

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**CINÉTICA DE SECAGEM DE FOLHAS DE GUAÇATONGA
(*Casearia sylvestris* swartz var. língua)**

**FLÁVIO GOMES ZILIO
GUILHERME FERNANDO VIEIRA QUEIROZ**

**DOURADOS
2024**

CINÉTICA DE SECAGEM DE FOLHAS DE GUAÇATONGA
(*Casearia sylvestris* swartz var. língua)

FLÁVIO GOMES ZILIO
GUILHERME FERNANDO VIEIRA QUEIROZ

Orientador: PROF. Dr. André Luís Duarte Goneli

Projeto do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências para conclusão do curso de Engenharia Agrícola.

DOURADOS
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

Q3c Queiroz, Guilherme Fernando Vieira

Cinética de Secagem da Folha de Guaçatonga [recurso eletrônico] / Guilherme Fernando Vieira
Queiroz, Flavio Gomes Zilio. -- 2024.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: André Luis Duarte Goneli.

Coorientador: Munir Mauad.

TCC (Graduação em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2024.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Plantas medicinais. 2. Modelagem matemática. 3. Difusão. I. Gomes Zilio, Flavio. II. Goneli,
André Luis Duarte. III. Mauad, Munir. IV. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

CINÉTICA DE SECAGEM DE FOLHAS DE GUAÇATONGA
(*Casearia sylvestris* swartz var. língua)

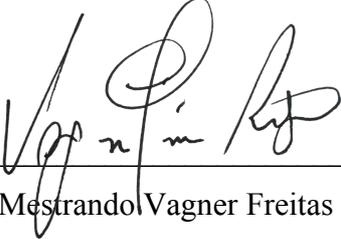
FLÁVIO GOMES ZILIO
GUILHERME FERNANDO VIEIRA QUEIROZ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para
obtenção do título de ENGENHEIRO AGRÍCOLA

Aprovado em: 05 de março de 2024.

Prof. Dr. André Luís Duarte Goneli – UFGD
Orientador – UFGD/FCA

Prof. Dr. Munir Mauad
Membro da banca – UFGD/FCA



Mestrando Vagner Freitas Rigo
Membro da banca – UFGD/FCA

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, expresso minha sincera gratidão a Deus pela dádiva da vida e pela oportunidade de vivenciar este momento singular em minha trajetória.

Quero dedicar palavras de profundo reconhecimento aos meus pais excepcionais, Heleno de Queiroz e Roseni Vieira Queiroz. Seu apoio incansável, amor incondicional e incentivo constante foram a força motriz por trás de cada passo desta jornada acadêmica. A presença deles não apenas marcou meu percurso, mas também se tornou a âncora que me permitiu superar desafios e alcançar este patamar significativo.

Não posso deixar de expressar minha gratidão à minha tia Celina de Queiroz, cujo papel como segunda mãe foi vital. Sua motivação constante e apoio em diversas formas tornaram este caminho em direção ao sucesso mais suave e inspirador.

Um agradecimento especial ao respeitável Professor Doutor André Goneli, uma referência notável em minha formação profissional, por aceitar a responsabilidade de guiar esta pesquisa. Sua orientação sábia e conhecimento foram fundamentais para o desenvolvimento e aprimoramento deste trabalho.

Aos meus queridos primos, Ariane, Ruan, Isadora e Gabriel, expresso minha gratidão pelos momentos de descontração que proporcionaram alívio durante os desafios acadêmicos. Sua presença constante foi um lembrete valioso de que a vida acadêmica é apenas uma etapa em nossa jornada.

Minha profunda gratidão aos amigos que, com suas palavras de ânimo e incentivo, foram pilares essenciais em momentos desafiadores. O apoio deles foi crucial para a realização deste TCC.

À minha família, meu agradecimento por seu apoio inabalável e amor constante que foram pilares fundamentais para minha superação de desafios e a conclusão bem-sucedida desta etapa acadêmica.

Ao Flavio Zilio, meu parceiro nesta pesquisa, expresso meu sincero agradecimento pela amizade e companheirismo ao longo dos anos de graduação. Sua colaboração foi instrumental para o sucesso desta pesquisa.

Por fim, estendo meus agradecimentos à Universidade Federal da Grande Dourados, por disponibilizar os recursos necessários para a realização desta pesquisa, e a todos os professores que, com dedicação incansável, compartilham o conhecimento essencial para nossa formação profissional.

Este trabalho é o resultado do esforço coletivo e do apoio inestimável de cada pessoa mencionada. A todos, minha mais profunda gratidão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, à Deus primeiramente, por ter me sustentado até aqui, por ter me dado saúde, força e discernimento ao longo dessa caminhada.

A todos os professores ao decorrer da graduação, em especial:

Ao professor e orientador, Dr. André Luís Duarte Goneli por toda a paciência, disposição e conhecimento transmitido ao decorrer dessa jornada, que agregará muito na minha vida pessoal e profissional.

A minha família, principalmente aos meus pais, Luiz Alberto Zilio e Wilma Camargo Gomes, por todo apoio, carinho e sempre estarem ao meu lado, nada disso seria possível sem vocês.

A minha namorada Vanessa Steimmetz Stragliotto, pela paciência e compreensão ao longo dessa jornada.

Ao meu colega de trabalho e amigo de boas gargalhadas Guilherme Queiroz, por seu companheirismo e amizade ao decorrer da graduação.

Aos meus amigos e colegas de graduação, pelo convívio, descontração e aprendizado mútuo.

Aos membros da banca que aceitaram o convite.

A Universidade Federal da Grande Dourados, por me proporcionar toda infraestrutura e ambiente acadêmico de qualidade, sempre estimulando-nos a adquirir mais e mais conhecimento.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	v
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Folhas de Guaçatonga	3
2.2 Secagem.....	4
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	6
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
5 CONCLUSÃO.....	19
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20

ZILIO, Flavio Gomes, QUEIROZ, Guilherme Fernando Vieira. CINÉTICA DE SECAGEM DE FOLHAS DE GUAÇATONGA (*Casearia sylvestris* swartz var. língua). 2024. 22p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade da Grande Dourados, 2024.

RESUMO

Objetivou-se com o presente trabalho analisar a cinética de secagem das folhas de Guaçatonga (*Casearia sylvestris* swartz var. língua) em diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem. O estudo foi desenvolvido no LAPREP – Laboratório de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas (FCA/UFGD). Foram utilizadas folhas de guaçatonga colhidas aleatoriamente de diferentes plantas no início da manhã, sempre no mesmo horário. Um estudo de taxa de secagem é realizado em um secador de teste usando uma combinação de quatro temperaturas (40, 50, 60, 70 °C) e duas velocidades do ar de secagem (0,4 e 0,8 m s⁻¹). O produto é seco até um teor de umidade de aproximadamente 0,10 decimal b.s. Um modelo matemático tradicionalmente utilizado para descrever a secagem de produtos agrícolas é ajustado aos dados experimentais de razão de umidade. Além disso, são determinadas a taxa de perda de água, o coeficiente de difusão efetivo e a energia de ativação. Os resultados são submetidos a análises de regressão linear e não linear para verificar quais modelos fornecem um ajuste estatístico satisfatório aos dados observados. O modelo que mais se ajustou a curva de secagem foi o de Midilli e, houve diminuição no tempo de secagem e aumento nos valores de difusão efetivo com o aumento da temperatura e velocidade do ar de secagem e, também se reduziu a energia de ativação durante a secagem ao aumentar a velocidade do ar de secagem.

Palavras-chave: Plantas medicinais, modelagem matemática, difusão.

ABSTRACT

The aim of this study was to analyze the drying kinetics of Guaçatonga leaves (*Casearia sylvestris* swartz var. língua) at different temperatures and drying air speeds. The study is being carried out at LAPREP - Laboratório de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas (FCA/UFGD). Guaçatonga leaves are used, randomly harvested from different plants in the early morning, always at the same time. A drying rate study is carried out in a test dryer using a combination of four temperatures (40, 50, 60, 70 °C) and two drying air speeds (0.4 and 0.8 m s⁻¹). The product is dried to a moisture content of approximately 0.10 decimal b.s. A mathematical model traditionally used to describe the drying of agricultural products is fitted to the experimental moisture ratio data. In addition, the rate of water loss, the effective diffusion coefficient and activation energy determined. The results are subjected to linear and non-linear regression analysis to check which models provide a satisfactory statistical fit to the observed data. The model that best fitted the drying curve was the Midilli model and there was a decrease in the drying time and an increase in the effective diffusion values as the temperature and drying air velocity increased, as well as a reduction in the activation energy during drying as the drying air velocity increased.

Keywords: Medicinal plants, mathematical modeling, diffusion.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de plantas medicinais e aromáticas, é uma das práticas mais antigas e universais da espécie humana. Essa utilização deve-se ao seu potencial curativo que tem ganhado um grande destaque no cenário industrial. Por esse motivo as plantas medicinais servem como matéria-prima para a produção de diversos derivados sintéticos ou naturais, para os mais variados segmentos nas indústrias farmacêutica, alimentícia, cosmética e outras como fonte de metabólitos secundários. O uso de plantas medicinais e aromáticas e substâncias naturais é um dos fatores mais importantes para garantir a saúde humana (Zamani et al., 2023). Esse fato faz com que seja utilizada no tratamento de enfermidades nas formas tradicionais, convencionais, e de forma caseira por meio da sua forma in natura (Suntar, 2019). Seu uso é bastante disseminado entre a população brasileira, sendo vários os fatores que colaboram no desenvolvimento de práticas de saúde que incluam plantas medicinais, dentre elas o baixo custo da utilização da medicina caseira e as propriedades terapêuticas provenientes dos princípios ativos (Almeida, 2011).

Casearia sylvestris Swartz var. língua popularmente conhecida como guaçatonga, guaçatunga, língua-de-lagarto, bugre ou cafezinho-do-mato, é uma planta bastante comum nos biomas brasileiros. Possui uma ótima capacidade de se adaptar a diferentes ambientes e suas propriedades medicinais são provenientes de metabólitos secundários encontrados em suas folhas, flores, caule, frutos e raízes. Dentre esses órgãos, destaca-se o uso das folhas para aplicação na medicina. Diversas pesquisas têm sido desenvolvidas para estudar esta espécie devido a expansão de seu uso como fitoterápico (Heymanns et al., 2021).

As atividades farmacológicas descritas para espécie estão relacionadas tanto ao óleo essencial, quanto aos extratos obtidos de suas folhas, os quais segundo a literatura demonstrou exercer baixa toxicidade quando administrados por via oral ou tópica in vivo e in vitro (Spósito et al., 2018).

No geral, as principais partes utilizadas das plantas medicinais são as aéreas, como frutos, folhas e flores. Essas estruturas possuem um elevado teor de água após a colheita, sendo a água a principal responsável pelo aumento das atividades metabólicas e mudanças químicas e físicas, que ocorrem no produto após a coleta até o momento da sua utilização ou processamento (Khallaf e El-Sebaei, 2022; Poós e Varju, 2017). Neste sentido, as plantas aromáticas e medicinais devem ser comercializadas, consumidas ou secas, logo após a colheita, com o objetivo de minimizar as perdas no conteúdo e composição dos princípios ativos das plantas. O adequado processamento pós-colheita de plantas medicinais e aromáticas é essencial,

tendo em vista a alta sensibilidade a danos fúngicos (causados pelo alto teor de água). Assim, o teor de água deve ser reduzido para valores próximos a 10-12% durante o processo de secagem com o objetivo de minimizar as perdas no conteúdo e composição dos princípios ativos das plantas (Hazrati et al., 2021).

Dessa forma, a secagem é um dos processos mais utilizados para proteger os alimentos contra a deterioração, o que reduz as atividades microbianas e enzimáticas e aumenta a vida útil do produto (Hazrati et al., 2021; Zamani et al., 2023).

A secagem ainda pode contribuir para a comercialização, uma vez que a secagem resulta em uma diminuição do peso e volume das plantas medicinais com efeitos positivos no transporte e armazenamento (Goneli et al., 2014; Prusinowska e Śmigielski, 2015; Karam et al., 2016; Hazrati et al., 2021; Khallaf e El-Sebaei, 2022; Zamani et al., 2023).

Para que uma alta eficiência seja alcançada durante a secagem, é necessário a simulação do comportamento de cada espécie medicinal durante o processo. Tal simulação é realizada por meio de modelos matemáticos que possam representar satisfatoriamente a perda de água do produto, durante o período de secagem em função da espessura de camadas do material (Berbert et al., 1995).

O estudo da cinética de secagem permite estimar as variáveis dependentes envolvidas no processo, que neste caso são os teores de água, considerados dependentes da temperatura e vazão específica do ar. Identificá-las e entendê-las é uma forma de melhor compreender o processo de retirada de água e, a partir do monitoramento dessas variáveis torna-se possível analisar os dados e expressar os resultados de maneira a facilitar a visualização e a compreensão do comportamento desse fenômeno. A partir desses fatores é possível realizar o ajuste de modelos matemáticos que possibilitam analisar e determinar o comportamento do sistema dinâmico do secador, procurando preservar as características naturais das plantas medicinais (Puente-Díaz et al., 2013).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Folhas de Guaçatonga

A *Casearia sylvestris* Swartz, popularmente conhecida como guaçatonga no território brasileiro, está presente na Relação Nacional de Plantas Medicinais de Interesse do SUS (RENISUS) e, também está presente no Formulário Nacional de Fitoterápicos da Farmacopeia Brasileira, que sentenciar a padronização de fitoterápicos, garantindo a qualidade, eficácia e segurança de princípios ativos naturais (PEREIRA, et al., 2017).

Ela é uma planta perenifolia, heliófita, seletiva higrófila, característica e preferencial dos sub-bosques dos pinhais (LORENZI, 1992). Suas folhas são persistentes, possuindo pecíolo forte e sendo difícil de colher, são pontiagudas, apresentando as bordas onduladas, brilhantes na sua porção superior, dotadas de glândulas visíveis por transparência em todo o seu limbo (FIGURA 1).



FIGURA1: Folhas de Guaçatonga. Fonte: Tua Saúde (<https://www.tuasaude.com/guacatonga/>, acessado em dezembro de 2023)

A guaçatonga possui formato e coloração de folhas características, sendo flores pequenas em formatos de cachos de cor creme-esbranquiçada. Sua altura, vai de 2 metros a mais de 10 metros e seus frutos podem começar a surgir a partir do segundo ano, nascem e crescem redondos com coloração verde e finalizam sua maturação com uma cor marrom que se

abrem e apresentam três sementes (HOWARD, 1989; LORENZI, 1992; SLEUMER, 1984; STEVENS et al., 2001).

Ela se distribui por grande parte do território nacional, apesar de não estar presente somente no território brasileiro, no Brasil ela ocorre em diversos terrenos florestais, concentrados no sul e sudeste do país, especialmente nos estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (LORENZI, 1992).

Suas folhas, cascas e raízes têm efeitos antissépticos e antipiréticos, além de efeitos medicinais, purificadores do sangue e tratamento da sífilis. O chá feito de suas folhas, é usado no combate à bronquite e asma, e a casca é eficaz contra diarreia, doenças hepáticas e picadas de cobra (Almeida et al., 1998).

2.2. Secagem

Secagem é a operação de retirada de água ou outro líquido de um material, este conceito também se aplica às operações de evaporação, que é a concentração de uma solução líquida (Celestino, 2010). Alguns fatores são cruciais e influenciam diretamente no processo de secagem, como a temperatura, velocidade do ar de secagem, umidade relativa, dentre outros. Ao secar as folhas corretamente, é possível preservar a integridade das estruturas celulares da planta, o que é essencial para manter a qualidade dos compostos ativos presentes nas folhas.

A remoção de água dos produtos agrícolas consiste em um complexo processo, envolvendo a transferência simultânea de calor e massa entre o ar de secagem e o produto a ser seco, na qual o aumento da temperatura provoca o aumento da pressão parcial de vapor no produto, provocando a redução no teor de água do mesmo (Goneli et al., 2014).

A temperatura do ar de secagem depende da sensibilidade ao calor do agente ativo das plantas e da taxa de migração de umidade, quanto maior a temperatura empregada, mais rápido será o processo de secagem. No entanto, a escolha da temperatura deve ser realizada com muito cuidado, uma vez que se for muito elevada pode levar à abrasão das superfícies das folhas (Poós e Varju, 2017).

O aumento da velocidade de secagem pode ser obtido tanto a partir da elevação da temperatura do bulbo seco, redução da umidade relativa do ar, como também se elevando o fluxo de ar. O emprego de fluxos de ar elevados tem maior efeito quando a temperatura de secagem é baixa, além disso, exigem ventiladores mais potentes.

Uma camada delgada possui a espessura de uma única unidade do produto. A equação de secagem em camada delgada, e com as equações representativas de outras propriedades

físicas específicas do produto em estudo, forma um conjunto de relações matemáticas que posteriormente auxiliará nos cálculos e no entendimento dos processos de secagem em camada espessa. Acredita-se que uma camada espessa seja constituída de uma sucessão de camadas delgadas superpostas (KASHANINEJAD et al., 2007).

Se tratando de cinética de secagem em produtos agrícolas em camada delgada, é de grande utilização três tipos de modelos: modelos teóricos, semi-teóricos e empíricos. Os modelos semi-teóricos e empíricos se assemelham, levando em consideração a resistência externa, a temperatura e umidade relativa do ar de secagem. Já os modelos teóricos, por outro lado, consideram a resistência interna, a transferência de calor e água entre o produto e o ar de secagem (MIDILLI et al., 2002; DOYMAZ, 2005).

O modelo da difusão é o mais estudado quando se fala em modelos teóricos aplicados ao processo de secagem. Ele se aplica em processos de secagem de um sólido à taxa decrescente, que considera como mecanismo principal, a difusão baseada na segunda Lei de Fick, na qual descreve que o fluxo de massa de área é proporcional ao gradiente de concentração de água (PARK et al., 2002)

Na maioria das vezes os modelos semiteóricos são derivados da simplificação da segunda Lei de Fick, ou da modificação de modelos simplificados. Contudo, eles só se validam dentro da faixa de ar, temperatura, umidade relativa, velocidade do fluxo de ar e teor de umidade para a qual foram produzidos (OZDEMIR & DEVRES, 1999; PANCHARIYA et al., 2002).

Os modelos empíricos de secagem, não fornecem uma perspectiva dos importantes processos ocorridos durante a secagem, a não ser em casos específicos que descrevem as curvas de secagem para determinadas condições experimentais. Eles apresentam uma relação direta entre o teor de água do produto e o tempo de secagem (KEEY, 1972).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no LAPREP - Laboratório de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, que pertence à Faculdade de Ciências Agrárias – FCA, Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Dourados, MS. Foram utilizadas folhas de guaçatonga (*C. sylvestris*) colhidas no Horto de Plantas Medicinais - HPM (22°11'43.7''S e 054°56'08.5''W) da FCA/UFGD, onde a espécie já está estabelecida há mais de 10 anos.

Foram coletadas folhas frescas no período da manhã aleatoriamente sob condições de não ocorrência anterior de precipitação pluviométrica, irrigação e sem resquício de orvalho, com o intuito de evitar a variação no teor de água inicial das folhas. Em seguida, as folhas foram homogeneizadas e selecionadas, eliminando aquelas com incidência de doenças ou danificadas, com a finalidade de se evitar qualquer tipo de interferência no processo de secagem.

O processo de secagem foi realizado em quatro temperaturas (40, 50, 60, e 70 °C) e duas velocidades do ar de secagem (0,4 e 0,8 m s⁻¹), totalizando assim, oito condições de secagem. Para cada condição empregada, utilizou-se aproximadamente 100 g de folhas de guaçatonga, sendo que parte do material colhido foi destinado à determinação do teor de água e a outra parte (50 g) foi submetida ao processo de secagem, em um delineamento inteiramente casualizado, num esquema fatorial 2 x 4.

O processo de retirada de água do grão foi realizado em um secador experimental de leito fixo (Figura 1), que possui como características uma fonte de aquecimento constituída por um conjunto de resistências elétricas, totalizando 12 kW de potência, e um ventilador Siroco, da marca Ibraum, modelo VSI-160, com motor de 1 cv (Goneli et al., 2016).

A temperatura foi controlada por meio de um controlador universal de processos, da marca Novus, modelo N1200, trabalhando com controle proporcional integral derivativo (PID), e o fluxo de ar foi selecionado por meio de um inversor de frequência ligado ao motor do ventilador. O secador é dotado de um sistema que controla com precisão a temperatura do ar de secagem, e dispõe um sensor conectado a um painel de controle, visando a obtenção de um ajuste fino e monitoramento da temperatura do ar de secagem.

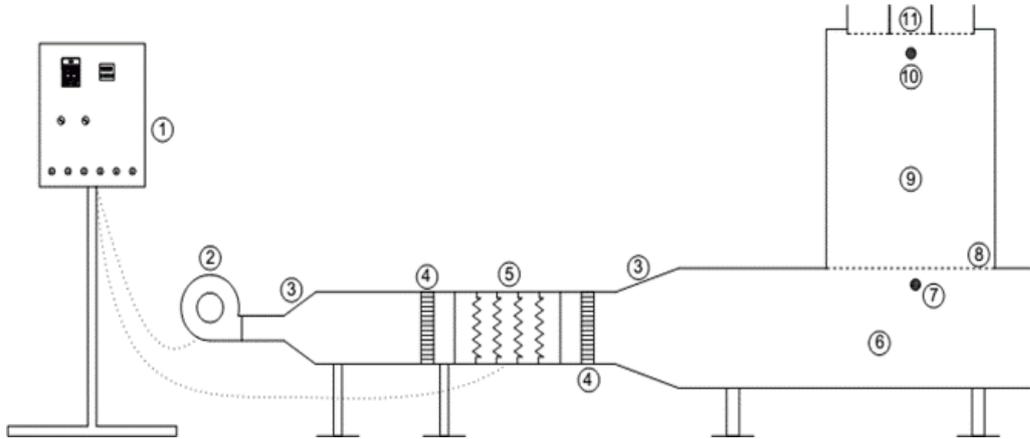


FIGURA 2. Secador experimental utilizado na secagem das folhas de guaçatonga (1- Painel de controle de temperatura e fluxo de ar; 2- Ventilador centrífugo; 3- Expansões; 4- Homogeneizadores de ar; 5. Conjunto de resistências elétricas; 6- Plenum; 7- Ponto de medição de temperatura para secagem em camada espessa; 8- Fundo telado para secagem em camada espessa; 9- Câmara de secagem em camada espessa; 10- Ponto de medição de temperatura para secagem em camada delgada; 11- Conjunto de bandejas para secagem em camada delgada). Fonte: Goneli, (2016).

O leito de secagem foi composto por duas bandejas de fundo telado, alocadas no interior de um secador experimental, cada uma contendo 25 gramas de produto (Figura 2). A velocidade do ar de secagem foi ajustada pela rotação do motor do ventilador, por meio do inversor de frequência, até atingir a velocidade desejada, sendo averiguada com auxílio de um termo anemômetro de pás rotativas, da marca Instrutherm, modelo TAD 500, com resolução de $\pm 0,1 \text{ m s}^{-1}$.



FIGURA 3. Composição do leito de secagem das folhas de guaçatonga. Fonte: Autores (2023).

O teor de água das amostras foi determinado pelo método gravimétrico recomendado pela ASABE (2010), para forrageiras e plantas similares, em estufa com circulação forçada de ar a 103 ± 1 °C, durante 24 horas. O teor de água inicial das folhas de guaçatonga, no início dos tratamentos de secagem foi de 0,9838 decimal b.s.. O processo de secagem foi realizado até que as folhas atingissem o teor de água de equilíbrio com as condições do ar de secagem empregada em cada tratamento. Entretanto, mas para fins de modelagem matemática, o teor de água final das folhas de guaçatonga, foi considerado de aproximadamente $0,10 \pm 0,01$ b.s..

Durante o processo de secagem, as bandejas com as amostras foram pesadas periodicamente. Foi utilizada uma balança digital de 0,01 g de resolução. O tempo entre as leituras foi controlado por meio da diferença de massas (conhecendo-se a massa e o teor de água inicial das folhas), de forma que não permitisse diferenças acentuadas de teor de água entre as leituras.

A razão de umidade (RU) das folhas de guaçatonga durante a secagem nas diferentes condições de ar, foi determinada por meio da seguinte expressão:

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} \quad (1)$$

em que:

RU = razão de umidade do produto, adimensional;

U = teor de água do produto em um determinado tempo, decimal b.s.;

U_e = Teor de água final de equilíbrio do produto, decimal b.s.;

U_i = Teor de água inicial do produto, decimal b.s..

A razão de umidade é essencial para descrever diferentes modelos de secagem em camada delgada. Desta forma, em todas as condições testadas, os valores de razão de umidade em função do tempo de secagem foram ajustados aos modelos tradicionalmente utilizados para descrever a cinética de secagem de produtos agrícolas (Tabela 1).

TABELA 1. Modelos matemáticos ajustados às curvas de secagem de folhas de Guaçatonga

Designação do modelo	Modelo	
Aproximação da difusão	$RU = a \exp(-k \theta) + (1 - a) \exp(-k b \theta)$	(2)
Dois Termos	$RU = a \exp(-k_0 \theta) + b \exp(-k_1 \theta)$	(3)
Exponencial de dois termos	$RU = a \exp(-k \theta) + (1 - a) \exp(-k a \theta)$	(4)
Henderson e Pabis Modificado	$RU = a \exp(-k \theta) + b \exp(-k_0 \theta) + c \exp(-k_1 \theta)$	(5)
Logaritimo	$RU = a \exp(-k \theta) + c$	(6)
Midilli	$RU = a \exp(-k \theta^n) + b \theta$	(7)
Page	$RU = \exp(-k \theta^n)$	(8)
Thompson	$RU = \exp \{[-a - (a^2 + 4 b \theta)^{0.5}]/2b\}$	(9)

em que:

θ = tempo de secagem, h;

k, k_0 e k_1 = coeficientes dos modelos, h^{-1} ; e

a, b, c e n = coeficientes dos modelos, adimensionais.

A taxa de redução de água do produto durante a secagem foi determinada pela Equação 10, que, refere-se à quantidade de água que determinado produto perde por unidade de matéria seca por unidade tempo.

$$TRA = \frac{Ma_0 - Ma_i}{MS(t_i - t_0)} \quad (10)$$

em que:

TRA = taxa de redução de água, $kg \ kg^{-1} \ h^{-1}$;

Ma0 = massa de água total anterior, kg;

Mai = massa de água total atual, kg;

MS = massa seca, kg;

t0 = tempo total de secagem anterior, h;

t_i = tempo total de secagem atual, h.

A determinação do coeficiente de difusão efetivo das folhas de guaçatonga para as diferentes temperaturas de secagem foram calculados baseados na teoria da difusão líquida. Esta equação é a solução analítica para a segunda lei de Fick considerando-se a forma geométrica do produto como aproximada de uma placa plana e com aproximação de oito termos.

$$RU = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n_t=0}^{\infty} \frac{1}{(2n_t + 1)^2} \exp \left[-(2n_t + 1)^2 \pi^2 D_i \left(\frac{\theta}{4 L_e} \right)^2 \right] \quad (11)$$

em que:

D_i = coeficiente de difusão efetivo, $m^2 s^{-1}$;

θ = tempo de secagem, s;

L = espessura do produto, m;

n = número de termos do modelo.

Para determinação da espessura das folhas de guaçatonga, foram realizadas 50 repetições por dia de coleta de material, utilizando-se paquímetro digital com resolução de 0,01 mm. Para cada folha medida, eram feitas três medições, em diferentes locais. Foi calculada a média dos valores, obtendo-se 0,5083 mm.

Para avaliar a influência da temperatura no coeficiente de difusão efetivo foi utilizada a equação de Arrhenius, descrita a seguir:

$$D_i = D_0 \exp \left(\frac{E_a}{R T_a} \right) \quad (12)$$

em que:

D_0 = fator pré exponencial;

T_a = temperatura absoluta, K;

R = constante universal dos gases, $8,314 \text{ kJ kmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$;

E_a = energia de ativação, kJ mol^{-1} .

Os dados experimentais de razão de umidade durante a secagem das folhas de guaçatonga foram submetidos à análise de regressão não linear, pelo método Gauss-Newton.

Ajustaram-se aos dados experimentais, oito modelos matemáticos para expressar a relação entre as variáveis analisadas através do programa computacional Statistica 8.0®. Para análise do grau de ajuste de cada modelo, foram consideradas as magnitudes do coeficiente de determinação ajustado (R^2), do erro médio relativo (P) e do desvio padrão da estimativa (SE).

Os valores de erro médio relativo (P) e desvio padrão da estimativa (SE) foram calculados conforme descrito a seguir:

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \right) \quad (13)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (14)$$

em que:

N = número de observações experimentais;

Y = valor observado experimentalmente;

\hat{Y} = valor estimado pelo modelo;

GLR = graus de liberdade do modelo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observa-se que os modelos ajustados aos dados experimentais apresentaram valores de coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,96 (Tabela 2). Os modelos: aproximação da difusão (2), Exponencial de dois termos (4) e Handerson e Pabis modificado (5) apresentaram para a maioria das condições de secagem analisadas, as maiores magnitudes para o desvio padrão da estimativa (SE). Conforme Draper e Smith (1998), o desvio padrão da estimativa indica a capacidade de um modelo descrever com fidelidade um determinado processo físico, sendo que quanto menor seu valor melhor será a qualidade do ajuste do modelo em relação aos dados observados, uma vez que este índice mede o erro cometido pelo modelo na mesma unidade física da variável estimada. Neste sentido, verifica-se que o modelo Logaritmo (6) e o de de Midilli (7) foram os únicos que apresentaram os valores adequados deste índice para todas as condições analisadas.

Uma recomendação frequentemente descrita na literatura é que a magnitude do erro médio relativo (P), deve ser inferior a 10% (Gasparin et al., 2017), visto que este valor representa o desvio dos dados observados a partir da curva estimada pelo modelo (Mohapatra e Rao, 2005). Deste modo, como os modelos Logaritimo e de Midilli (7) apresentaram valores de P inferiores a 10% para todas as condições de secagem, eles são capazes de representar, de maneira satisfatória, a retirada de água das folhas de guaçatonga. Porém, para descrever a influência dos tratamentos de secagem, bem como a influência dos parâmetros envolvidos no processo, optou-se por selecionar o modelo de Midilli para secagem realizada em folhas de *Casearia sylvestris* Swartz var. língua.

O fato do modelo de Midilli apresentar um ajuste satisfatório aos dados experimentais de secagem de diversas plantas medicinais está ligado, provavelmente, à rápida perda de água nos estádios iniciais do processo neste tipo de produto, gerando uma curva de secagem mais ostensiva e mais bem caracterizada matematicamente, por este modelo (Goneli et al., 2014). Este modelo foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais em trabalhos de secagem de folhas de outras espécies, como de *Hyptis suaveolens* (Alves et al., 2017), *Mentha piperita* (Gasparin et al., 2017), *Petroselinum crispum* Mill. (Corrêa Filho et al., 2018) e *Cymbopogon citratus* (Gomes et al., 2017).

TABELA 2. Parâmetros estatísticos dos modelos obtidos na secagem de folhas de guaçatonga.

Modelos	40 °C					
	0,4 m s ⁻¹			0,8 m s ⁻¹		
	SE (decimal)	P (%)	R ² (decimal)	SE (decimal)	P (%)	R ² (decimal)
2	0,0048	1,4057	0,9997	0,0131	3,6310	0,9981
3	0,0200	13,1954	0,9975	0,0396	20,7652	0,9832
4	0,0208	14,3981	0,9944	0,0397	21,9082	0,9823
5	0,0419	27,2213	0,9989	0,0641	19,2037	0,9683
6	0,0035	1,5178	0,9998	0,0098	4,3546	0,9990
7	0,0039	1,6226	0,9998	0,0096	3,5358	0,9990
8	0,0133	7,7975	0,9977	0,0259	10,8563	0,9925
9	0,0208	14,4007	0,9944	0,0397	21,9091	0,9823
50 °C						
2	0,0146	6,3997	0,9976	0,0357	16,0513	0,9863
3	0,0248	11,6139	0,9935	0,0329	14,7051	0,9889
4	0,0559	30,2273	0,9645	0,0573	29,3930	0,9629
5	0,0587	29,2252	0,9656	0,0173	6,6055	0,9972

6	0,0149	6,9640	0,9976	0,0162	6,7361	0,9972
7	0,0126	4,3374	0,9983	0,0169	6,6572	0,9971
8	0,0164	4,1011	0,9917	0,0350	14,1877	0,9862
9	0,0338	11,4974	0,9645	0,0573	29,3920	0,9629
60 °C						
2	0,0252	8,9932	0,9952	0,0176	5,8811	0,9977
3	0,0562	21,1853	0,9795	0,0188	5,7674	0,9979
4	0,0256	10,1313	0,9943	0,0178	6,7008	0,9973
5	0,1003	31,1029	0,9664	0,0003	2,3391	0,9994
6	0,0152	6,1968	0,9982	0,0113	3,9841	0,9991
7	0,0153	4,9882	0,9985	0,0081	1,1686	0,9996
8	0,0233	7,7097	0,9953	0,0178	5,7771	0,9973
9	0,0529	23,4798	0,9758	0,0392	16,5822	0,9870
70 °C						
2	0,0460	23,8234	0,9883	0,0126	3,6021	0,9994
3	0,0529	23,7969	0,9884	0,0159	2,2969	0,9996
4	0,0423	25,1607	0,9876	0,0105	4,2215	0,9994
5	0,0591	8,6917	0,9952	0,0551	4,4174	0,9952
6	0,0292	9,2842	0,9953	0,0118	2,3917	0,9995
7	0,0310	9,0972	0,9960	0,0119	2,9272	0,9998
8	0,0419	22,9907	0,9879	0,0105	4,1114	0,9994
9	0,0545	39,5080	0,9794	0,0105	4,2227	0,9994

O bom ajuste do modelo fica evidenciado pela proximidade dos valores experimentais em relação à curva estimada pelo modelo em todas as condições estudadas (Figuras 4 e 5), reforçando a aplicabilidade do mesmo na predição dos dados de secagem de folhas de guaçatonga para o intervalo de dados estudados.

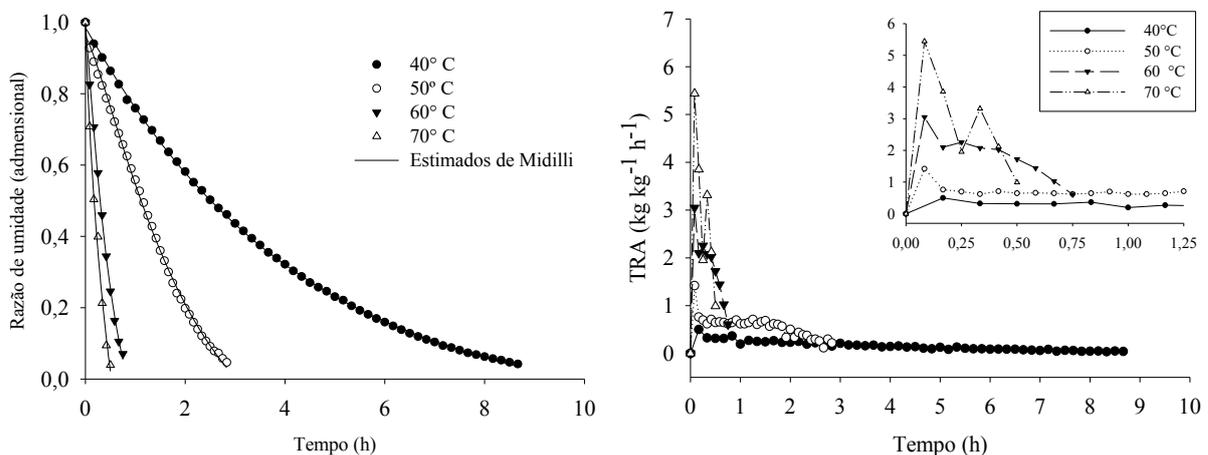


FIGURA 4. (A) Valores de razão de umidade experimentais e estimados pelo modelo de Midilli; (B) e valores da taxa de redução de água durante o processo de secagem das folhas de guaçatonga em diferentes temperaturas e velocidade do ar de secagem de $0,4 \text{ m s}^{-1}$.

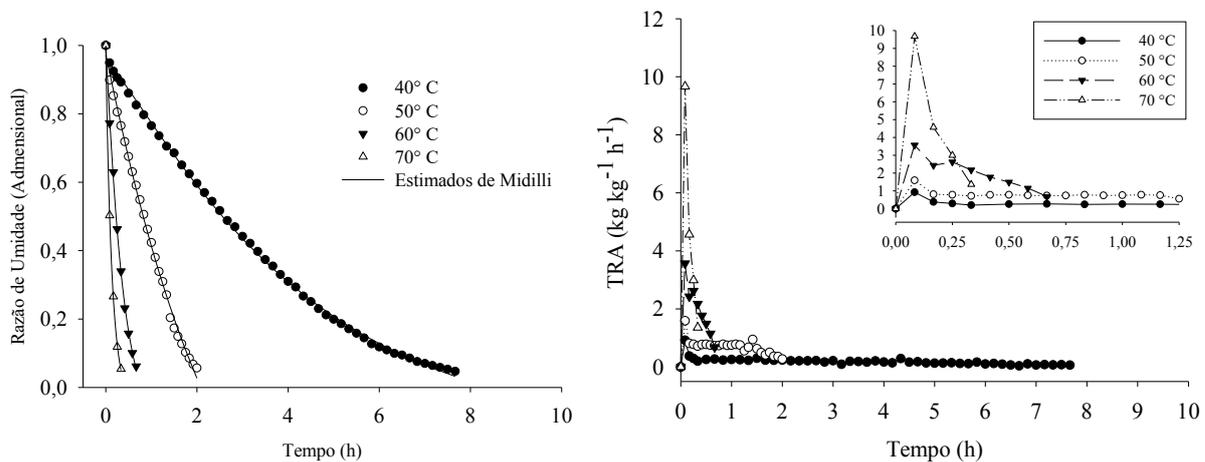


FIGURA 5. (A) Valores de razão de umidade experimentais e estimados pelo modelo de Midilli; (B) e valores da taxa de redução de água durante o processo de secagem das folhas de guaçatonga em diferentes temperaturas e velocidade do ar de secagem de $0,8 \text{ m s}^{-1}$.

A elevação da temperatura do ar de secagem é um fenômeno que reduz o tempo de secagem devido à diferença entre a pressão parcial de vapor do ar de secagem e do produto durante a secagem (Siqueira et al., 2012), o que resulta em maiores valores da taxa de remoção de água (Figuras 4 B e 5 B). Esse fenômeno é comumente observado por diversos pesquisadores em vários produtos agrícolas (Mghazli et al., 2017; Nurafifah et al., 2018; Ashtiani et al., 2017), e ocorre devido ao aumento da temperatura do ar de secagem resultar em maiores valores da taxa de remoção de água. Observa-se que no início do processo de secagem, a remoção de água das folhas ocorreu de maneira mais acentuada que no final desse processo, independentemente da temperatura e da velocidade do ar de secagem. Isso porque, durante o processo de secagem, a água superficial é a primeira a ser evaporada, sendo afetada com maior intensidade pela velocidade do ar de secagem (Figuras 4 B e 5 B). Tal fenômeno ocorre devido ao fato que, no final da secagem, há uma maior necessidade de energia para a evaporação da água, uma vez que essa se encontra mais fortemente ligada à matéria seca (Alves et al., 2017).

Todavia, com a remoção da água superficial, à frente de evaporação se desloca gradativamente para as camadas mais interiores do produto, de modo que, o efeito da velocidade

do ar de secagem é minimizado, passando a vigorar o processo de difusão líquida (Babalís et al., 2006), o qual é mais influenciado pela temperatura do ar de secagem.

É possível verificar ainda que, embora tenha sido menos significativo, o aumento da velocidade do ar também influenciou o comportamento das curvas de secagem, sendo que o aumento da temperatura do ar de secagem potencializou o efeito dessa variável. A elevação da temperatura e da velocidade do ar acarreta na ampliação da diferença de pressão parcial de vapor entre o ar de secagem e o produto, de modo que, a remoção de água do mesmo ocorre de maneira mais rápida e fácil (Goneli et al., 2014).

Os parâmetros do modelo de Midilli ajustados aos dados experimentais da cinética de secagem das folhas de guaçatonga em diferentes condições de temperatura e diferentes velocidades de secagem são apresentados na Tabela 3.

TABELA 3. Parâmetros do modelo de Midilli para as diferentes temperaturas e velocidade de secagem das folhas de guaçatonga

Parâmetros do modelo de Midilli								
Temperatura (°C)	0,4 m s ⁻¹				0,8 m s ⁻¹			
	a	k	n	b	a	k	n	b
40	0,9855	0,2496	1,0252	-0,0074	0,9624	0,2051	1,1133	-0,0181
50	0,9602	0,4872	1,2681	-0,0436	0,9715	0,5791	1,0653	-0,1311
60	0,9919	2,3553	1,1354	-0,1688	0,9957	2,8552	1,0811	-0,1372
70	0,999	2,3806	0,8558	-0,4929	0,9998	6,2702	0,9172	-0,1149

O parâmetro “k” reflete o efeito das condições externas de secagem como a temperatura e velocidade do ar. Os valores obtidos para este parâmetro apresentaram um comportamento definido. Esses resultados indicaram que a taxa de secagem das folhas de guaçatonga se elevou conforme o aumento da temperatura e da velocidade do ar de secagem (Goneli et al., 2016) o que significa que os seus valores foram acrescidos conforme a elevação da temperatura e da velocidade do ar de secagem. Já para os coeficientes “a”, “b” e “n” não se observou tendência alguma definida (Tabela 3).

O parâmetro “k” se relaciona com a difusividade efetiva no processo da cinética de secagem no período decrescente, onde a difusão líquida controla o processo, podendo assim ser utilizado como aproximação para caracterizar o efeito da temperatura na secagem (Babalís e Belessiotis, 2004). Conforme aumenta-se a magnitude do parâmetro “k” em relação ao aumento

da temperatura do ar de secagem, eleva-se também a difusividade efetiva, ou seja, quanto maior a magnitude do parâmetro “k” maior a difusividade efetiva no processo de cinética de secagem.

Observa-se que para uma mesma temperatura do ar de secagem, na velocidade do ar de secagem de $0,8 \text{ m s}^{-1}$, a constante de secagem “k” sempre apresenta valores maiores do que na velocidade do ar de $0,4 \text{ m s}^{-1}$ (Tabela 3). Isso, porque este parâmetro está associado à difusão de água durante o processo de secagem e sob maior velocidade do ar de secagem, o que acarreta maior coeficiente de difusão das folhas de guaçatonga (Tabela 4).

TABELA 4. Magnitudes do coeficiente de difusão efetivo (D_i) folhas de guaçatonga ajustado as diferentes condições de temperatura e velocidade do ar de secagem.

Temperatura (°C)	$D \times 10^{-11} \text{ (m}^2 \text{ s}^{-1}\text{)}$	
	$0,4 \text{ m s}^{-1}$	$0,8 \text{ m s}^{-1}$
40	0,68098	0,70946
50	1,62913	2,20613
60	6,06894	7,16308
70	10,46561	18,7406

Os valores do coeficiente de difusão efetivo obtidos durante a secagem das folhas de guaçatonga, considerando a espessura foliar média de $0,5083 \text{ mm}$, aumentaram com o incremento da temperatura utilizada (Tabela 4). Observa-se ainda que para uma mesma temperatura, houve aumento nas magnitudes do coeficiente de difusão efetivo com a elevação da velocidade do ar de secagem. Este comportamento pode ser atribuído ao fato de que a elevação dessa variável contribui para a rápida remoção da água superficial do produto.

Comportamento semelhante, em função da temperatura e velocidade do ar de secagem, para o D_i de folhas de plantas medicinais foi observado por Martins et al. (2018) para espécie de *Serjania marginata* Casar e Alves et al. (2017) para a espécie de *Hyptis suaveolens*.

A difusividade pode ser descrita como a facilidade com que a água é removida de determinado material, uma vez que as variações desta propriedade implicam em alterações na difusão da água nos capilares dos produtos agrícolas que, juntamente com a vibração mais intensa das moléculas de água, contribuem para uma difusão mais rápida (Goneli et al., 2014). Baptestini et al. (2014) sugeriram que o aumento da temperatura eleva o nível de vibrações das moléculas de água no produto, contribuindo para uma difusão mais eficiente. Por sua vez, o aumento dos valores do coeficiente de difusão efetivo frente à elevação da velocidade do ar de secagem, para uma mesma temperatura, pode ser atribuído ao fato de que a elevação dessa

variável contribui para a rápida remoção da água superficial do produto. Desse modo, o ar de secagem saturado que envolve o produto é mais rapidamente substituído por ar não saturado, reestabelecendo a diferença de pressão parcial de vapor entre o ar de secagem e o material, favorecendo a difusividade de água no mesmo.

A relação entre o coeficiente de difusão efetivo de diversos produtos agrícolas e a temperatura do ar de secagem tem sido satisfatoriamente descrita pela equação de Arrhenius (Alves et al., 2017; Oliveira et al., 2015; Silva et al., 2015). A inclinação da curva da representação de Arrhenius fornece a relação E_a/R , enquanto a sua interseção com o eixo das ordenadas indica o valor de D_0 . As equações 16 e 17 apresentam os coeficientes da equação de Arrhenius ajustados para os coeficientes de difusão efetivo das folhas de guaçatonga, calculados de acordo com a equação 12.

$$D = 1,032724029 \exp\left(\frac{66,234}{R T_a}\right) \quad (15)$$

$$D = 1,057491929 \exp\left(\frac{65,571}{R T_a}\right) \quad (16)$$

A energia de ativação para a difusão da água durante a cinética de secagem das folhas de guaçatonga foi de 66,234 e 65,571 kJ mol⁻¹ para as velocidades de 0,4 e 0,8 m s⁻¹. Ao elevar a velocidade do ar de secagem houve a redução dos valores de energia de ativação, fenômeno esse observado por Alves et al. (2017) para folhas de *Hyptis suaveolens*.

A energia de ativação, segundo Kashaninejad et al. (2007), é uma barreira que deve ser ultrapassada para que o processo de difusão possa ser desencadeado no produto. Quanto menor a energia de ativação, maior será a difusividade de água no produto durante o processo de secagem, fato esse observado no presente estudo, em que ao se aumentar a velocidade do ar de secagem obtiveram-se os maiores valores de D_i (Tabela 4) e menor energia de ativação. A elevação da velocidade do ar de secagem facilita a evaporação de água do produto, o que proporciona o aumento na D_i e redução da energia de ativação (Martins et al., 2015).

Os valores de energia de ativação calculados para as folhas de guaçatonga foram semelhantes aos encontrados para outras folhas de plantas medicinais secas em diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem, como para folhas de *Hyptis suaveolens* 62,513 e

61,289 kJ mol⁻¹ (Alves et al., 2017), para folhas de *Morus nigra* L. 65,94 e 66,08 kJ mol⁻¹ (Martins et al., 2018) e para folhas de *Mentha piperita* 68,42 e 78,27 kJ mol⁻¹ (Gasparin et al., 2017).

5. CONCLUSÃO

Dentre os modelos matemáticos ajustados para prever o processo de secagem de folhas de guaçatonga, o modelo de Midilli foi selecionado e ajustou-se de maneira satisfatória a todas as condições do ar de secagem.

Com o aumento da temperatura e da velocidade do ar houve a redução do tempo de secagem das folhas de guaçatonga.

Os valores do coeficiente de difusão efetivo aumentaram com a elevação da temperatura e da velocidade do ar de secagem.

Para a faixa de temperatura do ar de 40 a 70 °C, ao aumentar a velocidade do ar de secagem, se reduziu a energia de ativação durante a secagem de folhas de guaçatonga.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M. Z.; **Plantas Mediciniais**. 3ed. Salvador EDUFBA: Fundação de amparo à pesquisa do estado da Bahia, Salvador, 2011. 221p.

ALVES, J. J. L.; RESENDE, O; OLIVEIRA, D. E. C.; BRANQUINHO, N. A. A. Cinética de secagem das folhas de *Hyptis suaveolens*. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 19, n. 2, p. 168-176, 2017.

ASABE - American Society of Agricultural and Biological Engineers. **Moisture Measurement – Forages**: Standard S358.2 DEC1988, R2008. In: American Society of Agricultural and Biological Engineers (ed.). Standards, Engineering Practices, and Data. St. Joseph: ASABE, 2010. p.684-685.

ASHTIANI, S. M; SALARIKIA, A; GOLZARIAN, M. R. Analyzing drying characteristics and modeling of thin layers of pepper mint leaves under hot-air and infrared treatments. **Information Processing in Agriculture**, v. 4, n. 2, p. 128–139, 2017.

BABALIS, S. J.; BELESSIOTIS, V. G. Influence of the drying condition on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 3, p. 449-458, 2004.

BABALIS, S. J; PAPANICOLAOU, E; KYRIAKIS, N; BELESSIOTIS, V. G. Evaluation of thin-layer drying models for describing drying kinetics of figs (*Ficus carica*). **Journal of Food Engineering**, v. 75, n. 2, p. 205-214, 2006.

BAPTESTINI, F. M; CORRÊA, P. C; OLIVEIRA, G. H. H; PAIXÃO, A. A; MACHADO, P. F. The effect of harvest conditions and drying temperature on drying kinetics of two popcorn genotypes. **African Journal of Agricultural Research**, v. 9, n. 39, p. 2964-2970, 2014.

BERBERT, P. A; QUEIROZ, D. M.; SILVA, J. S; PINHEIRO FILHO, J. B. Simulation of coffee drying in a fixed bed with periodic airflow reversal. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 60, n. 3, p. 167-173, 1995.

CORRÊA FILHO, L. C; MARTINAZZO, A. P; TEODORO, C. E. S; ANDRADE, E. T. Post-harvest of parsley leaves (*Petroselinum crispum*): Mathematical modelling of drying and sorption processes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 131-136, 2018.

DA SILVA, Magnólia AS et al. Composição e Teor do Óleo Essencial de Duas Variedades Botânicas de Guaçatonga do Cerrado e Mata, 2003.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, 1998. 712p.

GASPARIN, P. P.; CHRIST, D.; COELHO, S. R. M. Secagem de folhas *Mentha piperita* em leito fixo utilizando diferentes temperaturas e velocidades de ar. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 242-250, 2017.

GOMES, N. H. F; SILVA NETO, H. C; ALVES, J. J. L; RODOVALHO, R. S; SOUSA, C. M. Cinética de secagem de folhas de *Cymbopogon citratus*. **Engevista**, v. 19, n. 2, p. 328- 338, 2017.

GONELI, A. L. D; MARTINS, E. A. S; JORDAN, R. A; GEISENHOFF, L. O; GARCIA, R.T. Experimental dryer design for agricultural products. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 5, p. 938-950, 2016.

GONELI, A. L. D; VIEIRA, M. C; BENITEZ, H. C. V; GONÇALVES, A. A. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 1, p. 56-64, 2014.

HAZRATI, S.; LOTFI, K.; GOVAHI, M.; EBADI, M.T. A comparative study: Influence of various drying methods on essential oil components and biological properties of *Stachys lavandulifolia*. **Food Science and Nutrition**, v.9, n. 5, p. 2612–2619, 2021.

HEYMANN, A. C; ALBANO, M. N; DA SILVEIRA, M. R; MULLER, S. D; PETRILHO, F. C; GAINSKI, L. D; PIOVEZAN, A. P. Macroscopic, biochemical and histological evaluation of topical anti-inflammatory activity of *Casearia sylvestris* (Flacourtiaceae) in mice. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 264, e113139, 2021.

KASHANINEJAD, M; MORTAZAVI, A; SAFEKORDI, A; TABIL, L. G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 1, p. 98-108, 2007.

KEEY, R.B. Drying: Principles and practice. New York: Pergamon Press. 1972. 358p.

KHALLAF, A.E.; EL-SEBAII, A. Review on drying of the medicinal plants (herbs) using solar energy applications. **Heat and Mass Transfer**, v. 58, n. 8, p. 1411–1428, 2022.

KULCHETSCKI, Luiz; QUAQUARELLI, César Augusto; LIMA, Pedro Ribeiro. A guaçatonga (*Casearia sylvestris* sw.) e seu uso potencial como fitoterápico: um resultado prático de trabalho extensionista no distrito de Itaiacoca. **Revista Conexão UEPG**, v. 2, n. 1, p. 16-22, 2006.

MARTÍNEZ-LAS, R. H; HEREDIA, A; CASTELLÓ, M. L; ANDRÉS, A. influence of drying method and extraction variables on the antioxidant properties of persimmon leaves. **Food Bioscience**, v. 6, p. 1–8, 2014.

MARTINS, E. A. S.; GONELI, A. L. D.; GONCALVES, A. A.; HARTMANN FILHO, C. P; SIQUEIRA, V. C.; OBA, G. C. Drying kinetics of blackberry leaves. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 8, p. 570-576, 2018.

MARTINS, E. A. S; LAGE, E. Z; GONELI, A. L. D; HARTMANN FILHO, C. P; LOPES, J. G. Cinética de secagem de folhas de timbó (*Serjania marginata* Casar). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 238-244, 2015.

MGHAZLI, S; OUHAMMOU, M; HIDAR, N; LAHNINE, L; IDLIMAM, A; MAHROUZ, M. Drying characteristics and kinetics solar drying of Moroccan rosemary leaves. **Renewable Energy**, v. 108, p. 303–310, 2017.

MIDILLI, A; KUCUK, H; YAPAR, Z. A. New model for single-layer drying. **Drying Technology**, v. 20, n. 7, p. 1503-1513, 2002.

MOHAPATRA, D; SRINIVASA RAO, P. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, v. 66 n. 4, p. 513–518, 2005.

NURAFIFAH, F; CHUAH, L; WAHIDA, M. A. P. F. Drying of *Plectranthus amboinicus* (lour) spreng leaves by using oven dryer. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, v. 11, n. 4, p. 239–244, 2018.

OLIVEIRA, G. H. H; ARAGÃO, D. M. S; OLIVEIRA, A. P. L. R; SILVA, M. G; GUSMÃO, A. C. A. Modelagem e propriedades termodinâmicas na secagem de morangos. **Brazilian Journal Food Technology**, v. 18, n. 4, p. 314-321, 2015.

OZDEMIR, M.; DEVRES, Y.O. The thin layer drying characteristics of halzenuts during roasting. **Journal of Food Engineering**, v.42, n.4, p.225-233, 1999.

PANCHARIYA, P. C; POPOVIC, D; SHARMA, A. L. Thin-layer modelling of black tea drying process. **Journal of Food Engineering**, v. 52, n. 4, p. 349-357, 2002.

PARK, K.J.; VOHNIKOZA, Z.; BROD, F.P.R. Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispa* L.). **Journal of Food Engineering**, v.51, n.3, p.193-199, 2002.

PEREIRA, A. M. S. et al. Formulário de Preparação Extemporânea - Farmácia da Natureza - Chás Medicinais. 1. ed. São Paulo: Bertolucci. 2017.

POÓS, T; VARJU, E. Drying characteristics of medicinal plants. **International Review of Applied Sciences and Engineering**, v. 8, n. 1, p. 83–91, 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 Medicinais**, v. 17, n. 4, p. 953-963, 2015.

SIQUEIRA, V. C; RESENDE, O; CHAVES, T. H. Drying kinetics of *Jatropha* seeds. **Revista Ceres**, v. 59, n. 2, p. 171-177, 2012.

SPÓSITO, L; ODA, F. B; VIEIRA, J. H; CARVALHO, F. A; SANTOS, R. M. A; CASTRO, R. C; BAUAB, T. M. In vitro and in vivo anti-*Helicobacter pylori* activity of *Casearia sylvestris* leaf derivatives. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 233, n. 6, p. 1-12, 2018.

SUNTAR, I. Importance of ethnopharmacological studies in drug discovery: role of medicinal plants. **Phytochemistry Reviews**, v. 19, n. 5, p. 1199-1209, 2019.

ZAMANI, S.; BAKHSHI, D.; SAHRAROO, A.; EBADI, M.T. Improvement of phytochemical and quality characteristics of *Dracocephalum kotschyi* by drying methods. **Food Science and Nutrition**, v. 11, n. 7, p. 4246–4262, 2023.