, calmante, carminativa, diurética, emenagoga, expectorante, galactógena, hidratante, relaxante, revigorante, sedativa, sudorífera e tônica (RIBEIRO *et al.*, 2014; RODRIGUES; GONZAGA, 2001; SAKURAI *et al.*, 2016).

Essa espécie se apresenta em formas de subarbusto ereto e bem ramificado, podendo atingir de 50 a 100 cm de altura, além de ser de produção anual ou perene (a depender do local e das condições de cultivo). Suas folhas são simples, pequenas em tons de verde médio, bem finas e estriadas. Além disto, possui as margens arredondadas e nervuras salientes, como pode ser analisado na Figura 1, com cheiro forte e ardente, porém fresco. Possui flores pequenas, brancas e aromáticas que ficam reunidas em racemos terminais curtos e circulares (SILVA, 2016; MINAMI *et al.*, 2007).

Figura 1 - Manjerição branco (*Ocimum basilicum*).



Fonte: Acervo Pessoal (2022).

O manjerição   cultivado no Brasil principalmente por pequenos produtores rurais para comercialização das suas folhas *in natura* voltadas para o uso medicinal e condimentar (MARQUES *et al.*, 2015; PALARETTI *et al.*, 2015). No entanto, alguns cultivos em escalas maiores têm sido produzidos no Nordeste, voltados para a produção de óleos essenciais, sendo a variedade do Manjerição Branco uma das mais atrativas (FAVORITO *et al.*, 2011).

As diversas famílias vegetais possuem a característica de produzir os óleos essenciais e resinas através dos tricomas glandulares, pois estes secretam uma grande variedade de substâncias como óleo, resinas e néctar, que também é uma característica em particular da família *Lamiaceae*. Dentre as espécies dessa família, já se tem relatado que a densidade de

tricomas granulares é maior em folhas jovens e em diferentes partes da planta (RUSSO; HONEMEIER, 2017).

O óleo essencial do Manjeriço Branco apresenta uma ampla variedade de componentes químicos, cuja quantidade e composição podem ser influenciadas por diferentes fatores, tanto ambientais quanto antrópicos. Essas interferências podem ocorrer devido às condições de cultivo, coleta, tratamento de secagem, estocagem e outros fatores relacionados ao metabolismo secundário da planta (GOBBO-NETO; LOPES, 2007).

O manjeriço tem despertado grande interesse econômico como matéria prima para a extração de óleos essenciais por possuir substâncias como linalol, neral, geranial, eugenol, óxido de cariofileno, 1,8 cineol, metilchavicol, cinamato de metila, entre outros (ALVES *et al.*, 2015; PAULUS *et al.*, 2016). O linalol é apontado como o composto majoritário da espécie *Ocimum basilicum* (VIEIRA *et al.*, 2001).

Os óleos essenciais que possuem altas concentrações de linalol são de muito valor no mercado, porque o linalol possui aplicações para serem utilizados nas indústrias farmacêutica, alimentícia e de cosméticos. Assim, um exemplo de seu uso é o auxílio no aumento da fixação de fragrâncias em itens de perfumaria (BOZIN *et al.*, 2006; MORAIS, 2006; TELCI *et al.*, 2006; MARTINS *et al.*, 2010; MARQUES *et al.*, 2015; PALARETTI *et al.*, 2015).

3.1.2 Capim-limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf)

Entre as diversas plantas medicinais consumidas está o capim limão (*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf), que se trata de uma planta herbácea, perene, com uma base bulbosa pertencente à família *Poaceae* e que pode ser popularmente conhecido também como capim-cidreira e capim-santo. Esta planta é nativa das regiões tropicais do sudeste da Ásia e cultivada na África, América do Sul e na Flórida. No Brasil, iniciou o seu plantio no período colonial, adaptando-se muito bem em todos os estados brasileiros (COSTA, 2019).

A sua aparência é de uma erva robusta e frondosa que pode crescer bastante formando touceiras, como pode ser observado na Figura 2. Possui folhas aromáticas, em uma coloração verde-claro, sendo ásperas, longas, estreitas, que podem ser cortantes ao toque quando partidas manualmente por possuir um aspecto de “serra”, chegando a atingir até 1 metro de comprimento (COSTA, 2019).

Figura 2 - Capim-Limão [*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf].



Fonte: Acervo Pessoal (2022).

O capim-limão é uma planta medicinal e condimentar, que exala aroma de limão quando suas folhas são cortadas, se caracterizando como uma planta comum, que pode se desenvolver facilmente em qualquer local, com enfoque em locais de clima quente e úmido. Por ser uma planta cespitosa, propaga-se por estolhos, formando moita de rebentos que crescem naturalmente em qualquer tipo de solo drenado e fértil, no entanto, são muito sensíveis a geadas (ORTIZ *et al.*, 2002; COSTA, 2019).

O preparo do chá feito a partir das folhas do capim-limão sempre foi muito utilizado na medicina popular por abranger uma ampla gama de indicações no combate de diversas doenças e, devido a isso, possui diversas aplicações tanto na indústria farmacêutica quanto na indústria de cosméticos. Seu óleo essencial é muito valorizado, sendo este um importante fator para a produção dessa erva nos mercados nacionais e internacionais (COSTA, 2019).

O óleo essencial extraído do capim-limão possui em sua composição o citral e seus isômeros geranial e neral, além de vários aldeídos, como citronelal, isovaleraldeído, decilaldeído, cetonas, álcoois como geraniol, e terpenos, como depenteno e mirceno. Possui, em adição, constituintes fixos da parte aérea, como flavonoides, substâncias alcalóidicas, saponina esterólica, triterpenoides isolados da cera que recobre as folhas, o cimbopogonol e cimbopogona (COSTA, 2019).

Diversas propriedades estão presentes no uso dessa planta e de seus óleos essenciais devido a vasta diversidade dos constituintes presentes nela. Sendo assim, esta irá possuir propriedades sedativas, diuréticas, analgésicas, antitérmicas, relaxante da musculatura lisa, o

que resulta na diminuição da atividade motora, podendo, assim, aumentar o tempo de sono. O citral e o extrato da planta estão associados a diminuição do tônus abdominal como calmante sedativo, sendo efetivo nos distúrbios renais, dores de cabeça, de estômago e musculares, assim como em problemas intestinais e infecções das vias respiratórias, e auxilia em nevragias, estresses, tensão muscular, reumatismo, anticonvulsivante, antiespasmódico e analgésico (COSTA, 2019; LORENZI; MATOS, 2002).

O uso do óleo essencial de capim-limão também vem despertando grande interesse na indústria agroquímica, devido ao fato de que suas propriedades antimicrobianas e antifúngicas vêm apresentando potencial para controle de patógenos do solo, tornando-se de grande auxílio no cultivo de orgânicos (DIAS *et al.*, 2021).

Alguns fatores relacionados ao cultivo das plantas podem influenciar o desenvolvimento do capim-limão, como, por exemplo, a qualidade, quantidade e duração da luz que essas plantas vão receber, tal como a quantidade de recursos hídricos disponíveis. Nesse sentido, as estações do ano são de grande influência nesses aspectos e, conseqüentemente, geram uma variação no conteúdo total de óleo essencial (ORTIZ *et al.*, 2002).

3.1.3 Métodos de extração de óleos essenciais

Para realizar a extração de óleos essenciais, podem ser aplicados diversos métodos, entre eles os tradicionais incluem a hidrodestilação e a destilação por arraste a vapor. Além destes, também são aplicados outros métodos menos comuns, como o método de maceração, prensagem, extração por solvente, enfloração (*enfleurage*), gases supercríticos e micro-ondas. A escolha do método vai depender das características de cada planta, indo de acordo com a localização do óleo volátil na mesma e a proposta de sua utilização e da escala em que deseja realizar a extração, seja ela laboratorial ou industrial (SANTOS *et al.*, 2004; SIMÕES *et al.*, 2007).

O método de extração de óleos essenciais mais utilizado em escala laboratorial e também indicado pela 6ª edição da Farmacopeia Brasileira (2019) é a hidrodestilação com o aparelho Clevenger. Este processo consiste em volatilizar e em seguida condensar a mistura de vapor de água com os componentes voláteis das plantas. Sendo assim, a planta aromática permanece em contato direto com a água fervente e, em alguns casos, é necessário realizar uma fragmentação do material vegetal para facilitar a remoção dos óleos do interior dos tricomas glandulares da planta (SANTOS *et al.*, 2004).

No momento em que a água e a biomassa entram em ebulição, os vapores de água e os componentes voláteis são direcionados no sentido do condensador, onde é realizada a condensação dos vapores com a água de refrigeração, que são imiscíveis, e, por esse motivo, ocorre a formação de duas fases líquidas, sendo separadas facilmente. Logo em seguida já é possível observar, dentro do tubo separador, as formas de óleo essencial e do hidrolato (SERAFINE *et al.*, 2001; SANTOS *et al.*, 2004).

Apesar da hidrodestilação ser o método mais utilizado em escala laboratorial, as altas temperaturas da água podem causar modificações químicas nos componentes do óleo e, conseqüentemente, a perda de moléculas mais voláteis (REZZOUG *et al.*, 2005). Outro ponto sobre esse tipo de extração é que foi projetada para ser realizada em óleos essenciais que sejam mais leves que a água, limitando esse tipo de operação para alguns tipos de óleos (SANTOS *et al.*, 2004). Por esses motivos, torna-se necessário entender sobre cada planta que será utilizada como matéria-prima do processo de extração e, portanto, aderir ao processo mais indicado para cada uma.

Após a extração do óleo essencial, pode ser calculado o rendimento de óleo essencial produzido por cada espécie a partir da massa de óleo obtida em relação a massa de folhas secas utilizadas, como apresentado na Equação 1.

$$TO = \frac{m_o}{m_{ms}} \cdot 100 \quad (1)$$

Sendo: TO é o teor de óleo essencial (%); m_o a massa de óleo essencial obtida; m_{ms} a massa de folhas secas utilizadas na extração.

Assim como o cálculo do rendimento de óleo essencial extraído das folhas, algumas análises para caracterização desses óleos também devem ser realizadas para garantir a qualidade dos óleos essenciais extraídos. Nesse contexto, uma das análises mais indicadas para identificar os compostos e a porcentagem relativa de cada um é a cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas.

3.1.4 Análises qualitativas para óleos essenciais

A análise qualitativa dos óleos essenciais pode ser realizada por técnica de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG/EM). A cromatografia gasosa é uma técnica de separação baseada nos fenômenos de partição entre uma fase móvel gasosa

(hélio, argônio, hidrogênio, nitrogênio) e uma fase estacionária, constituída por um líquido viscoso retido no interior da coluna cromatográfica. Os compostos então possuem diferentes afinidades pela fase estacionária e à medida em que vão ocorrendo essas distintas afinidades, os compostos irão se despreendendo da coluna, obtendo-se, assim, a sua separação (BANDONI; CZEPAK, 2008).

O cromatógrafo utiliza um sistema de injeção que nos permite introduzir a amostra na coluna e um detector que mostra a presença dos diferentes compostos que vão saindo da coluna. Para a identificação dos compostos de um óleo essencial, é utilizada a comparação de seus tempos de retenção (tempo transcorrido entre a injeção da amostra e o aparecimento do pico cromatográfico) com os padrões (BANDONI; CZEPAK, 2008).

No entanto, os tempos de retenção podem ser influenciados por algumas variáveis, como por exemplo, a técnica de injeção, as variáveis de temperatura ou fluxo de gases, o desenho do equipamento, entre outros. Por esses motivos é necessária à introdução de alguns parâmetros relativos, como são os tempos de retenção relativos e os índices de retenção. Para serem calculados, utiliza-se os tempos de retenção e por comparação com uma série de substâncias, as quais assumem valores arbitrários de índices de retenção (BANDONI; CZEPAK, 2008).

Os índices mais utilizados por dados cromatógrafos são os Índices de Kováts, que é definido por uma série de n-alcenos. Em outras casos, também são empregados os índices de retenção que empregam séries de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos orgânicos alifáticos e séries de hidrocarbonetos sesquiterpênicos (BANDONI; CZEPAK, 2008). Outro modo também utilizado é por dados espectrais, principalmente, em razão das técnicas de espectrometria de massas, como é recomendado pela *International Organization of the Flavor Industry* e o *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (RUBIOLO *et al.*, 2010).

A aplicação da Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massa (CG-EM), ainda possibilita a obtenção de espectros de massas em cada um dos picos cromatográficos através da análise dos íons totais, que podem ser comparados com uma base de dados, como por exemplo o NIST 62 (*National Institute of Standards and Technology*), que pode servir como um parâmetro de comparação. Dessa forma, a identificação dos componentes é obtida corretamente (ADAMS, 2017).

Utilizando tais técnicas, torna-se possível avaliar a qualidade e quantificação dos compostos encontrados nos óleos essenciais. Entretanto, tanto a composição quanto a quantidade identificada de cada componente presente no óleo essencial pode ser impactada pela forma com que é realizado o tratamento da matéria prima. Logo, para realizar a extração desses óleos essenciais é importante que as folhas das plantas tenham passado por tratamentos pós-colheita,

destaca-se um dos processos mais necessários a operação de secagem dessas folhas para remoção da água contida nessas plantas. No entanto, o tratamento de secagem pode causar danos na quantidade e na qualidade dos óleos essenciais contidos nas plantas, principalmente pelo fato dos componentes dos óleos essenciais serem substâncias muito voláteis (COSTA *et al.*, 2005). Nesse contexto, torna-se essencial o estudo da secagem dessas plantas, para que a produção dos óleos essenciais possua um melhor aproveitamento e qualidade.

3.2 Secagem

O processo de secagem é uma das operações mais utilizadas em diversos produtos na indústria com o objetivo de impedir a deterioração do material causada pela água presente nesses produtos. Reduzir a quantidade de água evita a proliferação de micro-organismos, reações físicas, químicas e biológicas. Desse modo, é possível aumentar a conservação mantendo a qualidade e estabilidade desses produtos durante o seu armazenamento (BANDONI; CZEPAK, 2008).

A secagem consiste em uma operação unitária utilizada para remover o líquido presente em um sólido. O líquido vai sendo perdido aos poucos, até que a quantidade presente no material sólido atinja um teor de líquido residual aceitavelmente baixo (MCCABE *et al.*, 2004). A secagem ocorre por meio de vaporização térmica, ou seja, calor é fornecido para que os líquidos presentes tanto na superfície quanto nos poros de um material possam evaporar e, assim, adquirir um teor de água reduzido (MATOS *et al.*, 2015).

Durante o processo ocorrem transferências de massa e energia e, através do uso de ar quente e seco, a transferência de calor ocorre por convecção térmica. Trata-se também de uma operação dependente da diferença de pressão parcial de vapor de água entre o ar quente e a superfície do material, sendo este gradiente responsável pela ocorrência das transferências de massa do material para o ar. A evaporação dos líquidos, que geralmente é água, ocorre na superfície do material e pode vir do interior desse material, nesse caso os mecanismos envolvidos nesse transporte são de difusão de vapor e fluxo de líquido e de vapor. Desse modo, ocorre a transferência de massa com a difusão da água do material e a difusão do vapor na corrente de ar (MATOS *et al.*, 2015).

Em síntese, a secagem é um processo que envolve a retirada parcial da água de um sólido por transferência de calor do ar para o material, no mesmo momento em que o grão transfere vapor de água para o ar. Sendo assim, a remoção das moléculas de água ocorre por uma

movimentação de vapor de água em razão das pressões parciais de vapor da superfície do sólido e do ar de secagem que está ao redor (PORTELLA; EICHELBERGER, 2001).

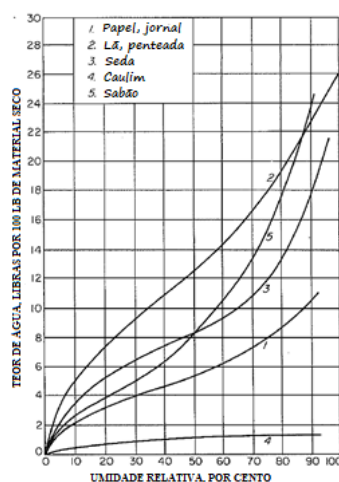
No caso de plantas aromáticas, diminuir o conteúdo de água também é importante para a conservação dessas plantas, pois aumenta a estabilidade e inibe a atividade enzimática que pode decompor ou modificar os princípios aromáticos originais, sendo importante na conservação da cor, odor, sabor e textura. Ademais, a redução da quantidade de água em plantas aromáticas gera um aumento na quantidade de princípios ativos em relação à massa seca, afetando diretamente a quantidade e a qualidade desses princípios ativos na planta. Outro ponto relevante é o fato de reduzir tempo e custo de destilação na produção de óleos essenciais (BANDONI; CZEPAK, 2008).

3.2.1 Umidade

O conteúdo de água total presente em um sólido é conhecido como umidade total do sólido, que é formada pela soma da umidade livre e da umidade de equilíbrio. A umidade livre é a quantidade de água que o sólido pode perder pela operação de secagem e a umidade de equilíbrio é a quantidade que não é possível ser removida pelo ar de secagem. Assim, a umidade de equilíbrio pode ser definida como o valor de umidade contida em um material que esteja em equilíbrio com a umidade relativa do ar (MCCABE *et al.*, 2004).

Esta pode variar de acordo com a temperatura utilizada na secagem e pode ser obtida a partir de isotermas de equilíbrio, que relacionam a umidade relativa do ar de secagem com a umidade de equilíbrio do material submetido à secagem, como pode ser observado na Figura 3 (MCCABE *et al.*, 2004).

Figura 3 - Isoterma de equilíbrio de umidade em diferentes materiais a 25°C.



Fonte: Adaptado de MCCABE *et al.* (2004).

Quando um material é submetido a um processo de secagem por um longo período de tempo, com o ar isento de umidade ou com uma temperatura acima da vaporização e com circulação de ar, ocorre o chamado *Bone-dry*, onde o sólido exposto a secagem atinge umidade final igual a zero, ou seja, a umidade de equilíbrio também se iguala a zero (MCCABE *et al.*, 2004).

A água pode estar contida em uma planta de duas formas diferentes: água ligada e água não-ligada, e essas duas formas juntas resultam no teor de água total. A água não-ligada é aquela que se encontra superficial no sólido, está fracamente ligada aos solutos, não necessita vencer muitas barreiras de difusão e, também, é a que está disponível para a ocorrência das reações físicas, químicas e microbiológicas. A água ligada é aquela presente no interior do sólido, em seus poros e interstícios, ao redor dos solutos e outros compostos não aquosos. Ela possui baixa mobilidade, difícil remoção e tampouco utilizada para nenhum tipo de reação, além de necessitar vencer diversos mecanismos de difusão mássica e obstáculos para sair do interior do sólido (MARCINKOWSKI, 2006).

Geralmente, em produtos com alto teor de água, como as ervas aromáticas, a água ligada configura uma pequena parte do total de água presente na planta, que corresponde a primeira camada de água adjacentes aos grupos hidrofílicos. Geralmente, quando a água presente na planta exerce pressão de vapor inferior àquela que a água líquida exerceria na mesma temperatura, significa que é água ligada e, quando ocorre o contrário, trata-se de água não-ligada, ou seja, a que exerce pressão de vapor total (MARCINKOWSKI, 2006).

Para realizar o processo de secagem de plantas aromáticas é necessário obter a umidade total inicial presente nessas folhas, de acordo com a 6ª edição da Farmacopeia Brasileira (2019) podem ser empregados três métodos para a determinação de água em materiais vegetais, sendo estes o método gravimétrico, método azeotrópico e método volumétrico, sendo o primeiro o mais simples e rápido que pode ser feito experimentalmente utilizando uma estufa na qual as folhas são submetidas a secagem entre 100°C e 105°C até atingir peso constante. A quantidade de água presente nas folhas é obtida a partir da massa de folhas úmidas e secas, essa umidade também pode ser calculada em base seca (Equação 2) ou em base úmida (Equação 3).

$$u_{bs} = \frac{m_h}{m_s} \quad (2)$$

$$u_{bu} = \frac{u_{bs}}{1+u_{bs}} \quad (3)$$

Sendo: u_{bs} a umidade em base seca; u_{bu} a umidade em base úmida; m_h a massa de água no sólido; m_s a massa do sólido seco.

A umidade dada em base seca é quando a umidade do material é desconsiderada na composição centesimal e em base úmida é quando a umidade do material é considerada na composição centesimal (MCCABE *et al.*, 2004).

Os valores de umidade são utilizados para encontrar a curva característica que demonstra a cinética de secagem do processo, para isso é utilizado a razão de umidade (RU), em base seca, obtida a partir de dados experimentais, sendo empregue a Equação 4.

$$RU = \frac{u-u^*}{u_o-u^*} \quad (4)$$

Onde: u é a umidade em um dado tempo t ; u_o a umidade inicial; e u^* a umidade de equilíbrio.

A eficiência do fluxo térmico pode ser determinada a partir da manutenção da temperatura do ar de secagem e das condições físicas do ar ambiente e do fluxo de ar, além de que, tal eficiência está diretamente ligada a umidade absoluta do ar antes e depois de passar pelo sólido úmido. A umidade absoluta define a quantidade de água que é eliminada a cada quilo de ar seco. Logo, quanto maior a diferença de umidade absoluta entre o ar antes e após a secagem, maior a quantidade de água eliminada pelo sólido e absorvida pelo ar durante o processo (PORTELLA; EICHELBERGER, 2001).

3.2.2 Mecanismos de migração interna da água

Na operação de secagem, além da transferência de calor, também ocorrem transferências de massa, pois a água presente nos sólidos pode ser transportada por seu interior como um líquido ou como um vapor, por diferentes mecanismos. De acordo com as condições de secagem estabelecidas, podem ocorrer um ou mais destes mecanismos de transferência de água (MCCABE *et al.*, 2004).

Os mecanismos de migração de massa de água podem variar também de acordo com o tipo de sólido. Em sólidos porosos, o transporte pode ser controlado pela tensão superficial e por forças de gravidade no interior do sólido. Por outro lado, a movimentação da água nos

sólidos fibrosos ou amorfos ocorre a partir da difusão através do sólido (MARCINKOWSKI, 2006).

Um dos mecanismos é a difusão líquida ou fluxo difusional, que ocorre em estado líquido e pode ser por causa de gradientes de concentração em que à medida que a água evapora da superfície a concentração diminui. No entanto, a taxa em que a difusão irá ocorrer depende da natureza do produto, temperatura e do gradiente de concentração de umidade, de acordo com a Lei de Fick, também utilizada no cálculo da difusividade efetiva (MCCABE *et al.*, 2004).

A água nos sólidos também pode ser transportada na forma de vapor, podendo ocorrer abaixo da superfície do produto. As moléculas de vapor se difundem através da superfície do sólido em direção ao ar de secagem, como por exemplo em longos períodos de secagem, ocorrendo, assim, uma difusão de vapor (MCCABE *et al.*, 2004).

Alguns tipos de migração interna da umidade são causados por fluxo capilar onde, de acordo com a natureza e orientação da matriz porosa do material, as forças capilares podem influenciar na mobilidade molecular no interior da estrutura desses produtos porosos. Em adição, pode ocorrer migração por fluxo de pressão, que acontece quando existe uma diferença na pressão entre o ar de secagem e a estrutura interna do alimento. Por fim, o transporte de água por fluxo térmico é causado pela diferença entre a temperatura no interior do alimento e da superfície (MCCABE *et al.*, 2004).

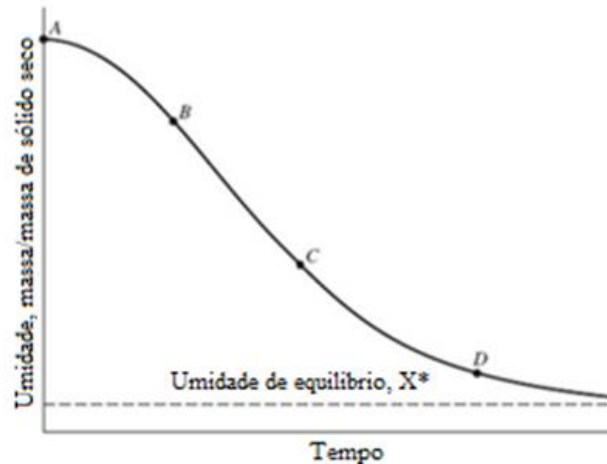
3.2.3 Cinética de secagem

Para realizar o processo de secagem de maneira correta, as condições da operação devem ser corretamente aplicadas para cada tipo de produto. Uma secagem realizada em condições inadequadas pode danificar a composição química e a qualidade dos princípios ativos de ervas aromáticas. Nesse contexto, o estudo da cinética de secagem é realizado em diversos produtos agrícolas, como sementes, grãos, frutos, espécies de plantas medicinais, aromáticas e condimentares, utilizando o ajuste de alguns modelos matemáticos aos dados experimentais obtidos para que os procedimentos de secagem ocorram com a melhor eficiência possível (SILVA *et al.*, 2015).

O comportamento de um sólido quando submetido a um processo de secagem tende a ter um mesmo padrão sob condições de temperatura e umidade relativas fixas. Esse comportamento pode ser representado por uma curva que relaciona o tempo utilizado na operação de secagem versus o teor de água, que podem ser avaliados ao observar toda a curva

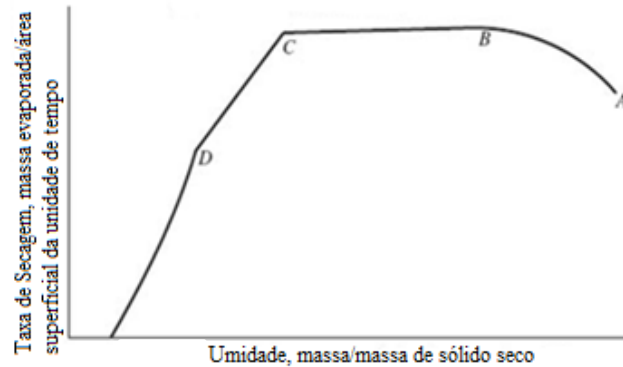
da Figura 4, e, também, pode ser representado de acordo com os diferentes comportamentos de taxa de secagem em função do teor de água do produto, como representado na Figura 5.

Figura 4 - Curva do tempo de secagem vs umidade.



Fonte: Adaptado de MCCABE *et al.* (2004).

Figura 5 - Curva da umidade vs taxa de secagem.



Fonte: Adaptado de MCCABE *et al.* (2004).

A taxa de secagem pode ser obtida a partir da Equação 5.

$$R = - \frac{m_s}{A} \frac{dX}{dt} \quad (5)$$

Onde: R a taxa de secagem; m_s a massa de sólido seco; A a área disponível para transferência de calor e massa; X a umidade; e t o tempo.

O início do processo pode ser observado nas Figuras 4 e 5 pela curva AB, nessa fase a temperatura do sólido em contato com o ar de aquecimento tende a se ajustar e ficar constante, atingindo o estado estacionário. Sendo assim, esse período caracteriza-se por um crescimento inicial da taxa de secagem, que também pode ser decrescente. Pode acontecer casos em que o

produto é aquecido rapidamente no início do processo e a taxa de secagem já inicia a partir do ponto B (MARCINKOWSKI, 2006).

Assim que o estado estacionário é atingido, a taxa de secagem se mantém constante, como é observado na curva BC. Durante esse período, a taxa de transporte de líquido interno é no mínimo igual a taxa de evaporação, sendo assim, a evaporação é inferior ao transporte de água do interior para a superfície do sólido (PORTELLA; EICHELBERGER, 2001). Nessa etapa, a superfície do sólido encontra-se saturada e a evaporação da água ocorre como se fosse de uma massa líquida. Portanto, a água que está se transportando do interior do sólido substitui a água que está evaporando da superfície e, por isso, mantém a taxa de secagem constante (MARCINKOWSKI, 2006).

Em alguns casos, o período de secagem à taxa constante pode ser curto ou até irrelevante. Essa etapa se encerra no ponto C, que indica a umidade crítica, no qual o teor de água não é mais suficiente para suprir a superfície, deixando-a úmida. Por conseguinte, a umidade crítica corresponde ao teor de água em que a velocidade do fluxo de água do interior para a superfície do sólido é menor do que a velocidade da evaporação de água no ar de secagem (MARCINKOWSKI, 2006).

A partir do ponto C, há o primeiro período de velocidade de secagem decrescente, apresentado pela curva CD. Durante esse período, a temperatura do sólido aumenta à medida que a taxa de secagem decresce, devido ao fato da taxa de transporte interno de água para a superfície ser inferior ao da taxa de evaporação, ou seja, a superfície do sólido vai ficando com a umidade cada vez menor. Dessa maneira, a transferência de calor não é compensada pela transferência de massa (MARCINKOWSKI, 2006).

O ponto D dá início ao segundo período de secagem à taxa decrescente. Assim, a evaporação ocorre do interior do sólido até o ponto em que termina a secagem, e a taxa de secagem dessa etapa tende a zero à medida que a umidade se aproxima da umidade de equilíbrio. Em alguns momentos ocorre uma descontinuidade entre os dois períodos de taxas de secagem decrescente, não sendo perceptível a alteração entre eles (MARCINKOWSKI, 2006).

O estudo da cinética de secagem pode fornecer diferentes curvas de secagem de acordo com cada material de estudo, variando de acordo com a espécie, variedade, condições ambientais, métodos de cultivo e pós-colheita, entre outros fatores. Para atender a essa diversidade, modelos matemáticos são utilizados para representar o processo de secagem de produtos agrícolas. Os modelos matemáticos baseiam-se, geralmente, em variáveis externas como a temperatura e a umidade relativa do ar de secagem, porém não gera informações sobre

os fenômenos de transporte de energia e de água no material, além de estimar que todo o processo acontece no período de taxa decrescente (BANDONI; CZEPAK, 2008; RESENDE *et al.*, 2008).

O processo de secagem em camadas delgadas ou fina pode ser definido como o que possui espessura de apenas uma unidade de produto e considera que a sucessão de camadas delgadas superpostas constituem uma camada espessa (MARTINAZZO, 2006). Para o estudo sobre a secagem em camadas delgadas de produtos agrícolas, são indicados três tipos de modelo, sendo eles o modelo teórico, considerando apenas a resistência interna à transferência de calor, modelos semi teóricos e os empíricos, que ponderam apenas a resistência externa a temperatura e umidade relativa do ar de secagem (MIDILLI; KUCUK; YAPAR, 2007; PANCHARIYA *et al.*, 2002).

Para ajustar os dados da cinética de secagem podem ser utilizados os modelos empíricos ou semiempíricos, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Modelos de regressão não-linear utilizados para predizer o fenômeno de secagem.

Designação do Modelo	Modelo	Equação
Newton ou Lewis	$RU = \exp^{-kt}$	(06)
Page	$RU = \exp^{-kt^n}$	(07)
Page Modificado	$RU = \exp^{-(kt)^n}$	(08)
Henderson & Pabis	$RU = a. \exp^{-kt}$	(09)
Logarítmico	$RU = c + a. \exp^{-kt}$	(10)
Midilli	$RU = b. t + a. \exp^{-kt^n}$	(11)
Dois Termos	$RU = a. \exp^{-k_0t} + b. \exp^{-k_1t}$	(12)
Dois termos exponencial	$RU = a. \exp^{-kt} + (1 - a). \exp^{-kat}$	(13)
Aproximação da difusão	$RU = a. \exp^{-kt} + (1 - a). \exp^{-kbt}$	(14)
Verma	$RU = a. \exp^{-k_0t} + (1 - a). \exp^{-k_1t}$	(15)
Cavalcanti Mata	$RU = c + a. \exp^{-kt^{n_1}} + b. \exp^{-kt^{n_2}}$	(16)
Wang & Sing	$RU = 1 + a. t + b. t^2$	(17)

Fonte: Adaptado de MCCABE *et al.* (2004).

Em que: RU é a razão entre a umidade livre e a umidade livre inicial; t é o tempo de secagem; e a, b, c, k, k₀, k₁, n, n₁ e n₂ são parâmetros do modelo.

A influência da temperatura de secagem foi inserida na constante de secagem (k), através da equação de Arrhenius apresentada pela Equação (18).

$$k = k_0 \cdot \exp\left(\frac{-E_a}{R.T}\right) \quad (18)$$

Onde: k_0 é o fator pré-exponencial (h^{-1}); E_a a energia de ativação (kJ/mol); R a constante dos gases ($0,008314 \text{ kJ.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$).

Os experimentos de secagem geralmente são realizados com amostras de diferentes lotes ou de um processo contínuo, desse modo, não apresentam necessariamente o mesmo teor de água inicial ao longo de todo o período do experimento. Sendo assim, existe a necessidade de utilizar uma variável, como RU, que seja capaz de indicar a variação de umidade do produto, independentemente da umidade inicial apresentada pelo mesmo (MARCINKOWSKI, 2006).

3.3 Trabalhos correlatos

Em consequência da relevância no estudo da operação de secagem das folhas de ervas aromáticas e produção de seus óleos essenciais, diversos trabalhos científicos podem ser encontrados na literatura, avaliando tanto as temperaturas de secagem como a interferência desta na produção e qualidade dos óleos essenciais pela posterior caracterização dos óleos essenciais.

Dentre esses trabalhos, primeiramente, tem-se o trabalho realizado por Borges *et al.* (2019), que teve como objetivo avaliar o efeito da temperatura do ar de secagem sobre o teor de óleo essencial das folhas de capim-limão, utilizando quatro temperaturas de secagem (35 , 45 , 55 e 65°C). Como resultado, foi possível concluir que a temperatura de 55°C na secagem do capim-limão proporcionou o maior rendimento de óleo essencial em relação as outras. Neste trabalho também foi feito um ajuste de diferentes modelos matemáticos aos valores experimentais e o modelo de Midilli foi o que melhor representou a cinética de secagem para as folhas de capim-limão.

O trabalho realizado por Martinazzo *et al.* (2010) tinha como finalidade obter as curvas de secagem em função da temperatura do ar de secagem e avaliar o efeito da secagem sobre o teor de óleo essencial e a cor verde das folhas, e as temperaturas utilizadas foram de 30 , 40 , 50 e 60°C . As curvas de secagem foram ajustadas a partir dos dados experimentais, utilizando-se diferentes modelos empíricos e semiempíricos comumente citados na literatura. Os resultados obtidos concluíram que a temperatura do ar de secagem de 50°C resultaram em um óleo essencial com maior rendimento, a cor verde do produto não teve alterações significativas para interferir na comercialização e o modelo de Page modificado foi o que melhor se ajustou aos

dados observados para descrição da cinética de secagem dessa espécie *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf.

De acordo com Soares *et al.* (2007), que teve como objetivo estudar a influência de quatro temperaturas de ar de secagem, sendo elas 40, 50, 60 e 70°C, em camada fina, e duas velocidades do ar de 0,9 e 1,9 metros por segundo sobre o teor de linalol do manjeriço (*Ocimum basilicum* L.), concluiu-se que os maiores rendimentos extrativos de óleo essencial obtidos foram com a temperatura de ar de secagem igual a 40°C, contudo, na faixa de 50 a 60°C e a velocidade de 1,9 metros por segundo houve o maior rendimento de linalol. Obteve-se, também, que a composição do óleo essencial de manjeriço foi afetada pelas variáveis da secagem tanto pela temperatura como pela velocidade do ar de secagem.

Já Martins (2016) realizou a caracterização do óleo essencial de *Ocimum basilicum* pelo método de cromatografia gasosa e identificou 19 diferentes substâncias, dentre as quais se destacaram o linalol (79,29%), o geraniol (9,05%) e o 1,8-cineol (5,00%) como sendo os compostos majoritários do óleo essencial em questão.

Por fim, no trabalho realizado por Guimarães *et al.* (2011), o óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon citratus*) foi submetido à cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa para realizar uma análise qualitativa. Portanto, foram identificados em sua composição o geraniol (37,42%), neral (31,89%), mirceno (23,77%), geraniol (1,10%), linalol (0,82%), (Z)- β -ocimeno (0,50%), (E)- β -ocimeno (0,28%), 2-undecanona (0,27%), geraniol acetato (0,10%), E-caiofileno (0,10%), entre outros (3,75%).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção são detalhados a coleta e a separação das plantas aromáticas, as unidades experimentais, o procedimento experimental da operação de secagem e a preparação para a extração dos óleos essenciais.

4.1 Coleta e separação das plantas utilizadas

As plantas utilizadas nos experimentos são o manjeriçãõ branco (*Ocimum basilicum*) e o capim-limãõ (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf). Foram produzidas a partir do método de cultivo orgânico no Sítio Trovãõ localizado na zona rural do município de Ijaci-MG, localizado nas coordenadas 21°13'46"S 44°58'27"W e, também, no Horto Medicinal da Universidade Federal de Lavras, localizado nas coordenadas 21°13'32"S 44°56'28"W. Estes sãõ apresentadas na Figura 6 e 7.

Figura 6 - Sítio Trovãõ, Ijaci-MG.



Fonte: Acervo Pessoal (2022).

Figura 7 - Horto Medicinal, Universidade Federal de Lavras.



Fonte: Repositório de Notícias UFLA (2018).

As plantas foram coletadas no período da manhã, por volta das 8h, durante os meses de junho, julho e agosto, o qual caracteriza-se pelo período de pouca chuva e baixas temperaturas. Para realizar a colheita, as plantas foram cortadas próximas das raízes e logo em seguida separou-se as folhas boas das que estão com algum tipo de deterioração, como mostrado nas Figuras 8 e 9.

Figura 8 - Capim-limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf) logo após a colheita e separação entre as folhas saudáveis das folhas danificadas.



Fonte: Acervo Pessoal (2022).

Figura 9 - Manjericão (*Ocimum basilicum*) logo após a colheita e separação entre as folhas saudáveis das folhas danificadas.



Fonte: Acervo Pessoal (2022).

Como mostrado na Figura 8, assim que as folhas de Capim-limão são colhidas é possível observar algumas folhas secas e danificadas entre as folhas que estão totalmente saudáveis, sendo assim, essas folhas que não estão adequadas precisam ser descartadas. No caso do Manjericão, assim que os galhos são colhidos, poucas folhas apresentam algum dano, como mostrado na Figura 9, porém, as folhas precisam ser removidas do galho para o processo de secagem.

4.2 Unidades experimentais

Entre as unidades experimentais utilizadas estão estufas com circulação forçada de ar da empresa SOLAB Equipamentos para Laboratórios do modelo SL – 102, localizada no Laboratório de Operações e Sistemas Térmicos da Universidade Federal de Lavras e outra da empresa QUIMIS modelo Q314M, localizada na Plataforma de Energias Renováveis da Universidade Federal de Lavras. As estufas podem ser vistas na Figura 10 e 11, respectivamente.

Figura 10 - Estufa SOLAB modelo SL-102.



Fonte: Acervo Pessoal (2022).

Figura 11 - Figura 11 – Estufa QUIMIS modelo Q314M.



Fonte: Acervo Pessoal (2022).

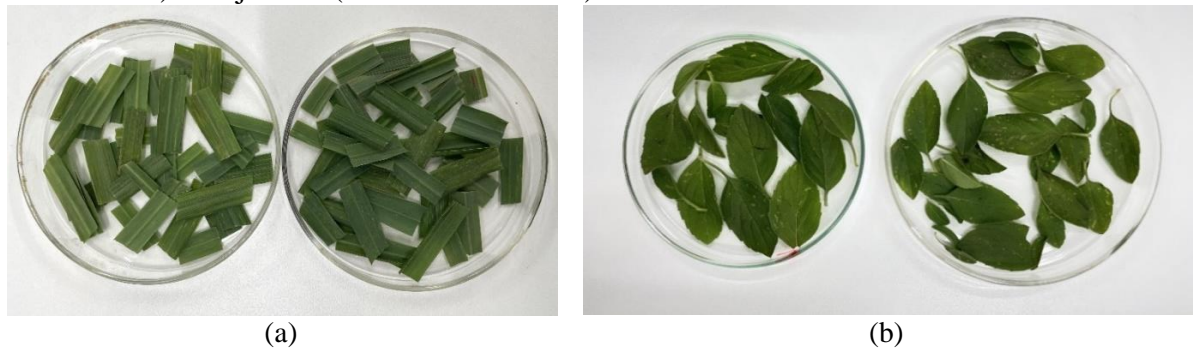
4.3 Procedimento operacional para determinação de umidade inicial

Para determinar a umidade inicial das plantas, ou seja, a quantidade de água total presente na planta, foram colocadas duas amostras de cada um dos tipos de plantas em placas de petri e, em seguida, estas foram levadas para a estufa com a temperatura do ar de circulação em 105°C e permaneceram em secagem por 24 horas.

Inicialmente, foi mensurada a massa de cada uma das placas de petri e, após isso, a massa da amostra (placa de petri + folha fresca). Depois do período de secagem, as amostras (placa de petri + folha seca) foram medidas novamente, para que fosse possível calcular a umidade inicial presente nas plantas. No caso do Capim-Limão, foi necessário realizar cortes nas folhas para que elas pudessem ter o tamanho adequado para serem colocadas dentro da placa de petri, devido ao fato de que as folhas de Capim-limão possuem um formato alongado.

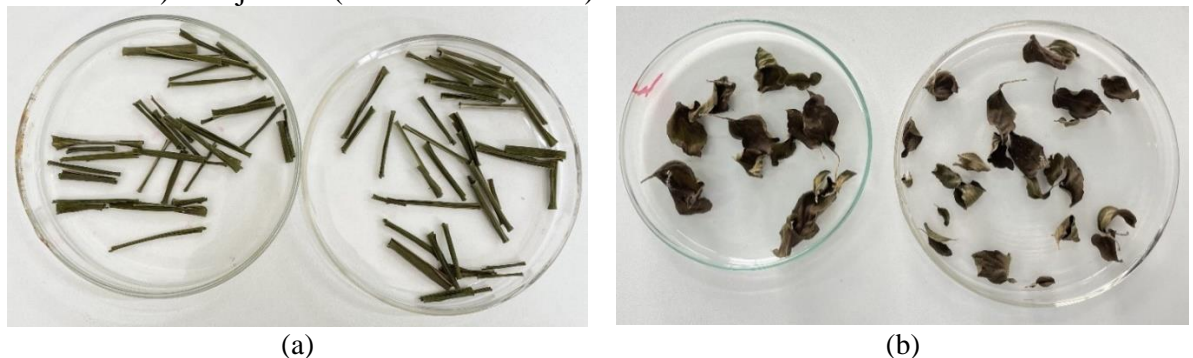
A preparação das amostras com as folhas frescas pode ser analisada na Figuras 12(a) e 12(b). As amostras com as folhas secas logo após o período de secagem podem ser vistas nas Figuras 13(a) e 13(b).

Figura 12 - Amostras de folhas frescas; a) Capim-Limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf) e b) Manjeriço (*Ocimum basilicum*).



Fonte: Acervo Pessoal (2022).

Figura 13 - Amostras de folhas secas; a) Capim-Limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf) e b) Manjeriço (*Ocimum basilicum*).



Fonte: Acervo Pessoal (2022).

4.4 Procedimento operacional de secagem

Após a determinação da umidade inicial, assim como da umidade de equilíbrio, iniciou-se o experimento de secagem e obtenção da curva de cinética de secagem. Os experimentos de secagem foram realizados uma amostra de cada vez, ou seja, apenas uma curva foi construída por vez e, portanto, as plantas que iriam ser submetidas a secagem foram devidamente preparadas, como citado no procedimento de pré-secagem.

Em seguida, com a utilização de uma balança analítica, foram tomadas 30 gramas de folha fresca, como na Figura 14(a) e, logo depois, esse material foi colocado dentro de um suporte com haste como na Figura 14(b).

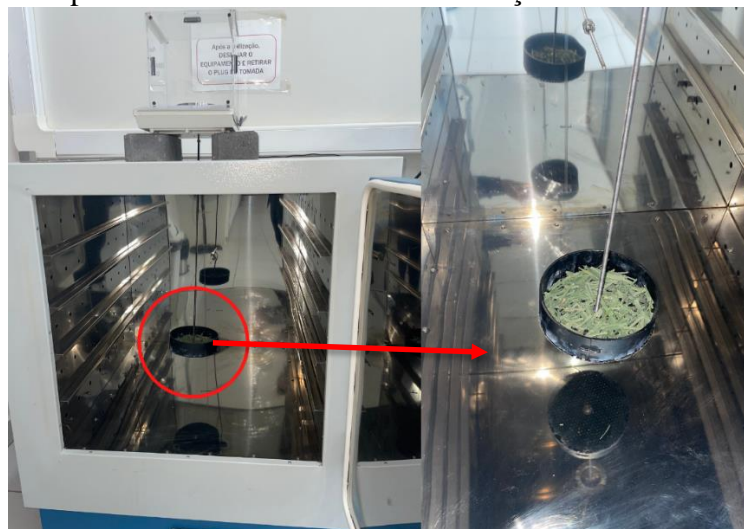
Figura 14 - Preparação das amostras de folhas frescas para processo de secagem; a) Pesagem da amostra com Manjericão (*Ocimum basilicum*) e b) Suporte com haste com Capim-Limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf).



Fonte: Acervo Pessoal (2022).

Em seguida, a estufa foi ligada e o seu *set point* ajustado para a temperatura desejada e as temperaturas utilizadas foram de 40, 50 e 60°C. Assim que a estufa atingiu a temperatura de ar de secagem desejada, o suporte com haste contendo as folhas frescas foi colocado dentro da estufa e conectado a uma balança analítica que estava posicionada acima da estufa, ligado à haste por uma pequena saída existente no topo da estufa, como é mostrado na Figura 15.

Figura 15 - Suporte com haste conectado à balança analítica dentro da estufa.



Fonte: Acervo Pessoal (2022).

Logo após a amostra ser colocada dentro da estufa, o processo de secagem iniciou-se e a balança já começou a medir a massa que estava sendo perdida na amostra. Então esses valores foram sendo coletados. Durante os primeiros 60 minutos de experimento, os valores

apresentados na balança foram anotados em intervalos de 5 em 5 minutos e, durante os próximos 120 minutos, os intervalos de amostragem foram de 10 em 10 minutos. Posterior a esse tempo, os valores foram coletados de 30 em 30 minutos até o final do experimento. A partir da coleta desses valores as curvas de cinética foram construídas. Portanto, foram realizadas duas secagens para cada tipo de planta em cada uma das temperaturas avaliadas.

4.5 Secagem das plantas para extração de óleos essenciais

Após obtida a curva cinética de secagem, foi possível obter o tempo necessário que cada uma das plantas precisa, em cada uma das temperaturas do ar de secagem, para atingirem a umidade final desejada. As plantas foram colhidas em maiores quantidades e preparadas adequadamente, em seguida a estufa foi novamente ajustada no *set point* para a temperatura de ar de secagem e, então, as plantas foram distribuídas dentro das bandejas das estufas, como está representado nas Figuras 16(a) e 16(b).

Figura 16 - Secagem das folhas frescas; a) Manjericão (*Ocimum basilicum*) e b) Capim-Limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf).



Fonte: Acervo Pessoal (2022).

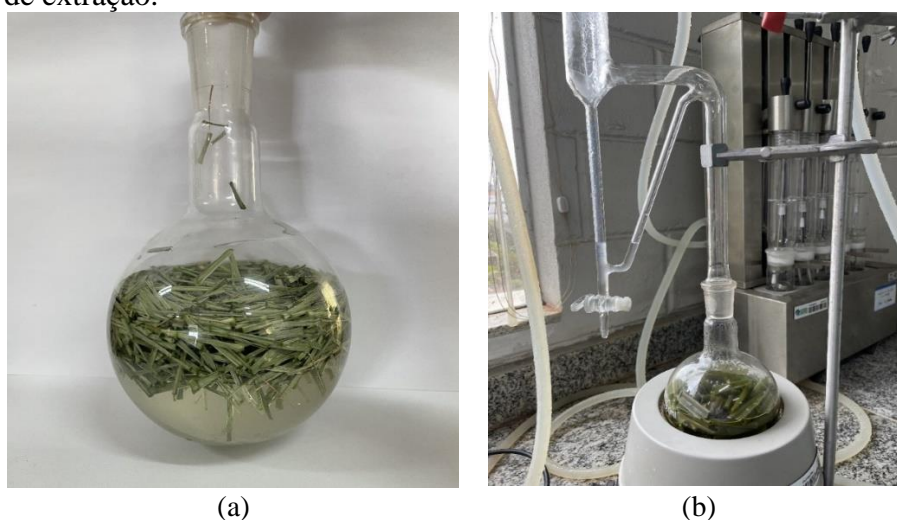
Após o fim do período de secagem, as folhas secas foram armazenadas em ambiente seco e protegidas de luz para serem submetidas ao procedimento de extração dos óleos essenciais.

4.6 Extração de óleos essenciais (hidrodestilação)

Para realizar a extração do óleo essencial empregou-se o método de hidrodestilação, utilizando o sistema de Clevenger. As extrações foram realizadas com amostras de 25 gramas de folhas secas e, assim, as folhas foram colocadas dentro de um balão volumétrico com capacidade de 500 ml e, posteriormente, foram adicionados aproximadamente 250 ml de água destilada, o suficiente para cobrir todo o material no balão volumétrico, como mostrado na Figura 17(a).

Em seguida, o balão volumétrico foi acoplado no Clevenger e em uma manta térmica, que é utilizada para aquecer o balão volumétrico, como apresentado na Figura 17(b).

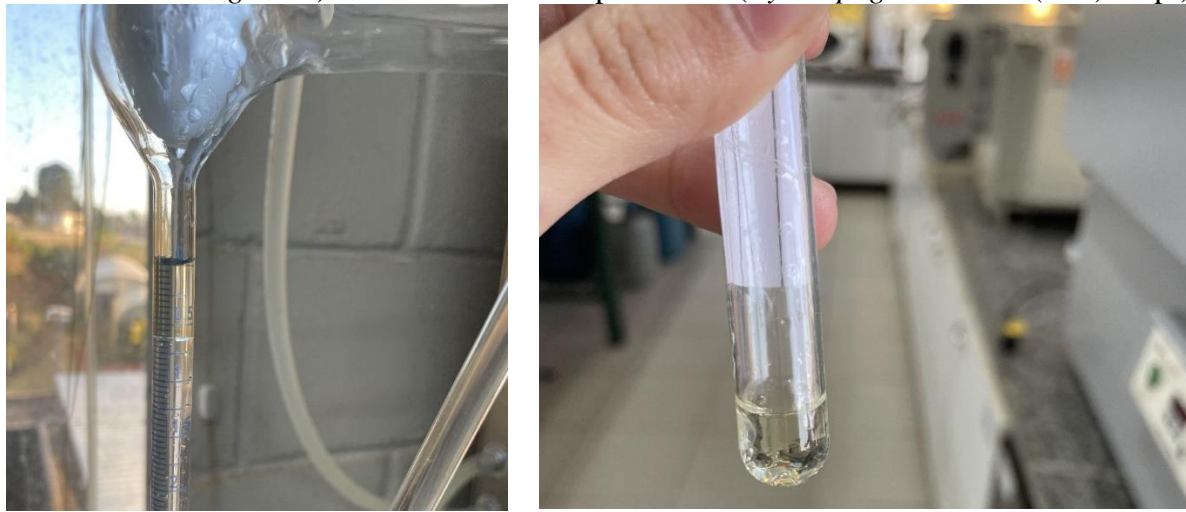
Figura 17 - Processo de extração de óleos essenciais; a) Preparação da amostra e b) Sistema de extração.



Fonte: Acervo Pessoal (2022).

O período de duração das extrações foi de 120 minutos e, ao final do processo, o óleo essencial ficou dentro do tubo do Clevenger separado do hidrolato por diferença de densidade, como mostrado na Figura 18(a). Com o auxílio de uma pipeta, o óleo foi retirado e depositado em um tubo de ensaio, como na Figura 18(b), para que em seguida, com a utilização de uma balança analítica, a massa fosse pesada para posterior cálculo do rendimento de óleo essencial em relação à massa seca.

Figura 18 - Separação do óleo essencial e hidrolato; a) Sistema óleo essencial e hidrolato no *Clevenger* e b) Óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf).



(a)

(b)

Fonte: Acervo Pessoal (2022).

Por fim, os óleos essenciais extraídos foram armazenados em tubos de ensaio envoltos com papel alumínio, para que então ficassem protegidos da luz e armazenados em refrigeradores até serem encaminhados para a Central de Análises e Prospecção Química (CAPQ) da UFLA, localizada no Departamento de Química, para as análises cromatográficas seguindo a metodologia própria utilizada pelo laboratório.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

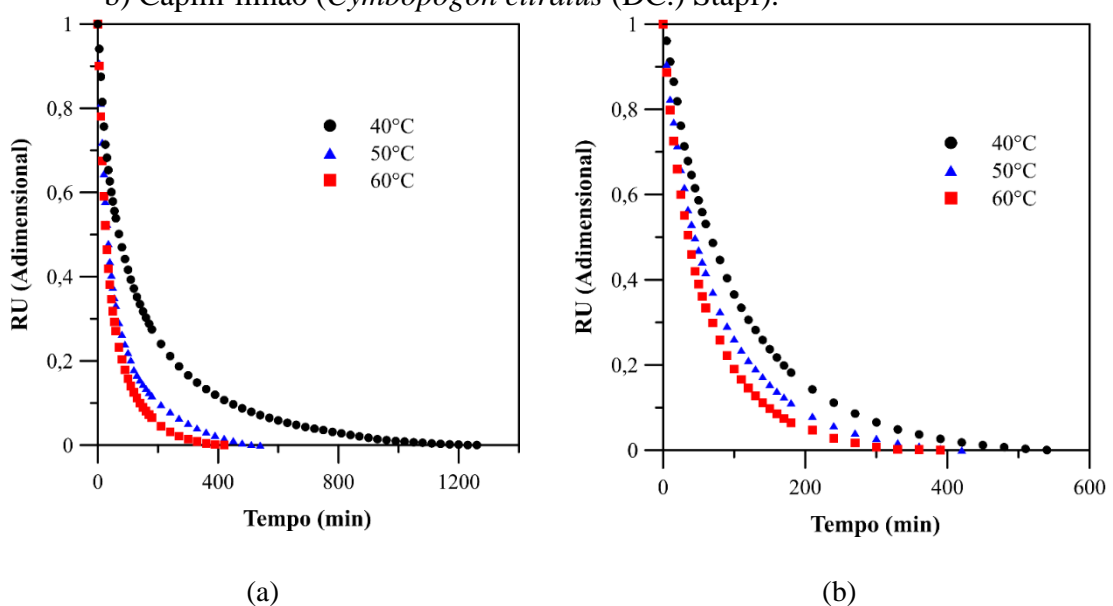
Nesta seção foram analisados os resultados encontrados experimentalmente sobre a secagem, as curvas cinéticas e a taxa de secagem obtidas através de cada experimento, assim como a comparação dos resultados experimentais obtidos para a secagem e os resultados do rendimento e qualidade dos óleos essenciais obtidos de cada secagem.

5.1 Cinética de secagem

Com o intuito de verificar a temperatura de secagem com melhor desempenho, foi obtido o gráfico de razão de umidade por tempo para cada uma das temperaturas em cada uma das plantas. As curvas obtidas na secagem do manjeriçã (*Ocimum basilicum*) e do capim-limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf) são apresentadas na Figura 19(a) e 19(b), respectivamente.

As folhas do capim-limão apresentaram em média o valor de umidade inicial de 71,22% em base úmida, com desvio padrão de 1,4026%. Já para as folhas manjeriçã, a umidade inicial média é de 85,44% em base úmida, com desvio padrão de 0,8915%. A umidade de equilíbrio média para o capim-limão é de 1,9504% em base seca, com desvio padrão de 0,8301% e, para o manjeriçã, é de 1,5118% em base seca, com desvio padrão de 0,5725%.

Figura 19 - Curva de Secagem em base seca por tempo; a) Manjeriçã (*Ocimum basilicum*) e b) Capim-limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf).



Fonte: Acervo Pessoal (2023).

O perfil de razão de umidade ao longo do tempo para as diferentes temperaturas de secagem e em ambas as espécies foi bastante satisfatório, seguindo uma boa tendência ao não apresentar pontos com desvios. Para o capim-limão, foi obtido uma redução significativa da umidade em um curto período de tempo e, já para o manjeriço, a secagem na temperatura de 40°C apresentou uma redução bem mais lenta quando comparada com as demais temperaturas. Além disso, as curvas também apresentaram um comportamento bem semelhante entre elas nas diferentes temperaturas utilizadas para cada uma das ervas aromáticas.

Analisando as curvas geradas para ambas espécies de ervas aromáticas, o aumento da temperatura do ar de secagem diminui diretamente o tempo necessário para a remoção de água das plantas, ou seja, o aumento da temperatura reduz o tempo de secagem. O tempo necessário para atingir o teor de água de 10% em base úmida para cada uma das espécies estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Tempo de secagem em diferentes temperaturas para o (*Ocimum basilicum*) e para (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf).

TEMPO DE SECAGEM (MIN)		
TEMPERATURA (°C)	Capim-limão	Manjeriço
40	372	1153
50	280	495
60	212	300

Fonte: Do autor (2023).

Para o processo de secagem do capim-limão, quando a temperatura do ar de secagem aumenta de 40°C para 50°C, ocorre uma redução de 25% do tempo gasto na secagem e 43% de redução quando a temperatura passa de 40°C para 60°C. Estes resultados estão condizentes com os obtidos por Martinazzo *et al.* (2010), que avaliou diferentes temperaturas na secagem das folhas de capim-limão e concluiu que temperaturas mais baixas necessitam de um período maior de secagem. Este resultado também foi encontrado por Gomes *et al.* (2017) no estudo da cinética de secagem para as folhas do capim-limão, no qual a faixa de tempo necessária para a secagem reduziu em consequência do aumento da temperatura do ar de secagem. Nesse trabalho, para atingir 10% de umidade em base úmida, o tempo necessário foi de 11, 10 e 5h para as temperaturas de 40, 50 e 60°C, respectivamente.

Em relação ao manjeriço, os resultados obtidos mostram que quando o aumento da temperatura vai de 40°C para 50°C, ocorre uma redução de 57% do período de secagem e quando a secagem passa de 40°C para 60°C, a redução no tempo passa a ser de 74%. Sendo

assim, a temperatura de 60 °C apresentou o melhor desempenho durante o processo de secagem para ambas as espécies, sendo capaz de proporcionar redução no tempo de secagem e consequentemente aumentando a cadência operacional do secador.

Para realizar o ajuste dos modelos matemáticos de secagem aos dados obtidos experimentalmente, utilizou-se o programa computacional STATISTICA AGA, no qual realizou-se as análises de regressão não linear. Na Tabela 3 estão apresentados os valores dos parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais das cinéticas de secagem para ambas as espécies aromáticas utilizadas e, também, para todas as temperaturas em que as folhas foram submetidas, assim como os coeficientes de determinação (R^2). Foram utilizados apenas os modelos que possuem até três parâmetros e que se ajustam à influência da temperatura de secagem a partir da constante de secagem (k).

Tabela 3 - Parâmetros de ajuste dos modelos da cinética de secagem para as espécies *Ocimum basilicum* e para *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf e respectivos coeficientes de determinação.

Modelo	Espécie	Parâmetros							
		k_0	E_a (kJ/mol)				R^2	RMSE	
Newton ou Lewis	(a)	0,059	0,589				0,994		
	(b)	0,177	1,001				0,966		
Page	(a)	k_0	E_a (kJ/mol)	n			R^2		
	(b)	0,084	0,531	0,882			0,999	0,0098	
Page Modificado	(a)	0,321	0,774	0,723			0,993	0,1639	
	(b)	k_0	E_a (kJ/mol)	n			R^2		
Page Modificado	(a)	0,061	0,601	0,882			0,999	0,0100	
	(b)	0,208	1,071	0,723			0,993	0,1638	
Henderson & Pabis	(a)	k_0	E_a (kJ/mol)	a			R^2		
	(b)	0,056	0,593	0,960			0,996		
Logarítmico	(a)	0,168	1,045	0,899			0,977		
	(a)	k_0	E_a (kJ/mol)	a	c			R^2	
Logarítmico	(b)	0,060	0,598	0,951	0,018			0,997	-
	(b)	0,191	1,036	0,886	0,039			0,984	0,1683
Midilli	(a)	k_0	E_a (kJ/mol)	a	b	n	R^2		
	(b)	0,094	0,518	1,015	0,00002	0,853	0,999	0,0120	
	(b)	0,017	-0,189	1,021	0,00000	0,772	0,905	-	

Fonte: Do autor (2023).

Em que: (a) é o capim-limão; (b) é o manjeriço.

Ao realizarmos as análises para cada uma das espécies utilizadas para a secagem, verificou-se que, para o Capim-limão, todos os modelos apresentaram um bom valor para R^2 e, já para o Manjeriço, os modelos de Page, Page Modificado e o Logarítmico tiveram um bom ajuste. Em relação aos modelos de Newton, Handerson & Pabis e Midilli, estes apresentaram ajustes com um valor de R^2 abaixo do satisfatório e, segundo Kashaninejad *et al.* (2007),

modelos que apresentam valores de R^2 acima de 0,98 para todas as temperaturas indicam uma representação satisfatória para os processos de secagem estudados.

Para o Capim-limão, os modelos de Page, Page Modificado e Midilli foram os que apresentaram o maior R^2 , que foi de 0,999, indicando um ajuste satisfatório. Como os valores de R^2 foram muito similares, a raiz do erro quadrático médio (RMSE) foi calculada para esses modelos. O menor valor encontrado para o RMSE foi no modelo de Page, tornando-se o modelo mais indicado para representar a cinética de secagem do capim-limão.

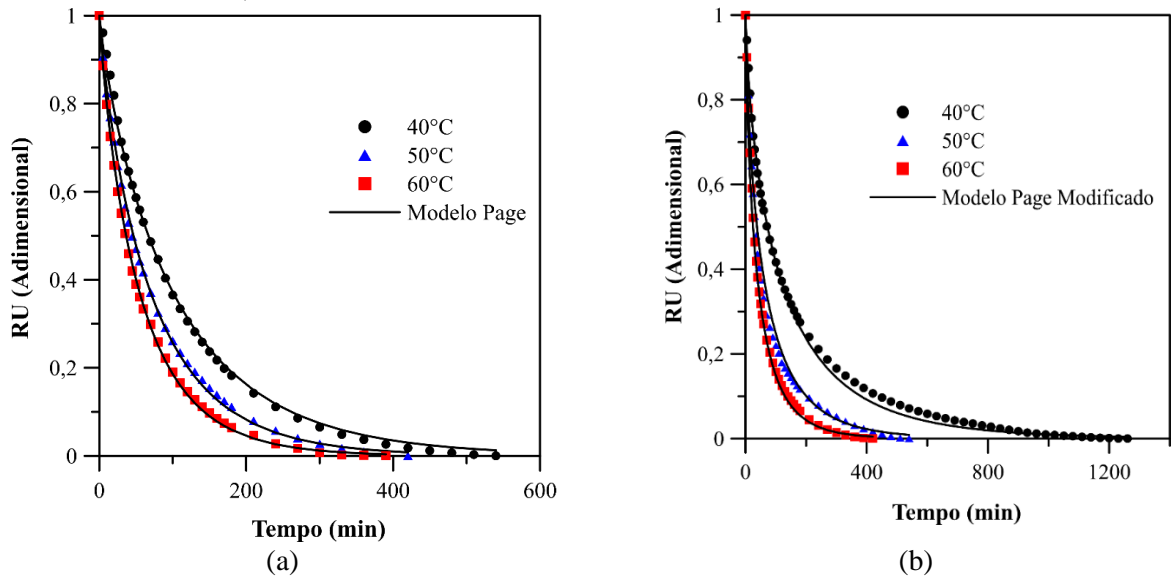
Para estudo realizado por Borges *et al.* (2019), o modelo de Midilli foi o que melhor representou os dados da cinética de secagem para as folhas de capim-limão. O modelo de Midilli também apresentou um ajuste satisfatório aos dados experimentais obtidos nesse trabalho, porém o modelo de Page, além de um menor RMSE, é um modelo com um número menor de parâmetros, possuindo apenas três, enquanto Midilli utiliza cinco.

Analisando os modelos para o manjeriço, os que melhores se ajustaram foram o de Page e Page Modificado, apresentando o R^2 igual a 0,993. O modelo Logarítmico também teve um R^2 satisfatório, contudo, avaliando os valores de RMSE, o menor valor foi 0,1638 para o modelo de Page Modificado.

De acordo com o estudo de Fonseca *et al.* (2018), o modelo Logarítmico apresentou o melhor ajuste. No entanto, os modelos de Page e Page modificado não foram utilizados no estudo de Fonseca. O modelo de Page Modificado também possui um parâmetro a menos em relação ao modelo logarítmico, tornando-se, assim, mais indicado para realizar os ajustes.

Utilizando os valores obtidos para os parâmetros do modelo de Page, foram construídas as curvas de cinética para serem comparadas com as curvas geradas pelos dados experimentais para a secagem do capim-limão, que estão apresentadas na Figura 20(a). Já a Figura 20(b) apresenta as curvas de cinética obtidas pelos dados experimentais da secagem do manjeriço com as curvas geradas a partir do modelo de Page modificado.

Figura 20 - Curvas experimentais e estimadas de razão de umidade por tempo pela estimativa dos parâmetros do modelo; a) Modelo de Page para o capim-limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf) e b) Modelo de Page modificado para o manjeriço (*Ocimum basilicum*).



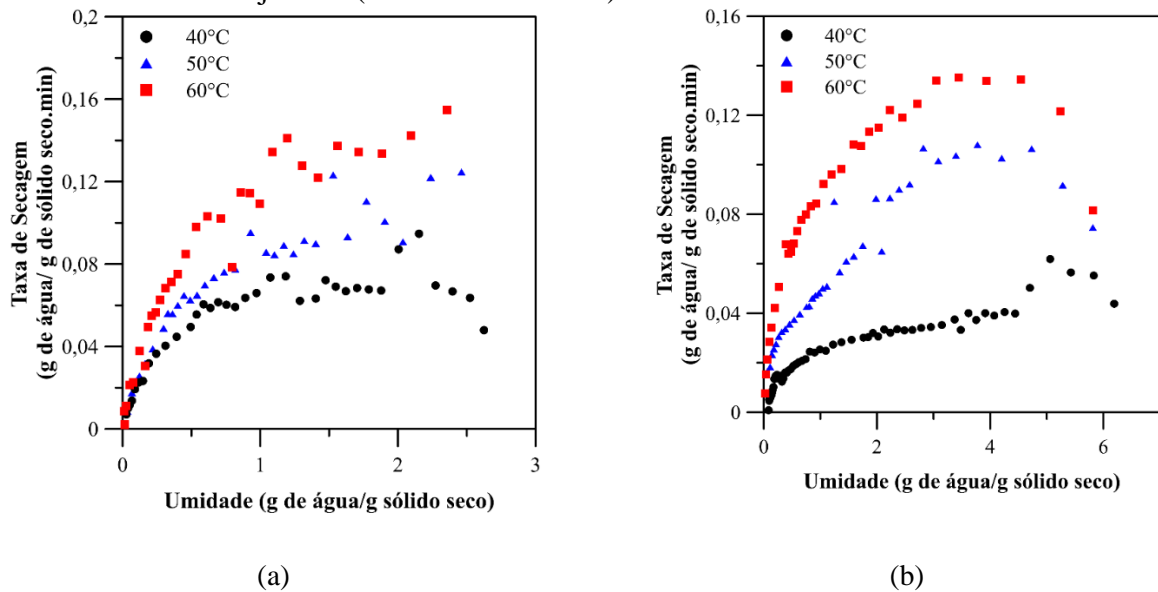
Fonte: Acervo Pessoal (2023).

Comparando as curvas formadas a partir dos dados experimentais com as geradas pelos modelos que melhor se ajustaram para cada uma das plantas é possível concluir que os modelos se ajustaram e construíram curvas que descrevem de forma satisfatória os dados experimentais.

5.2 Taxa de secagem

A partir da coleta das amostras foi possível analisar a taxa de secagem para cada uma das temperaturas que foram utilizadas, sendo elas apresentadas nas Figuras 21(a) e 21(b).

Figura 21 - Taxa de secagem; a) Para o capim-limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf) e b) Para o manjeriço (*Ocimum basilicum*).



Fonte: Acervo Pessoal (2023).

A partir das curvas obtidas é possível avaliar a taxa de secagem para as diferentes temperaturas utilizadas. Para o capim-limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf), na secagem a 40°C é possível identificar um período de taxa crescente no início e, logo em seguida, um período de taxa constante com alguns pontos acentuadamente fora da curva. Já para as outras temperaturas mais elevadas, o início do processo começa com uma decrescente nos valores e, posteriormente, exibe variações em alguns pontos até que começa a apresentar o período decrescente na umidade em torno de 1,3 g/g.

Na secagem do manjeriço (*Ocimum basilicum*), em todas as temperaturas utilizadas, a taxa de secagem mostrou uma crescente no início da operação e, em seguida, alguns pontos tiveram uma variação na taxa indicando uma tendência em atingir o estado estacionário. Nas temperaturas de 50°C e 60°C as taxas começam a apresentar o primeiro período decrescente quando a umidade estava em torno de 3g/g, aproximadamente, e, por fim, com a umidade em torno de 1g/g, mostra-se um período decrescente na taxa de secagem, indicando que a umidade se aproxima da umidade de equilíbrio.

A secagem a 40°C apresentou taxas de secagem inferiores e com período decrescente menos acentuado quando comparada com as outras temperaturas de secagem. Tal condição pode ter ocorrido porque as folhas de manjeriço apresentam certas características e variabilidade biológica, sendo uma delas a variação no tamanho e na forma das folhas, assim como possuem textura e rugosidades superficiais diferentes. Além disso, também podem apresentar composição química variáveis em razão de fatores genéticos, qualidade do solo e

outros fatores externos (BATALHA; MING, 2003). Todos esses coeficientes de variação fazem com que cada amostra utilizada em cada uma das secagens realizadas não seja exatamente igual e, assim, os ensaios não sejam similares.

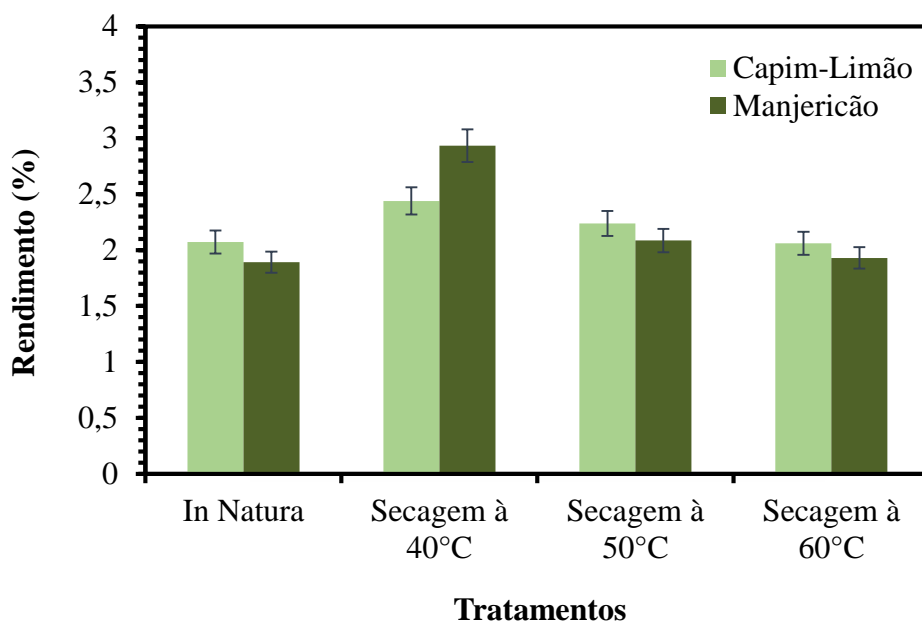
Avaliando as diferentes temperaturas utilizadas, com o aumento da temperatura do ar de secagem aumentou-se, também, a taxa de secagem para ambas as espécies. Para a temperatura de 60°C é possível notar que a taxa de secagem sofre a variação mais brusca quando comparada com as outras temperaturas, o que corrobora o fato de que taxa de secagem muda com a temperatura.

Entre as taxas de secagem para as duas espécies é possível observar que as taxas de secagem para o capim-limão são maiores em relação a secagem do manjeriço. Tais resultados podem ter ocorrido pelo fato de a umidade inicial presente no capim-limão ser menor quando comparada ao manjeriço, além das características morfológicas de cada uma dessas plantas. No caso do capim-limão, as plantas precisaram ser cortadas, o que também pode influenciar diretamente na secagem dessa planta.

5.3 Rendimento dos óleos essenciais

A partir das extrações realizadas com as folhas secas para cada uma das temperaturas de secagem utilizadas, foram obtidos os valores do teor médio de óleo essencial extraído de 25g de folhas, cujos valores são mostrados na Figura 22.

Figura 22 - Rendimento médio de óleo essencial de Capim-limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf) e Manjeriçãõ (*Ocimum basilicum*) obtidos por hidrodestilação, para cada uma das temperaturas de secagem das folhas.



Fonte: Acervo Pessoal (2023).

Tabela 4 - Rendimento do Óleo Essencial extraídos do Capim-Limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf) e do Manjeriçãõ (*Ocimum basilicum*).

TRATAMENTO	RENDIMENTO DE ÓLEO ESSENCIAL (%)	
	Capim-Limão	Manjeriçãõ
In Natura	2,073 ± 0,178	1,892 ± 0,668
Secagem à 40°C	2,439 ± 0,213	2,934 ± 0,552
Secagem à 50°C	2,239 ± 0,126	2,086 ± 0,093
Secagem à 60°C	2,060 ± 0,125	1,930 ± 0,235

Fonte: Do autor (2023).

Conforme pode ser observado na Figura 22, e com os valores apresentado na Tabela 4, as diferentes temperaturas de secagem das folhas geraram impacto no teor de óleo essencial extraído, ou seja, o aumento da temperatura diminuiu diretamente o rendimento de óleo essencial.

A influência do aumento da temperatura na redução do teor de óleo deve-se ao fato dos componentes responsáveis pela formação dos óleos essenciais serem muito voláteis, ocorrendo, então, a volatilização desses componentes à medida em que a temperatura aumenta, resultando tanto na redução da quantidade do óleo essencial extraída como na perda de algumas dessas substâncias, podendo alterar a qualidade dos óleos.

Nas extrações de óleo essencial de capim-limão realizadas por Pinto *et al.* (2014), foram obtidos valores na faixa de 1,580 a 2,286% de rendimento de óleo essencial extraídos, mostrando uma faixa de rendimento semelhante à obtida nesse trabalho. Para o Manjeriçã, no trabalho realizado por Luz *et al.* (2009), os valores para o rendimento do óleo essencial de manjeriçã extraído de folhas secas foram de 1,36 a 1,70%.

A diferença no rendimento pode parecer pequena, no entanto, para produções em grande escala geram uma diferença significativa na quantidade de óleo essencial produzido. Tais diferenças podem ser mensuradas quando simulamos uma produção em escala piloto, na qual cada batelada de extração utiliza 500kg de folhas secas. A quantidade de óleo essencial extraída para cada uma das plantas submetidas a cada um dos tratamentos utilizados está apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 - Quantidades de Óleo Essencial extraídos do Capim-Limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf) e do Manjeriçã (*Ocimum basilicum*) em bateladas de 500kg de folhas secas.

TRATAMENTO	ÓLEO ESSENCIAL EXTRAÍDO (kg)	
	Capim-Limão	Manjeriçã
In Natura	10,367	9,460
Secagem à 40°C	12,194	14,669
Secagem à 50°C	11,195	10,428
Secagem à 60°C	10,302	9,650

Fonte: Do autor (2023).

Os resultados obtidos e apresentados mostram que é possível obter um aumento de 17,63% e 8% na quantidade de óleo essencial extraído das folhas de capim-limão, quando essas folhas são submetidas à um processo de secagem nas temperaturas de 40 e 50°C, respectivamente e uma redução de 0,63% quando submetida à uma temperatura de secagem à 60°C. Para o manjeriçã, o aumento nas quantidades de óleos essenciais extraídos pode chegar a 55,07%, 10,23% e 2,01% para as folhas submetidas aos tratamentos de secagem à 40, 50 e 60°C, respectivamente, quando comparamos com à extração de óleos essenciais das folhas *in natura*.

A partir da Tabela 5 é possível visualizar dados exemplificados de que em um processo produtivo, no qual seriam utilizados 500kg de folhas secas, seriam perdidos cerca de 1,828 kg de óleo essencial ao mudar o processo de tratamento das folhas, passando de uma extração de óleos essenciais das folhas secas de capim-limão à 40°C para folhas *in natura*. Para o manjeriçã, a quantidade de óleo essencial perdida por não realizar um tratamento de secagem

é de 5,210 kg. Logo, quando se compara a extração nas folhas *in natura* com o tratamento de secagem à 60°C, que se mostrou o de menor rendimento entre as outras temperaturas, ainda é possível obter um aumento de 0,190 kg para o manjeriço e para o capim-limão esse tratamento já gera uma redução de 0,065 kg de óleo essencial.

Analisando apenas entre as temperaturas utilizadas nas secagens, a secagem realizada na temperatura de 40°C se mostrou a com maior rendimento de óleos essenciais para ambas as plantas utilizadas. Para o capim-limão, quando alteramos o tratamento de secagem de 40°C para 50°C, obtemos uma redução de 8,19% na quantidade de óleo essencial extraído e, para o manjeriço, a redução é de 28,92% nessa mesma situação. Quando passamos de 40°C para 60°C, a redução é ainda maior, chegando a 15,52% para o capim-limão e 34,22% para o manjeriço. Analisando a operação de exemplo da Tabela 5, teríamos para o capim-limão a perda de 0,999 kg com a alteração da temperatura de secagem das folhas de 40°C para 50°C, e de 1,892 kg com a alteração de 40°C para 60°C. Para o manjeriço, a perda nessas mesmas mudanças seria de 4,242 kg e 5,020kg quando alterado de 40°C para 50 e 60°C, respectivamente.

O aumento no rendimento de óleos essenciais extraídos após a aplicação de uma operação de secagem no tratamento dessas folhas pode ser explicado pelo fato da remoção da água presente nas folhas facilitar a saída dos compostos ativos que estão nas glândulas secretoras das folhas. A grande quantidade de água presente na planta acaba dificultando a saída dos compostos ativos pela estrutura da planta.

No trabalho realizado por Martins *et al.* (2002) foram utilizadas as temperaturas de 40, 50 e 60°C e a temperatura de 40°C mostrou-se ideal para secar a espécie *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf, pois obtiveram maior teor de óleo essencial e melhor qualidade do mesmo, concordando, assim, com os resultados desse trabalho para as temperaturas utilizadas. No entanto, Bonilha e Vieira (2017) obtiveram teor de óleo essencial do capim-limão inferior a 2% na secagem a 35°C, indicando que temperaturas de secagem muito baixas também reduzem o teor de óleos essenciais.

Analisando trabalhos encontrados na literatura para a influência da temperatura de secagem no rendimento de óleos essenciais de *Ocimum Basilicum*, Soares *et al.* (2007) afirma que os maiores rendimentos extrativos foram obtidos quando o processo de secagem foi realizado com temperatura de secagem igual a 40°C.

Ao comparar os rendimentos entre as diferentes espécies de plantas utilizadas, nota-se que os teores de óleos essenciais nas folhas *in natura* e no tratamento de secagem a 50 e 60°C para o capim-limão são maiores quando comparados com o manjeriço. Já para o tratamento

de secagem a 40°C, o teor de óleo essencial para o manjeriço foi maior em relação ao capim-limão, contudo, o desvio padrão da média entre os dados obtidos nas triplicatas foi maior para o manjeriço, indicando uma maior variação nesse valor.

5.4 Análise qualitativa dos óleos essenciais

Após a extração dos óleos essenciais de ambas as espécies *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf e *Ocimum Basilicum*, as amostras contendo os óleos essenciais obtidos a partir das folhas submetidas a cada uma das condições de secagem foram enviadas para análises de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas na Central de Análises e Prospecção Química (CAPQ) da UFLA, localizada no Departamento de Química, para identificação e quantificação dos seus constituintes.

5.4.1 *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf

No óleo essencial obtido a partir das folhas frescas de Capim-Limão, foram identificados três constituintes, apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Composição química do óleo essencial das folhas frescas de Capim-Limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf).

PICOS	TR	IRc	IRt	COMPOSTO	AREA (%)
1	8.005	989	988	Mirceno	10,93
2	18.088	1238	1.235	Neral	28,83
3	19.378	1268	1264	Geranial	60,24
TOTAL IDENTIFICADO					100,00

Fonte: Do autor (2023).

Em que: TR é o tempo de retenção (minutos); IRc é o índice de retenção calculado; IRt o índice de retenção teórico. Os valores de IR teórico foram obtidos do livro de Adams (2017).

Observa-se que o óleo essencial apresenta como componente majoritário o geranial (60,24%), seguido do neral (28,83%) e, como composto minoritário, o mirceno (10,93%). A mistura dos isômeros geranial e neral forma o citral, sendo este o principal constituinte do óleo essencial de capim-limão, com conteúdo total de 89,07%. De acordo com Guimarães (2007), o óleo essencial de *Cymbopogon Citratus* (DC.) Stapf tem o citral como composto principal, com quantidade em torno de 70 a 80%.

Alguns outros trabalhos encontrados na literatura foram semelhantes, confirmando os resultados obtidos nesse trabalho. Por conseguinte, os resultados obtidos por Lima *et al.* (2008) indicaram como compostos majoritários para o óleo essencial do capim-limão o geranial (43,8%), neral (34,5%) e o mirceno (14,6%). No trabalho realizado por Costa *et al.* (2005), o geranial e o neral também foram os compostos majoritários e outros compostos, como o linalol, epóxido linaloolóxido, geraniol, entre outros não identificados, estavam presentes conjuntamente.

É necessário considerar que os fatores ambientais, assim como as formas de cultivo no qual a planta se desenvolve, exercem influência na composição química dos óleos essenciais extraídos dela.

Os constituintes principais obtidos a partir do óleo essencial extraído das folhas secas nas temperaturas de 40, 50 e 60°C são apresentados na Tabela 7. Em todas as amostras, o composto majoritário foi o geranial e o neral. No óleo essencial extraído das folhas secas a 40 e 60°C, foi identificado o geraniol, no entanto, em ambos os casos, o geraniol apareceu como composto minoritário, em quantidade de 0,59 e 1,22%, respectivamente. Para o tratamento de secagem das folhas a 60°C, foram identificados outros compostos que não tiveram o IR teórico de acordo com o calculado, não sendo possível confirmar a sua identificação.

Tabela 7 - Composição química do óleo essencial das folhas secas de Capim-Limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf).

COMPOSTO	ÁREA (%)		
	Folhas Secas à 40°C	Folhas Secas à 50°C	Folhas Secas à 60°C
Geranial	54,22	55,38	51,59
Neral	37,07	38,89	37,02
Mirceno	8,12	5,73	9,69
Geraniol	0,59	-	1,22
OUTROS COMPOSTOS	-	-	0,48
TOTAL	100	100	100

Fonte: Do autor (2023).

Observa-se que houve variação no conteúdo de cada um dos componentes de acordo com o tratamento de secagem que foi utilizado. As folhas *in natura* apresentaram a maior quantidade do composto majoritário geranial quando comparado com os outros tratamentos, observando-se, dessa maneira, a diminuição da quantidade de geranial na medida em que a aumenta temperatura de secagem das folhas, indicando uma maior volatilidade deste composto em relação aos outros. Ademais, compostos voláteis são muito sensíveis ao processo de secagem, podendo sofrer alterações na sua concentração por diversos fatores como as

temperaturas de secagem e as características do produto submetido à secagem (COSTA *et al.*, 2005).

Já o neral foi encontrado em maiores quantidades quando as folhas foram submetidas à processos de secagem. Para as folhas frescas, apresentou um conteúdo de 28,83%, obtendo um aumento de até 10% após as folhas serem submetidas a temperaturas de secagem, indicando não ser volátil nas temperaturas utilizadas. Entre todos os tratamentos, o que apresentou o maior conteúdo de citral (94,27%) com os maiores valores de geranial e de neral foi o que utilizou a temperatura de 50°C, apresentando, por consequência, a menor quantidade do composto minoritário mirceno (5,73%).

Segundo Nascimento *et al.* (2003), o componente mais importante para o óleo essencial de capim-limão é o citral, que é utilizado pela indústria farmacêutica para síntese de ianonas e vitamina A, acompanhado de pequena quantidade de mirceno. A ação calmante e espasmolítica é atribuída à presença do citral, enquanto o mirceno é responsável pela atividade analgésica (MATOS, 2000).

5.4.2 *Ocimum basilicum*

No óleo essencial obtido à partir das folhas *in natura* de Manjeriço, foram identificados 18 constituintes, apresentados na Tabela 1B no Anexo B. Na Tabela 8 são mostrados os principais compostos encontrados no óleo essencial e observa-se que o componente majoritário é o 1,8- cineol (32,53%), seguido do linalol (26,65%) e cânfora(18,78). Outros compostos minoritários também foram identificados, como o eugenol (5,97%), α -terpineol (3,1%), epi- α -muurolol (2,92%), limoneno (1,98%), germacreno d (1,33%), entre outros. No Anexo B são apresentados todos os compostos.

Resultados semelhantes foram encontrados no trabalho realizado por Veloso *et al.* (2014), no qual foram identificados como compostos majoritários para o *Ocimum basilicum* o linalol, 1,8-cineol e (e)-cinamato de metila. Em um outro trabalho realizado por González-Zúñiga *et al.* (2011), os compostos majoritários foram o cinamato de metila e o linalol.

Tabela 8 - Composição química do óleo essencial das folhas frescas de Manjericão (*Ocimum basilicum*).

PICOS	TR	IRc	IRt	COMPOSTO	AREA (%)
1	7.743	979	974	β -Pineno	1,85
2	9.465	1029	1024	Limoneno	1,98
3	9.590	1033	1026	1,8-Cineol	32,53
4	12.143	1100	1095	Linalol	26,65
5	14.190	1147	1141	Cânfora	18,78
6	16.235	1195	1186	α -Terpineol	3,1
7	23.029	1351	1356	Eugenol	5,97
8	28.435	1481	1484	Germacreno D	1,33
9	34.740	1642	1640	epi- α -Muurolol	2,92
OUTROS COMPOSTOS					4,89
TOTAL IDENTIFICADO					100

Fonte: Do autor (2023).

Em seguida, os constituintes obtidos a partir do óleo essencial extraído das folhas secas nas temperaturas de 40, 50 e 60°C são apresentados na Tabela 9. Diferenças entre as porcentagens da área relativa dos picos referentes à composição química do óleo essencial das folhas frescas e secas foram identificadas. Para a temperatura de 40°C, o 1,8-Cineol (32,52%) e o linalol (27,32%) continuaram sendo os compostos majoritários, mantendo-se na porcentagem relativa que nas folhas frescas. Porém, o teor de linalol sofreu um aumento em seu conteúdo quando as folhas foram submetidas a temperaturas mais altas de secagem e, por outro lado, o 1,8-cineol apresentou quedas em suas porcentagens de área do pico quando comparado com o material *in natura*.

No óleo essencial extraído das folhas secas a 50 e 60°C, houve uma redução no conteúdo do 1,8-Cineol, tornando o Linalol o composto majoritário. Quando passamos da secagem na temperatura de 40° para a de 50°C, o 1,8-Cineol reduziu de um conteúdo de 32,52% para 14,14%, e quando passa para a secagem a 60°C, ele aumenta o seu conteúdo para 26,35%, porém, ainda sendo menor em relação à secagem de 40°C. Já o Linalol se mantém como composto majoritário, apresentando o seu maior conteúdo na secagem de 50°C.

De acordo com Carvalho Filho *et al.* (2006), os óleos essenciais de manjericão são valorizados no mercado internacional e amplamente usados nas indústrias de condimentos e cosméticos pela alta concentração de linalol, sendo esse encontrado como composto majoritário. O autor também explica que, durante a secagem das plantas de manjericão, ocorre um aumento no teor de linalol no óleo essencial. Tais informações confirmam os resultados obtidos nesse trabalho.

Tabela 9 - Composição química do óleo essencial das folhas secas de Manjerição (*Ocimum basilicum*).

COMPOSTO	AREA (%)		
	Folhas Secas � 40�C	Folhas Secas � 50�C	Folhas Secas � 60�C
1,8-Cineol	32,52	14,14	26,35
Linalol	27,32	46,08	36,03
Cânfora	19,09	17,28	17,67
Eugenol	6,25	9,77	6,09
epi-�-Muurolol	3,54	2,71	2,40
�-Terpineol	2,85	2,50	1,99
Limoneno	1,77	0,78	1,16
�-Pinenos	1,56	0,17	1,21
Germacreno D	1,49	3,97	3,30
OUTROS COMPOSTOS	3,61	2,60	3,80
TOTAL	100	100	100

Fonte: Do autor (2023).

No  leo essencial extraído das folhas *in natura* foram identificados 15 compostos e, com a adi o dos processos de secagem nas folhas do Manjeriço, foram identificados a perda de alguns compostos. Portanto, nas folhas secas a 40 C, foram identificados 14 compostos e a terpinolina, que é identificada nas folhas *in natura*, já não é mas encontrada no óleo essencial das folhas que foram secas. Para as folhas secas a 50 C, foram identificados 10 compostos, sendo este o tratamento de secagem em que ocorreu a maior perda de diferentes compostos, não apresentando os compostos  -pineno, canfeno, sabineno e o mirceno. Já para as folhas secas a 60 C, foram identificados 13 compostos, como terpinolina o sabineno, apresentando maior semelhança com as folhas secas   40 C. Todos os compostos que não foram identificados em alguma das amostras eram minoritários e, quando encontrados, possuíam uma porcentagem relativa inferior   1%.

Compostos semelhantes foram encontrados no trabalho desenvolvido por Rosado *et al.* (2011), em que as análises cromatográficas permitiram identificar no óleo essencial de *Ocimum basilicum* a presença de monoterpenos (1,8 cineol,  -terpineol, geraniol e linalol) e sesquiterpenos (acetato de isobornila, acetado de geranila,  -trans-bergamoteno,  -muuroleno,  -cadieno e epi- -cadinol e, entre esses constituintes, o linalol e o geraniol foram os compostos majoritários.

6 CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos nesse trabalho, foi possível concluir que o aumento da temperatura do ar de secagem diminui diretamente o tempo necessário de secagem, sendo a temperatura utilizada de 60°C a que precisou de menos tempo para atingir 10% de umidade em base úmida para as folhas de ambas as espécies utilizadas.

A partir dos dados obtidos para os parâmetros dos ajustes dos modelos matemáticos aos dados experimentais, também é possível concluir que o modelo de Page foi o que melhor se ajustou para os dados experimentais na secagem do Capim-Limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf) e o modelo de Page modificado para o Manjeriço (*Ocimum basilicum*).

Pode ser concluído, também, que a taxa de secagem aumenta significativamente a partir do aumento da temperatura de secagem. No entanto, o rendimento do óleo essencial reduz com o aumento da temperatura, indicando a perda de compostos voláteis que constituem os óleos essenciais.

Avaliando as análises qualitativas de CG-EM, foi possível concluir que o uso de diferentes temperaturas na secagem das folhas gera alterações na composição, apresentando a perda de alguns componentes e na porcentagem relativa encontrada para cada um dos compostos.

Para o Capim-Limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf), o composto majoritário identificado foi o geraniol, que sofreu uma redução à medida em que a temperatura de secagem das folhas aumentou, apresentando o seu maior conteúdo no tratamento de secagem com temperatura de 50°C. O 1,8-cineol foi composto majoritário identificado nas folhas frescas do Manjeriço (*Ocimum basilicum*), nesse caso, com o tratamento de secagem nas folhas, foi identificado uma perda do composto 1,8-cineol e o linalol tornou-se o composto majoritário, pois à medida em que as folhas foram secas com maior temperatura, este apresentou menor volatilidade, mantendo-se como composto majoritário.

Sendo assim, para realizar a secagem de ervas aromáticas podemos concluir que o uso das menores temperaturas é mais indicado por exercerem menor influência no rendimento e para evitar a redução de compostos majoritários e perda de alguns compostos.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

A seguir são apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros que poderão contribuir para o aumento do conhecimento a respeito da operação de secagem de ervas aromáticas assim como sobre a produção de óleos essenciais. São eles:

- a) A implementação de um sistema que possa ser acoplado à balança analítica com o intuito de aferir com exatidão a massa da balança ao longo do tempo. Essa melhoria também seria importante para possibilitar que experimentos muito longos possam ser feitos sem nenhum tipo de interrupção.
- b) O tamanho do corte das folhas também é um fator de relevante estudo, sendo possível aprofundar o estudo da secagem de ambas as plantas pela comparação do tamanho em que as folhas são cortadas, principalmente no caso do manjeriço, em que as folhas possuem tamanhos muito diferentes.
- c) Para uma melhor avaliação do rendimento dos óleos essenciais, realizar as extrações em maiores quantidades, pelo fato de ocorrer muitas perdas de óleo tanto no equipamento quanto no momento da coleta com a pipeta. Dependendo da quantidade de óleo produzida, acaba não sendo possível ser feita a sua coleta por resultar na perda de todo o óleo produzido na própria vidraria ou pipeta utilizada.
- d) Aumentar o número de repetições nas avaliações de quantificação de óleos essenciais, assim como nos experimentos de secagem por causa da variação das folhas.
- e) Efetuar estudo relacionado à produção de folhas de melhor e pior qualidade e verificar a qualidade e produtividade do óleo essencial.
- f) Alterar os tipos de secagem utilizadas, para identificar uma melhor aplicação entre diferentes equipamentos e operações de secagem.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, R. P. **Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry**. 4.1. ed. Waco, Texas: Biology Department, Baylor University, 2017. *E-book* (809 p.). ISBN 978-1-932633-21-4.
- ALVES, L. S.; PAZ, V. P. S.; SILVA, A. J. P.; OLIVEIRA, G. X. S.; OLIVEIRA, F. E. R.; AMORIM, E. L. Teor, rendimento e composição química do óleo essencial de plantas de manjeriço submetidas ao estresse salino com NaCl. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Campinas, v. 17, n. 4, p. 807-813, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbpm/a/spMZprWzHzN7R5bQkRZ78fK/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 15 mar. 2023.
- ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Farmacopeia Brasileira, volume 1**. 6ª Ed. Brasília, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/farmacopeia/farmacopeia-brasileira/VOLUME1FB6at2Erratappdfcomcapa.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2023.
- BANDONI, A. L.; CZEPAK, M. P. **Os Recursos vegetais aromáticos no Brasil: seu aproveitamento industrial para a produção de aromas e sabores**. Vitória, ES: EDUFES, 2008. E-book (623 p.). ISBN: 978-85-7772-027-9.
- BAKKALI, F.; AVERBECK, S.; AVERBECK, D.; IDAOMAR, M. Biological effects of essential oils – a review. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, n. 2, p. 446-476, sep. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>. Acesso em: 9 nov. 2022.
- BATALHA, M. O.; MING, L. C. (Coord.). **Plantas medicinais e aromáticas: um estudo de competitividade no estado de São Paulo**. São Paulo, SP: SEBRAE, 2003. 240p.
- BIZZO, H. R.; HOVELL, A. M. C.; REZENDE, C. M. Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 588-594, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000300005>. Acesso em: 9 nov. 2022.
- BONILHA, G. C.; VIEIRA, G. N. A. Influência de condições operacionais da secagem de capim-cidreira (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf.) sobre o rendimento do processo de obtenção do óleo essencial. In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 6., 2017, São Carlos. **Anais [...]** 2017. p. 1-6.
- BORGES, F. F.; ROCHA, R. P.; SANTI, A.; SMANIOTTO, T. A. D. S.; ABREU, A. B. G. Efeito da secagem sobre o rendimento de óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf). **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 12, n. 03, p. 01-19, set/dez. 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/340678339_EFEITO_DA_SECAGEM SOBRE_O_RENDIMENTO_DE_OLEO_ESSENCIAL_DE_CAPIM-LIMAO_Cymbopogon_citratus_DC_Stapf. Acesso em: 15 mar. 2023.
- BOZIN, B.; MIMICA-DUKIC, N.; SIMIN, N.; ANACKOV, G. Characterization of the volatile composition of essential oils of some Lamiaceae species and the antimicrobial and antioxidant activities of the entire oils. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v. 54, n. 5, p. 1822-1828, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jf051922u>. Acesso em: 26 out. 2022.

CARLESSO, V. O.; BERBERT, P. A.; SILVA, R. F.; VIANNA, A. P.; DETMANN, E.; DIONELLO, R. G. Secagem de sementes de maracujá em camada delgada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 3, p. 444-448, dez. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452005000300025>. Acesso em: 17 nov. 2022.

CARVALHO FILHO, J. L. S.; BLANK, A. F.; ALVES, P. B.; EHLERT, P. A. D; MELO, A. S.; CAVALCANTI, S. C. H.; ARRIGONI-BLANK, M. F.; SILVA-MANN, R. Influence of the harvesting time, temperature and drying period of basil (*Ocimum basilicum* L.) essential oil. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 16, p. 24-30, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2006000100007>. Acesso em: 23 mai. 2023.

COSTA, L. C. B.; CORRÊA, R. M.; CARDOSO, J. C. W.; PINTO, J. E. B. P.; BERTOLUCCI, S. K. V.; FERRI, P. H. Secagem e fragmentação da matéria seca no rendimento e composição do óleo essencial de capim-limão. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 4, p. 956-959, out/dez. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/rDVgPJy4ZjyxGJzpzCB8vbg/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 23 mai. 2023.

COSTA, E. D. A. **Plantas medicinais**. Petrópolis, RJ: Editora Vozes, 2019. *E-book* (352 p.). ISBN 9788532664839.

DIAS, P. P.; FERNANDES, M. C. A.; AGUIAR, L. A.; ABOUD, A. C. S.; MORENZ, E. F. Atividade fungitóxica in vitro do óleo essencial de capim limão (*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf) e controle de *Rhizoctonia solani* em plantas de alface (*Lactuca sativa* L.), cultivar maravilha quatro estações. **Summa Phytopathologica**, v. 47, n. 4, p. 204-208, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0100-5405/209982>. Acesso em: 20 dez, 2022.

FAVORITO, P. A.; ECHER, M. M.; OFFEMANN, L. C.; SCHLINDWEIN, M. D.; COLOMBARE, L. F.; SCHNEIDER, R. P.; HACHMANN, T. L. Características produtivas do manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) em função do espaçamento entre plantas e entre linhas. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Botucatu, São Paulo, v. 13, p. 582-586, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-05722011000500013>. Acesso em: 20 dez. 2022.

FONSECA, K. R.; DIAS, S. A. A.; SOUSA, K. D.; DEVILLA, I. A. Determinação e modelagem matemática da secagem de manjeriço e do tempo de meia resposta. In: V CONGRESSO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS, 5., 17 a 19 de outubro de 2018, Pirenópolis, Goiás. **Anais [...]** UEG: CEPE, 2018.

GERSHENZON, J.; McCONKEY, M. E.; CROTEAU, R. Regulation of monoterpene accumulation in leaves of peppermint. **Plant Physiology**, v. 122, n. 1, p. 205-213, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1104%2Fpp.122.1.205>. Acesso em: 17 nov. 2022.

GOBBO-NETO, L.; LOPES, N. P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 2, mar./abr. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000200026>. Acesso em: 26 out. 2022.

GONZÁLEZ-ZÚÑIGA, J. A.; GONZÁLEZ-SÁNCHEZ, H. M.; GONZÁLEZ-PALOMARES, S.; ROSALES-REYES, T.; ANDRADE-GONZÁLEZ, I. Microextracción en fase sólida de compuestos volátiles en albahaca (*Ocimum basilicum* L.). **Revista Acta Universitaria**, v. 21, n. 1, p. 17-22, 2011. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/416/41618395001.pdf>.

Acesso em: 20 dez. 2022.

GOMES, N. H. F.; NETO, H. C. D. S.; ALVES, J. J. L.; RODOVALHO, R. S.; SOUZA, C. M. Cinética de secagem de folhas de *Cymbopogon citratus*. **Engevista**, v. 19, n. 2, p. 328-338, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.22409/engevista.v19i2.837>. Acesso em: 17 nov. 2022.

GUIMARÃES, L. G. L. **Estudo da estabilidade e do efeito fungitóxico do óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf)**. Dissertação (Mestrado em Química) – Departamento de Química, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

GUIMARÃES, L. G. L.; CARDOSO, M. D. G.; SOUZA, P. E. D.; ANDRADE, J. D., VIEIRA, S. S. Atividade antioxidante e fungitóxica do óleo essencial de capim-limão e do citral. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 464-472, abr/jun, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000200028>. Acesso em: 26 out. 2022.

KALLUF, L. **Fitoterapia funcional: dos princípios ativos à prescrição de fitoterápicos**. 2. ed. 2015. *E-book* (346 p.). ISBN 9788562901140.

KASHANINEJAD, M.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI, A.; TABIL, L. G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 1, p. 98-108, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.09.007>. Acesso em: 20 dez. 2022.

LEAL, P.F. **Estudo comparativo entre os custos de manufatura e as propriedades funcionais de óleos voláteis obtidos por extração supercrítica e destilação por arraste a vapor**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2008.

LIMA, R. K.; CARDOSO, M. D. G.; MORAES, J. C.; VIEIRA, S. S.; MELO, B. A.; FILGUEIRAS, C. C. Composição dos óleos essenciais de anis-estrelado *Illicium verum* L. e do Capim-limão *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf: avaliação do efeito repelente sobre *Brevicoryne brassicae* (L.) (Hemiptera: Aphididae). **BioAssay**, v. 3, p. 1-6, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/BA.v3.0.56>. Acesso em: 23 mai. 2023.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. de A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002.

LUZ, J. M. Q.; MORAIS, T. P. S.; BLANK, A. F.; SODRÉ, A. C. B.; OLIVEIRA, G. S. Teor, rendimento e composição química do óleo essencial de manjeriço sob doses de cama de frango. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. 3, jul./set. 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/ccyHt6z3vFnHQrmnS3G5XnL/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 05 fev. 2023.

MAKRI, O.; KINTZIOS, S. *Ocimum* sp. (Basil): botany, cultivation, pharmaceutical properties, and biotechnology. **Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants**, v. 13, n. 3, p. 124-125, 2008. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1300/J044v13n03_10. Acesso em: 17 nov. 2022.

MARCINKOWSKI, E.D.A. **Estudo da cinética de secagem, curvas de sorção e predição de propriedades termodinâmicas da proteína texturizada de soja**. Dissertação (Mestrado em

Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2006.

MARQUES, P. A. A.; JOSE, J. V.; SOARES, D. A.; ROCHA, H. S.; DUARTE, S. N. Teores de nutrientes em folhas de manjeriço sob doses de potássio em colheitas sucessivas. **Revista de Agricultura**, v. 90, n. 3, p. 199-216, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.37856/bja.v90i3.209>. Acesso em: 20 dez. 2022.

MARTINAZZO, A. P.; MELO, E. C.; CORRÊA, P. C.; SANTOS, R. H. S. Modelagem matemática e parâmetros qualitativos da secagem de folhas de capim-limão [*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf], **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 12, n. 4, p. 488-498, abr. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-05722010000400013>. Acesso em: 26 out. 2022.

MARTINAZZO, A. P. **Secagem, armazenamento e qualidade de folhas de *Cymbopogon citratus* (D. C.) Stapf**. Tese (Doutorado em Construções Rurais e Ambiente, Energia na Agricultura, Mecanização Agrícola e Processamento de Produção) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2006.

MARTINS, A. G. L. A.; NASCIMENTO, A. R.; FILHO, J. E. M.; FILHO, N. E. M.; SOUZA, A. G.; ARAGÃO, N. E.; SILVA, D. S. V. Atividade antibacteriana do óleo essencial do manjeriço frente a sorogrupos de *Escherichia coli* enteropatogênica isolados de alfaces. **Revista Ciência Rural**, v. 40, n. 8, p. 1791-1796, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010005000127>. Acesso em: 17 nov. 2022.

MARTINS, E. A. S.; LAGE, E. Z.; GONELI, A. L. D.; FILHO, C. P. H.; LOPES, J. G. Cinética de secagem de folhas de timbó (*Serjania marginata* Casar). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 238-244, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n3p238-244>. Acesso em: 20 dez. 2022.

MARTINS, P. M.; MELO, E. C.; BARBOSA, L. C. A.; SANTOS, R. H. S.; MACHADO, M. C. Influência da temperatura e da velocidade do ar de secagem no teor e da composição química do óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon citratus* (D. C.) Stapf). **Acta Horticultura**, v. 569, p. 155-160, 2002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.569.25>. Acesso em: 17 nov. 2022.

MARTINS, R. C. **Óleo essencial de *Ocimum basilicum* L. para controle de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797)**. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Ciências Agrárias, Uberlândia, Minas Gerais, 2016.

MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais: guia de seleção e emprego de plantas usadas em fitoterapia no Nordeste do Brasil**. Fortaleza: UFC, 2000. 344 p.

MATOS, S. P. D. **Operações unitárias - fundamentos, transformações e aplicações dos fenômenos físicos e químicos**. São Paulo: Editora Saraiva, 2015. *E-book* (160 p.). ISBN 9788536520018. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536520018/>. Acesso em: 29 nov. 2022.

MCCABE, W. L.; SMITH, J. C.; HARRIOTT, P. **Unit operations of chemical engineering**. 7. ed. Boston, MA: McGraw-Hill/ /Engineering/Math, 2004. 1152 p.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A new model for single-layer drying. **Drying Technology**, v. 20, p. 1503-1513, feb. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1081/DRT-120005864>. Acesso em: 29 nov. 2022.

MINAMI, K.; SUGUINO, E.; MELLO, S. C.; WATANABE, A. T. **A cultura do manjeriço**. Piracicaba: ESALQ - Divisão de Biblioteca e Documentação, 2007. 25 p. (Série Produtor Rural, n. 36).

MONTEIRO, S.D.C.; BRANDELLI, C.L.C. Farmacobotânica: aspectos teóricos e aplicação [recurso eletrônico]. Porto Alegre, RS: Artmed Editora Ltda, 2017. *E-book* (160 p.). ISBN 9788582714416.

MORAIS, L. A. S. Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. 2, p. S4050-S4063, ago. 2009. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/577686/influencia-dos-fatores-abioticos-na-composicao-quimica-dos-oleos-essenciais>. Acesso em: 20 dez. 2022.

MORAIS, T. P. S. **Produção e composição do óleo essencial de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) sob doses de cana de frango**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, 2006.

NASCIMENTO, I. B.; INNECCO, R.; MARCO, C. A.; MATTOS, S. H.; NAGAO, E. O. Efeito do horário de corte no óleo essencial de capim-santo. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 34, n. 2, p. 169-172, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v4n1.miranda>. Acesso em: 23 mai. 2023.

ORTIZ, R.S.; MARRERO, G.V.; NAVARRO, A.L.T. Instructivo técnico del cultivo de *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf (caña santa). **Revista de Plantas Medicinales**, Havana, v. 7, n. 2, 2002. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/cum-22033>. Acesso em: 26 out. 2022.

PALARETTI, L. F.; DALRI, A. B.; DANTAS, G. F.; FARIA, R. T.; SANTOS, W. F.; DOS SANTOS, M. G. Produtividade do manjeriço (*Ocimum Basilicum* L.) fertirrigado utilizando vinhaça concentrada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 9, n. 5, 2015, p. 326-334. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.7127/rbai.v9n500326>. Acesso em: 05 fev. 2023.

PANCHARIYA, P. C.; POPOVIC, D.; SHARMA, A. L. Thin-layer modelling of black tea drying process. **Journal of Food Engineering**, v. 52, n. 4, 2002, p. 349-357. Disponível em: https://www.academia.edu/23398026/Thin_layer_modelling_of_black_tea_drying_process. Acesso em: 17 nov. 2022.

PAULUS, D.; VALMORBIDA, R.; FERREIRA, S. B.; ZORZZI, I. C.; NAVA, G. A. Biomassa e composição do óleo essencial de manjeriço cultivado sob malha fotoconversoras e colhido em diferentes épocas. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 1, p. 46-53, jan./mar. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-053620160000100007>. Acesso em: 26 nov. 2022.

PICHERSKY, E.; GANG, D. R. Genetics and biochemistry of secondary metabolites in plants: an evolutionary perspective. **Trends in Plant Perspectives**, v. 5, n. 10, p. 439-445, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/s1360-1385\(00\)01741-6](https://doi.org/10.1016/s1360-1385(00)01741-6). Acesso em: 17 nov. 2022.

PINO, J. A.; ROSADO, A. Chemical composition of the essential oil of *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf, from Cuba. **Journal of Essential Oil Research**, Carol Stream, v. 12, n. 3, p. 301-2, 2000. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/10412905.2000.9699521>. Acesso em: 20 dez. 2022.

PINTO, D. A.; MANTOVANI, E. C.; MELO, E. C.; SEDEYAMA, G. C.; VIEIRA, G. H. S. Produtividade e qualidade do óleo essencial de capim-limão, *Cymbopogon citratus*, DC., submetido a diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Campinas, v. 16, n. 1, p. 54-61, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-05722014000100008>. Acesso em: 17 nov. 2022.

PORTELLA, J. A.; EICHELBERGER, L. **Secagem de grãos**. Passo Fundo: Empraba Trigo (INFOTECA-E), 2001.

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M.; RODRIGUES, S. Modelagem matemática do processo de secagem de duas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 17-26, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15871/1517-8595/rbpa.v10n1p17-26>. Acesso em: 26 out. 2022.

REZZOUG, S. A.; BOUTEKEDJIRET, C.; ALLAF, K. Optimization of operating conditions of rosemary essential oil extraction by a fast controlled pressure drop process using response surface methodology. **Journal of Food Engineering**, La Rochelle/Algiers, v. 71, n. 1, p. 9-17, 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.10.044>. Acesso em: 17 nov. 2022.

RIBEIRO, D. A.; MACÊDO, D. G.; OLIVEIRA, L. G. S.; SARAIVA, M. E.; OLIVEIRA, S. F.; SOUZA, M. M. A.; MENEZES, I. R. A. Potencial terapêutico e uso de plantas medicinais em uma área de Caatinga no estado do Ceará, nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Campinas, v. 16, n. 4, p. 912-930, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1983-084X/13_059. Acesso em: 20 dez. 2022.

RODRIGUES, V. G. S.; GONZAGA, D. S. O. M. **Manjeriço (*Ocimum basilicum* L.)**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2001. (Série Plantas Mediciniais, n. 10).

ROSADO, L. D. S.; PINTO, J. E. B. P.; BOTREL, P. P.; BERTOLUCCI, S. K. V. B.; NICULAU, E. D. S.; ALVES, P. B. Influência do Processamento da folha e tipo de secagem no teor e composição química do óleo essencial de manjeriço cv. Maria bonita. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 2, p. 291-296, mar./abr. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000200009>. Acesso em: 23 mai. 2023.

RUBIOLO, P.; SGOBINI, B.; LIBERTO, E.; CORDEIRO, C.; BICCHI, C. Essential oils and volatiles: sample preparation and analysis – a review. **Flavour and Fragrance Journal**, v. 25, n. 5, p. 282-290, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ffj.1984>. Acesso em: 05 fev. 2023.

RUSSO, M.; HONERMEIER, B. Effect of shading on leaf yield, plant parameters, and essential oil content of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, v. 7, p. 27-34, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jarmap.2017.04.003>. Acesso em: 05 fev. 2023.

SAAD, G. A.; LÉDA, P. H. D. O.; SÁ, I. M. D.; SEIXLACK, A. C. **Fitoterapia contemporânea: tradição e ciência na prática clínica**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

SAKURAI, F. N.; ESTRELA, K. C. A.; TAMAYO, M. S.; CASSEB, M. O.; NAKASATO, M. Caracterização das propriedades funcionais das ervas aromáticas utilizadas em um hospital especializado em cardiopneumologia. **Demetra**, v. 11, n. 4, p. 1097-1113, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.12957/demetra.2016.18170>. Acesso em: 06 fev. 2023.

SAITO, M. L.; SHIRLEY, S. **Plantas aromáticas e seu uso na agricultura**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 48p.

SANTOS, A. S.; ALVES, S. D. M.; FIGUEIRÊDO, F. J. C.; NETO, O. G. D. R. **Descrição de sistemas e de métodos de extração de óleos essenciais e determinação de umidade de biomassa em laboratório**. 1. ed. Belém, PA: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2004. ISSN: 1517-2244.

SERAFINE, L. A.; BARROS, N. M.; AZEVEDO, J. L. **Biotecnologia na agricultura e na agroindústria**. 1. ed. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2001. 463p.

SERAFINE, L. A.; SANTOS, A. C. A.; TOUGUINHA, L. A.; AGOSTINI, G.; DELFOVO, V. **Extrações e aplicações de óleos essenciais de plantas aromáticas e medicinais**. Caxias do Sul: EDUCS, 2002.

SILVA, L. A.; RESENDE, O.; VIRGOLINO, Z. Z.; BESSA, J. F. V.; MORAIS, W. A.; VIDAL, V. M. Cinética de secagem e difusividade efetiva em folhas de jenipapo (*Genipa americana*). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Campinas, v. 17, n. 4, p.953-963, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbpm/a/cF7GKWQX35Kk5dMhkbzrDzF/?format=pdf>. Acesso em: 20 dez. 2022.

SILVA, C. F.; **Doses de bokashi no crescimento de duas cultivares de manjeriço (*Ocimum basilicum*)**. Monografia (Graduação em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

SIMÕES, C. M. O.; SCHENKEL, E. P.; GOSMANN, G.; MELLO, J. C. P.; MENTZ, L. A.; PETROVICK, P. R. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 6. ed. Porto Alegre, RS: UFRGS; Florianópolis, SC: UFSC, 2007. 1104p.

SOARES, R. D. Influência da temperatura e velocidade do ar na secagem de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) com relação aos teores de óleo essencial e de linalol, **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1108-1113, jul./ago. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/rZsBLYLQsVhCPVjrbS6SYdp/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 26 out. 2022.

TABALDI, L. A.; VIEIRA, M. C.; ZÁRATE, N. A. H.; SILVA, L. R.; GONÇALVES, W. L. F.; PILECCO, M.; FORMAGIO, A. S. N.; GASSI, R. P.; PADOVAN, M. P. Cover crops and their effects on the biomass yield of *Serjania marginata* plants. **Ciência Rural**, v. 42, n. 4, p. 614-620, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/C3Rxt4BQvN4KhdR6HNs6msf/?lang=en&format=pdf>. Acesso em: 17 nov. 2022.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TELICI, I.; BAYRAMB, E.; YILMAZA, G.; AVCIB B. Variability in essential oil composition of Turkish basils (*Ocimum basilicum L.*). **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 34, n. 6, p. 489-497, 2006.

VELOSO, R. A.; CASTRO, H. G.; BARBOSA, L. C. A.; CARDOSO, D. P.; CHAGAS JÚNIOR, A. F.; SCHEIDT, C. N. Teor e composição do óleo essencial de quatro acessos e duas cultivares de manjeriço (*Ocimum basilicum L.*). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Campinas, v. 16, n. 2, p. 364-371, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbpm/a/ZtBMyYLMZ9Tcc3Y7dZLzSLJ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 23 mai. 2023.

VIEIRA, R. F.; SIMON, J. E. Chemical characterization of basil (*Ocimum spp.*) found in the markets and used in traditional medicine in Brazil. **Economic Botany**, v. 54, n. 2, p. 207 -216, 2000.

VIEIRA, R. H. S. F.; RODRIGUES, D. P.; GONÇALVES, F. A.; MENEZES, F. G. R.; ARAGÃO, J. S.; SOUSA, O. V. Microbicidal effect of medicinal plant extracts (*Psidium guajava Linn.* And *Carica papaya Linn.*) upon bactéria isolated from fish muscle and known to induce diarrhea in children. **Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo**, p. 145-148, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0036-46652001000300005>. Acesso em: 20 dez. 2022.

ANEXO A

Composição química do óleo essencial extraído das folhas de Capim-Limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf):

Tabela 1A – Composição química e porcentagem relativa (AREA) do óleo essencial das folhas frescas de Capim-Limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf).

TR	IRc	IRt	COMPOSTO	AREA (%)
8.005	989	988	Mirceno	10,93
18.088	1238	1.235	Neral	28,83
19.378	1268	1264	Geranial	60,24
TOTAL IDENTIFICADO				100,00

Fonte: Do autor (2023).

Tabela 2A – Composição química e porcentagem relativa (AREA) do óleo essencial das folhas secas à 40°C de Capim-Limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf).

TR	IRc	IRt	COMPOSTO	AREA (%)
8.003	989	988	Mirceno	8,12
18.100	1238	1.235	Neral	37,07
18.639	1251	1249	Geraniol	0,59
19.405	1268	1.264	Geranial	54,22
TOTAL IDENTIFICADO				100,00

Fonte: Do autor (2023).

Tabela 3A – Composição química e porcentagem relativa (AREA) do óleo essencial das folhas secas à 50°C de Capim-Limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf).

TR	IRc	IRt	COMPOSTO	AREA (%)
8.003	989	988	Mirceno	5,73
18.096	1238	1.235	Neral	38,89
19.398	1268	1264	Geranial	55,38
TOTAL IDENTIFICADO				100,00

Fonte: Do autor (2023).

Tabela 4A – Composição química e porcentagem relativa (AREA) do óleo essencial das folhas secas à 60°C de Capim-Limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf).

TR	IRc	IRt	COMPOSTO	AREA (%)
8.002	989	988	Mirceno	9,69
15.534	1180	-	Ciclohexanoacetaldeido	0,48
18.100	1238	1.235	Neral	37,02
18.632	1251	1249	Geraniol	1,22
19.402	1268	1264	Geranial	51,59
TOTAL NÃO IDENTIFICADO				0,48
TOTAL IDENTIFICADO				99,52

Fonte: Do autor (2023).

ANEXO B

Composição química do óleo essencial extraído das folhas de Manjericão (*Ocimum basilicum*):

Tabela 1B – Composição química e porcentagem relativa (AREA) do óleo essencial das folhas frescas de Manjericão (*Ocimum Basilicum*).

TR	IRc	IRt	COMPOSTO	AREA (%)
6.411	934	932	α -Pineno	0,9400
6.901	951	946	Canfeno	0,6700
7.549	973	969	Sabinene	0,77
7.743	979	974	β -Pinene	1,85
8.001	988	988	Mirceno	0,92
9.465	1029	1024	Limoneno	1,98
9.590	1033	1026	Eucaliptol	32,53
11.627	1086	1086	Terpinolina	0,33
11.771	1090	1083	Fenchone	0,56
12.143	1100	1095	Linalol	26,65
14.190	1147	1141	Cânfora	18,78
15.164	1170	1160	α -Terpineol, di-hidro	0,15
15.617	1181	1164	trans-4-Thujanol	0,33
16.235	1195	1186	α -Terpineol	3,1
23.029	1351	1356	Eugenol	5,97
26.453	1432	1432	α -trans-Bergamotene	0,22
28.435	1481	1484	Germacreno D	1,33
34.740	1642	1640	epi- α -Muurolol	2,92
TOTAL IDENTIFICADO				100,00

Fonte: Do autor (2023).

Tabela 2B – Composição química e porcentagem relativa (AREA) do óleo essencial das folhas secas à 40°C de Manjeriço (*Ocimum Basilicum*).

TR	IRc	IRt	COMPOSTO	AREA (%)
6.414	934	932	α -Pineno	0,68
6.902	951	946	Canfeno	0,48
7.551	973	969	Sabinene	0,55
7.745	980	974	β -Pinene	1,56
8.004	989	988	Mirceno	0,62
9.467	1030	1024	Limoneno	1,77
9.591	1033	1026	Eucaliptol	32,52
11.019	1070	-	Ciclopenteno, 3-(diclorometil)-4-etenil-	0,17
11.772	1090	1083	Fenchone	0,52
12.142	1100	1095	Linalol	27,32
14.191	1148	1141	Cânfora	19,09
16.238	1196	1186	α -Terpineol	2,85
23.034	1352	1356	Eugenol	6,25
26.455	1433	1432	α -trans-Bergamotene	0,59
28.439	1481	1484	Germacreno D	1,49
34.744	1642	1640	epi- α -Muurolol	3,54
TOTAL NÃO IDENTIFICADO				0,17
TOTAL IDENTIFICADO				99,83

Fonte: Do autor (2023).

Tabela 3B – Composição química e porcentagem relativa (AREA) do óleo essencial das folhas secas à 50°C de Manjeriço (*Ocimum Basilicum*).

TR	IRc	IRt	COMPOSTO	AREA (%)
7.750	980	974	β -Pinene	0,17
9.470	1030	1024	Limoneno	0,78
9.592	1033	1026	Eucaliptol	14,14
11.775	1090	1083	Fenchone	0,82
12.158	1100	1095	Linalol	46,08
14.195	1148	1141	Cânfora	17,28
15.625	1181	1164	trans-4-Thujanol	0,23
16.243	1196	1186	α -Terpineol	2,5
23.038	1352	1356	Eugenol	9,77
25.920	1420	-	Ciclohexane	0,38
26.460	1433	1432	α -trans-Bergamotene	0,97
28.443	1481	1484	Germacreno D	3,97
29.742	1513	-	1,6-Cyclodecadiene, 1-Methyl-5-Methy	0,2
34.747	1643	1640	epi- α -Muurolol	2,71
TOTAL NÃO IDENTIFICADO				0,58
TOTAL IDENTIFICADO				99,42

Fonte: Do autor (2023).

Tabela 4B – Composição química e porcentagem relativa (AREA) do óleo essencial das folhas secas à 60°C de Manjeriço (*Ocimum Basilicum*).

TR	IRc	IRt	COMPOSTO	AREA (%)
6.413	934	932	α -Pinene	0,55
6.903	951	946	Canfeno	0,44
7.552	973	1008	δ -3-Careno	0,31
7.746	980	974	β -Pinene	1,21
8.006	989	988	Mirceno	0,35
9.467	1030	1024	Limoneno	1,16
9.590	1033	1026	Eucaliptol	26,35
11.772	1090	1083	Fenchone	0,85
12.147	1100	1095	Linalol	36,03
14.191	1148	1141	Cânfora	17,67
16.239	1196	1186	α -Terpineol	1,99
23.035	1352	1356	Eugenol	6,09
25.916	1420	-	Ciclohexane	0,38
26.456	1430	1432	α -trans-Bergamotene	0,73
28.440	1480	1484	Germacreno D	3,30
29.741	1513	-	1,6-Cyclodecadiene, 1-Methyl-5-Methy	0,19
34.743	1642	1640	epi- α -Muurolol	2,40
TOTAL NÃO IDENTIFICADO				0,57
TOTAL IDENTIFICADO				99,43

Fonte: Do autor (2023).