



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE**  
**ALIMENTOS**

**LETÍCIA DE SOUZA OLIVEIRA**

**INFLUÊNCIA DOS TRATAMENTOS BANHO DE ULTRASSOM E SECAGEM**  
**COM DESCANSO NO RENDIMENTO E COMPOSIÇÃO DO ÓLEO**  
**ESSENCIAL DE ALFAVACA (*Ocimum gratissimum* L.)**

**ALEGRE – ES**

**2022**

**LETÍCIA DE SOUZA OLIVEIRA**

**INFLUÊNCIA DOS TRATAMENTOS BANHO DE ULTRASSOM E SECAGEM  
COM DESCANSO NO RENDIMENTO E COMPOSIÇÃO DO ÓLEO  
ESSENCIAL DE ALFAVACA (*Ocimum gratissimum* L.)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Luís César Silva  
Coorientador: Prof. Dr. Sérgio Henriques Saraiva

ALEGRE – ES  
2022

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de  
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

---

O48i Oliveira, Letícia de Souza, 1995-  
Influência dos tratamentos banho de ultrassom e secagem  
com descanso no rendimento e composição do óleo essencial de  
Alfavaca (*Ocimum gratissimum* L.) / Letícia de Souza Oliveira. -  
2022.  
63 f. : il.

Orientador: Luís César da Silva.

Coorientador: Sérgio Henriques Saraiva.

Tese (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) -  
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências  
Agrárias e Engenharias.

1. Plantas Medicinai. 2. Ultrassom. 3. Secagem. 4. Modelos  
matemáticos. I. Silva, Luís César da. II. Henriques Saraiva,  
Sérgio. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de  
Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 664

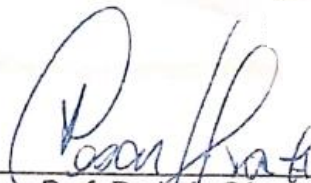
---

**LETÍCIA DE SOUZA OLIVEIRA**

**“INFLUÊNCIA DOS TRATAMENTOS BANHO DE ULTRASSOM E  
SECAGEM COM DESCANSO NO RENDIMENTO E COMPOSIÇÃO DO  
ÓLEO ESSENCIAL DE ALFAVACA (*Ocimum gratissimum* L.)”**

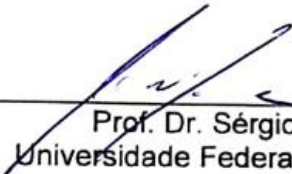
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Aprovado em 29 de Julho de 2022



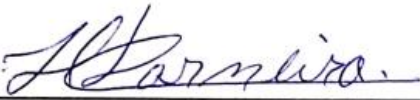
---

Prof. Dr. Luis César da Silva  
Universidade Federal de Viçosa-UFV  
Orientador



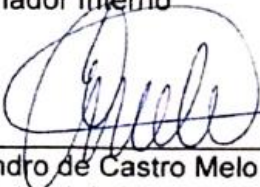
---

Prof. Dr. Sérgio Henriques Saraiva  
Universidade Federal do Espírito Santo-UFES  
Coorientador



---

Prof. Dr. Joel Camilo Souza Carneiro  
Universidade Federal do Espírito Santo-UFES  
Examinador Interno



---

Prof. Dr. Evandro de Castro Melo  
Universidade Federal de Viçosa -UFV  
Examinador Externo

Dedico esse trabalho aos meus avós,  
por terem sido a base de quem eu sou.  
Pelo exemplo de força, determinação,  
simplicidade e humildade, minha  
eterna gratidão.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por todos os dias em que estive ao meu lado me acompanhando, e se fazendo presente em cada momento feliz e mais ainda nos difíceis. A minha avó Letícia e meu avô David (*in memoriam*) por tudo durante os meus vinte e seis anos de vida, sem vocês eu jamais chegaria há lugar nenhum. Aos meus pais por todo o apoio.

Agradeço a cada pessoa que conheci durante esse período em Alegre/ES. A Dani e ao Pedro, por desde sempre me acolherem e escolherem como família, fazendo com que as dificuldades fossem sempre suportáveis, mesmo quando era difícil. Ao Pablo e Guilherme por cada noite andando de skate, e conversando sobre as maravilhas que a Geologia carrega. A Mariah e Leandro por todas os cafés da tarde, que nos faziam rir de tudo e qualquer situação. Ao Flávio por topar qualquer coisa que nos tirasse da rotina e do tédio, e por todos as delícias gastronômicas. Cada pessoa que conheci aqui se tornou parte de mim e minha família, e assim os levarei comigo sempre. Amo vocês.

Agradeço ao Adaelson, por mesmo distante nunca soltar minha mão e se fazer presente todos os dias, sinto saudades sempre. Ao Gustavo por cada ajuda e momentos bons. Ao Guilherme e Igor, por enfrentarem hora de estrada comigo para inscrição e mudança para cá, me ajudando desde os primeiros passos em busca desse sonho. A todos os meus amigos que nunca deixaram de acreditar em mim, mesmo quando eu deixava de acreditar, vocês fazem parte dessa conquista. Obrigada por tudo.

Ao meu Orientador, Professor Luís César pela paciência, disponibilidade e cada ensinamento passado, e por também me apresentar ao campo das Plantas Medicinais pelo qual criei imensa afeição. Ao meu Coorientador, Professor Sérgio, por cada vez que me ajudou e ampliou meus conhecimentos, e pela didática incrível que tanto me auxiliou.

A Carol, Tatiany e Kamaldeen por me auxiliarem na fase dos experimentos realizadas na UFV, vocês foram essenciais na condução das análises. A Soninha responsável pelo laboratório de genética pela disponibilidade e auxílio. A professora Luciana, por transmitir seu conhecimento e me auxiliar quanto as análises de composição e escrita.

A Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PCTA), pela oportunidade. A Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa.

A todos que fizeram parte desta etapa da minha vida, meu muito obrigada.

“Cada descoberta nova da ciência é uma porta nova  
pela qual encontro mais uma vez Deus, o autor dela”.

(Albert Einstein)

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	9
<b>ABSTRACT</b> .....	10
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	14
2.1 Geral .....	14
2.2 Objetivos Específicos .....	14
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	15
3.1 Plantas Medicinais .....	15
3.2 <i>Ocimum gratissimum</i> L. ....	16
3.3 Secagem de Plantas Medicinais .....	17
3.4 Óleos essenciais .....	19
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	21
4.1 Delineamento experimental e análises estatísticas dos dados .....	21
4.2 Material vegetal .....	22
4.2.1 Colheita e preparo do material .....	23
4.2.2 Determinação do teor de água dos ramos de <i>Ocimum gratissimum</i> L. ....	23
4.3 Tratamento banho de ultrassom .....	23
4.4 Tratamento secagem convectiva das folhas de <i>Ocimum gratissimum</i> L. ....	24
4.5 Ajuste de modelos matemáticos para secagem de <i>Ocimum gratissimum</i> L. ....	26
4.6 Extração do óleo essencial de <i>Ocimum gratissimum</i> L. ....	26
4.7 Composição do óleo essencial das folhas de <i>Ocimum gratissimum</i> L. ....	27
4.8 Rendimento do óleo essencial da amostra .....	28
4.9 Desejabilidade .....	28
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	30
5.1 Teor inicial de água .....	30
5.2 Cinética de Secagem .....	30
5.3 Tempo de secagem .....	40
5.4 Rendimento do óleo essencial de <i>Ocimum gratissimum</i> L. ....	47
5.5 Otimização das variáveis tempo de secagem e rendimento da extração de óleos essenciais por meio da função desejabilidade .....	51
5.6 Composição do óleo essencial das folhas de <i>Ocimum gratissimum</i> L. ....	54
<b>CONCLUSÃO</b> .....	56
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	57



## RESUMO

OLIVEIRA, Letícia de Souza Oliveira. **Influência dos tratamentos banho de ultrassom e secagem com descanso no rendimento e composição do óleo essencial de Alfavaca (*Ocimum gratissimum* L.)**. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre – ES. Orientador: Prof. Dr. Luís César da Silva. Coorientador: Prof. Dr. Sérgio Henriques Saraiva.

As plantas medicinais, condimentares e aromáticas compreendem diversas espécies que podem apresentar ações terapêuticas, conservantes em alimentos e aromatizantes devido a presença de compostos ativos. A alfavaca (*Ocimum gratissimum* L.) é uma planta amplamente utilizada, e apresenta interesse industrial devido a concentração de óleo essencial. Essa matéria-prima pode ser armazenada por longos períodos, sendo nesse caso geralmente aplicado o tratamento secagem, que se adequadamente empregado propicia a armazenagem segura e a preservação da qualidade. Para promover a redução do tempo de secagem e potencializar preservação da qualidade, pode ser adotado o tratamento de banho de ultrassom antes do tratamento de secagem, bem como a inserção de descanso durante a secagem. O tratamento banho de ultrassom leva ao rompimento de estruturas de tecidos vegetais o que pode trazer como benefícios o aumento da taxa de secagem e minimização de perda de voláteis. Quanto ao descanso o objetivo é utilizar a carga térmica contida no produto com o intuito de promover a vaporização e migração de moléculas de água das partes mais internas para as mais externas, o que poderá levar ao aumento da taxa de secagem. Sendo assim, neste estudo foi estabelecido como objetivo otimizar o processo de secagem ao minimizar o tempo de secagem e maximizar o rendimento de óleo essencial de *Ocimum gratissimum* L. Segundo um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) foram avaliados efeitos dos fatores duração do banho de ultrassom, temperatura do ar de secagem, tempo de inserção do descanso e duração do descanso o que levou a organização de 25 tratamentos. O modelo matemático que melhor descreveu a cinética de secagem foi o de Midilli. Dentro da região experimental avaliada, o ponto ótimo se deu para o tempo de secagem de 72,87 min (1,21 h) e rendimento de óleo essencial igual a 1,22%. Essa situação ocorreu para duração do banho igual a 13 min, temperatura do ar de secagem 54 °C, tempo de inserção do descanso 36,5 min e duração do descanso 21,5 min. As principais substâncias encontradas foram Eugenol (54,7 – 80,1%),  $\beta$ -Ocimeno (8,1 – 20,8%), Germacreno D (2,2 – 6,5%), E-Cariofileno (1,6 – 4,5%).

**Palavras-chaves:** *Cinética de secagem; Princípio ativo; Plantas Mediciniais.*

## ABSTRACT

OLIVEIRA, Letícia de Souza. **Influence of pre-treatment bath and ultrasound and drying with rest intervals on yield and composition of Alfavaca essential oil (*Ocimum gratissimum* L.)**. 2022. Dissertation (Master Degree in Food Science and Technology) - Federal University of Espírito Santo, Alegre - ES. Advisor: Prof. Dr. Luís César da Silva. Co-advisor: Prof. Dr. Sérgio Henriques Saraiva.

Medicinal, spicy, and aromatic plants comprise several species that may present therapeutic actions, preservatives in food, and flavorings due to the presence of active compounds. Alfavaca (*Ocimum gratissimum* L.) is a widely used plant and has industrial interest due to the concentration of essential oil. This raw material can be stored for extended periods, and generally, the drying treatment is applied, which, if properly used can provide safe storage and quality preservation. To promote the reduction of drying time and enhance quality preservation, ultrasound bath treatment can be adopted before drying treatment, as well as resting insertion during drying. Ultrasound bath treatment leads to disruption of histological structures of plant tissues which brings benefits to the increase of the drying rate and minimization of volatile loss. During rest-periods, the goal is to use the thermal load contained in the product to promote the vaporization and migration of water molecules from the innermost parts to the outermost parts, which may increase the drying rate. Thus, in this study, the objective was to optimize the drying process by minimizing drying time and maximizing the essential oil yield of *Ocimum gratissimum* L. Using a Central Composite Rotational Design (CCRD) effects of the following factors duration of the ultrasound bath, drying air temperature, rest insertion time, and duration of rest which led to the organization of 17 treatments. The mathematical model that best described drying kinetics was Midilli. Within the experimental region evaluated, the optimum point was for the drying time of 72.87 min (1.21 h) and essential oil yield equal to 1.22%. This situation occurred for bath duration equal to 13 min, drying air temperature of 54 °C, rest-period insertion time of 36.5 min, and rest-period duration of 21.5 min. The main substances found were Eugenol (54.7 – 80.1%),  $\beta$ -Ocimene (8.1 – 20.8%), Germacrene D (2.2 – 6.5%), and E-Cariofilene (1.6 – 4.5%).

**Keywords:** Drying kinetics; Active plant ingredients; Medicinal plants.

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização de produtos naturais pode trazer benefícios à saúde em razão da concentração de princípios ativos, como os presentes em Plantas Medicinais, Condimentares e Aromáticas - PMCA. Desse modo, as PMCA apresentam alto potencial de uso pelas indústrias de alimentos, farmacêutica e de perfumaria.

As PMCA, são diferenciadas segundo seu uso principal, podendo ser utilizadas para as três finalidades. As plantas medicinais de acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), contém substâncias ou classe de substâncias, com efetivas ações terapêuticas (BRASIL, 2010). As plantas condimentares destinam a realçar sabor, e ou serem empregadas como conservante em alimentos. As plantas aromáticas são caracterizadas por possuírem aroma capaz de estimular o olfato (SENAR, 2017).

No Brasil, o uso das PMCA inicialmente partiu dos indígenas, e com a disseminação de conhecimento foi gerada ampliação e aprimoramento do uso e dos processos envolvidos com plantas medicinais, condimentares e aromáticas ao longo das gerações. Os princípios ativos presentes no óleo essencial obtido a partir dessas plantas podem possuir ação antibacteriana, antifúngica e antioxidante, podendo ser eficazes contra microrganismos como *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosae*, levando a uma alternativa natural para conservação de alimentos, diminuindo assim o uso de aditivos sintéticos nos produtos (MATASYOH et al., 2007; LUZ et al., 2009; MILLEZI et al., 2014).

A concentração do princípio ativo de cada espécie de plantas medicinais a princípio está altamente associada a características genéticas, no entanto, procedimentos como época de plantio, tratos culturais, horário da colheita, e a secagem, se conduzidos apropriadamente, podem potencializar a produção desses princípios.

O gênero *Ocimum*, com aproximadamente trinta espécies, é amplamente utilizado na obtenção de óleos essenciais. Dentre essas espécies, o *Ocimum gratissimum* L., popularmente conhecido como alfavaca, alfavacão, ou alfavaca-cravo, possui aroma forte e agradável, e potencial fonte de antioxidantes naturais, como o eugenol. Além dos constituintes majoritários timol e eugenol, podem estar na composição do óleo essencial compostos, como 1,8-cineol, metil-eugenol, p-cimeno, cis-ocimeno, cis-cariofileno, cinamato de metila e y-terpineno (ZOTTI, 2016; LUZ et al., 2009; BORGES et al., 2012; PEREIRA, MAIA, 2007; SOUZA et al., 2021).

Óleos essenciais são substâncias voláteis, geralmente odoríferas e líquidas, produzidas pelo metabolismo secundário de vegetais, que constituem importante matéria-

prima para as indústrias alimentícia, farmacêutica e de perfumaria. Para se proceder à extração de óleos essenciais, primeiramente é recomendada a secagem, onde é possível remover parte da água contida no produto a níveis que permitam um armazenamento seguro da matéria-prima até o momento da extração. A secagem é uma das operações da pós-colheita que pode alterar o rendimento na extração do óleo essencial, devido a volatilidade de alguns compostos, bem como composição dos princípios ativos originários das plantas (COSTA et al., 2009; GASPARIN, et al., 2014; LUZ et al., 2009, LIMA, CARDOSO, 2007).

A conservação da matéria-prima pela secagem se deve principalmente ao fato de que bactérias, fungos, enzimas e outros mecanismos metabólicos necessitam de água para realizar suas atividades. Assim a redução do teor de água é indispensável após a colheita, para se ter um armazenamento seguro. Com a redução da água disponível, a atividade de água, que é um importante parâmetro para conservação de alimentos, e conseqüentemente as reações químicas, serão reduzidas no produto. Produtos desidratados apresentam atividade de água baixa. Nesta situação, a água se encontra fortemente ligada a constituintes não aquosos, e não está disponível para reações deteriorantes. O teor de água adequado para armazenamento de plantas medicinais deve ser inferior a 8% (CARVALHO et al., 2010; PACHÚ, 2007; BARBOSA et al., 2006).

A escolha do método ideal de secagem deve estar associada a fatores como as propriedades físicas e biológicas do produto, estabilidade dos princípios ativos e custo da operação. Os limites da temperatura e vazão do ar de secagem, bem como o modelo de secador a ser empregado devem ser definidos de acordo com a sensibilidade dos compostos químicos presentes e suas estruturas armazenadoras. Normalmente o teor de água das plantas medicinais, condimentares e aromáticas, por ocasião da colheita pode variar de 60% a 80% b.u. (CARVALHO et al., 2010; PACHÚ, 2007; LUZ et al., 2009; BARBOSA et a., 2006).

Para otimizar a secagem pode-se aplicar o descanso durante o processo, que consiste em alternar períodos de secagem constante com um período de descanso. Durante o descanso, a amostra é retirada do secador e armazenada em sistema fechado, preservando seu calor até o retorno para o secador. A água no centro do produto tende a migrar para a superfície durante esse período, o que pode reduzir o tempo de secagem, e propiciar a preservação da qualidade. A dessorção da água é promovida pela própria carga térmica do produto, o que ocasionará no aumento da taxa de secagem no próximo período de exposição ao ar de secagem. Outro efeito, é a redução da temperatura do produto ao final

do processo, pois o aporte de calor proveniente do ar de secagem será preferencialmente empregado como calor latente ao invés de calor sensível (SOUSA et al., 2015; RADUNZ et al., 2011; BARBOSA et al., 2006).

Na condução da secagem pode-se empregar como pré-tratamento o banho de ultrassom, que é utilizado por ser capaz de aumentar a disponibilidade de energia e acelerar a transferência de massa no produto, sem alterar suas características principais, além de evitar um aumento desnecessário da temperatura no momento da secagem. Seu uso é conveniente para acelerar o processo de secagem de materiais que são mais sensíveis ao calor, como as plantas medicinais, condimentares e aromáticas fazendo com que a água seja removida com mais eficiência e rapidez durante o período de secagem (ZOTTI, 2016; VERRUCK; PRUDENCIO, 2018).

O ultrassom é definido como som em frequência acima de 16 kHz, não audível quando transmitido através do ar. A energia elétrica é transformada em energia sonora pelos transdutores do equipamento, formando bolhas que aumentam em tamanho máximo e entram em colapso, gerando choque entre as folhas e sendo capaz de causar uma série de compressões e expansões, rompendo suas estruturas e formando micro canais que facilitam o processo de secagem (OLIVEIRA, 2017).

Desse modo, na condução desta pesquisa o objetivo foi avaliar os efeitos da utilização dos tratamentos banho de ultrassom seguido da secagem com descanso no rendimento e composição do óleo essencial de alfavaca (*Ocimum gratissimum* L.).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Avaliar o rendimento e composição do óleo essencial em folhas de alfavaca (*Ocimum gratissimum* L.) submetidas aos tratamentos banho de ultrassom e a secagem convectiva com intervalo de descanso.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Avaliar os efeitos das seguintes variáveis operacionais:
  - Tempo de aplicação do tratamento banho de ultrassom,
  - Temperatura do ar secagem,
  - Tempo para inserção do período de descanso, e
  - Tempo de duração do período de descanso.
- Definir as condições operacionais que possibilitem a maximização do rendimento e da composição;
- Estabelecer parâmetros operacionais quanto ao emprego dos tratamentos;
- Identificar os compostos ativos presentes no óleo essencial da alfavaca.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 Plantas Medicinais**

As Plantas Medicinais, condimentares e aromáticas (PMCA) são diferenciadas por sua finalidade e uso principal, podendo uma única planta apresentar as três características. As plantas medicinais são utilizadas na prevenção e alívio de doenças, por conterem substâncias ou classes de substâncias benéficas ao organismo. As plantas aromáticas são amplamente utilizadas para aromatizar ou realçar sabores, usados tanto na indústria alimentícia quanto na cosmética. As plantas condimentares são usadas para dar sabor, aroma e cor aos alimentos. O Brasil é detentor de uma grande variedade de PMCA, e seu uso tem influência indígena, africana e europeia (BRASIL, 2010; SENAR, 2017; AZEVEDO; MOURA, 2010).

Essas plantas passam por dois processos, metabolismo primário e secundário. No metabolismo primário os compostos presentes são responsáveis pelo crescimento, desenvolvimento e reprodução da planta. Já no metabolismo secundário, são formados compostos que definem a interação da planta com o meio externo, sendo relacionados à sua sobrevivência exercendo papel de defesa contra ataques de patógenos, pragas, doenças e insetos, atração de organismos benéficos, entre outros (SANTANA et al., 2021; SANTOS et al., 2007; MAIA; DONATO; FRAGA, 2015; OLIVEIRA et al.; 2022; RIBEIRO, 2015).

O teor desses compostos presentes nas plantas pode ser afetado pela variabilidade genética, idade da planta e estágio de desenvolvimento (como a floração), fatores agrônômicos, ambientais e técnicos. A prática de cultivo proporciona o crescimento de plantas mais uniformes, uma vez que cada espécie cultivada difere quanto a região e clima ideal. Nas plantas são utilizadas partes dela ou integralmente, de acordo com a espécie. O horário da colheita influencia na qualidade da matéria-prima e é específico para cada tipo de planta. Algumas plantas produzem mais quando colhidas pela manhã e outras a tarde. A colheita deve ser realizada em dias ensolarados a secos, porém não na hora mais quente do dia, evitando a desidratação de folhas e flores, e conseqüentemente a perda de qualidade do produto. Também devem ser evitados períodos de alta umidade, pois a água interfere na quantidade de princípio ativo, além de elevar os custos com o beneficiamento (SENAR, 2017; JUNIOR; SCHEFFER, 2013; AZEVEDO; MOURA, 2010).

As Plantas Medicinais são amplamente utilizadas, e chamam a atenção quanto a sua aplicação efetiva devido à presença desses compostos ativos que podem trazer benefícios à saúde humana. Devido a esse interesse em fitoterápicos, medicamentos obtidos de matérias-primas vegetais, são notados avanços científicos quanto a estudos químicos,

alimentícios e farmacológicos de Plantas medicinais (BORGES et al., 2012; BANDEIRA et al., 2011; VILANOVA et al., 2019). O decreto Nº 5813, de 22 de junho de 2006 (BRASIL, 2006) garante o acesso e uso de Plantas Medicinais e Fitoterápicos, auxiliando em processos como regulamentação do cultivo, manejo sustentável, produção e distribuição, além de pesquisa e desenvolvimentos tecnológicos na área. A Portaria Interministerial Nº 2960 de 09 de dezembro de 2008 (BRASIL, 2008) aprova o Programa Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos, sendo essencial para práticas de inserção de Plantas Medicinais ao Sistema Único de Saúde – SUS. Essas políticas são promissoras em relação ao uso e a pesquisa utilizando Plantas Medicinais e seus extratos, priorizando a biodiversidade do país.

O estudo dos constituintes presentes nesses materiais, envolvem variações no manejo do ambiente, produção, conservação dos compostos, e fatores como umidade relativa, radiação solar, temperatura, estresse hídrico, estando ligados diretamente a quantificações de compostos ativos. Um baixo fornecimento de luz pode diminuir a produção de monoterpenos em determinadas espécies, e variações diárias podem estimular ou reduzir a produção de terpenóides. Durante o beneficiamento, o processo de secagem também pode interferir devido à sensibilidade desses compostos a altas temperaturas (LUZ et al., 2009; JUNIOR; SCHEFFER, 2013).

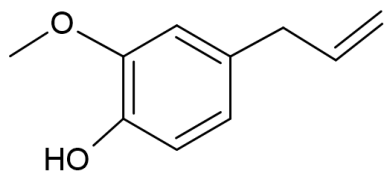
### **3.2 *Ocimum gratissimum* L.**

O *Ocimum gratissimum* L., popularmente conhecido como alfavaca, alfavacão, ou alfavaca-cravo, é uma planta nativa da África e Ásia tropical que possui aroma forte e agradável, e potencial fonte de antioxidantes naturais e de seus compostos ativos em mais elevados teores, o eugenol e o timol. Além desses constituintes majoritários ocorre também a presença de terpenos e esteroides, quinonas, flavonoides, saponinas e taninos nas folhas e raízes desta espécie, podendo apresentar compostos como o 1,8-cineol, metil-eugenol, p-cimeno, cis-ocimeno, cis-cariofileno, cinamato de metila e  $\gamma$ -terpineno (PEREIRA; MAIA, 2007; SOUZA et al., 2021; GONTIJO; FIETTO; LEITE, 2014; DZOYEM et al., 2021).

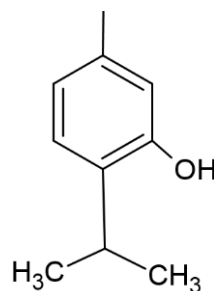
Pode ser encontrada em diversas regiões do país, sendo utilizada para tratamento de diversas enfermidades, podendo também seu óleo essencial ser utilizado como potencial fungicida e forte ativo antioxidante. Essa atividade antioxidante é devido à presença de seus compostos. Existem dois tipos da planta, as que são ricas em timol, 2-isopropil-5-metilfenol, monoterpeno isômero do carvacrol, e as que são ricas em eugenol, 4-hidroxi-3-



metoxialilbenzeno, que é um etilbenzeno (VILANOVA et al., 2019; PEREIRA; MAIA, 2007).



(I) Estrutura Molecular - Eugenol



(II) Estrutura Molecular – Timol

Fonte: Autor, 2022.

A alfavaca é uma planta de clima quente ou ameno, que não se adapta em solos com umidade elevada, sendo necessário que se ague diariamente sem formar lama em seu entorno. Sua época de plantio ideal varia de acordo com a região, sendo preferível as regiões ou épocas mais quentes. São recomendadas colheitas por volta de 11 e 13 horas, sendo o momento que o teor de eugenol está mais elevado nas plantas (CRUZ; BEZERRA, 2017; PASSOS, 2019).

### 3.3 Secagem de Plantas Mediciniais

A secagem é um tratamento térmico em que pela redução do teor de água do produto busca-se a preservação de sua qualidade ao longo do período de armazenamento. Plantas Mediciniais, condimentares e aromáticas normalmente possuem estruturas histológicas sensíveis à exposição a temperaturas elevadas por longo período de tempo, o que pode levar a degradação da qualidade quanto a princípios ativos e a composição dos óleos essenciais (SOUZA et al., 2020).

Devido às diferenças histológicas das plantas medicinais são necessárias condições específicas para aplicação do tratamento de secagem (NG; YONG; LIM, 2020; LI et al., 2021). Queiroz et al. (2018) observaram maior rendimento no teor de óleo essencial de seu composto ativo principal, o timol, na secagem das folhas a 40 °C. Storck e Deschamps (2011) encontraram níveis satisfatórios de seu composto ativo principal no óleo essencial extraído de Patchouli em amostras secas em estufa a 65 °C.

O processo de secagem diminui a quantidade de água, reduzindo assim a chance de deterioração do produto, uma vez que a água auxilia na proliferação de microrganismos e reações químicas nos produtos. Esse processo pode ser realizado até que a planta atinja

umidade entre 8% a 12%, variando de acordo com a espécie utilizada. Em Plantas Medicinais que detêm compostos ativos que são voláteis, a temperatura utilizada na secagem influencia diretamente na qualidade do produto. Durante o processo de secagem, as plantas podem sofrer alterações associadas aos fatores extrínsecos e intrínsecos ao processo, como o tratamento empregado a partir da temperatura e umidade relativa do ar de secagem, velocidade do ar de secagem, uso de descanso, e fatores como histologia e morfologia, a forma de retenção de água e dos compostos voláteis.

Existem outros processos que podem ser feitos com o intuito de acelerar o processo da secagem, como a aplicação de ultrassom, eficiente etapa que pode trazer vantagens quanto ao tempo de secagem de amostras vegetais. Existem estudos sobre a ultrassom ser capaz de aumentar a difusividade efetiva da água, reduzindo seu tempo de desidratação (INFANTE, 2021).

O tratamento com ultrassom preserva a microestrutura de produtos vegetais quando associado à secagem, sendo um processo efetivo e promissor, podendo reduzir até 57% do tempo da secagem. O aumento de temperatura pode auxiliar na diminuição desse tempo, porém, a estrutura das plantas é sensível a esse aumento, podendo causar uma perda na qualidade química dos óleos essenciais. O tratamento utilizando ultrassom pode causar uma expansão e compressão nas folhas, provocadas pela cavitação, onde são geradas ondas que irão resultar num rompimento do tecido celular formando assim micro canais que facilitam a perda de água durante o processo de secagem (VERRUCK; PRUDENCIO, 2018; SOUZA, 2016; IZIDORO, 2011; AZOUBEL et al., 2010).

Oliveira et al. 2022 estudaram o rendimento na extração de óleo essencial de pimenta rosa, com pré-tratamento com potências de 30%, 50% e 70%, apresentando rendimento significativo em 50% e 70%, sem mudanças quanto à concentração de princípios ativos. Oliveira (2017) avaliou a influência do pré-tratamento com ultrassom no tempo de secagem, rendimento e composição química do óleo essencial de *Varronia curassavica Jacq.*, sendo que o pré-tratamento não influenciou quanto ao rendimento e à qualidade, mas foi efetivo na velocidade da secagem.

São necessários estudos na área de processos de secagem e possíveis pré-tratamentos, visando a otimização do processo de maneira efetiva.

### 3.4 Óleos essenciais

De acordo com a RDC N° 2, de 15 de Janeiro de 2007, óleos essenciais são produtos voláteis de origem vegetal obtidos por processo físico, podendo apresentar isoladamente ou misturados entre si compostos químicos (princípios ativos). Tem em sua composição compostos voláteis, produzidos pela planta da qual foi extraído, que são misturas complexas, sendo formados na maior parte das vezes por compostos fenólicos, terpenos e sesquiterpenos. Essas substâncias orgânicas são provenientes do metabolismo secundário das plantas, que tem funções como proteção contra insetos, e quando presentes em óleos essenciais podem auxiliar na ação como antioxidante, antifúngica e antimicrobiana, por exemplo (RIBEIRO, 2015; MAIA; DONATO; FRAGA, 2015).

Os óleos essenciais são substâncias naturais e aromatizantes, extraídas de plantas na maior parte das vezes por destilação por arraste com vapor d'água. Se diferem quanto a composição química, características físico-químicas e odores, mesmo quando extraídos da mesma planta, podem apresentar diferentes características dependendo da parte utilizada (BORGES et al., 2012; VILANOVA et al., 2019).

Podem ser extraídos de diversas partes da planta, como flores e folhas ou ambos, podendo apresentar características físico-químicas variadas. A composição química de um óleo essencial vai variar não somente pela diversidade da planta, como também em uma mesma amostragem demonstrar composição diferenciada a partir da época de colheita, período do ano, horário, fatores ambientais, entre outros. O rendimento do óleo essencial é influenciado diretamente pela luz, podendo as condições climáticas e a disponibilidade de água afetar no metabolismo secundário da planta, provocando assim essa variação da composição, a depender das condições (PEREIRA; MAIA, 2007; BORGES et al., 2012).

Dentre os compostos majoritários presentes no óleo essencial de *O. gratissimum*, está o eugenol. Denominado 4-Alil-2-Metoxifenol pela International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), o eugenol (C<sub>10</sub>H<sub>12</sub>O<sub>2</sub>), é um fenilpropanóide, que possui poder antioxidante, anticarminativo, antiviral, antifúngico, antiespasmódico, antisséptico e antimicrobiano, além de promisso no controle de fitopatogênicos. Também pode ser usado em alimentos, sendo liberado pela Food and Drug Administration (FDA). Faz parte da classe dos fenilpropenos, sendo um forte antibacteriano, podendo ser inserido em alimentos e também em embalagens (PEREIRA; MAIA, 2007; SOUSA NETO, 2018; SANTOS et al., 2007; SANTANA et al., 2021).

Além do Eugenol, outros compostos se apresentam no extrato de *O. gratissimum* como o  $\beta$ -Ocimeno, um monoterpene encontrado em plantas, sendo um composto volátil

que, antes da extração quando ainda na planta, tem como função a defesa contra pragas e insetos, além de expressar atividade antioxidante (ZENG et al., 2017). O  $\beta$ -Cariofileno é um sesquiterpeno bicíclico, sintetizado pelas espécies vegetais, sendo um importante composto presente em óleos essenciais. Exerce função antiinflamatória, antioxidante e antimicrobiana. A abundância de substâncias voláteis provém do metabolismo dos isoprenoides, que culmina na formação do sesquiterpeno cujo precursor é o farnesil difosfato. Esse precursor, com ação de enzimas ativadas pelo oxigênio forma o trans-cariofileno, germacreno-D, alfa-humuleno, entre outros compostos voláteis (RIBEIRO, 2015; BANDEIRA et al., 2011; XAVIER et al., 2016; MARONDE et al., 2020).

Os óleos obtidos a partir de plantas do gênero *O. gratissimum* são abordados em diversos estudos microbiológicos por sua ação efetiva, principalmente contra *Staphylococcus aureus* e *E. coli* (VILANOVA et al., 2019; SANTOS et al., 2007; RIBEIRO, 2015).

#### **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

A execução dos trabalhos se deu em três fases: Fase 1: Colheita da matéria-prima; Fase 2: Coleta de dados da aplicação de banho de ultrassom seguida do processo de secagem; Fase 3: Extração e identificação da composição química do óleo essencial.

##### **4.1 Delineamento experimental e análises estatísticas dos dados**

A condução dos ensaios foi realizada segundo um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) considerando quatro fatores com os seguintes limites: duração do banho de ultrassom de 0 a 20 min, temperatura do ar de secagem de 40 a 80 °C, tempo de inserção do descanso de 8 a 38 minutos após o início da secagem, e duração do descanso de 8 a 38 minutos. Desse modo, foi calculado a necessidade de 25 tratamentos, sendo: dezesseis pontos fatoriais, oito pontos axiais e um ponto central (Tabela 1). O valor adotado de  $\alpha$  foi 2,00. Para o tratamento 17, ponto central, foram realizadas três repetições, enquanto para os demais uma, totalizando 27 ensaios.

**Tabela 1** - Valores codificadas (C1, C2, C3 e C4) e não codificadas para variáveis fixas duração do banho de ultrassom, temperatura do ar de secagem, duração do descanso e momento de inserção do descanso segundo um Delineamento Composto Central Rotacional.

Tratamento	Duração do banho de ultrassom		Temperatura do ar de secagem		Tempo de Inserção do descanso (min)		Duração do descanso (min)		Repetições
	C1	(min)	C2	(°C)	C3	(min)	C4	(min)	
1	-1	5	-1	50	-1	15	-1	15	1
2	1	15	-1	50	-1	15	-1	15	1
3	-1	5	1	70	-1	15	-1	15	1
4	1	15	1	70	-1	15	-1	15	1
5	-1	5	-1	50	-1	15	1	30	1
6	1	15	-1	50	-1	15	1	30	1
7	-1	5	1	70	-1	15	1	30	1
8	1	15	1	70	-1	15	1	30	1
9	-1	5	-1	50	1	30	-1	15	1
10	1	15	-1	50	1	30	-1	15	1
11	-1	5	1	70	1	30	-1	15	1
12	1	15	1	70	1	30	-1	15	1
13	-1	5	-1	50	1	30	1	30	1
14	1	15	-1	50	1	30	1	30	1
15	-1	5	1	70	1	30	1	30	1
16	1	15	1	70	1	30	1	30	1
17	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>60</b>	<b>0</b>	<b>23</b>	<b>0</b>	<b>23</b>	<b>3</b>
18	-2	0	0	60	0	23	0	23	1
19	2	20	0	60	0	23	0	23	1
20	0	10	-2	40	0	23	0	23	1
21	0	10	2	80	0	23	0	23	1
22	0	10	0	60	0	23	-2	8	1
23	0	10	0	60	0	23	2	38	1
24	0	10	0	60	-2	8	0	23	1
25	0	10	0	60	2	38	0	23	1

#### 4.2 Material vegetal

A alfavaca (*Ocimum gratissimum* L.) foi cultivada em sistema orgânico no Campo Experimental Vale do Piranga (CEVP-EPAMIG), localizado na cidade de Oratórios-MG (20° 25' 49" S; 42° 48' 20" W), com exsicata sob registro PAMG 57857. Foram colhidas as folhas juntamente das flores no período de floração como representado na Figura 1, com ramos de aproximadamente 20 cm (parte aérea da planta) com auxílio de tesoura própria para colheita.



Figura 1 – Ramos de *Ocimum gratissimum* L.

Fonte: Autor, 2022.

#### **4.2.1 Colheita e preparo do material**

A colheita foi realizada no mês de março de 2022, no período entre as 8 e 9 horas da manhã. As folhas, que foram colhidas junto com o caule foram encaminhadas para o Laboratório de Pós-colheita de Plantas Medicinais, Condimentares e Aromáticas, do Departamento de Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, embaladas em sacos de polietileno preto. Após a desfolha, foram armazenadas 27 amostras contendo 350 gramas de folha embaladas em sacos de Nylon Poli, em câmara climatizada tipo B.O.D. a 5 °C, até o momento da secagem.

#### **4.2.2 Determinação do teor de água dos ramos de *Ocimum gratissimum* L.**

A determinação do teor de água dos ramos foi realizada após a colheita, sendo pesados 10 g das folhas frescas, e colocados em estufa com circulação forçada do ar, a temperatura de 105 °C, até atingir peso constante. Os ensaios foram realizados em triplicata, e os valores do teor inicial de água das amostras foram calculados conforme método gravimétrico.

#### **4.3 Tratamento banho de ultrassom**

Para condução desse tratamento, banho de ultrassom, foi utilizado o equipamento da marca Elmasonic E, modelo E300H, com capacidade de 20,6 L, com dimensões internas (LxPxA): 505 x 300 x 200 mm, faixa de frequência de 37 kHz a 80 kHz e potência 800 Watts.

No uso do equipamento optou-se pela frequência de 37 kHz, imersão por inteiro da amostra em água destilada e condução do tratamento em temperatura ambiente visando a preservação da qualidade do material vegetal (Figura 2).



Figura 2 – Folhas de *Ocimum gratissimum* L. durante o pré-tratamento com ultrassom.

Fonte: Autor, 2022.

#### 4.4 Tratamento secagem convectiva das folhas de *Ocimum gratissimum* L.

Nos ensaios de secagem foram utilizados quatro secadores experimentais de leito fixo, equipados com resistores elétricos com potência total de 7.500 W e ventiladores axiais de 48 W (Figura 3). Na operação dos secadores, a velocidade do ar foi fixada em  $1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .



Figura 3 – Secadores utilizados no experimento para secagem das folhas de *O. gratissimum*.

Fonte: Autor, 2022.

As amostras de folhas foram dispostas em cestos cilíndricos confeccionados em tela metálica e colocadas nas câmaras cilíndricas. Em cada experimento foram utilizados 350



g de folhas de *O. gratissimum* pesados em balança analítica de precisão, e onde se teve o cuidado de remover partes danificadas, ou materiais estranhos entre as amostras.

Na condução de cada ensaio foi inserido um período de descanso em um dado momento do decorrer do processo. A duração dos tempos de descanso, bem como os momentos de inserção em cada ensaio são representados na Tabela 1.

No período de descanso, o cesto contendo as folhas de alfavaca era removido da câmara de secagem e acondicionado em uma caixa de EPS (Isopor), Figura 4, com a tampa fechada. A adoção desse procedimento visa reduzir o tempo de secagem e consequentemente reduzir o tempo de exposição do material vegetal às condições psicrométricas do ar de secagem, o que pode levar a uma melhor preservação da qualidade do produto.



Figura 4 – Cesto com amostras acondicionado em caixa de EPS durante o período de descanso.

Fonte: Autor, 2022.

Para condução do estudo da cinética de secagem, na obtenção dos dados experimentais foram estabelecidos os seguintes intervalos de pesagem: a cada 5 minutos antes da inserção do descanso, e a cada 10 minutos após esse período até atingir o valor da massa calculada em função do teor de água inicial e o teor de água final fixado em 11,0% b.u.

O material desidratado foi armazenado em embalagens de Nylon Poli a vácuo como embalagem primária para preservação dos compostos, e embalagem de papel Kraft como secundária, protegendo assim da luz e preservando o material até o momento da extração dos óleos essenciais, Figura 5.



Figura 5 – Amostras embaladas após a secagem.

Fonte: Autor, 2022.

#### 4.5 Ajuste de modelos matemáticos para secagem de *Ocimum gratissimum* L.

Os modelos matemáticos utilizados para descrever as curvas de secagem estão listados na Tabela 2. Para a discussão e comparação dos ajustes, foram empregados o Coeficiente de Determinação Ajustado ( $R^2_{ajd}$ ) e Erro Padrão de Regressão (S).

Tabela 2 – Modelos matemáticos para descrever o processo de secagem das folhas de *Ocimum gratissimum* L. (Alfavaca).

Designação	Modelo
Lewis (LEWIS, 1921)	$RU = e^{-kt}$
Page (PAGE, 1949)	$RU = e^{(-kt^n)}$
Henderson e Pabis (HENDERSON E PABIS, 1961)	$RU = a e^{-kt}$
Midilli (MIDILLI et al., 2002)	$RU = a e^{-kt^n} + bt$

em que:

RU: Razão de Umidade (adimensional);

t: Tempo de secagem (min);

k: Constante de secagem ( $\text{min}^{-1}$ );

a, n, b: Constantes dos modelos (adimensional).

#### 4.6 Extração do óleo essencial de *Ocimum gratissimum* L.

As extrações do óleo essencial das amostras secas de *O. gratissimum* L. foram realizadas segundo o método da hidrodestilação, utilizando aparelho Clevenger, adaptado ao balão volumétrico de fundo redondo com capacidade de 2 L no Laboratório de Genética

e Melhoramento do Departamento de Agronomia na Universidade Federal do Espírito Santo *campus* Alegre – ES.



Figura 6 – Aparelhos de destilação do tipo Clevenger.

Fonte: Autor, 2022.

Em cada extração foram utilizadas 80 gramas das folhas secas de *O. gratissimum* L. e o restante do volume do balão foi completo com água destilada. Após o término da extração, o óleo foi recolhido com auxílio de uma pipeta juntamente com o hidrolato (mistura da água condensada durante o processo de extração mais o óleo) e foi centrifugado para separação das fases (água e óleo) por diferença de massa específica, possibilitando a pipetagem do óleo essencial puro. O material final foi armazenado em vidros de cor âmbar, envolvidos em papel alumínio e conservados em refrigeração para a próxima etapa (Figura 6).

#### **4.7 Composição do óleo essencial das folhas de *Ocimum gratissimum* L.**

As amostras dos óleos essenciais foram analisadas por cromatografia gasosa com detector de ionização em chamas (CG-DIC), aparelho da marca Shimadzu (GC – 2010 Plus), e por cromatografia gasosa acoplada ao detector de espectrometria de massas (CG – EM), equipamento da marca Shimadzu (QPMS – 2010), seguindo a metodologia adaptada de Souza et al. (2017). Foram utilizados 20 µl do óleo essencial e 1 mL de Etanol P.A., adicionados em vials (Figura 6), sendo as análises realizadas nos Laboratórios de Química 1 (LQ1) e Central Analítica na Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre – ES.

Em ambas as análises foram empregadas colunas capilares de sílica fundida (30 m x 0,25 mm) com fase estacionária Rtx®-5MS (0,25 µm de espessura do filme). Como gases de arraste foram utilizados o nitrogênio para análise em GC/DIC e o gás hélio para a análise de CG/EM, com fluxo de 3,0 mL/min.

A temperatura do forno seguiu a programação de rampa de temperatura, permanecendo os 3 minutos iniciais à 40 °C e em seguida aumentou 3 °C/minuto até atingir 240 °C, mantendo-se nesta temperatura por 5 minutos. A temperatura do injetor foi mantida em 250 °C e a temperatura do detector em 280 °C. A razão de split foi de 1:30.

A identificação dos componentes foi realizada pela comparação de seus espectros de massas com espectros disponíveis no banco de dados das espectrotecas Willey7, NIST05, NIST05s, NIST12 e NIST62 e através do cálculo do Índice de Retenção (IR). Para o cálculo do IR, foi utilizada uma mistura homóloga de n alcanos lineares (C7 a C40) e o valor calculado para cada composto foi comparado com valores da literatura (ADAMS, 2007). Foram identificados os compostos presentes nos óleos essenciais com área relativa superior a 1,0%.



Figura 7 – Primeiro frasco: amostra de óleo essencial de *Ocimum gratissimum* L.; Segundo frasco: a amostra empregada na análise da composição.

Fonte: Autor, 2022.

#### 4.8 Rendimento do óleo essencial da amostra

O rendimento do óleo essencial extraído das folhas de *Ocimum gratissimum* L., em base seca, foram calculados segundo a Equação 1.

**Erro! Fonte de referência não encontrada.**

#### 4.9 Desejabilidade

Uma vez que as condições ótimas para as diferentes variáveis respostas foram distintas, foi feita uma otimização simultânea de múltiplas variáveis respostas, por meio da função desejabilidade (DERRINGER; SUICH, 1980)

Sendo assim, cada variável resposta  $y_i$ , rendimento de óleo essencial e tempo de secagem foi convertida em uma função desejabilidade individual,  $d_i(y_i)$  no intervalo definido  $0 \leq d_i \leq 1$ , em que para a maximização da variável resposta rendimento na

extração do óleo foi utilizada a Equação 2 e para minimização da variável tempo de secagem a Equação 3.

$$d_i = \begin{cases} 0 & \hat{y}_i < L_i \\ \left(\frac{\hat{y}_i - L_i}{T_i - L_i}\right)^{r_i} & L_i \leq \hat{y}_i \leq T_i \\ 1 & \hat{y}_i > T_i \end{cases} \quad \text{Equação 2}$$

$$d_i = \begin{cases} 1 & \hat{y}_i < T_i \\ \left(\frac{U_i - \hat{y}_i}{U_i - T_i}\right)^{r_i} & T_i \leq \hat{y}_i \leq U_i \\ 0 & \hat{y}_i > U_i \end{cases} \quad \text{Equação 3}$$

em que

$T_i$  – valor alvo para a  $i$ -ésima variável resposta

$U_i$  – valor máximo admissível para variável resposta a ser minimizada

$L_i$  – valor mínimo admissível para variável resposta a ser maximizada

Foi utilizada a função desejabilidade linear ( $r_i = 1 \forall i$ ). O cálculo do valor da desejabilidade global,  $D$ , (Equação 4) foi realizado com base em cada valor de desejabilidade individual, para as duas variáveis respostas ( $N = 2$ ). A condição ótima será a que apresentar maior desejabilidade global.

$$D = \left(\prod_{i=1}^N d_i\right)^{1/N} \quad \text{Equação 4}$$

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

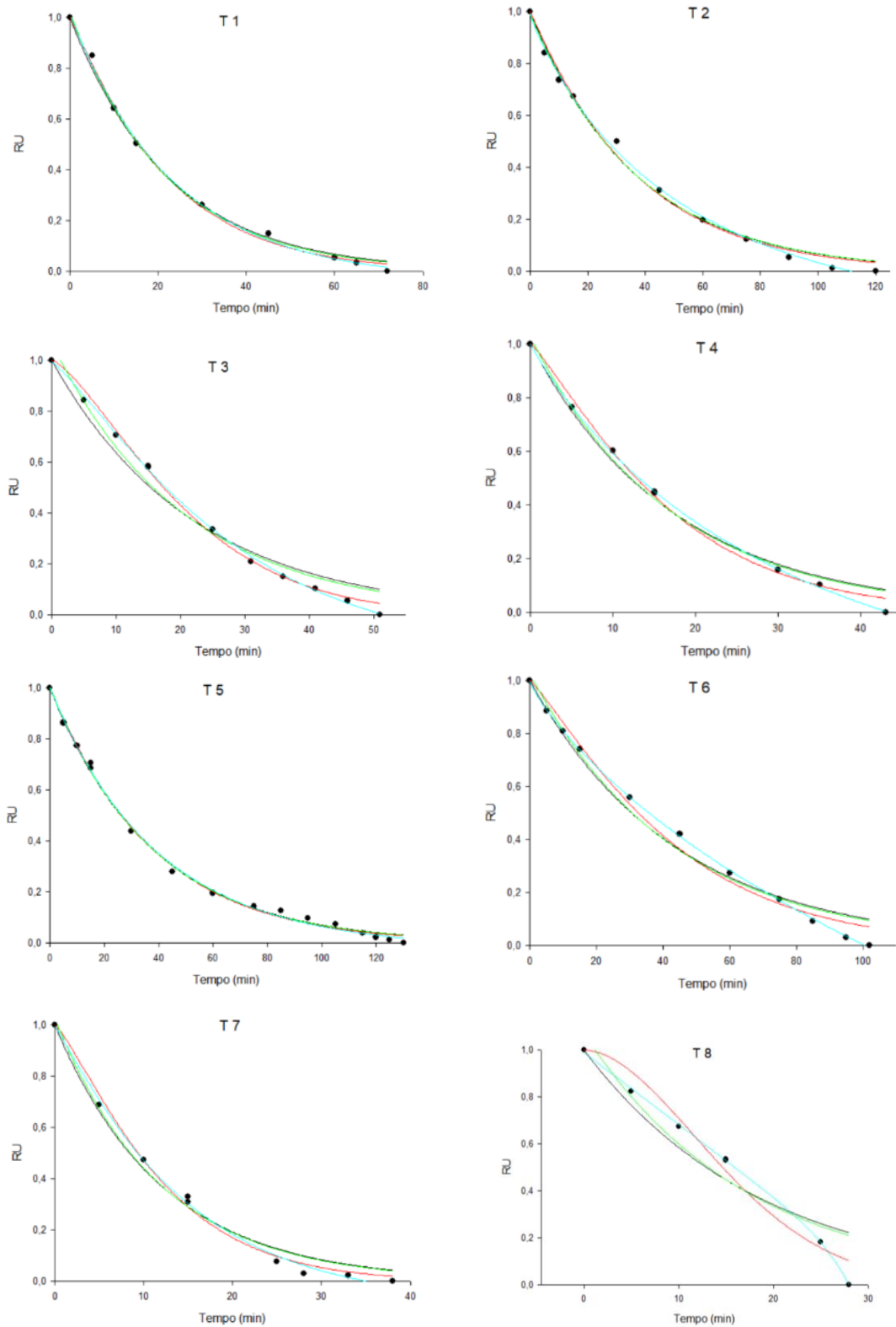
### **5.1 Teor inicial de água**

O teor de água das amostras de folhas de *Ocimum gratissimum* L. utilizadas foi de 75,9%. Trabalhos que utilizaram a mesma espécie apresentaram valores entre 79,13% e 82,13% (SOUZA et al., 2020), 78,26% (BORGES et al., 2012), 76,80% (ZOTTI, 2016). Esses valores são ligeiramente superiores aos encontrados, no entanto essa variação decorre em função principalmente da época e momento do dia da colheita, bem como a condução de tratamentos culturais, exemplo irrigação na pré-colheita.

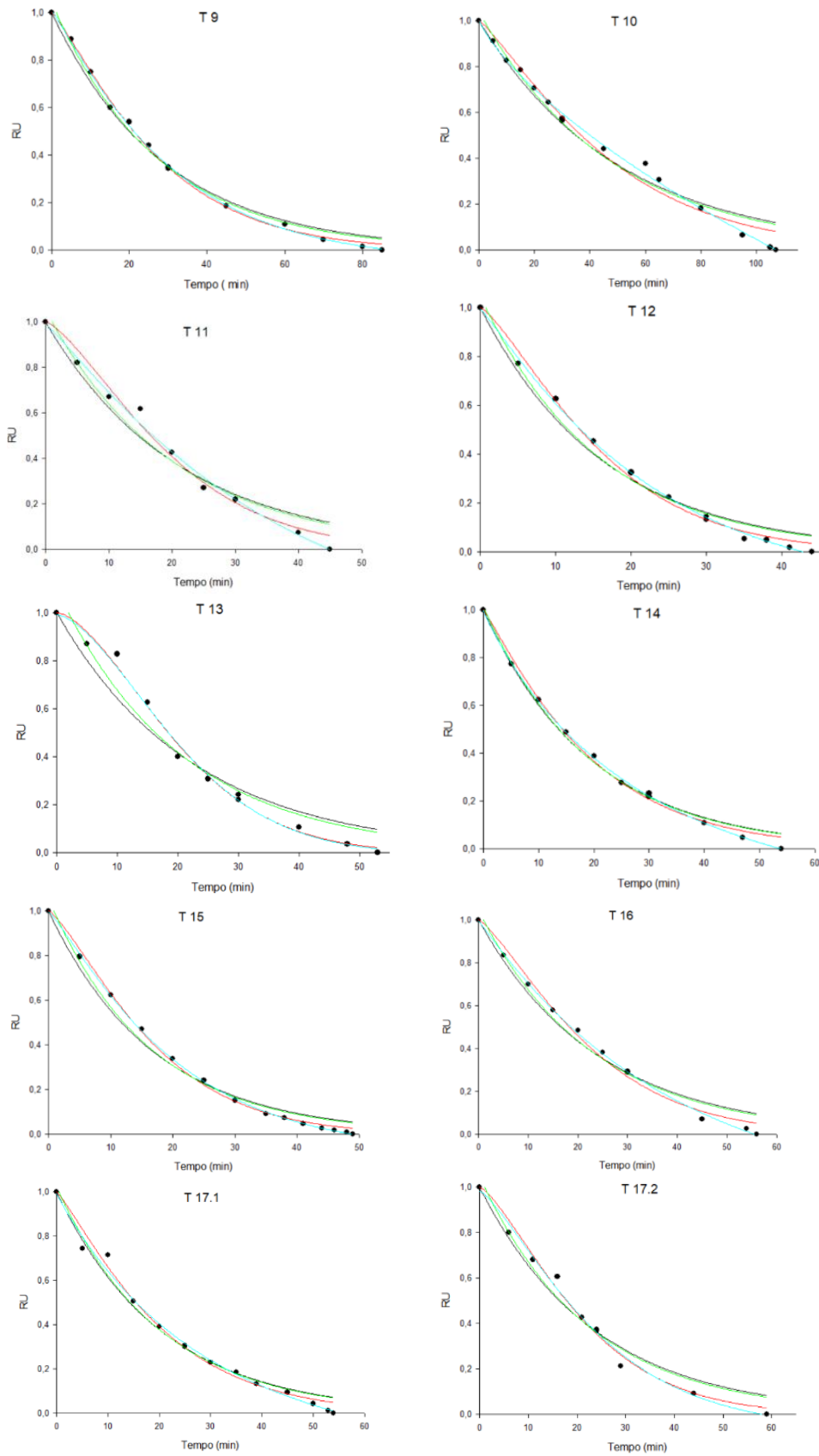
### **5.2 Cinética de Secagem**

Para cada tratamento foram elaboradas curvas de secagem empregando dados experimentais e dados calculados segundo equações ajustadas conforme os modelos de Lewis, Page, Henderson&Pabis e Midilli, Figura 7.

Na Tabela 3 são apresentadas as equações ajustadas e os indicadores estatísticos. O modelo é considerado melhor quanto maior for o coeficiente de determinação ajustado, ( $R^2_{adj}$ ) e quanto menor for o erro padrão de regressão (S).

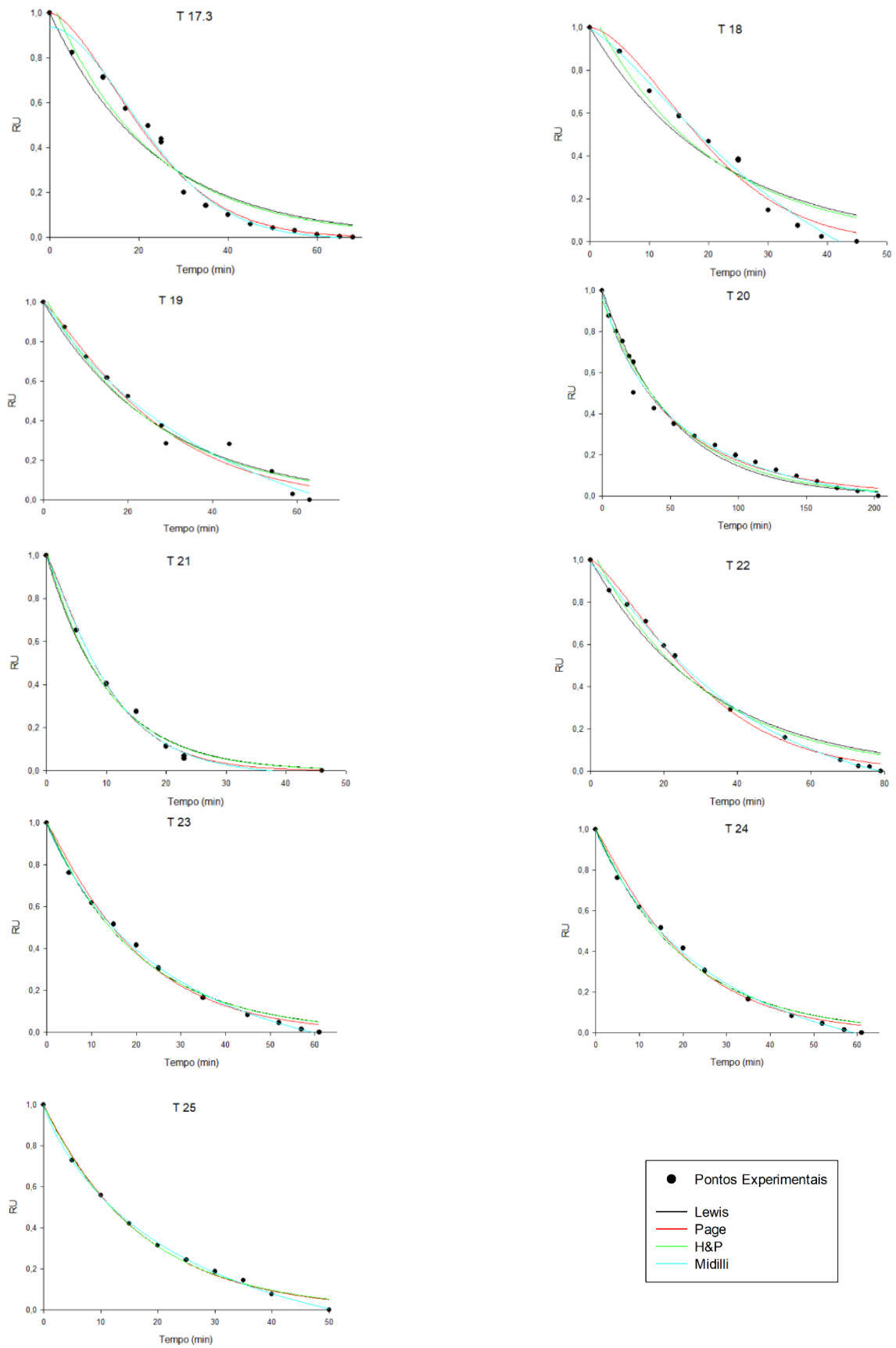


**Figura 7** – Curvas de secagem de *Ocimum gratissimum* L. em secador convectivo em diferentes condições para cada tratamento (DCCR). T=Tratamento; RU=Razão de Umidade. (continua 1/3)



**Figura 7** – Curvas de secagem de *Ocimum gratissimum* L. em secador convectivo em diferentes condições para cada tratamento (DCCR). T=Tratamento; RU=Razão de Umidade. (continua 2/3)





**Figura 7** – Curvas de secagem de *Ocimum gratissimum* L. em secador convectivo em diferentes condições para cada tratamento (DCCR). T=Tratamento; RU=Razão de Umidade. (continua 3/3)

**Tabela 3** – Modelos ajustados, coeficientes de determinação ajustados ( $R^2_{adj}$ ) e erro padrão da regressão (S) na secagem de *Ocimum gratissimum* L. (Alfavaca). (Continua 1/5)

Tratamento	Modelo	Equação ajustada	$R^2_{adj}$	S
1	Lewis	$RU = e^{-0,0448t}$	0,9955	0,0238
	Page	$RU = e^{(-0,0358t^{1,0738})}$	0,9965	0,0211
	H&P	$RU = 1,0228e^{-0,04619t}$	0,9958	0,0232
	Midilli	$RU = 1,0119e^{-0,04277t^{1,0081}} - 0,0003t$	0,9960	0,0224
2	Lewis	$RU = e^{-0,0270t}$	0,9926	0,0304
	Page	$RU = e^{(-0,0239t^{1,0335})}$	0,9922	0,0312
	H&P	$RU = 0,9930e^{-0,0268t}$	0,9920	0,0317
	Midilli	$RU = 0,9873e^{-0,0304t^{0,9231}} - 0,0008t$	0,9969	0,0196
3	Lewis	$RU = e^{-0,04508t}$	0,9662	0,0634
	Page	$RU = e^{(-0,0130t^{1,3910})}$	0,9954	0,0233
	H&P	$RU = 1,0689e^{-0,04826t}$	0,9699	0,0598
	Midilli	$RU = 0,9925e^{-0,01768t^{1,2380}} - 0,0018t$	0,9985	0,0135
4	Lewis	$RU = e^{-0,0572t}$	0,9860	0,0407
	Page	$RU = e^{(-0,0326t^{1,1961})}$	0,9937	0,0274
	H&P	$RU = 1,02615e^{-0,0589t}$	0,9851	0,0421
	Midilli	$RU = 0,9998e^{-0,0522t^{0,9493}} - 0,0035t$	0,9993	0,0093
5	Lewis	$RU = e^{-0,02650t}$	0,9970	0,0190
	Page	$RU = e^{(-0,0239t^{1,02711})}$	0,9970	0,0190
	H&P	$RU = 1,0065e^{-0,0267t}$	0,9969	0,0195
	Midilli	$RU = 1,0009e^{-0,0261t^{0,9958}} - 0,0001t$	0,9968	0,0198
6	Lewis	$RU = e^{-0,0226t}$	0,9795	0,0512
	Page	$RU = e^{(-0,0113t^{1,1796})}$	0,9863	0,0418
	H&P	$RU = 1,0269e^{-0,0233t}$	0,9789	0,0520
	Midilli	$RU = 0,9979e^{-0,0253t^{0,8250}} - 0,0031t$	0,9996	0,0069

**Tabela 3** – Modelos ajustados, coeficientes de determinação ajustados ( $R^2_{adj}$ ) e erro padrão da regressão (S) na secagem de *Ocimum gratissimum* L. (Alfavaca). (Continua 2/5)

Tratamento	Lewis	Equação ajustada	$R^2_{adj}$	S
<b>7</b>	Lewis	$RU = e^{-0,0826t}$	0,9843	0,0433
	Page	$RU = e^{(-0,0434t^{1,2383})}$	0,9929	0,0291
	H&P	$RU = 1,0265e^{-0,0845t}$	0,9832	0,0448
	Midilli	$RU = 0,9949e^{-0,0557t^{1,1058}} - 0,0016t$	0,9949	0,0246
<b>8</b>	Lewis	$RU = e^{-0,0536t}$	0,8878	0,1167
	Page	$RU = e^{(-0,0050t^{1,8321})}$	0,9670	0,0693
	H&P	$RU = 1,0716e^{-0,0580t}$	0,8979	0,1219
	Midilli	$RU = 0,9889e^{-6,1233t^{10,6140}} - 0,0306t$	0,9994	0,0111
<b>9</b>	Lewis	$RU = e^{-0,0347t}$	0,9896	0,0343
	Page	$RU = e^{(-0,0181t^{1,1940})}$	0,9976	0,0166
	H&P	$RU = 1,0443e^{-0,0364t}$	0,9916	0,0308
	Midilli	$RU = 1,0058e^{-0,0225t^{1,1159}} - 0,0004t$	0,9981	0,0145
<b>10</b>	Lewis	$RU = e^{-0,0198t}$	0,9689	0,0580
	Page	$RU = e^{(-0,0088t^{1,2095})}$	0,9796	0,0470
	H&P	$RU = 1,0385e^{-0,0208t}$	0,9695	0,0575
	Midilli	$RU = 1,0068e^{-0,0263t^{0,7625}} - 0,0036t$	0,9959	0,0210
<b>11</b>	Lewis	$RU = e^{-0,0473t}$	0,9567	0,0692
	Page	$RU = e^{(-0,0135t^{1,3993})}$	0,9825	0,0440
	H&P	$RU = 1,0533e^{-0,0498t}$	0,9565	0,0694
	Midilli	$RU = 0,9902e^{-0,0217t^{1,1418}} - 0,0040t$	0,9883	0,0360
<b>12</b>	Lewis	$RU = e^{-0,0608t}$	0,9764	0,0505
	Page	$RU = e^{(-0,0237t^{1,3069})}$	0,9933	0,0269
	H&P	$RU = 1,0477e^{-0,0633t}$	0,9771	0,0497
	Midilli	$RU = 0,9937e^{-0,0348t^{1,11678}} - 0,0022t$	0,9980	0,0146

**Tabela 3**– Modelos ajustados, coeficientes de determinação ajustados ( $R^2_{adj}$ ) e erro padrão da regressão (S) na secagem de *Ocimum gratissimum* L. (Alfavaca). (Continua 3/5)

Tratamento	Modelo	Equação ajustada	$R^2_{adj}$	S
<b>13</b>	Lewis	$RU = e^{-0,0440t}$	0,9402	0,0866
	Page	$RU = e^{(-0,0060t^{1,6240})}$	0,9911	0,0335
	H&P	$RU = 1,0985e^{-0,0483t}$	0,9480	0,0808
	Midilli	$RU = 0,9911e^{-0,0057t^{1,6358}} - 0,0001t$	0,9887	0,0376
<b>14</b>	Lewis	$RU = e^{-0,0507t}$	0,9916	0,0290
	Page	$RU = e^{(-0,0361t^{1,1093})}$	0,9940	0,0245
	H&P	$RU = 1,0144e^{-0,0515t}$	0,9910	0,0299
	Midilli	$RU = 0,9989e^{-0,0514t^{0,9396}} - 0,0020t$	0,9992	0,0090
<b>15</b>	Lewis	$RU = e^{-0,0590t}$	0,9805	0,0440
	Page	$RU = e^{(-0,0232t^{1,2967})}$	0,9970	0,0173
	H&P	$RU = 1,0549e^{-0,0616t}$	0,9826	0,0417
	Midilli	$RU = 0,9954e^{-0,0304t^{1,1732}} - 0,0010t$	0,9995	0,0068
<b>16</b>	Lewis	$RU = e^{-0,0416t}$	0,9727	0,0549
	Page	$RU = e^{(-0,0158t^{1,2988})}$	0,9896	0,0340
	H&P	$RU = 1,0445e^{-0,0436t}$	0,9731	0,0545
	Midilli	$RU = 0,9954e^{-0,0272t^{1,0510}} - 0,0027t$	0,9982	0,0142
<b>17.1</b>	Lewis	$RU = e^{-0,0487t}$	0,9801	0,0433
	Page	$RU = e^{(-0,0275t^{1,1762})}$	0,9860	0,0363
	H&P	$RU = 1,0228e^{-0,0497t}$	0,9791	0,0443
	Midilli	$RU = 0,9909e^{-0,0412t^{0,9914}} - 0,0019t$	0,9899	0,0308
<b>17.2</b>	Lewis	$RU = e^{-0,0422t}$	0,9659	0,0584
	Page	$RU = e^{(-0,0135t^{1,3642})}$	0,9873	0,0357
	H&P	$RU = 1,0469e^{-0,0444t}$	0,9659	0,0585
	Midilli	$RU = 0,98310e^{-0,0143t^{1,3198}} - 0,0008t$	0,9863	0,0371

**Tabela 3** – Modelos ajustados, coeficientes de determinação ajustados ( $R^2_{adj}$ ) e erro padrão da regressão (S) na secagem de *Ocimum gratissimum* L. (Alfavaca). (Continua 4/5)

Tratamento	Modelo	Equação ajustada	$R^2_{adj}$	S
<b>17.3</b>	Lewis	$RU = e^{-0,0425t}$	0,9398	0,0805
	Page	$RU = e^{(-0,0055t^{1,6130})}$	0,9811	0,0451
	H&P	$RU = 1,0754e^{-0,0453t}$	0,9421	0,0790
	Midilli	$RU = 0,9378e^{-0,0027t^{1,7996}} - 0,00009t$	0,9823	0,0437
<b>18</b>	Lewis	$RU = e^{-0,0464t}$	0,9187	0,0985
	Page	$RU = e^{(-0,0057t^{1,6583})}$	0,9726	0,0572
	H&P	$RU = 1,0911e^{-0,0504t}$	0,9224	0,0963
	Midilli	$RU = 0,9913e^{-0,01002t^{1,3638}} - 0,0045t$	0,9806	0,0481
<b>19</b>	Lewis	$RU = e^{-0,0361t}$	0,9699	0,0581
	Page	$RU = e^{(-0,0201t^{1,1762})}$	0,9754	0,0526
	H&P	$RU = 1,0381e^{-0,0377t}$	0,9692	0,0588
	Midilli	$RU = 1,0104e^{-0,0343t^{0,9474}} - 0,0022t$	0,9743	0,0537
<b>20</b>	Lewis	$RU = e^{-0,0192t}$	0,9811	0,0442
	Page	$RU = e^{(-0,0321t^{0,8696})}$	0,9872	0,0364
	H&P	$RU = 0,9546e^{-0,0179t}$	0,9832	0,0417
	Midilli	$RU = 1,0143e^{-0,0402t^{0,8040}} - 0,0001t$	0,9865	0,0374
<b>21</b>	Lewis	$RU = e^{-0,0962t}$	0,9895	0,0359
	Page	$RU = e^{(-0,0578t^{1,1968})}$	0,9949	0,0251
	H&P	$RU = 1,0211e^{-0,0979t}$	0,9885	0,0377
	Midilli	$RU = 0,9954e^{-0,0587t^{1,1814}} - 0,0003t$	0,9929	0,0295
<b>22</b>	Lewis	$RU = e^{-0,0308t}$	0,9707	0,0609
	Page	$RU = e^{(-0,0093t^{1,3473})}$	0,9939	0,0277
	H&P	$RU = 1,0596e^{-0,0329t}$	0,9733	0,0581
	Midilli	$RU = 0,9808e^{-0,0124t^{1,2121}} - 0,0010t$	0,9974	0,0180

**Tabela 3** – Modelos ajustados, coeficientes de determinação ajustados ( $R^2_{adj}$ ) e erro padrão da regressão (S) na secagem de *Ocimum gratissimum* L. (Alfavaca). (Continua 5/5)

Tratamento	Modelo	Equação ajustada	$R^2_{adj}$	S
23	Lewis	$RU = e^{-0,0489t}$	0,9908	0,0308
	Page	$RU = e^{(-0,0358t^{1,0989})}$	0,9924	0,0279
	H&P	$RU = 1,0074e^{-0,0492t}$	0,9899	0,0322
	Midilli	$RU = 0,9941e^{-0,0521t^{0,9290}} - 0,0016t$	0,9978	0,0151
24	Lewis	$RU = e^{-0,0489t}$	0,9908	0,0308
	Page	$RU = e^{(-0,0358t^{1,0989})}$	0,9924	0,0279
	H&P	$RU = 1,0074e^{-0,0492t}$	0,9899	0,0322
	Midilli	$RU = 0,9941e^{-0,0521t^{0,9290}} - 0,0016t$	0,9978	0,0151
25	Lewis	$RU = e^{-0,0586t}$	0,9952	0,0215
	Page	$RU = e^{(-0,0558t^{1,0163})}$	0,9948	0,0225
	H&P	$RU = 0,9976e^{-0,0585t}$	0,9947	0,0226
	Midilli	$RU = 1,0012e^{-0,0783t^{0,8467}} - 0,0022t$	0,9990	0,0098

Analisando os coeficientes de determinação na tabela 3, observa-se que os modelos de Lewis e H&P apresentaram os menores valores do  $R^2_{adj}$  chegando a 0,8878 e 0,8979 no tratamento 8, e 0,9187 e 0,9224 no tratamento 18. O modelo de Midilli obteve elevados valores do coeficiente de determinação ajustado em todos os tratamentos ( $R^2 > 0,97$ ), sendo 25 tratamentos acima de 0,98, e também apresentou os menores valores para o erro padrão de regressão com  $S < 0,05$ .

Para o presente estudo, dentre os modelos testados, o modelo de Midilli foi o que melhor descreveu a cinética de secagem de *Ocimum gratissimum* L na maior parte dos tratamentos.

Conclusão semelhante chegaram Silva et al. (2015), que avaliaram a cinética de secagem e a difusividade efetiva em folhas de jenipapo (*Genipa americana* L.) empregando os modelos de Henderson e Pabis modificado e Midilli; Radunz et al. (2014) avaliando as curvas de secagem de Guaco (*Mikania glomerata* Spreng.) em secador de bandejas, e Dorneles et al. (2019) ao avaliarem os efeitos da temperatura e velocidade do ar na cinética de secagem e composição do óleo essencial de folhas de *Piper umbellatum* L. utilizando os modelos matemáticos de Henderson & Pabis, Midilli e Page.

### 5.3 Tempo de secagem

Para estimar o tempo de secagem das folhas de *O. gratissimum*, empregando o modelo ajustado conforme o modelo de Midilli, considerou-se o tempo de secagem correspondente ao período em que a razão de umidade decresce de um para zero, assim se tem a equação 5.

$$a e^{-kt^n} + bt = 0 \qquad \text{Equação 5}$$

Para a solução da equação, foi utilizado o método de Newton, usando como critério de convergência uma tolerância igual a  $10^{-8}$ . Os resultados encontrados para os tempos de secagem (incluindo o tempo de descanso) são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4** – Tempos de secagem das folhas de alfavaca nas diferentes condições de cada tratamento.

Tratamento	Duração do banho de ultrassom (min)	Temperatura do ar de secagem (°C)	Tempo de Inserção do descanso (min)	Duração do descanso (min)	Tempo de secagem (min)	Tempo de secagem (h)
1	5	50	15	15	95	1,58
2	15	50	15	15	127	2,12
3	5	70	15	15	67	1,12
4	15	70	15	15	58	0,97
5	5	50	15	30	184	3,07
6	15	50	15	30	131	2,18
7	5	70	15	30	65	1,08
8	15	70	15	30	58	0,97
9	5	50	30	15	103	1,72
10	15	50	30	15	122	2,03
11	5	70	30	15	60	1,00
12	15	70	30	15	58	0,97
13	5	50	30	30	92	1,53
14	15	50	30	30	84	1,40
15	5	70	30	30	79	1,32
16	15	70	30	30	86	1,43
17.1	10	60	23	23	79	1,32
17.2	10	60	23	23	81	1,35
17.3	10	60	23	23	88	1,47
18	0	60	23	23	65	1,08
19	20	60	23	23	91	1,52
20	10	40	23	23	249	4,15
21	10	80	23	23	61	1,02
22	10	60	23	8	87	1,45
23	10	60	23	38	98	1,63
24	10	60	8	23	83	1,38
25	10	60	38	23	74	1,23

Na Tabela 4 estão tabulados os dados para o tempo de secagem, considerando o tempo de secagem efetiva mais o tempo de descanso. Pode-se observar que o tratamento com a menor temperatura (40 °C) causou o maior tempo de secagem. Santos (2021) ao estudar secagem intermitente com *O. gratissimum*, obteve uma secagem para a planta em 40 °C com duração de 412 minutos. A mesma amostra, submetida à mesma temperatura do ar de secagem, porém com alterações quanto ao momento da inserção de descanso, tempo em descanso e a aplicação do pré-tratamento banho de ultrassom, teve o tempo de secagem reduzido em 163 minutos. Com a aplicação do banho de ultrassom de 10 min, tempo de inserção do descanso aos 23 min de secagem e duração de descanso de 23 min no presente trabalho, o tempo de secagem constatado foi 163 min menor que o constatado por Santos



(2021). Vale ressaltar que no tempo de secagem de 249 min (4,15h) está incluso 23 minutos de descanso, portanto o tempo efetivo de exposição às condições psicrométricas do ar de secagem, foi de 226 min (3,76 h).

Durante o processo de descanso, o aporte de calor presente no material vegetal proporciona a dessorção de moléculas de água e a migração em estado de vapor para regiões superficiais, depois do período de descanso, esse calor gerado anteriormente auxilia na continuação do processo de secagem. Sendo assim, quando o produto é exposto novamente ao ar de secagem, há o aumento da taxa de secagem, o que propiciará a redução do tempo de secagem e conseqüentemente a uma menor elevação da temperatura do produto, o que é benéfico para preservação da qualidade. E atrelado a adoção do tempo de descanso, o momento da inserção, bem como a duração do tempo de descanso podem potencializar o aumento da taxa de secagem e a preservação da qualidade, ao se minimizar a evaporação de compostos voláteis em razão da menor temperatura alcançada pelo produto ao final da secagem.

Com o mesmo propósito, a adoção do banho de ultrassom visa proporcionar o aumento dos poros da parede celular das folhas, o que pode levar ao aumento da taxa de secagem e conseqüentemente a redução do tempo de secagem.

A equação 6 mostra o modelo ajustado, com um coeficiente de determinação igual a 0,9052, para estimar o tempo de secagem como função das variáveis duração do banho de ultrassom (U), temperatura do ar de secagem (T), tempo de inserção do descanso (I) e duração do descanso (D).

$$\hat{t}_s = 2447,54 - 104,91 T + 1,4984 T^2 - 0,0074 T^3 + 11,6988 U - 0,7648 U^2 + 0,0221 U^3 - 0,2795 I^2 + 0,0034 I^3 + 0,1933 D^2 - 0,0025 D^3 + 0,1434 T I - 0,1716 U D - 0,0996 I D$$

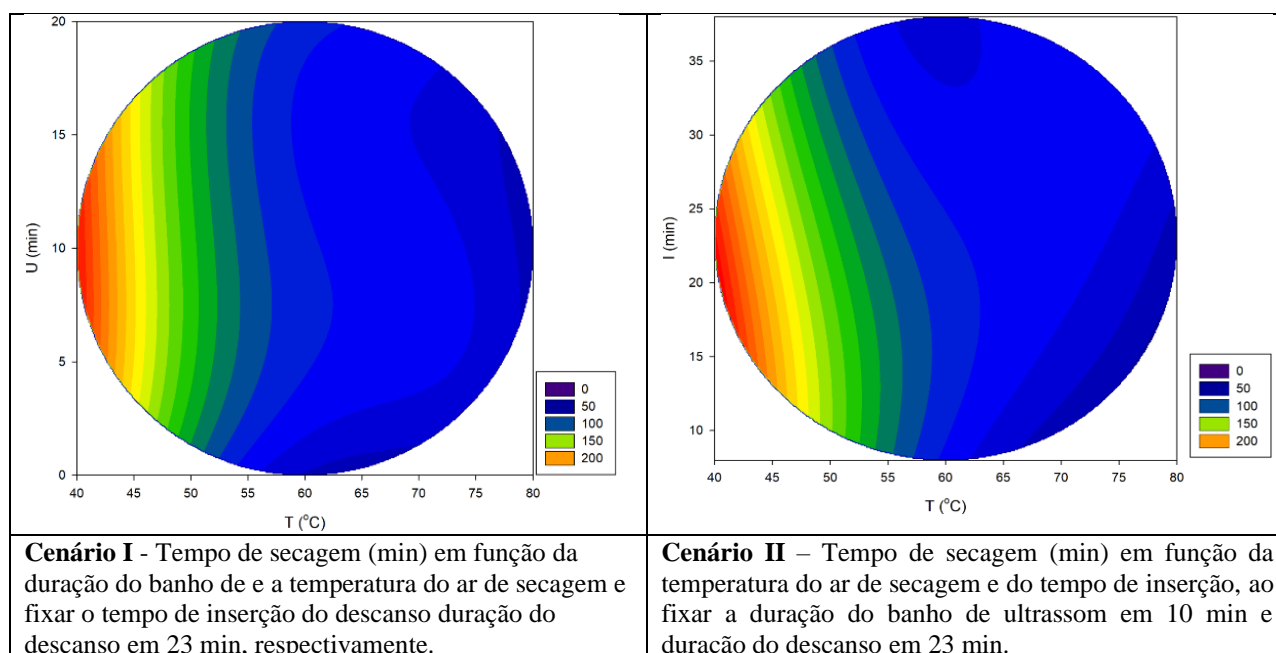
Equação 6

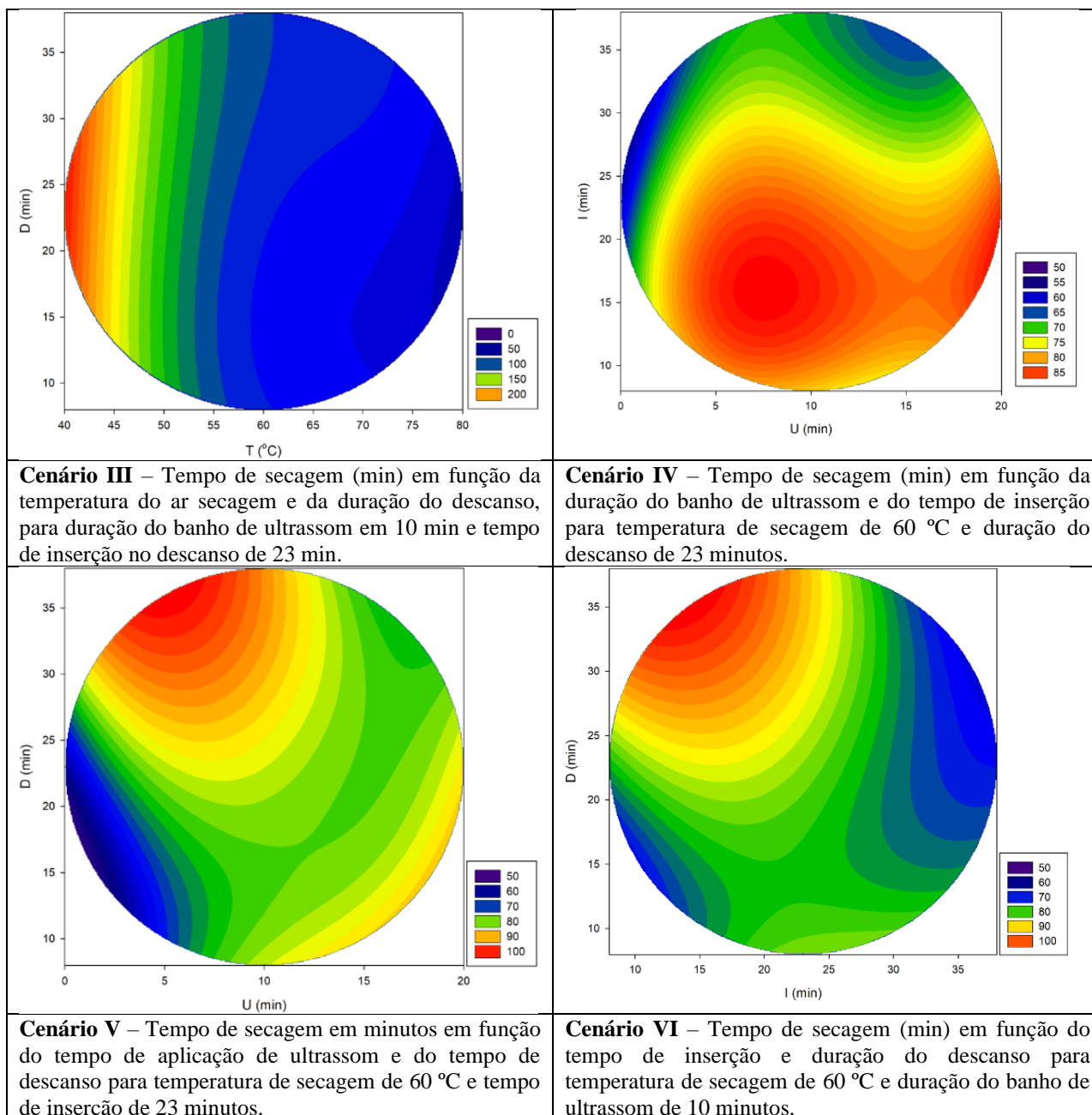
Considerando a Equação 6 foi conduzida a análise de seis cenários, Tabela 5, quanto aos efeitos das variáveis supracitadas (Equação 6) no tempo de secagem. Na definição desses cenários duas variáveis apresentam variação conforme os intervalos de variação definidos neste estudo e as outras duas tem valor fixo correspondente ao ponto central do respectivo intervalo de variação.

**Tabela 5** – Cenários comparativos dos efeitos das variáveis estudadas sobre o tempo de secagem (Equação 6).

Cenários	Duração do banho de ultrassom (min)	Temperatura do ar de secagem (°C)	Tempo da Inserção do descanso (min)	Duração do descanso (min)
I	0 a 20	40 a 80	23	23
II	10	40 a 80	8 a 38	23
III	10	40 a 80	23	8 a 38
IV	0 a 20	60	8 a 38	23
V	0 a 20	60	23	8 a 38
VI	10	60	8 a 38	8 a 38

Na Figura 8 são representadas curvas de níveis de superfícies de resposta ao empregar a equação 6 e considerar as especificidades definidas para os Cenários I, II, III, IV, V e VI, conforme a Tabela 5.





**Figura 8** - Curvas de níveis de superfícies de resposta para os Cenários I, II, III, IV, V e VI.

Para o Cenário I, Figura 8, ao se variar a duração do banho de ultrassom (0 a 20 min) e da temperatura do ar de secagem (40 a 80 °C) e se fixar, tanto o tempo de inserção do descanso, quanto a duração do tempo de descanso em 23 minutos observa-se que o aumento da temperatura do ar de secagem reduz acentuadamente o tempo de secagem, igual intensidade não é constatada para variação da duração do banho de ultrassom, pois para temperaturas do ar de secagem inferior a 50 °C as curvas de nível apresentam baixa variabilidade na direção vertical que é correspondente a variação da duração do banho de

ultrassom. Na faixa de temperaturas do ar de secagem entre 60 a 70 °C, os menores valores de duração do banho de ultrassom.

No Cenário II, Figura 8, ao se variar a temperatura do ar de secagem e o tempo de inserção e fixar as durações do banho de ultrassom e do descanso, observa-se, como na análise do Cenário I, a tendência mais acentuada da redução do tempo de secagem com o aumento da temperatura do ar de secagem. Quanto à variação do tempo de inserção do descanso, representada no eixo vertical do gráfico, se constata influência mais acentuada para faixa de temperatura do ar de secagem entre 50 a 55 °C, região em que ocorre maior variabilidade das curvas de níveis na direção vertical.

Quanto ao Cenário III, Figura 8, em que se fixa a duração do banho de ultrassom e do tempo de inserção, se observa maior efeito no tempo de secagem em decorrência da variação da temperatura do ar de secagem, e ao que se refere a variação da duração do tempo de descanso se nota baixa influência sobre o tempo de secagem para as temperaturas do ar de secagem inferior a 50 °C. Contudo, o efeito da duração do descanso torna-se importante nas maiores temperaturas, onde as curvas de nível são mais sinuosas, mostrando um efeito não linear.

No Cenário IV, Figura 8 se nota uma forte interação quanto à variação da duração do banho de ultrassom e o tempo de inserção ao se fixar a temperatura do ar de secagem em 60 °C e a duração do descanso em 23 min. Os menores valores para o tempo de secagem ocorrem nas duas regiões azuladas: I) quando se tem baixos valores da duração do banho de ultrassom com valores de tempo de inserção do descanso variando entre 20 a 35 min; II) quando se combina valores da duração do banho de ultrassom entre 12 a 15 minutos. Por outro lado, os maiores valores previstos para o tempo de secagem ocorrem nas regiões avermelhadas.

O Cenário V decorre da variação da duração do banho de ultrassom e duração do descanso mediante a temperatura do ar de secagem em 60 °C e tempo de inserção do descanso em 23 min. Nesse cenário se observa forte interação entre os fatores variantes, por se constatar os menores tempo de secagem ocorrendo na região azulada que corresponde a baixos valores da duração ultrassom combinados com valores da duração do descanso entre 12 a 25 minutos. Conseqüentemente os maiores valores para o tempo de secagem são na região avermelhada, decorrem da combinação dos altos valores da duração do descanso com valores da duração do banho de ultrassom entre 4 e 8 minutos.

Por fim no Cenário VI se tem o tempo de secagem em função do tempo de inserção do descanso e duração do descanso, para temperatura do ar de secagem de 60 °C e duração

do banho de ultrassom por 10 min. Conforme a representação das curvas de níveis para superfície de respostas os menores tempos de secagem decorrem de tempo de inserção do descanso e duração menores que 15 e 20 min, respectivamente, como também pode ocorrer para situações em que o tempo de inserção do descanso seja superior a 30 min e a duração do descanso superior a 20 min.

Concluindo a análise dos cenários, ao se avaliar os quatro fatores, foi constatado que dentro da região experimental, o valor mínimo previsto para o tempo de secagem é de 46,69 minutos (0,77 h), ao se empregar a temperatura do ar de secagem de 76 °C, duração do banho de ultrassom de 11 minutos, tempo de inserção do descanso de 15,5 minutos, e duração do descanso 18,5 minutos. Já o valor máximo para o tempo de secagem é estimado em 242,57 minutos (4,04 h), decorrente da adoção da temperatura de 40 °C, duração do banho de ultrassom de 10 minutos, tempo de inserção do descanso de 23 minutos, e duração do descanso 23 minutos.

Existem estudos que utilizam o descanso durante a secagem, como também o tratamento com ultrassom para Plantas Medicinais, condimentares e aromáticas e temperaturas variadas. Oliveira (2017) avaliou o tratamento de ultrassom e a secagem na qualidade de óleo essencial de erva-baleeira, não tendo o tratamento de ultrassom influenciado significativamente na redução do tempo de secagem. Souza et al. (2020) avaliaram a inserção de tempos de intermitência durante a secagem de *Ocimum gratissimum* L. tendo a aplicação da razão intermitente 10/20 (10 minutos de secagem e 20 minutos de descanso) reduzido o tempo de secagem. Borsato et al. (2005) avaliaram cinco temperaturas de ar para secagem de camomila, onde temperaturas de 35 e 50 °C foram insuficientes para secagem, e não impediram a volatilização de compostos do óleo essencial, e temperaturas de 80 a 95 °C proporcionaram maior taxa de secagem, mas coloração indesejável da amostra, e maior perda de compostos voláteis. São poucos os estudos que abordam banho de ultrassom e a inserção de um período de descanso durante o processo de secagem, sendo necessária uma maior exploração e aplicação com demais plantas.

#### 5.4 Rendimento do óleo essencial de *Ocimum gratissimum* L.

Na Tabela 6, são apresentados os rendimentos de óleo essencial para os tratamentos, considerando os fatores: duração do banho de ultrassom, temperatura do ar de secagem, tempo de inserção do descanso e duração do descanso.

**Tabela 6** – Rendimento de óleo essencial proveniente das folhas de *Ocimum gratissimum* L.

Tratamento	Duração do banho de ultrassom (min)	Temperatura do ar de secagem (°C)	Tempo de Inserção do descanso (min)	Duração do descanso (min)	Rendimento de óleo essencial (%)
1	5	50	15	15	0,37
2	15	50	15	15	0,72
3	5	70	15	15	0,24
4	15	70	15	15	0,30
5	5	50	15	30	0,19
6	15	50	15	30	0,12
7	5	70	15	30	0,33
8	15	70	15	30	0,30
9	5	50	30	15	0,78
10	15	50	30	15	0,96
11	5	70	30	15	0,34
12	15	70	30	15	0,20
13	5	50	30	30	0,22
14	15	50	30	30	0,81
15	5	70	30	30	0,06
16	15	70	30	30	0,12
17.1	10	60	23	23	0,03
17.2	10	60	23	23	0,24
17.3	10	60	23	23	0,06
18	0	60	23	23	0,05
19	20	60	23	23	0,09
20	10	40	23	23	0,22
21	10	80	23	23	0,32
22	10	60	23	8	0,80
23	10	60	23	38	0,04
24	10	60	8	23	0,39
25	10	60	38	23	0,64

A equação 7 traz o modelo ajustado para a variável rendimento de óleos essencial ( $r^2 = 0,9001$ ) em função dos fatores: duração do banho de ultrassom ( $U$ ), temperatura do ar de secagem ( $T$ ), tempo da inserção do descanso ( $I$ ) e duração do descanso ( $D$ ).

Para avaliar os efeitos desses fatores foram analisados seis cenários, Tabela 7, em que na definição de cada um, foi considerado a variação de dois fatores, conforme os

intervalos estabelecidos, e fixado valores dos outros dois fatores segundo aos respectivos pontos centrais.

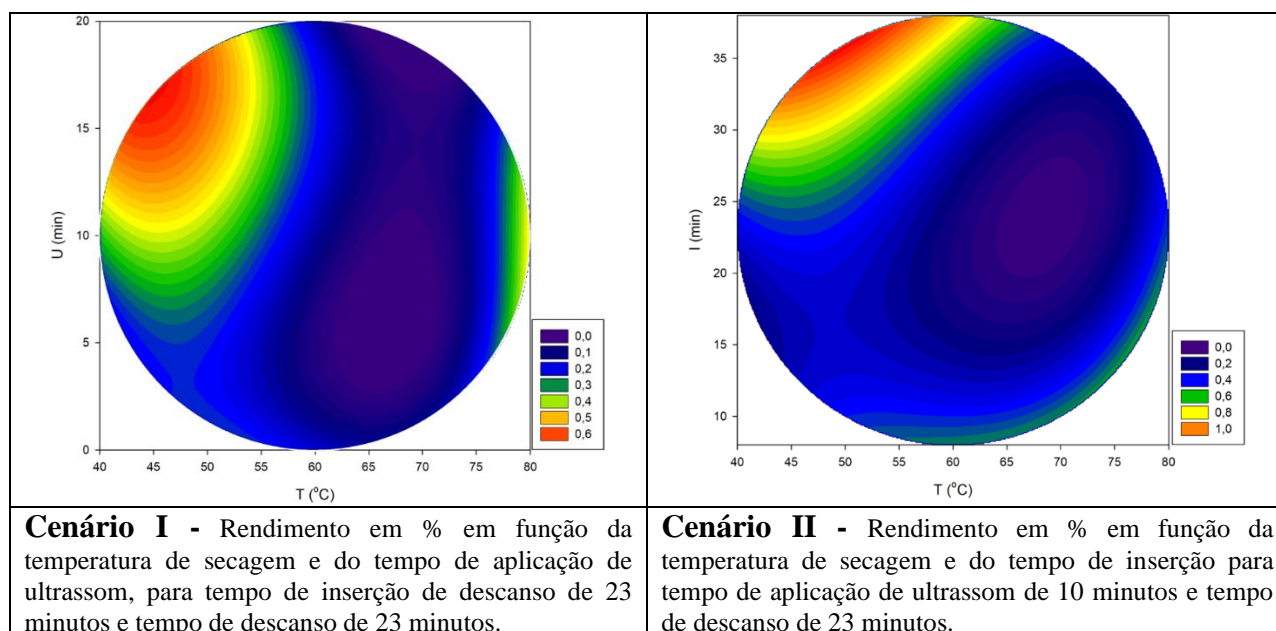
$$\hat{R} = -9,0502 + 0,6825 T - 0,012 T^2 + 0,00007 T^3 + 0,0079 U^2 - 0,00025 U^3 + 0,0025 I^2 - 0,3337 D + 0,0089 D^2 - 0,0001 D^3 - 0,0014 T D - 0,0019 T I + 0,0013 T D + 0,001 U I$$

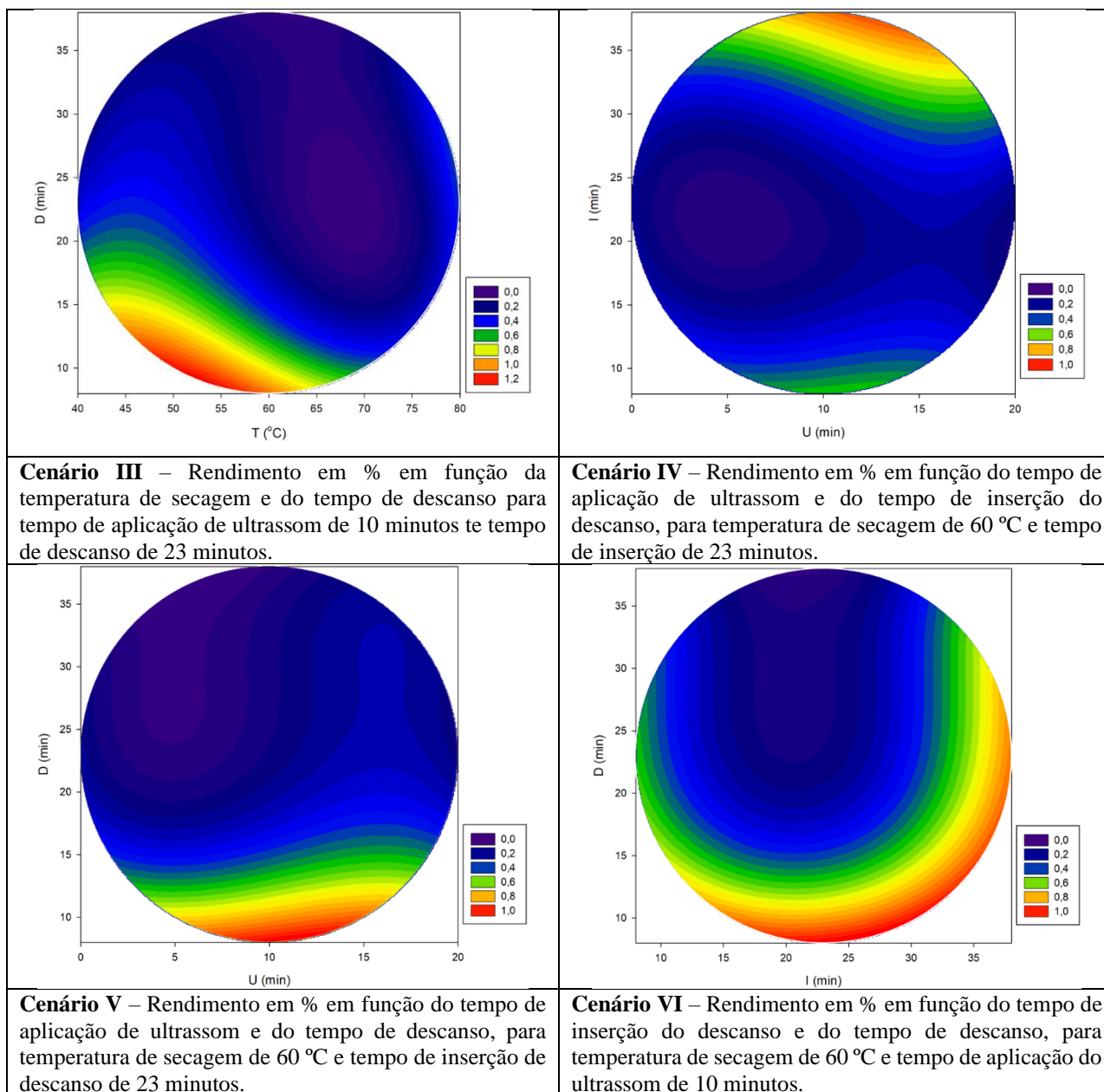
Equação 7

**Tabela 7** – Cenários comparativos dos efeitos das variáveis dos fatores estudados sobre o rendimento de óleo essencial (Equação 7).

Cenários	Duração do banho de ultrassom (min)	Temperatura do ar de secagem (°C)	Tempo da Inserção do descanso (min)	Duração do descanso (min)
I	0 a 20	40 a 80	23	23
II	10	40 a 80	8 a 38	23
III	10	40 a 80	23	8 a 38
IV	0 a 20	60	8 a 38	23
V	0 a 20	60	23	8 a 38
VI	10	60	8 a 38	8 a 38

Na Figura 9 são representadas curvas de níveis de superfícies de resposta ao empregar a Equação 7 e considerar respectivamente as especificidades dos Cenários I, II, III, IV, V e VI conforme Tabela 7.





**Figura 9** - Curvas de níveis de superfícies de resposta para os Cenários I, II, III, IV, V e VI.

Para o Cenário I, Figura 9, em que os fatores tempo de inserção do descanso e duração do descanso são fixados, Tabela 5, se observa que os maiores rendimentos de óleo essencial são obtidos ao se adotar duração do banho de ultrassom entre 15 e 18 minutos e temperatura do ar de secagem entre 45 e 50 °C. Por outro lado, menores rendimentos são previstos para duração do banho de ultrassom variando de 3 a 10 minutos, combinados com temperaturas entre 62 e 70 °C.

O Cenário II, Figura 9, demonstra que ao variar a temperatura do ar de secagem e o tempo de inserção e fixar as durações do banho de ultrassom do descanso, Tabela 5, se observa maior rendimento de óleo essencial quando o tempo de inserção no descanso



decorre após 35 minutos do início da secagem ao se trabalhar com temperatura do ar de secagem entre 45 a 60 °C. Os menores rendimentos foram obtidos com o tempo de inserção do descanso nos períodos iniciais da secagem, especificadamente entre 10 a 20 minutos, independente da temperatura do ar de secagem adotada.

Quanto ao Cenário III, Figura 9, em que se fixa a duração do banho de ultrassom e o tempo de inserção do descanso, se obtém maiores rendimento na extração do óleo essencial para duração de descanso entre 5 a 15 minutos e temperaturas do ar de secagem de 45 a 60 °C. O fator temperatura do ar de secagem não teve grande influência para duração de descansos entre 20 a 38 minutos, e o rendimento do óleo essencial atingiu baixos valores.

Quanto ao Cenário IV se observa que ao fixar a temperatura do ar de secagem em 60 °C e a duração do descanso em 23 minutos. Foi constatado que nesse cenário a maximização do rendimento do óleo essencial ocorre para duração de banho de ultrassom entre 10 a 15 minutos, com tempo de inserção do descanso em 38 minutos.

No Cenário V, Figura 9, Tabela 5, se observa que a duração do banho de ultrassom de 8 a 15 minutos e duração do descanso de 8 a 10 minutos, propiciaram os maiores valores do rendimento. A partir de 15 minutos da duração do descanso, a duração do banho de ultrassom levou a baixos rendimentos.

Por fim, quanto à análise do Cenário VI, Figura 9, é constatado que para maximizar o rendimento de óleo essencial, ao fixar a duração do banho de ultrassom em 10 minutos e temperatura do ar de secagem em 60 °C, o tempo de inserção do descanso deve estar no intervalo de 22 a 38 minutos, combinados com menores valores do tempo de descanso, os menores valores de rendimento são obtidos para tempos de descanso acima de 23 minutos combinados com tempos de inserção de 18 a 23 minutos.

De forma geral, é possível observar que para os Cenários analisados, Tabela 5 e Figura 9, os maiores rendimentos de óleos essencial ocorrem para temperaturas do ar de secagem entre 40 e 60 °C, uma vez que as menores temperaturas levam a menores taxas de volatilização dos compostos.

Dentro da região experimental, o valor mínimo previsto para rendimento é 0,02% o qual ocorre na temperatura de secagem de 68 °C, duração do banho de ultrassom 19 min, tempo de inserção do descanso 21,5 min e duração do descanso 23 minutos. Já o valor máximo de rendimento é estimado em 1,36%, decorre da adoção do banho de ultrassom, temperatura do ar de secagem, tempo de inserção do descanso e duração do descanso iguais a 12 min, 52 °C, 29 min, e 11 min, respectivamente.

Radunz (2004) avaliou o efeito da temperatura do ar de secagem no teor e na composição dos óleos essenciais de Guaco e Hortelã-comum, tendo sido encontrada a temperatura ideal para o ar de secagem 50 °C. Oliveira et al. (2022) avaliaram os efeitos do ultrassom na obtenção do óleo essencial e hidrolato de aroeira vermelha, tendo sido aplicadas 3 potências (30, 50 e 70%), sendo que em 70% se obteve um maior rendimento de óleo essencial. Soares et al. (2007) avaliaram a influência da temperatura e velocidade do ar na secagem de manjerição com relação aos teores de óleos essenciais e de linalol, a temperatura do ar de secagem ideal foi encontrada na faixa de 50 a 60 °C. Oliveira et al. (2016) avaliando o uso do pré-tratamento de ultrassom na secagem de erva-baleeira encontraram que o pré-tratamento não exerceu função significativa no rendimento e na qualidade do óleo essencial.

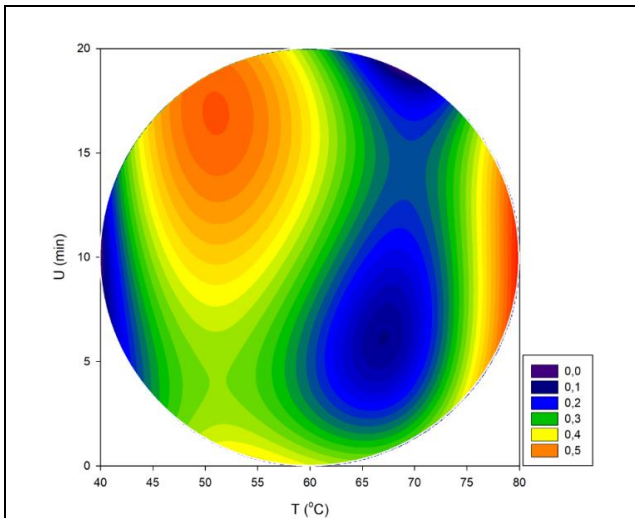
### 5.5 Otimização das variáveis tempo de secagem e rendimento da extração de óleos essenciais por meio da função desejabilidade

Para ilustrar a desejabilidade global dos fatores, foram analisados seis cenários, Tabela 8, em que na definição de cada cenário foi considerado a variação de dois fatores, conforme os intervalos estabelecidos e fixados os valores dos outros dois fatores segundo aos respectivos pontos centrais.

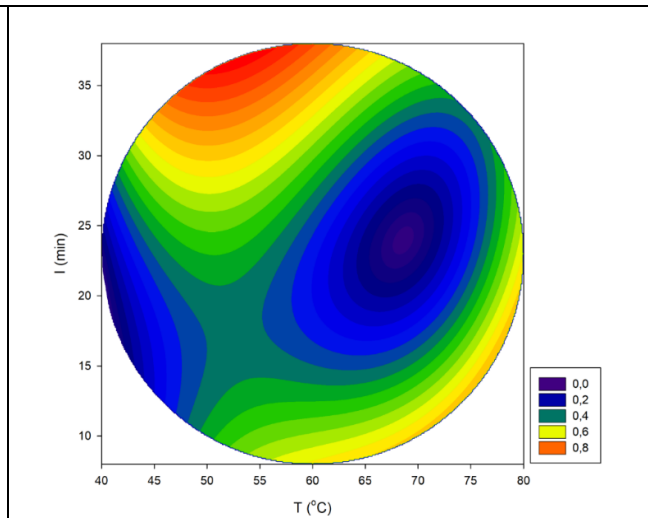
**Tabela 8** – Cenários comparativos dos efeitos das variáveis dos fatores estudados sobre o rendimento de óleo essencial (Equação 7).

Cenários	Duração do banho de ultrassom (min)	Temperatura do ar de secagem (°C)	Tempo da Inserção do descanso (min)	Duração do descanso (min)
I	0 a 20	40 a 80	23	23
II	10	40 a 80	8 a 38	23
III	10	40 a 80	23	8 a 38
IV	0 a 20	60	8 a 38	23
V	0 a 20	60	23	8 a 38
VI	10	60	8 a 38	8 a 38

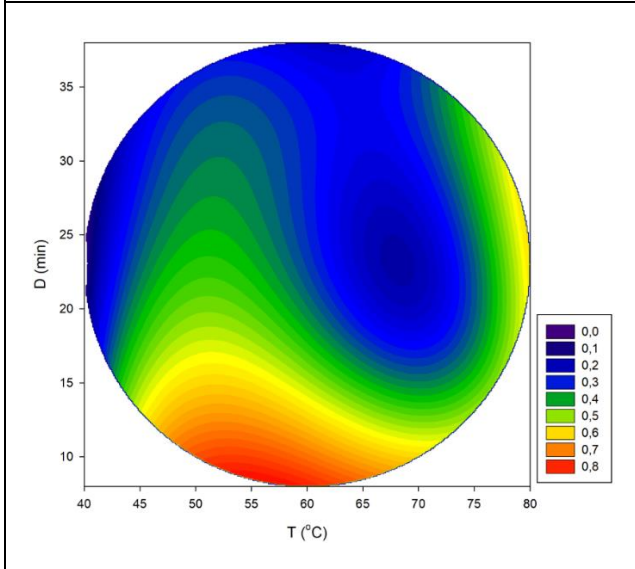
Na figura 10 são representadas curvas de níveis para a desejabilidade global, considerando as especificidades dos Cenários I, II, III, IV, V e VI.



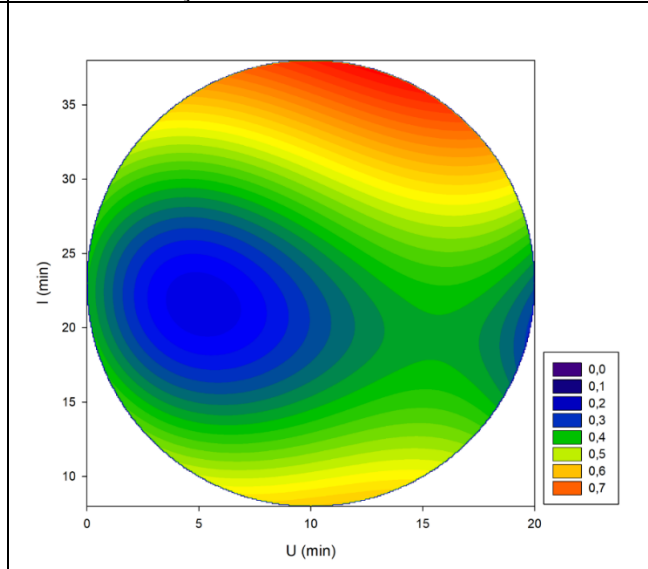
**Cenário I** - Desejabilidade global em função da temperatura de secagem e do tempo de aplicação do ultrassom, para tempo de inserção de 23 minutos e tempo de descanso de 23 minutos.



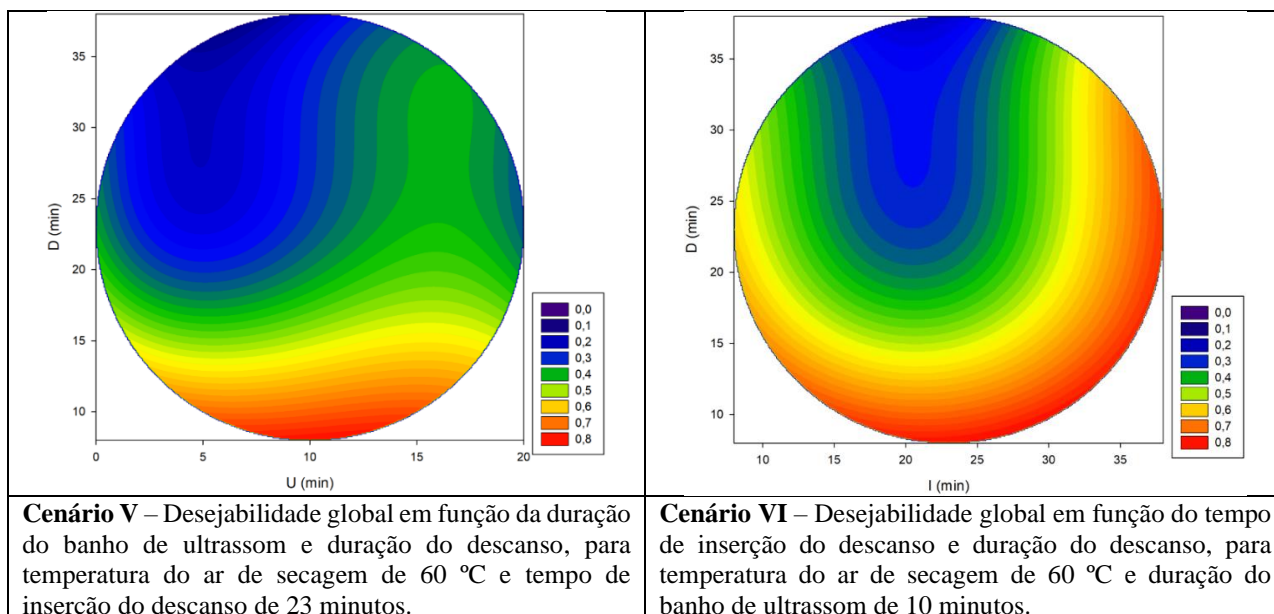
**Cenário II** – Desejabilidade global em função da temperatura do ar de secagem e do tempo de inserção do descanso, para duração do banho de ultrassom de 10 minutos e duração do descanso de 23 minutos.



**Cenário III** – Desejabilidade global em função da temperatura do ar de secagem e da duração do descanso, para duração do banho de ultrassom de 10 minutos e tempo de inserção de descanso de 23 minutos.



**Cenário IV** – Desejabilidade global em função da duração do banho de ultrassom e do tempo de inserção do tempo de descanso, para temperatura do ar de secagem de 60 °C e duração do descanso de 23 minutos.



**Figura 10** - Curvas de níveis de superfícies de resposta para os Cenários I, II, III, IV, V e VI.

Para o Cenário I, Figura 10, em que os fatores tempo de inserção do descanso e duração do descanso são fixados, Tabela 8, se observa que a região onde se tem os maiores valores de desejabilidade global, ocorrem quando a aplicação do banho de ultrassom está em torno de 10 minutos, e a temperatura do ar de secagem em torno de 80 °C.

No Cenário II, Figura 10, em que os fatores duração do banho de ultrassom e duração do descanso foram fixados, os maiores valores de desejabilidade global ocorrem em valores de temperatura variando de 50 a 60 °C, combinados com maiores valores de tempo de inserção do descanso.

Para o Cenário III, Figura 10, com os fatores duração do banho de ultrassom e tempo de inserção fixados, Tabela 8, é observado que os maiores valores de desejabilidade global ocorrem nas temperaturas do ar de secagem entre 50 e 60 °C; combinados com menores valores de tempo de descanso.

Quanto ao Cenário IV, Figura 10, os maiores valores de desejabilidade global ocorrem quando a aplicação do banho de ultrassom varia entre 8 a 15 minutos, combinado com os maiores valores do tempo de inserção do descanso.

No Cenário V, Figura 10, os maiores valores de desejabilidade global ocorrem para valores de banho de ultrassom entre 8 a 13 minutos combinados com os menores valores de tempo de descanso.

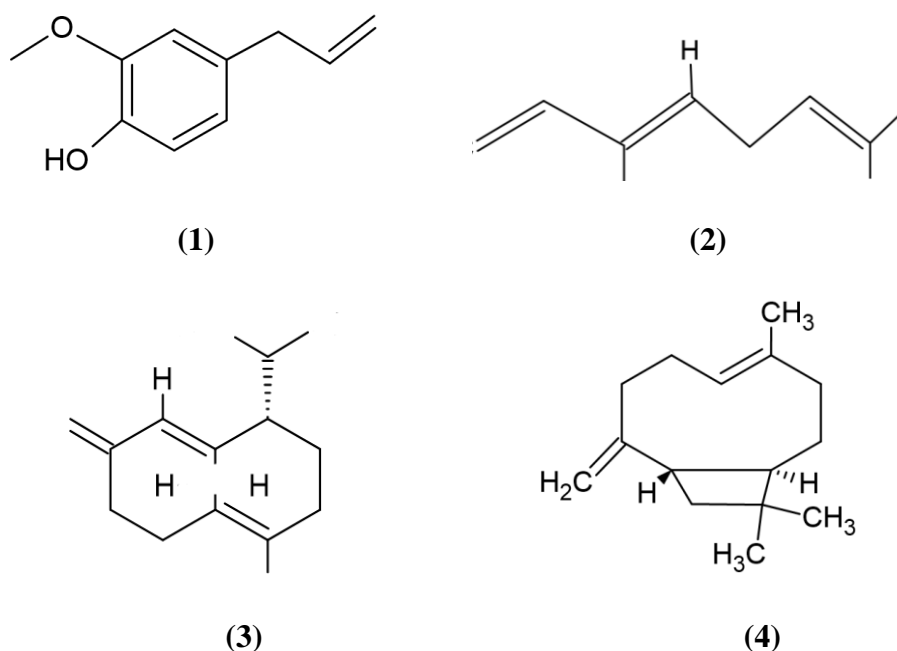
Por fim, no Cenário VI, Figura 10, ao se fixar a duração do banho de ultrassom e a temperatura do ar de secagem, os maiores valores de desejabilidade global ocorrem quando o

tempo de inserção no descanso varia de 20 a 30 minutos, combinados com os menores valores de tempo de descanso.

Ao se variar os quatro fatores conjuntamente, verificou-se que o máximo valor da desejabilidade global foi igual a 0,8825, em que o valor estimado para tempo de secagem correspondeu a 72,87 min (1,21 h) e o rendimento de óleo essencial obtido foi 1,22%. Essa situação ocorreu para os seguintes valores dos fatores estudados: duração do banho 13 minutos, temperatura do ar de secagem 54 °C, tempo de inserção do descanso 36,5 minutos e duração do descanso 21,5 minutos.

### 5.6 Composição do óleo essencial das folhas de *Ocimum gratissimum* L.

Foram analisados os óleos essenciais das 25 amostras, sendo o ponto central feito em triplicata. No total, foram identificados 14 constituintes químicos com % de Área superior a 1%, sendo eles Terpineol,  $\alpha$ -pineno,  $\beta$ -pineno,  $\alpha$ -copaeno,  $\alpha$ -tujeno,  $\gamma$ -terpineno,  $\beta$ -bourbonene, óxido cariofileno,  $\alpha$ -ylangeno, cineol, e os compostos majoritários encontrados em todos os Tratamentos foram o Eugenol, o  $\beta$ -Cimeno, o Germacreno-D, e o Cariofileno (Figura 11). Tais constituintes já haviam sido relatados na composição do óleo essencial de Alfavaca, porém com teores diferentes (BORGES et al., 2012; CRUZ, BEZERRA, 2017; MATASYOH et al., 2007).



**Figura 11** – Constituintes químicos majoritários do óleo essencial de *Ocimum gratissimum* L. **1:** Eugenol; **2:**  $\beta$ -Cimeno; **3:** Germacreno-D; **4:** Cariofileno.

A Tabela 9 traz a % por área de cada composto encontrado em cada Tratamento.

**Tabela 9** – Resultados da análise de Cromatografia por CG/MS do óleo essencial de Alfavaca

Tratam.	Eugenol	$\beta$ -Ocimeno	Germacreno D	E-Cariofileno	Terpineol	$\alpha$ -Pino	$\alpha$ -Copaeno	$\alpha$ -Tujeno	$\beta$ -Pino	$\gamma$ -Terpineno	$\beta$ -Bourbonene	Óxido Cariofileno	$\alpha$ -Ylangene	Cineol
1	77,3	15,9	2,2	4,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	75,8	17,6	3,6	1,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	67,2	18,5	6,2	3,8	2,0	1,2	1,1	-	-	-	-	-	-	-
4	70,4	20,2	5,1	2,1	1,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	79,2	14,0	4,0	1,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	64,4	11,9	5,5	4,0	3,0	-	1,3	1,8	1,5/1,2	1,3	1,1	1,8	1,3	-
7	77,2	15,4	4,5	2,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	74,6	11,2	5,3	4,3	1,2	-	-	-	-	-	1,1	1,0	-	-
9	74,0	18,6	3,9	1,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	73,1	19,2	4,1	1,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	74,1	14,1	4,9	3,0	1,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	54,7	23,3	4,4	3,1	3,9	-	1,2	1,5	-	1,4	-	-	-	1,2
13	78,4	15,3	3,8	1,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	80,1	14,9	3,5	1,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	71,3	12,5	5,0	3,5	2,4	-	-	1,2	-	-	-	1,2	-	-
16	77,0	10,9	4,8	3,3	1,7	-	1,2	-	-	-	-	1,1	-	-
17.1	78,3	14,3	4,0	1,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17.2	71,2	14,7	5,7	3,3	1,6	-	-	1,2	-	-	1,1	-	1,2	-
17.3	62,3	15,1	5,3	3,6	6,2	-	-	1,4	1,1	1,2	-	1,2	-	-
18	63,6	20,8	6,5	3,2	2,2	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-
19	66,7	16,0	6,4	3,7	1,1	-	1,2	-	-	-	-	-	-	-
20	72,7	8,1	4,5	2,2	1,9	1,3	1,2	1,2	-	-	1,3	1,6	-	-
21	76,1	10,9	5,4	4,1	1,5	-	1,1	-	-	-	-	-	-	-
22	73,8	17,9	4,3	2,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	78,6	15,1	3,9	1,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	62,4	14,7	5,3	4,8	3,1	-	1,5	1,3	1,0	1,1	1,3	1,6	-	-
25	73,6	18,8	4,0	1,7	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-

As principais substâncias encontradas foram Eugenol (54,7 – 80,1%),  $\beta$ -Ocimeno (8,1 – 20,8%), Germacreno D (2,2 – 6,5%), E-Cariofileno (1,6 – 4,5%). Borges et al. (2012) encontraram a concentração de 71,12% para Eugenol em alfavaca seca, Matasyoh et al. (2007) encontraram 68,8% para Eugenol, 1,69% para E-Cariofileno e 7,4% para Ocimeno.

No Tratamento 6 houve uma maior identificação de compostos, sendo identificados 12 picos totais. Para esse tratamento a duração do banho de ultrassom, temperatura do ar de secagem, tempo de inserção do descanso e duração do descanso foram 15 minutos, 50 °C, 15 minutos e 30 minutos, respectivamente.

O composto Cineol só foi identificado no Tratamento 12, o composto foi preservado apesar da temperatura do ar de secagem elevada de 70 °C. A não exposição por tempo prolongado das amostras à temperatura elevada pode ter contribuído para essa preservação, devido ao período em que a amostra esteve em descanso.

No tratamento 14 que se empregou a duração do banho de ultrassom de 15 minutos, temperatura do ar de secagem 50 °C, tempo de inserção do descanso e duração do descanso de 30 minutos foi a mais efetiva quanto a rendimento do teor de Eugenol (80,1%). Os compostos voláteis se perdem facilmente quando expostos a temperaturas elevadas, sendo a temperatura de 50 °C satisfatória para concentração elevada de Eugenol, quando comparada aos demais parâmetros. O mesmo acontece com o Ocimeno e o Germacreno, tendo sua maior concentração encontrada no Tratamento 18, em que se empregou temperatura do ar de secagem de 60 °C, e tempo de inserção do descanso e duração de descanso de 23 minutos, e não aplicando o tratamento de banho de ultrassom.

O Tratamento 20, apresentou a presença de 6 compostos além dos majoritários. A temperatura mais baixa durante o período de secagem, pode ter auxiliado quanto a preservação de um maior número de compostos, comprovando que, temperaturas mais baixas causam menos danos as plantas que temperaturas elevadas, preservando um maior número e concentração de compostos voláteis.

Franco et al. (2007) avaliaram a composição química de *Ocimum gratissimum* L. encontrando os valores:  $\beta$ -ocimeno 0,49,  $\gamma$ -terpineno 13,06, Eugenol 57,82,  $\beta$ -cariofileno 3,03, óxido de cariofileno 0,82, sendo encontrados valores para  $\beta$ -ocimeno, e Eugenol menores que os do presente estudo. O teor elevado de  $\gamma$ -terpineno pode se dar por variação genética da matéria vegetal, bem como os tratamentos de cultivo antes da colheita. O valor encontrado por Borges et al. (2012) para eugenol em Alfavaca seca foi de 71,12%, coincidindo a faixa dos valores encontrados.

## CONCLUSÃO

O teor de água das amostras de folhas de *Ocimum gratissimum* L. utilizadas foi de 75,9%. Para o presente estudo, dentre os modelos testados, o modelo de Midilli foi o que melhor descreveu a cinética de secagem de *Ocimum gratissimum* L na maior parte dos tratamentos. Quanto aos cenários analisados para o tempo de secagem, o valor mínimo previsto para o tempo de secagem é de 46,69 minutos (0,77 h), ao se empregar a temperatura do ar de secagem de 76 °C, duração do banho de ultrassom de 11 minutos, tempo de inserção do descanso de 15,5 minutos, e duração do descanso 18,5 minutos. Já o valor máximo para o tempo de secagem é estimado em 242,57 minutos (4,04 h), decorrente da adoção da temperatura de 40 °C, duração do banho de ultrassom de 10 minutos, tempo de inserção do descanso de 23 minutos, e duração do descanso 23 minutos. O valor mínimo previsto para rendimento é 0,02% o qual ocorre na temperatura de secagem de 68 °C, duração do banho de ultrassom 19 min, tempo de inserção do descanso 21,5 min e duração do descanso 23 min. Já o valor máximo de rendimento é estimado em 1,36%, decorre da adoção do banho de ultrassom, temperatura do ar de secagem, tempo de inserção do descanso e duração do descanso iguais a 12 min, 52 °C, 29 min, e 11 min, respectivamente. O máximo valor da desejabilidade global, maximizando rendimento e minimizando o tempo de secagem foi igual a 0,8825, em que o valor estimado para tempo de secagem correspondeu a 72,87 min (1,21 h) e o rendimento de óleo essencial obtido foi 1,22%. Essa situação ocorreu para os seguintes valores fatores estudados: duração do banho 13 minutos, temperatura do ar de secagem 54 °C, tempo de inserção do descanso 36,5 minutos e duração do descanso 21,5 minutos. Quanto a composição, as principais substâncias encontradas foram Eugenol (54,7 – 80,1%),  $\beta$ -Ocimeno (8,1 – 20,8%), Germacreno D (2,2 – 6,5%), E-Cariofileno (1,6 – 4,5%).



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, R. P. et al. **Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry**. Carol Stream, IL: Allured Publishing Corporation, 2007.

AZEVEDO, C. D.; MOURA, M. A. Cultivo de plantas medicinais: Guia prático. **Rio Rural**, Rio de Janeiro, 2010.

BANDEIRA, J. M.; BARBOSA, F. F.; BARBOSA, L. M. P.; RODRIGUES, I. C. S.; BACARIN, M. A.; PETERS, J. A.; BRAGA, E. J. B. Composição do óleo essencial de quatro espécies do gênero *Plectranthus*. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**. v.13, n.2, 157-1644, 2011.

BARBOSA, F. F.; BARBOSA, L. C. A; MELO, E. C.; BOTELHO, F. M.; SANTOS, R. H. S. Influência da temperatura do ar de secagem sobre o teor e a composição química do óleo essencial de *Lippia alba*. **Química Nova**, v. 29, n.6, p.1221-1225, 2006.

BORGES, A. M.; PEREIRA, J.; CARDOSO, M. G.; ALVES, J. A.; LUCENA, E. M. P. Determinação de óleos essenciais de alfavaca (*Ocimum gratissimum L.*), orégano (*Origanum vulgare L.*) e tomilho (*Thymus vulgaris L.*). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v.14, n.4, p.656-665, 2012.

BORSATO, A. V.; DONI-FILHO, L.; AHRENS, D. C. Secagem da camomila (*Chamomilla recutita L.*) com cinco temperaturas do ar. **Revista Bras. De Plantas Medic.** v.7, n.2, p.77-85, 2005.

BRASIL. **Decreto nº 5813, de 22 de junho de 2006**. Aprova a Política Nacional de Práticas Integrativas e Complementares no Sistema Único de Saúde. Diário Oficial da União. 2006.

BRASIL. **Portaria Interministerial nº 2960, de 09 de dezembro de 2008**. Aprova o Programa Nacional de Plantas Mediciniais e Fitoterápicos e cria o Comitê Nacional de Plantas Mediciniais Fitoterápicos. Diário Oficial da União. 2008.

BRASIL. **RDC nº 10 de 9 de março de 2010**. Dispõe sobre a notificação de drogas vegetais junto à Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Diário Oficial da União, Brasília, Seção 1, p.52, 2010.

CARVALHO, L. M.; COSTA, J. A. M.; CARNELOSSI, M; A; G. **Qualidade em plantas medicinais**. Aracajú: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 45 p., 2010.

COSTA, L. C. B.; PINTO, J. E. B. P.; BERTOLUCCI, S. K. V.; ALVES, P. B.; EVANGELINO, T. S. Variação no rendimento e composição química do óleo essencial de folhas de Atroveran (*Ocimum selloi Benth.*) inteiras e moídas sob condições de armazenamento. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Campinas, v.11, n.1, p.43-48, 2009.

COSTA, A. V.; PINHEIRO, P. F.; RONDELLI, V; M.; QUEIROZ, V. T.; TULER, A. C.; BRITO, K. B.; STINGUEL, P.; PRATISSOLI, D. Óleo essencial de *Cymbopogon citratus* (Poaceae) em *Frankliniella schultzei* (Thysanoptera: Thripidae) e *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). **Bioscience Journal**. Uberlândia, v. 29, n.6, p.1840-1847, 2013.

CRUZ, M. J. F.; BEZERRA, S. B. Obtenção do óleo essencial de *Ocimum gratissimum* L para desenvolvimento de cosmético de limpeza fácil. **Rev. Dial. Acadêm.** v.6, n.2, 2017.

DZOYEM, J. P.; NGANTENG, D. N. D.; MELONG, R.; WAFO, P.; NGADJUI, B.; ALLÉMANN, E.; DELIE, F. Bioguided identification of pentacyclic triterpenoids as anti-inflammatory bioactive constituents of *Ocimum gratissimum* L. **Journal of Ethnopharmacology**. v.28, n.25, 2021.

DERRINGER, G.; SUICH, R. Simultaneous optimization of several response variables. **Journal of Quality Technology**, v. 12, p. 214-219, 1980.

DORNELES, L. N. S.; GONELI, A. L. D.; CARDOSO, G. A. L.; SILVA, C. B.; HAUTH, M. R.; OBA, G. C.; SCHOENINGER, V. Efeito da temperatura e da velocidade do ar na cinética de secagem e composição do óleo essencial de folhas de *Piper umbellatum* L. leaves. **Industrial Crops & Products**. v.142, 2019.

FRANCO, A. L. P.; OLIVEIRA, T. B.; FERRI, P. H.; BARA, M. T. F.; PAULA, J. R. Avaliação da composição química e atividade antibacteriana dos óleos essenciais de *Aloysia gratissima* (Gillies & Hook) Tronc. (ALFAZEMA), *Ocimum gratissimum* L. (ALFAVACA-CRAVO) E *Curcuma longa* L. (AÇAFRÃO). **Revista Eletrônica de Farmácia**. v.4, n.2, p.208-220, 2007.

GASPARIN, P. P.; ALVES, N. C. C.; CHRIST, D.; COELHO, S. R. M. Qualidade de folhas e rendimento de óleo essencial em hortelã pimenta (*Mentha x Piperita L.*) submetidas ao processo de secagem em secador de leito fixo. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**. Campinas, v.16, n.2, p.337-344, 2014.

GONELI, A. L. D.; NASU, A. K.; GANCEDO, R.; ARAÚJO, W. D.; SARATH, K. L. L. Cinética de secagem de folhas de erva baleeira (*Cordia verbenacea DC.*). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**. v.16, n.2, p.434-443, 2014.

GONTIJO, D. C.; FIETTO, L. C.; LEITE, J. P. V. Avaliação fitoquímica e atividade antioxidante, antimutagênica e toxicológica do extrato aquoso das folhas de *Ocimum gratissimum L.* **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**. v.16, n.4, 874-880, 2014.

INFANTE, R. A. **Efeito sobre as características estruturais e nutricionais da utilização do ultrassom como pré-tratamento da secagem de batata-doce (*Ipomoea batatas*) biofortificada.** (Tese – Doutorado em Nutrição) Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2021.

JORGE, M. H. A.; EMERY, F. S.; SILVA, A. M. Enraizamento de estacas de alfavaca (*Ocimum gratissimum L.*). **EMBRAPA**. Corumbá, 2006.

JUNIOR, C. C.; SCHEFFER, M. C. Boas Práticas Agrícolas (BPAs) Plantas medicinais, aromáticas e condimentares. **EMATER**. Curitiba, 2013.

RODRIGUES, V. G. S. Cultivo, uso e manipulação de plantas medicinais. **EMBRAPA**, Porto Velho, 2004.

LI, K.; ZHANG, Y.; WANG, Y. F.; EL-KOLALY, W.; GAO, M.; SUN, W.; LI, M. Effects of drying variables on the characteristic of the hot air drying for gastrodia elata: Experiments and multi-variable model. **Energy**. v.222, n.1. 2021.

LIMA, R. K.; CARDOSO, M. G. Família Lamiaceae: Importantes óleos essenciais com ação biológica e antioxidante. **Revista Fitos**, Lavras, v.3, n.3, 2007.

LUZ, J. M. Q.; EHLERT, P. A. D.; INNECCO, R. Horário de colheita e tempo de secagem da alfavaca-cravo. **Horticultura Brasileira**, v.27, p. 539-542, 2009.

MAIA; T. F.; DONATO, A.; FRAGA, M. E. Atividade antifúngica de óleos essenciais de plantas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. v.17, n.1, 105-116, 2015.

MARONDE, D. N.; VENANCIO, A. N.; LOPES, R. P.; SOUZA, G. R.; PARREIRA, L. A.; MENINI, L. Influence of light on the composition of Eucalyptus essential oil (*Eucalyptus urograndis*). **Braz. Journal of Development**. v.6, n.12, 98082-9890, 2020.

MATASYOH, L. G.; MATASYOH, J. C.; WACHIRA, F. N.; KINYUA, M. G.; MUIGAIA, W. T.; MUKIAMA, T. K. Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Ocinum gratissimum* L. growing in Eastern Kenya. **African Journal of Biotechnology**, v.6, n.6, p.760-765, 2007.

MILLEZI, A. F.; BAPTISTA, N. N.; CAIXETA, D. S.; ROSSONI, D. F.; CARDOSO, M. G.; PICCOLI, R. H. Chemical characterization and antibacterial activity of essential oils from medicinal plants against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.16, n.1, p. 18-24, 2014.

NG; Z. X.; YONG, P. H.; LIM, S. Y. Customized drying treatments increased the extraction of phytochemicals and antioxidante activity from economically viable medicinal plants. **Industrial Crops and Products**. v.155, n.1, 2020.

OLIVEIRA, F. A. G. M.; BUENO, C. C.; DYNA, F. A. G. M.; LEMBI, M. K. S.; SILVA, T. A. R.; SILVA, C. S.; MORITZ, C. M. F.; SAKAI, O. A. Efeitos da extração verde assistida por ultrassom como pré-tratamento na obtenção do óleo essencial e hidrolato de aroeira vermelha (*Schinus terebinthifolius* RADDI). **Revista de Gestão e Sustentabilidade Ambiental**. v.11, n. esp., 159-174, 2022.

OLIVEIRA, J. M. **Avaliação da qualidade do óleo essencial de erva-baleeira (*Varronia curassavica*) após pré-tratamento com ultrassom e secagem**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, 2017.

PACHÚ, C. O. **Processamento de plantas medicinais para obtenção de extratos secos e líquidos**. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) Universidade Federal de Campina Grande, 2007.

PEREIRA, C. A. M.; MAIA, J. F. Estudo da atividade antioxidante do extrato e do óleo essencial obtidos das folhas de alfavaca (*Ocimum gratissimum L.*). **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.27, n.3, p.624-632, 2007.

QUEIROZ, G. A.; SILVA, P. H. L.; OLIVEIRA, R. A.; SODRÉ, G. A.; COSTA, L. C. B. Drying temperature changes trichome integrity, Chemical content and composition of the essential oil of pepper-rosmarin. **Ciência Rural**. v.48, n.11, 2018.

RADUNZ, L. L.; AMARAL, A; S.; MOSSI, A. J.; MELO, E. C. ROCHA, R. P. Avaliação da cinética de secagem de carqueja. **Engenharia na Agricultura**, v.19, n.1, p.19-27, 2011.

RADUNZ, L. L.; MELO, E. C.; ROCHA, R. P.; BARBOSA, F. F.; SANTOS, R. H. S.; BERBET, P. A. Avaliação das curvas de secagem de guaco (*Mikania glomerata Spreng.*) em secador de bandejas. **Rev. Bras. de Plantas Mediciniais**. v.16, n.2, p.378-387, 2014.

RESOLUÇÃO – RDC N° 2, de 15 de Janeiro de 2007. **Regulamento Técnico sobre Aditivos Aromatizantes**. Brasil, 2007.

RIBEIRO, P. H. S. **Óleos essenciais de espécies de Eugenia do Cerrado: Composições sazonais, modificações químicas no B-Cariofileno e avaliação da atividade acaricida**. (Tese – Doutorado em Química). Brasília, 2015.

SANTANA, M. S.; MACHADO, E. C. L.; STAMFORD, T. C. M.; STAMFORD, T. L. M. Propriedades funcionais do eugenol e sua aplicação em alimentos. **Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos**. p. 59-73. Cap. 3. 2021.

SANTOS, G. R. F. Otimização da secagem de Alfavaca (*Ocimum gratissimum L.*) visando redução no tempo de secagem e o máximo rendimento de óleo essencial. (**Dissertação** – Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). 64f. 2021.

SANTOS, L. G. M.; CARDOSO, M. G.; LIMA, R. K.; SOUZA, P. E.; GUIMARÃES, L. G. L.; ANDRADE, M. A. Avaliação do potencial fungitóxico do óleo essencial de *Syzygium aromaticum (L.) (Cravo-da-índia)*. **Tecnológica**. v.11, n.1, 11-14, 2007.

SENAR. **Plantas medicinais, aromáticas e condimentares: produção e beneficiamento/ Serviço Nacional de Aprendizagem Rural**. Brasília, 124 p., 2017.

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* L.). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**. v.17, n.4, p.953-963, 2015.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Cinética de secagem de sementes de pinhão-manso. **Revista Ceres**, v.59, n.2, p.171-177, 2012.

SOARES, R. D.; CHAVES, M. A.; SILVA, A. A. L.; SILVA, M. V.; SOUZA, B. S. Influencia da temperatura e velocidade do ar na secagem de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) com relação aos terrores de óleos essenciais e de linalol. **Ciências Agrotec**. v.31, n.4, p.1108-1113, 2007.

SOUSA, F. C.; MARTINS, J. J. A.; ROCHA, A. P. T.; GOMES, J. P.; PESSOA, T.; MARTINS, J. N. Predição de modelos sobre a cinética de secagem de folhas de *Ziziphus joazeiro* Mart. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Campinas, v.17, n.2, p.195-200, 2015.

SOUSA NETO, O. L. **O uso do eugenol como agente antimicrobiano para a agroindústria**. (Dissertação – Mestrado em Processos Agroindustriais) Campina Grande, 2018.

SOUZA, R. A.; MELO, E. C.; ÁVILA, M. B. R.; GONZAGA, D. A.; SPEROTTO, N. C. Z.; CARNEIRO, A. P. S. Intermittent drying of clove basil leaves: Process optimization and essential oil yield. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.24, n.3, 209-215, 2020.

SOUZA, T. S. de et al. Óleo essencial de *Psidium guajava*: Influência de genótipos e ambiente. **Scientia Horticulturae**, v. 216, p. 38–44, 2017.

SOUZA, D. A.; SANTOS, J. V. A.; KWIATKOWSKI, A. MINAS, R. S.; SILVA, G. R.; JARDIM, G. N.; OLIVEIRA, D. M. Potencialidades químicas e bioativas do uso da planta e do óleo essencial de alfavaca (*Ocimum gratissimum* L.). **Sistemas de Produção nas Ciências Agrárias 2**. Ed. Atena. Ponta Grossa, 2021.

SMSDC. Manual de cultivo de Plantas Mediciniais: programa de plantas medicinais e fitoterapia. **Série B. Normas e Manuais Técnicos**. 1 ed. Rio de Janeiro, 2012.

STORCK, R. C.; DESCHAMPS, C. Teor e composição do óleo essencial de patchouli (*Pogostemon cablin* (Blanco Benth.) após diferentes tempos de secagem em estufa e temperatura ambiente. **Revista Bras. De Plantas Medicinai**s. v.17, n.4, 570-576, 2015.

VERRUCK, S; PRUDENCIO, E. S. **Ultrassom na indústria de alimentos: aplicações no processamento e conservação**. Atena Editora. 56 p. 2018.

VILANOVA, C. M.; LUZ, T. R. S. A.; SILVEIRA, D. P. B.; COUTINHO, D. F.; MOURA, E. G. *Ocimum gratissimum* L.: review of the pharmacological activities of the species and its essential oil. **Conexão Ciência**. v.14, n.1, 64-78, 2019.

XAVIER, M. N.; ALVES, J. M.; CARNEIRO, N. S.; SOUCHIE, E. L.; SILVA, E. A. J.; MARTINS, C. H. G.; AMBROSIO, M. A. L. V; EGEA, M. B.; ALVES, C. C. F.; MIRANDA, M. L. D. Chemical composition of essential oil from *Cardiopetalum calophyllum Schlt*dl. and its antioxidant, antibacterial and antifungal activities. **Revista Virtual de Química**. v.8, n.5, 1433-1448, 2016.

ZENG, L.; LIAO, Y.; LI, J.; ZHOU, Y.; TANG, J.; DONG, F.; YANG, Z.  $\alpha$ -Farnesene and ocimene induce metabolite changes by volatile signaling in neighboring tea (*Camellia sinensis*) plants. **Plant Science**. v.264, 29-36, 2017.

ZOTTI, N. C. **Secagem de *Varronia curassavica*, *Lippia origanoides* e *Ocimum gratissimum* com bomba de calor utilizando banho de ultrassom como pré-tratamento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, 2016.