

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

**CINÉTICA DE SECAGEM DE FOLHAS DE GUAVIRA  
(*Campomanesia adamantium*)**

ANTONIO JOÃO MORENO MARTINS  
LUAN SOARES DA SILVA

DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL  
2018

**CINÉTICA DE SECAGEM DE FOLHAS DE GUAVIRA (*Campomanesia  
adamantium*)**

**ANTONIO JOÃO MORENO MARTINS  
LUAN SOARES DA SILVA**

Orientador: PROF. Dr. ANDRÉ LUIS DUARTE GONELI

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

DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL  
2018

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).**

M386c Martins, Antonio João Moreno  
Cinética de secagem de folhas de guavira (*Campomanesia adamantium*) /  
Antonio João Moreno Martins, Luan Soares da Silva -- Dourados: UFGD, 2018.  
24f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. André Luís Duarte Goneli

TCC (Graduação em Engenharia Agrícola) -Faculdade de Ciências Agrárias,  
Universidade Federal da Grande Dourados.

Inclui bibliografia

1. Coeficiente de difusão. 2. Modelagem matemática. 3. Razão de umidade. I  
Luan Soares da Silva II. Título.

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

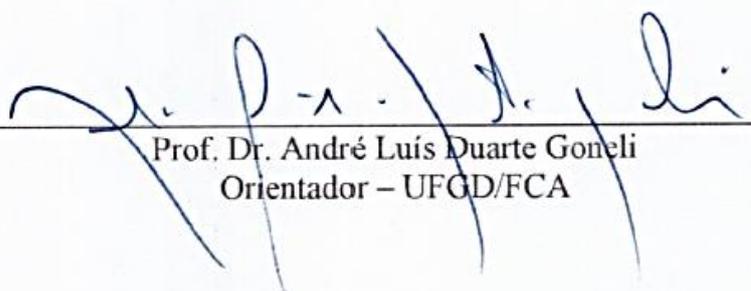
©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

**CINÉTICA DE SECAGEM DE FOLHAS DE GUAVIRA (*Campomanesia adamantium*)**

Por

Antonio João Moreno Martins  
Luan Soares da SilvaTrabalho de conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal da Grande Dourados  
como parte das exigências para conclusão do curso de ENGENHARIA AGRÍCOLA.

Aprovado em: 15 de fevereiro de 2018.



---

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



---

Prof. Me. Elton Aparecido Siqueira Martins  
Membro da Banca – UFGD/FCA



---

Engenheira Agrícola e Ambiental Michele Rosemari Hauth  
Membro da Banca – UFGD/FCA

### ***Dedicamos***

*A Deus, pelo dom da vida, saúde e disposição para realizar os nossos objetivos, por sucessivamente iluminar nossos caminhos e dar forças para que pudéssemos seguir em frente.*

*Aos nossos pais, que muitas vezes se doaram e renunciaram aos seus sonhos, para que pudéssemos realizar os nossos, pelo incentivo, amor, apoio e dedicação que vocês sempre tiveram por nós, fazendo com que chegássemos até aqui.*

*A todos os nossos amigos e familiares, pelo apoio, compreensão e momentos de alegria.*

*“A essência do conhecimento consiste em aplica-lo, uma vez possuído.”  
Confúcio*

## AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) por ter realizado parte de nossos sonhos e por todo auxílio dado nos até aqui.

A Faculdade de Ciências Agrárias- FCA e todos os seus funcionários e corpo docente que nos transmitiu muito mais do que teorias, nos preparou também para a vida. Todo nosso carinho e gratidão.

Ao Prof. Dr. André Luís Duarte Goneli, pela amizade, paciência e orientação durante todo esse tempo.

A Prof. Dra. Leidy Zulys Leyva Rafull com quem trabalhamos no período da graduação.

Ao Prof. Me. Elton Aparecido Siqueira Martins, Thalita Martinhão de Souza Azambuja e a Michele Rosemari Hauth pelo apoio e pela ajuda durante toda a condução do experimento.

E a todos que de certa forma contribuíram para que este trabalho pudesse ser concluído.

## SUMARIO

RESUMO .....	vi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1. A cultura da guavira .....	3
2.2. Secagem de plantas medicinais .....	4
2.3. Modelagem matemática.....	5
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	7
3.1. Cinética de secagem em camada delgada das folhas de guavira.....	8
3.1.1. Determinação do coeficiente de difusão efetivo.....	9
3.1.2. Influência da temperatura .....	10
3.2. Análise estatística .....	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	12
5. CONCLUSÕES .....	20
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	21

MARTINS, Antonio João Moreno; SILVA, Luan Soares da. **Cinética de secagem de folhas de guavira (*Campomanesia adamantium*)**. 2017. 24p. Monografia (Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

## RESUMO

Objetivou-se com o presente trabalho, avaliar a cinética de secagem de folhas de guavira (*Campomanesia adamantium*) bem como ajustar diferentes modelos matemáticos aos valores experimentais de razão de umidade. As folhas de guavira foram colhidas com teor de água inicial de  $1,01 \pm 0,04$  decimal b.s. sendo submetidas à secagem sob condições controladas de temperatura (40, 50, 60 e 70° C), em duas velocidades de ar de secagem (0,4 e 1,2 m s<sup>-1</sup>), até o teor de água de  $0,12 \pm 0,01$  decimal b.s. Aos dados experimentais foram ajustados dez modelos matemáticos utilizados para representação da secagem de produtos agrícolas. Com base nos resultados obtidos o modelo matemático de Midilli é o que melhor representa a cinética de secagem para as folhas de guavira. O aumento da temperatura, promove aumento do coeficiente de difusão efetivo sendo que esta relação pode ser descrita pela equação de Arrhenius que apresenta uma energia de ativação para a difusão líquida durante a secagem, sendo de 49,2616 kJ mol<sup>-1</sup> para a velocidade de 0,4 m s<sup>-1</sup> e 43,9935 kJ mol<sup>-1</sup> para a velocidade de 1,2 m s<sup>-1</sup>.

**Palavras-Chave:** Coeficiente de difusão; modelagem matemática; razão de umidade.

## 1. INTRODUÇÃO

*Campomanesia adamantium* (Berg), conhecida como guavira ou gabioba, é um arbusto que pode atingir 2 metros de altura e normalmente ocorre em moitas, o florescimento geralmente é de agosto a outubro, e sua frutificação dá-se de novembro a dezembro (LORENZI et al., 2006).

A guavira, é uma espécie frutífera amplamente encontrada no bioma Cerrado, com sabor e aroma característicos e agradáveis ao paladar, seus frutos podem ser consumidos “*in natura*” ou processados na forma de suco, sorvete, doce, geleia ou licor (BAVIATI et al., 2004).

Suas folhas são simples, opostas, ovais ou elípticas, membranáceas ou cartáceas, com base aguda à obtusa, apresentando ápice agudo com cerca de 0,4 metros de comprimento e 0,2 metros de largura (DURIGAN, et al., 2004).

As folhas e os frutos da guavira são utilizados na medicina popular, pois apresentam propriedades medicinais importantes, tais como ações anti-inflamatórias, antidiarreicas e antissépticas das vias urinárias e contra casos de reumatismo (LORENZI et al., 2006; PIVA 2002).

Para o processamento de produtos fitoterápicos, normalmente é utilizado a parte aérea das plantas medicinais que possui alto teor de água, gerando alterações físicas e químicas no produto quando armazenado devido à alta atividade metabólica.

A secagem consiste na transferência simultânea de calor e massa entre o ar de secagem e o produto, tendo como objetivo a redução do teor de água inicial. Assim, o processo de secagem torna-se necessário nas espécies medicinais para o controle e manutenção da qualidade do produto final, contribuindo para o armazenamento seguro do produto, sem comprometer suas características fitoterápicas (GONELI et al., 2014a; LORENZI & MATOS, 2008).

Como intuito de preservar a qualidade das plantas medicinais e aromáticas, a secagem deve ser realizada logo após a colheita, uma vez que as condições de secagem e armazenamento são muito importantes na conservação de seus compostos (SOYSAL & ÖZTEKIN, 1999).

Deste modo, para o aperfeiçoamento de equipamentos já existentes, dimensionamento de novos sistemas, otimização e determinação da viabilidade comercial faz-se necessário a simulação e obtenção de informações teóricas a respeito do comportamento de cada produto durante o processo de remoção de água, utilizam-se modelos matemáticos que representam de maneira satisfatória, a perda de água do produto durante a secagem (BERBERT et al., 1995, GINER & MASCHERONI, 2002).

Neste sentido, os modelos matemáticos podem ser bem diferentes dependendo do sistema considerado e das circunstâncias particulares de cada um deles, ou seja, levam em consideração as variáveis externas em relação ao produto, como temperatura e umidade do ar de secagem, e é em função disto que um modelo pode ser mais adequado do que outros (OGATA, 2003; RESENDE et al., 2008).

Tem sido utilizado 3 tipos de modelos para descrever a cinética de secagem de produtos agrícolas. O modelo teórico, que considera apenas a resistência interna à transferência de calor e água entre o produto e o ar quente, e os modelos semiteórico e empírico, que consideram somente a resistência externa à temperatura e umidade relativa do ar de secagem (MIDILLI et al. 2002; PANCHARIYA et al. 2002).

Devido à importância, potencialidade e possibilidade dessa cultura apresentar importantes propriedades terapêuticas, e pelo fato das indústrias de fitoterápicos não possuírem estrutura para processamento de grandes quantidades de folhas frescas, torna-se necessário desenvolver estudos sobre o processo de secagem fomentando assim informações para projetar, otimizar e operar com mais eficiência

Diante disso objetivou-se com o presente trabalho avaliar a cinética de secagem de folhas de guavira (*Campomanesia adamantium*) em condições de temperaturas e velocidade do ar de secagem, bem como ajustar modelos matemáticos aos valores experimentais de razão de umidade, além de determinar o coeficiente de difusão efetivo e obter a energia de ativação para a faixa de temperatura utilizada.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. A cultura da guavira

O uso de plantas medicinais é milenar, entretanto, desde o início deste século, tem ocorrido um crescente interesse pelo estudo de espécies vegetais e seu uso tradicional em diferentes partes do mundo pelo fato delas possuírem baixo custo da utilização na medicina caseira e as propriedades terapêuticas provenientes dos princípios ativos (CHEIKHYOUSSEF et al., 2011). Segundo dados da Organização Mundial de Saúde (OMS), 80% da população de países em desenvolvimento utiliza práticas tradicionais na atenção primária à saúde e, desse total, 85% faz uso de plantas medicinais (ROSA et al., 2011).

Segundo Martins (2015), o Brasil possui a maior diversidade genética vegetal do mundo, com cerca de 55 mil espécies catalogadas de um total estimado entre 350 a 550 mil, entre os elementos que compõem essa diversidade estão as plantas medicinais, que podem ser usadas como matérias-primas para a fabricação de fitoterápicos e outros medicamentos (BRASIL, 2009).

Dentro dessa diversidade se encontra a Família Myrtaceae que possui cerca de 130 gêneros, mais de 4 mil espécies descritas, e seus principais centros de dispersão são América e Austrália (D'ANGELIS & NEGRELLE, 2014).

O gênero *Campomanesia* ocorre em diferentes fitofisionomias do Cerrado, possuindo 25 espécies distribuídas do México à Argentina, sendo 15 nativas do Brasil e com grande potencial econômico (MARTINS et al., 2015b).

A espécie *Campomanesia adamantium*, conhecida popularmente como guavira, guabiroba, gabiroba, é uma frutífera nativa e não cultivada, possui porte arbustivo podendo medir de 0,5 a 2,0 m de altura, encontrada abundante na região de campos e cerrado de Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul até Santa Catarina (LORENZI et al., 2006).

As folhas desta espécie são coriáceas (consistência mais rígida, não quebradiça), elípticas e obovadas (forma de ovo invertido), glabras (não apresentam tricomas) quando adultas, com 3 a 10 cm de comprimento, verde acinzentadas na natureza (LORENZI et al., 2006).

O florescimento geralmente é de agosto a outubro, e os frutos, em grande número por planta, estão disponíveis entre os meses de novembro e janeiro, possuem formato redondo, de coloração que varia do verde escuro ao verde claro e amarelo, e exalam aroma cítrico, agradável ao olfato (LORENZI et al., 2006; VALLILO et al., 2006).

Os frutos tem potencial para serem usados “*in natura*” na indústria de alimentos na forma de sorvetes, doces, geleias e como aromatizante na indústria de bebidas como licores, aguardentes e sucos, além do seu sabor agradável, os frutos são considerados uma fonte de vitamina C, com teor de ácido ascórbico superior aos encontrados nas outras espécies da Família Myrtaceae como a pitanga (42,9 mg/100g) (MÉLO et al., 2000), a goiaba cultivar Paluma (89,78 mg/100g) (LIMA et al., 2002). A concentração do ácido ascórbico mostrou que a polpa da guavira é rica em vitamina C, conforme portaria nº 27, de 13 de janeiro de 1988 da ANVISA. O Ministério da Saúde recomenda a ingestão diária de 45 mg de esta vitamina (BRASIL, 2004). Neste sentido, Vallilo et al. (2006) verificaram que a ingestão aproximada de 12 frutos de guavira supre o teor recomendado pela legislação brasileira para a dieta alimentar diária de adultos.

Os achados científicos mostram que os frutos de guavira apresentam atividade antimicrobiana (PAVAN et al., 2009; CARDOSO, et al., 2010), atividades antiproliferativas e apoptóticas em células de carcinoma de próstata humana (PASCOAL et al., 2014).

## **2.2. Secagem de plantas medicinais**

A secagem consiste em um processo simultâneo de transferência de calor e massa entre o produto e o ar de secagem, no qual o aumento da temperatura provoca o aumento da pressão parcial de vapor na superfície do produto, provocando a redução no teor de água do mesmo. A fim de se preservar a aparência, as qualidades nutritivas, a diminuição do teor de água deve ser feita em um nível tal que o produto fique em equilíbrio com o ar do ambiente onde será armazenado (ISQUIERDO et al., 2013; GONELI et al., 2014a).

A principal matéria prima da indústria farmacêutica de fitoterápicos é a parte aérea das plantas medicinais e aromáticas, que normalmente são colhidas com elevados teores de água, neste sentido, a secagem é fundamental para o controle e manutenção da qualidade do produto final, uma vez que a água é o agente mais importante no aumento de atividades metabólicas e mudanças químicas e físicas que possam ocorrer no produto durante o armazenamento (GONELI et al., 2014a; LORENZI & MATOS, 2008).

A secagem de plantas medicinais é uma das etapas do pré-processamento que tem por finalidade remover parte da água contida para um armazenamento seguro, garantindo a permanência de suas propriedades medicinais, visando atender as necessidades das indústrias farmacêuticas de fitoterápicos as quais não possuem meios de utilizar plantas frescas na quantidade exigida para a produção industrial (LORENZI & MATOS, 2008).

Entretanto, a secagem é um processo que pode demorar desde algumas horas até vários dias dependendo de alguns fatores como: método de secagem, temperatura, umidade relativa e velocidade do ar de secagem (DALPASQUALE & SPERANDIO, 2010). A temperatura e a velocidade do ar são os principais fatores que afetem o processo, visto que, quanto maior forem esses fatores menor será o tempo de secagem do produto, tal como também a possibilidade de perda de qualidade devido ao estresse hídrico gerado pela elevada taxa de secagem (CARLESSO et al., 2005).

### **2.3. Modelagem matemática**

A simulação do comportamento de cada produto durante a redução do seu teor de água é importante no desenvolvimento e aprimoramento de equipamentos de secagem, e para tal utiliza-se modelos matemáticos que possam representar satisfatoriamente a perda de água do produto durante o período de secagem do material (BERBERT et al., 1995; ANDRADE & BORÉM, 2008).

Para representar as curvas de secagem de produtos agrícolas em camada delgada, existem 3 tipos de modelos matemáticos que podem ser utilizados, sendo eles os modelos teóricos, semiteóricos e os empíricos. Os modelos teóricos, normalmente consideram, além das condições externas sob as quais ocorreu a operação, os mecanismos internos de transferência de calor e massa e seus efeitos (ISQUIERDO, 2011). Já os modelos semiteóricos e empíricos levam em consideração somente a resistência externa à temperatura e umidade relativa do ar de secagem (MIDILLI et al., 2002; PANCHARIYA et al., 2002).

Os modelos semiteóricos se baseiam, de modo geral, na Lei de Newton para resfriamento aplicada à transferência de massa, porém são válidos somente para as faixas de temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e teor de água em que eles foram obtidos. Entre os modelos semiteóricos, o modelo de Dois Termos, o de Henderson e Pabis e o de Page, têm sido amplamente utilizados (PANCHARIYA et al., 2002)

Embora os modelos empíricos descrevam as curvas de secagem para determinadas condições experimentais, eles não oferecem uma visão apurada dos processos importantes que ocorrem durante o fenômeno pois, omitem os fundamentos do processo de secagem e seus parâmetros não têm significado físico. Entre esses modelos, tem-se o de Thompson et al., (1968) e o de Wang & Singh (1978), tradicionalmente utilizados nos estudos de secagem de produtos agrícolas e de alimentos.

Sendo assim, para cada situação específica de produto e processos de secagem se ajustam diferentes modelos matemáticos (MARTINAZZO et al., 2007).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Pré-processamento e Armazenamento, da Faculdade de Ciências Agrárias – FCA, pertencente a Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, no município de Dourados – MS. As folhas da parte aérea da guavira foram coletadas no Horto de Plantas Medicinais – HPM da FCA. As coletas foram realizadas após não haver mais orvalho e nem após precipitações pluviométrica, sempre nas primeiras horas da manhã para que não ocorra interferência no teor de água inicial.

As folhas foram colhidas manualmente de forma aleatória e posteriormente levadas para o laboratório onde passaram por seleção e retirada dos pecíolos com a finalidade de evitar possíveis interferências nos resultados.

Foi utilizado um secador de leito fixo desenvolvido por Martins (2015), que possui arranjo para 2 bandejas com malhas de ferro para secagem do produto em camada delgada, conforme esquematizado na Figura 1.

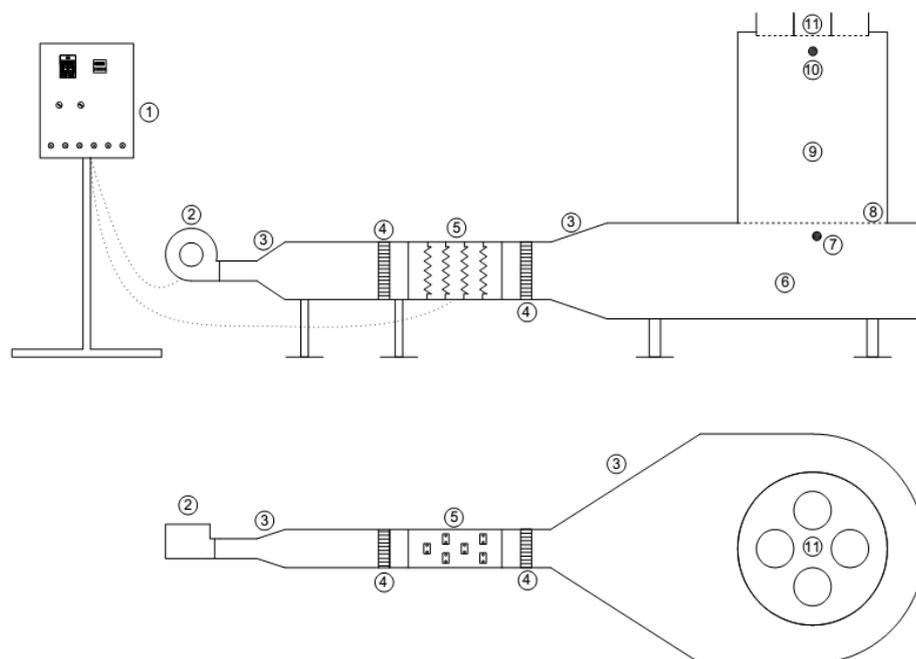


FIGURA 1. Secador experimental utilizado na secagem das folhas de guavira. (1. Painel de controle de temperatura e fluxo de ar; 2. Ventilador centrífugo; 3. Expansões; 4. Homogeneizadores de ar; 5. Conjunto de resistências elétricas; 6. Plenum; 7. Ponto de medição de temperatura para secagem em camada 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: Martins (2015).

### 3.1. Cinética de secagem em camada delgada das folhas de guavira

As amostras foram submetidas à quatro temperaturas controladas de ar de secagem (40, 50, 60 e 70 °C) e duas velocidades de ar de secagem (0,4 e 1,2 m s<sup>-1</sup>) em um secador experimental (Figura 1).

Para a secagem, foram utilizados em torno de 20 gramas de produto. Durante o processo de secagem foi necessário realizar periodicamente as pesagens e inversão das posições das bandejas que contém o produto. Para as pesagens utilizou-se uma balança analítica digital com resolução de 0,01 g, para acompanhar a variação do teor de água, até que as folhas atingissem massa constante.

A razão de umidade (RU) foi calculada pela Equação (1):

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

Em que:

RU: razão de umidade do produto, adimensional;

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

U<sub>e</sub>: Teor de água de equilíbrio do produto, decimal b.s.; e

U<sub>i</sub>: Teor de água inicial do produto, decimal b.s..

A fim de descrever o fenômeno de secagem de folhas de guavira e com base nos dados de razão de umidade foram ajustados modelos matemáticos, Tabela 1, que frequentemente são utilizados para representar o processo de secagem de plantas medicinais (MARTINAZZO et al., 2007; RADÜNZ et al.; 2011; PRATES et al., 2012; REIS et al., 2012; GONELI et al., 2014a; GONELI et al., 2014b).

TABELA 1. Modelos matemáticos que foram ajustados às curvas de secagem das folhas de guavira

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	$RU = a \exp(-k \theta)$	(5)
Logarítmico	$RU = a \exp(-k \theta) + c$	(6)
Midilli	$RU = a \exp(-k \theta^n) + b \theta$	(7)
Newton	$RU = \exp(-k \theta)$	(8)
Page	$RU = \exp(-k \theta^n)$	(9)
Thompson	$RU = \exp\{[-a - (a^2 + 4 b \theta)^{0.5}]/2b\}$	(10)
Wang e Singh	$RU = 1 + a \theta + b \theta^2$	(11)

Em que:

$\theta$ : tempo de secagem, h;

$k, k_0, k_1$ : constantes de secagem,  $h^{-1}$ ; e

$a, b, c, n$ : coeficientes dos modelos.

### 3.1.1. Determinação do coeficiente de difusão efetivo

O coeficiente de difusão efetivo foi obtido pelo ajuste do modelo matemático da difusão líquida (Equação 12) aos dados experimentais de razão de umidade obtidos durante a secagem das folhas da guavira. A Equação 12 apresenta a solução analítica para a segunda lei de Fick, considerando a forma geométrica do produto como esférica (Equação 12) com aproximação a uma placa plana, com aproximação de 8 termos (BROOKER et al., 1992).

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n_1=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[ - (2n+1)^2 \pi^2 Di \left( \frac{X}{4L} \right)^2 \right] \quad (12)$$

Em que:

$Di$ : coeficiente de difusão efetivo,  $m^2 s^{-1}$ ;

$L$ : espessura do produto, m;

$X$ : espessura do produto, m;

$n_1$ : número de termos;

Para a determinação da espessura das folhas de guavira, mensurou-se 50 folhas por meio de um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm, sendo realizada 6 medições em

diferentes locais da mesma, em que a média destas determinações de espessura das folhas foi utilizada no modelo de difusão efetiva (Equação 12).

### 3.1.2. Influência da temperatura

Por meio da equação de Arrhenius, descrita na Equação 13 avaliou-se a influência da temperatura no coeficiente de difusão efetivo, das folhas da guavira.

$$D_i = D_0 \exp\left(\frac{E_a}{RT_a}\right) \quad (13)$$

Em que:

$D_0$ : fator pré-exponencial;

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

$T_a$ : temperatura, K; e

$E_a$ : energia de ativação,  $\text{kJ mol}^{-1}$ .

### 3.2. Análise estatística

Pelo método de Gauss-Newton, os dados experimentais de razão de umidade foram submetidos a análise de regressão não linear, e com os dados obtidos selecionou-se o modelo matemático que melhor expressa a relação entre as variáveis estudadas. Para o ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais, foi utilizado o programa computacional Statistica 8.0<sup>®</sup>.

Os modelos foram selecionados considerando o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o erro médio relativo (P), a magnitude do desvio padrão da estimativa (SE), além do comportamento da distribuição dos resíduos.

Os valores do erro médio relativo (P, em %) e do desvio padrão da estimativa (SE, em decimal) foram calculados pelas Equações 14 e 15.

$$P = \frac{100}{N} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (14)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (15)$$

Em que:

N: número de observações experimentais;

Y: valor observado experimentalmente;

$\hat{Y}$ : valor estimado pelo modelo; e

GLR: graus de liberdade do modelo.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 encontram-se os parâmetros estatísticos desvio padrão da estimativa (SE, em decimal), erro médio relativo (P, em %), coeficiente de determinação ( $R^2$ , em decimal) e o comportamento de distribuição dos resíduos, utilizados para a comparação dos modelos testados para descrever as curvas de secagem de folha de guavira.

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

Modelos	SE	P	$R^2$	DR	SE	P	$R^2$	DR	
	(decimal)	(%)	(decimal)		(decimal)	(%)	(decimal)		
		0,4 m s <sup>-1</sup>			1,2 m s <sup>-1</sup>				
40 °C									
(2)	0,0163	6,5766	0,9984	A	0,0042	2,9622	0,9998	T	
(3)	0,0039	0,6224	0,9998	T	0,0113	3,7746	0,9985	T	
(4)	0,0041	0,7769	0,9998	A	0,0042	2,9622	0,9998	A	
(5)	0,0125	5,2310	0,9980	T	0,0128	7,9991	0,9979	T	
(6)	1,0000	1,3492	0,9997	T	0,0121	4,4891	0,9982	T	
(7)	0,0043	2,9622	0,9999	A	0,0032	0,8748	0,9999	A	
(8)	0,0153	6,5765	0,9969	T	0,0176	7,3400	0,9960	T	
(9)	0,0049	2,0424	0,9997	T	0,0137	10,4109	0,9976	T	
(10)	0,0040	0,7192	0,9998	T	0,0167	10,3208	0,9965	A	
(11)	0,0440	16,1467	0,9757	T	0,0511	26,8848	0,9670	T	
50 °C									
(2)	0,0038	1,8047	0,9999	A	0,0064	1,3030	0,9994	A	
(3)	0,0064	4,3539	0,9996	T	0,0316	9,9068	0,9857	T	
(4)	0,0044	1,4887	0,9998	T	0,0083	3,2229	0,9989	A	
(5)	0,0060	4,3540	0,9996	T	0,0238	10,1443	0,9913	T	
(6)	0,0037	1,7893	0,9999	T	0,0121	5,0203	0,9978	A	
(7)	0,0039	2,2106	0,9999	A	0,0062	2,0800	0,9995	A	
(8)	0,0059	4,4837	0,9996	T	0,0318	14,9562	0,9838	T	
(9)	0,0054	3,6117	0,9997	T	0,0067	2,1442	0,9993	A	
(10)	0,0045	2,3864	0,9998	T	0,0067	2,1662	0,9993	A	
(11)	0,0566	33,8005	0,9686	T	0,0623	25,5973	0,9400	T	
60 °C									
(2)	0,0184	6,7203	0,9967	A	0,0176	5,1124	0,9959	T	
(3)	0,0190	6,8065	0,9967	T	0,0287	15,1957	0,9899	T	
(4)	0,0171	3,4997	0,9970	T	0,0170	5,1129	0,9959	T	
(5)	0,0288	11,4157	0,9915	T	0,0162	5,7579	0,9963	T	
(6)	0,0195	7,3340	0,9963	T	0,0148	2,2618	0,9971	T	
(7)	0,0170	4,0598	0,9973	A	0,0117	4,1974	0,9983	A	
(8)	0,0299	13,0749	0,9903	T	0,0165	5,1128	0,9959	T	
(9)	0,0188	3,6623	0,9964	T	0,0169	5,7531	0,9960	T	
(10)	0,0307	13,0770	0,9903	T	0,0170	5,1152	0,9959	T	
(11)	0,0154	5,3206	0,9976	T	0,0330	10,8196	0,9847	T	
70 °C									
(2)	0,0102	3,6064	0,9988	T	0,0111	1,9518	0,9988	A	
(3)	0,0134	2,2728	0,9982	A	0,0115	2,0959	0,9988	A	
(4)	0,0146	3,3819	0,9975	A	0,0108	2,0527	0,9987	A	
(5)	0,0127	2,8815	0,9981	T	0,0148	5,3838	0,9976	T	
(6)	0,0130	2,1088	0,9981	A	0,0109	2,0771	0,9988	T	
(7)	0,0098	2,9982	0,9994	A	0,0113	2,0643	0,9989	A	
(8)	0,0144	2,3082	0,9973	A	0,0158	5,9970	0,9970	T	
(9)	0,0130	4,0920	0,9980	T	0,0109	2,8614	0,9987	T	
(10)	0,0145	3,4807	0,9975	T	0,0108	2,0596	0,9987	A	
(11)	0,0350	11,5745	0,9854	T	0,0329	10,7461	0,9880	T	

Modelo: 2 (Aproximação da difusão), 3 (Dois termos), 4 (Exponencial de dois termos), 5 (Henderson e Pabis), 6 (Logarítmico), 7 (Midilli), 8 (Page), 9 (Newton), 10 (Thompson), 11 (Wang e Singh); DR (Distribuição dos resíduos); A (Aleatório); T (Tendencioso).

Em todas as temperaturas utilizadas na secagem os modelos ajustados aos dados experimentais apresentaram valores de coeficientes de determinação superiores a 0,94 (Tabela 2) o que, segundo Kashaninejad et al. (2007), indica um ajuste satisfatório desses modelos aos dados experimentais do processo de secagem.

Para todas as condições de secagem das folhas de guavira os modelos matemáticos Aproximação da difusão (2), Exponencial de dois termos (4), Logarítmico (6) e Midilli (7) apresentaram valores de erro médio relativo menor que 10% (Tabela 2). Segundo Kashaninejad et al. (2007) os valores do erro médio relativo (P) indicam os desvios dos dados observados a partir da curva estimada pelo modelo. Mohapatra & Rao (2005) ressaltam que modelos que apresentam valores de erro médio relativo superior a 10% são inadequados para representar o processo de secagem, permitindo desconsiderar os demais modelos ajustados no presente trabalho como recomendados para representar a cinética de secagem de folhas de guavira.

Além dos valores do erro médio relativo (P) menores que 10%, os modelos da Aproximação da difusão (2), Exponencial de dois termos (4), Logarítmico (6) e Midilli (7) também apresentaram reduzidas magnitudes do desvio padrão da estimativa (Tabela 2). Conforme Draper & Smith (1998), quanto menor o valor do desvio padrão da estimativa melhor será a qualidade do ajuste do modelo em relação aos dados observados, uma vez que esse parâmetro estatístico indica a capacidade de um modelo descrever com fidelidade um determinado processo físico.

Segundo Goneli (2008) um modelo é considerado aceitável se apresentar a distribuição dos resíduos aleatória (Figura 2), ou seja, se os valores dos resíduos se encontrarem próximos a faixa horizontal em torno de zero e, caso o modelo apresente distribuição dos resíduos de forma tendenciosa (Figura 2), o mesmo não é adequado para representar o fenômeno em questão. Apenas o modelo de Midilli (7) apresentou distribuição aleatória dos resíduos para todas as condições de secagem utilizadas no presente trabalho (Tabela 2).

Na Figura 2, são apresentadas as representações de distribuição dos resíduos para os modelos de Midilli e Wang & Singh, ajustados aos dados experimentais de razão de umidade obtidos durante a secagem das folhas de guavira.

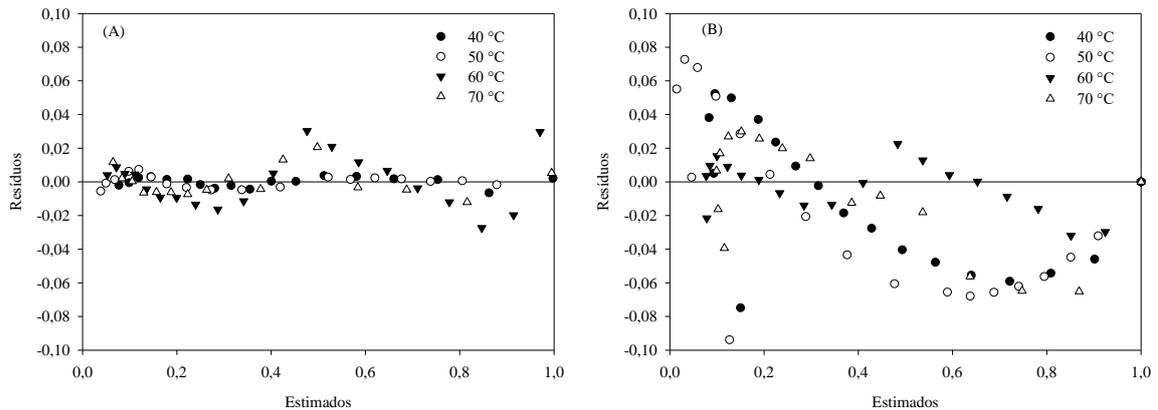


FIGURA 2. (A) Representação de uma distribuição considerada aleatória para o modelo de Midilli e (B) Representação de uma distribuição considerada tendenciosa do modelo de Wang e Singh ajustados aos dados experimentais de secagem das folhas de guavira para as temperaturas (40, 50, 60 e 70 °C) e velocidade do ar de secagem de  $0,4 \text{ m s}^{-1}$ .

Com base em todos os parâmetros estatísticos analisados, bem como sua adequação à todas as condições de secagem utilizadas no presente trabalho, verificou-se que somente o modelo de Midilli (7) é adequado para representar a secagem de folhas de guavira.

Silva et al. (2015) avaliaram a cinética de secagem de folhas de jenipapo, também verificaram que o modelo de Midilli foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais enquanto os demais modelos apresentaram valores de erro médio relativo superiores a 10% em pelo menos uma das temperaturas analisadas. O modelo de Midilli também foi o que melhor se ajustou a secagem de folhas de capim-cidreira estudado por Gomes et al. (2017), na secagem de folhas de juazeiro estudado por Sousa et al. (2015) e na secagem de folhas de manjeriço estudado por Reis et al. (2012). Segundo Goneli et al. (2014b) o melhor ajuste do modelo de Midilli aos dados experimentais de secagem de 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 acintosa e mais bem caracterizada matematicamente, por este modelo.

Na Figura 3 são apresentados, para todas as condições de temperatura e velocidade do ar de secagem, os valores observados e estimados, pelo modelo de Midilli, de razão de umidade para a secagem em camada delgada das folhas de guavira.

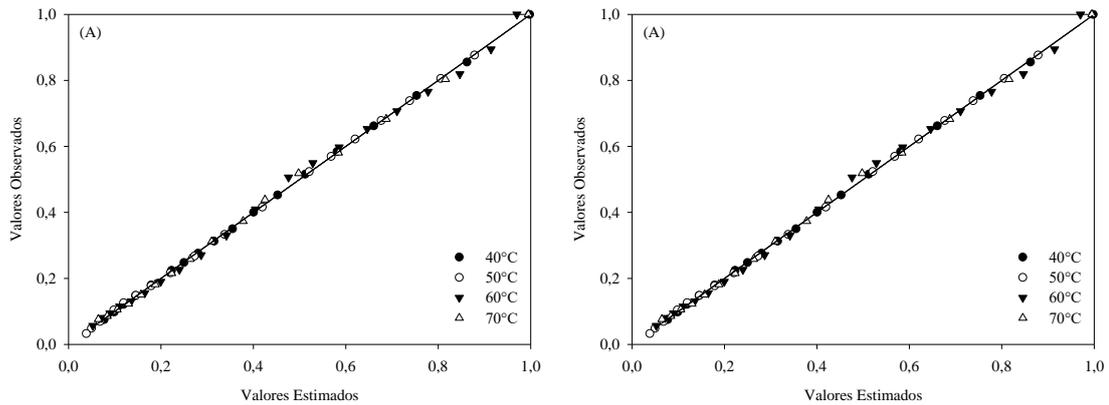


FIGURA 3. Valores de razão de umidade observados e estimados, pelo modelo de Midilli, para a secagem das folhas de guavira em diferentes temperaturas do ar de secagem, nas velocidades de 0,4 (A) e 1,2  $\text{m s}^{-1}$  (B).

Nas Figuras 4 e 5 são apresentados os valores observados e estimados pelo modelo de Midilli para a secagem das folhas de guavira nas velocidades do ar de 0,4 e 1,2  $\text{m s}^{-1}$ , e temperaturas de 40, 50, 60, 70  $^{\circ}\text{C}$ .

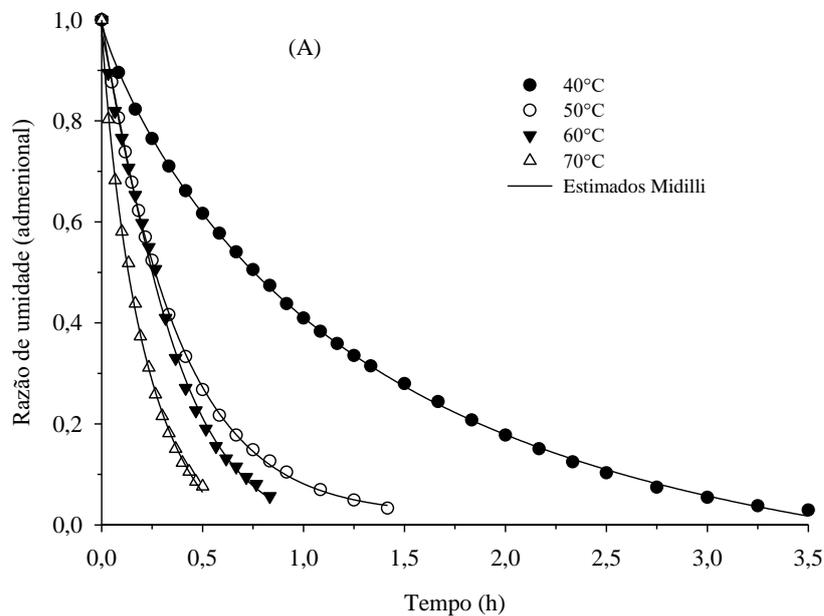


FIGURA 4. Valores de razão de umidade experimentais e estimados, pelo modelo de Midilli, para a secagem das folhas de guavira em diferentes temperaturas na velocidade do ar de secagem de 0,4  $\text{m s}^{-1}$ .

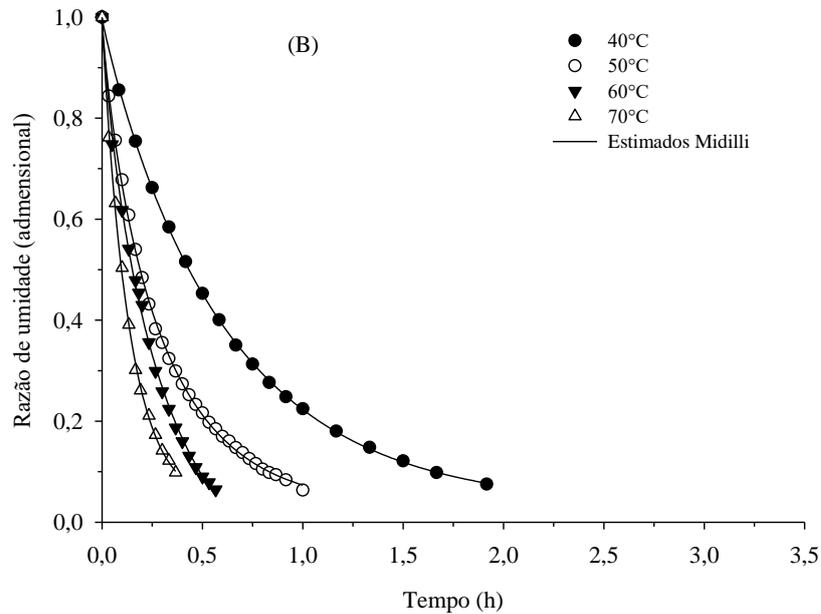


FIGURA 5. Valores de razão de umidade experimentais e estimados, pelo modelo de Midilli, para a secagem das folhas de guavira em diferentes temperaturas na velocidade do ar de secagem de  $1,2 \text{ m s}^{-1}$ .

O modelo de Midilli descreveu de forma satisfatória o fenômeno da cinética de secagem (Figuras 4 e 5). Verificou-se que o tempo de secagem decresce com o aumento da temperatura e velocidade do ar reduzindo-se assim o tempo necessário para remoção de água do produto.

Analisando as Figuras 4 e 5 nota-se uma significativa influência da temperatura do ar sobre as curvas de secagem das folhas de guavira, em que aumentando-se a temperatura do ar diminui-se o tempo necessário para atingir aproximadamente o teor de água  $0,12 \pm 0,01 \text{ b.s.}$ , (Figura 4 e 5). Além disto, também é possível observar a proximidade entre os valores observados e estimados pelo modelo de Midilli (Figura 3) reforçando a adequação deste modelo na representação da secagem de folhas de guavira para o intervalo de dados observados.

Fica evidente a influência da temperatura no tempo de secagem do material (Figura 4 e 5) conforme estudo da cinética de secagem de salva limão, realizado por Alves et al., (2017), no qual verificaram que o tempo de secagem diminuiu com o aumento da temperatura. Este fenômeno foi observado por diversos pesquisadores em vários produtos agrícolas (SILVA et al., 2016; SOUSA et al., 2011; DIOGENES et al., 2013).

Na Tabela 3 são apresentados os parâmetros do modelo de Midilli ajustados aos dados observados durante a secagem de folhas de guavira para as diferentes combinações de temperatura e velocidades do ar.

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

Temperatura (°C)	Parâmetro e coeficiente do modelo de Midilli							
	0,4 m s <sup>-1</sup>				1,2 m s <sup>-1</sup>			
	a	K	n	b	a	K	n	b
40	0,9952	0,8390	0,8580	-0,0194	0,9979	1,5470	0,9465	0,0105
50	1,0000	2,6493	1,0049	0,0107	1,0003	2,8540	0,8465	0,0158
60	0,9702	3,4073	1,1913	-0,0119	0,9440	3,3100	0,8657	-0,1407
70	0,9948	3,9716	0,8870	-0,1034	0,9963	6,7553	0,9719	0,0619

Observa-se que a constante de secagem “K” do modelo de Midilli aumenta de acordo com o incremento da temperatura do ar de secagem, o qual reflete o efeito das condições externas de secagem, como a temperatura. Já para os coeficientes “a”, “b” e “n” não se observou tendência alguma definida (Tabela 3).

O parâmetro “K” pode ser empregado como aproximação para caracterizar o efeito da temperatura se relacionando diretamente com a difusividade efetiva no processo de secagem no período decrescente, sendo que a difusividade líquida controla o processo. Sendo assim, quanto maior a magnitude do parâmetro “K” maior a difusividade efetiva no processo de secagem (MARTINS et al., 2015a).

A difusidade expressa a facilidade de remoção de água de um produto, sendo seu valor obtido por meio de ajuste do modelo da difusão aos valores experimentais. O coeficiente de difusão ou difusidade efetiva engloba os efeitos de todos os fenômenos que podem intervir sobre a movimentação de água em um sólido.

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios do coeficiente de difusão efetiva obtidos durante a secagem das folhas de guavira para as diferentes condições de temperatura do ar considerando a espessura foliar média de 0,282 milímetros.

TABELA 4. Magnitudes do coeficiente de difusão efetivo (D) folhas de guavira ajustado as diferentes condições de temperatura e velocidade do ar de secagem em camada delgada

Temperatura (°C)	D x 10 <sup>-11</sup> (m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	
	0,4 m s <sup>-1</sup>	1,2 m s <sup>-1</sup>
40	0,6216	1,0668
50	1,7539	2,3099
60	2,0510	3,2745
70	3,6759	4,8690

A variação dos valores do coeficiente de difusão efetivo para a secagem de folhas de guavira numa faixa de temperatura entre 40 e 70 °C ficou entre  $0,6216$  e  $3,6759 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  e entre  $1,0668$  e  $4,8690 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  para os fluxos de  $0,4$  e  $1,2 \text{ m s}^{-1}$ , respectivamente.

Segundo Madamba et al. (1996), os valores de coeficiente de difusão para a cinética de secagem de produtos agrícolas, apresentam-se na ordem de  $10^{-9}$  a  $10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ . Assim os valores do coeficiente de difusão efetivo obtidos para as folhas de guavira corrobora com faixa estabelecida por esses autores.

Ao estudar a cinética de secagem de folhas de *Mentha piperita* conhecido popularmente como hortelã-pimenta, Gasparin et al., (2017), verificaram um aumento dos valores da difusão efetiva com elevação da temperatura do ar de secagem, variando a velocidade de  $0,3 \text{ m s}^{-1}$ , de  $2,2823 \times 10^{-12}$  a  $7,4601 \times 10^{-11}$  e para a velocidade de  $0,5 \text{ m s}^{-1}$  a variação do coeficiente foi de  $2,2395 \times 10^{-12}$  a  $7,4601 \times 10^{-11}$ . Além das características físicas diferentes entre os produtos, diversos outros fatores também podem influenciar na obtenção do coeficiente de difusão efetivo, como temperatura do ar de secagem, variedade e composição dos materiais.

São apresentados na Figura 5, graficamente, os valores de  $\ln(D)$  em função do inverso da temperatura absoluta ( $1/T_a$ ) obtidos para as folhas de guavira nas diferentes condições de temperatura e velocidade do ar de secagem.

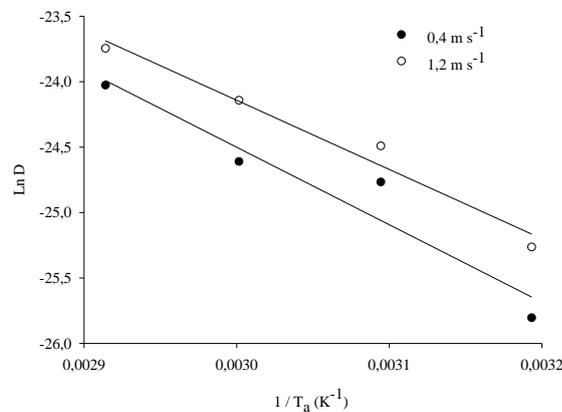


FIGURA 5. Representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão efetivo durante a secagem em camada delgada das folhas de guavira nas diferentes condições de temperatura e velocidade do ar de secagem.

A energia de ativação para a difusão da água durante a cinética de secagem das folhas de guavira foi de  $49,2616 \text{ kJ mol}^{-1}$  para a velocidade de  $0,4 \text{ m s}^{-1}$  e  $43,9935 \text{ kJ mol}^{-1}$  para a velocidade de  $1,2 \text{ m s}^{-1}$ . Corrêa et al. (2007), relatam que em processos de secagem quanto menor a energia de ativação maior a difusividade de água no produto.

$$D_{0,4} = 0,00120028 \exp\left(\frac{49,2616}{RT_a}\right) \quad (16)$$

$$D_{1,2} = 0,000256803 \exp\left(\frac{43,9935}{RT_a}\right) \quad (17)$$

A energia de ativação vem sendo estudada por vários pesquisadores para as diversas folhas de plantas medicinais como: folha de *Mentha piperita*, apresentou energia de ativação de 68,42 kJ mol<sup>-1</sup> e 78,27 kJ mol<sup>-1</sup> para as velocidades de 0,3 e 0,5 m s<sup>-1</sup>, respectivamente (GASPARIN et al., 2017); folhas de jenipapo 33,87 kJ mol<sup>-1</sup> (SILVA et al., 2015); folhas de *Hyptis suaveolens* apresentou energia de ativação de 62,513 kJ mol<sup>-1</sup> para a velocidade do ar de secagem de 1,0 m s<sup>-1</sup> e 61,289 kJ mol<sup>-1</sup> para a velocidade do ar de secagem de 2 m s<sup>-1</sup> (ALVES et al., 2017).

Quando comparados com as folhas de *Mentha piperita* e *Hyptis suaveolens*, a energia de ativação das folhas de guavira apresentaram-se inferiores, evidenciando a necessidade de uma menor energia para desencadear o processo de difusão de líquida. A energia de ativação é uma barreira que deve ser ultrapassada para que o processo de difusão possa ser desencadeado no produto (KASHANINEJAD et al., 2007).

## 5. CONCLUSÕES

1. O modelo matemático de secagem proposto por Midilli é, dentre aqueles testados, o que apresenta melhor ajuste sendo o selecionado para a representação da cinética de secagem das folhas de guavira.

2. O coeficiente de difusão efetivo aumenta com a elevação da temperatura do ar de secagem, esta relação pode ser descrita pela equação de Arrhenius.

3. A temperatura do ar é o principal fator controlador do processo de secagem, pois quanto maior a temperatura do ar de secagem, mais rápido o produto atinge seu equilíbrio termodinâmico.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, J. J. L.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C. DE; BRANQUINHO, N. A. DE A. Cinética de secagem das folhas de *Hyptis suaveolens*. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.19, n.2, p.168-176, 2017
- ANDRADE, E. T.; BORÉM, F. M. **Modelagem matemática e simulação aplicados na secagem do café**. In: BORÉM, F. M. (Ed.). Pós-colheita do café. Lavras: UFLA, 2008. p.301-347.
- BAVIATI, M.; FARIAS, C.; CURTIUS, F.; BRASIL, L. M.; HORT, S.; SCHUSTER, L.; LEITE, S. N.; PRADO, S. R. T. Preliminary studies on *Campomanesia xanthocarpa* (Berg.) and *Cuphea carthagenensis* (Jacq.). **Journal of Ethnopharmacology**, v.93, n.1, p.385-389, 2004.
- 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.167-73, 1995.
- BRASIL. Consulta Pública nº 80, de 13 de dezembro de 2004. **Regulamento técnico sobre ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais**. Brasília: Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA, 2004.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretária de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Departamento de Assistência Farmacêutica de Insumos Estratégicos. **Programa Nacional de Plantas Mediciniais e Produtos Fitoterápicos**. Brasília: Ministério da Saúde, 2009. 136p.
- BROOKER, Donald; BAKER-ARKEMA, Fred; HALL, Carl. **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: AVI Book, 1992. 450 p.
- CARDOSO, C. A., SALMAZZO, G. R., HONDA, N. K., PRATES, C. B., VIEIRA, M. C., COELHO, R. G., 2010. Antimicrobial activity of the extracts and fractions of hexanic fruits of *Campomanesia species* (Myrtaceae). **Journal of Medicinal Food**, v.13, n.1, p.1273-1276, 2010.
- CARLESSO, V. DE O.; BERBERT, P. A.; SILVA, R. F. DA; VIANNA, A. P.; DETMANN, E.; DIONELLO, R. G. Secagem de sementes de maracujá em camada delgada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.27, n.1, p.444-448, 2005.
- CHEIKHYOUSSEF, A.; SHAPI, M.; MATENGU, K.; ASHEKELLE, H. M. Ethnobotanical study of indigenous knowledge on medical plant use by traditional healers in Oshikoto region, Namibia. **Journal of Ethnobiology and Etnomedicine**, v.7, n.10, p.1-11, 2011.
- CORRÊA, P. C.; RESENDE, O. MARTINAZZO, A. P.; GONELLI, A. L. D.; BOTELHO, F. M. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.2, p.501-507, 2007.
- D'ANGELIS, A. S. R.; NEGRELLI, R. R. B.; Pimenta *pseudocaryophyllus* (Gomes) Landrum: aspectos botânicos, ecológicos, etnobotânicos e farmacológicos. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.16, n.3, p.607-617, 2014.

DALPASQUALE, V. A.; SPERANDIO, D. Modelo de simulação de secagem de produtos agrícolas usando entalpia do ar constante. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.1, p.726-731, 2010.

DIÓGENES, A. DE M. G.; QUEIROZ, A. J. DE M.; FIGUEIREDO, R. M. F. DE; SANTOS, D. DA C. S. Cinética de secagem de grãos de abóbora, **Revista Caatinga**, v.26, n.1, p.71-80, 2013.

DRAPER, Norman; SMITH, Harry. **Applied regression analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1998. 736 p.

DURIGAN, Giselda; BAITELLO, João Batista; FRANCO, Geraldo Antonio Daher. Corrêa; SIQUEIRA, Marinez. Ferreira de. **Plantas do cerrado paulista: imagens de uma paisagem ameaçada**. São Paulo: Páginas & Letras, 2004. 475 p.

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.

GINER, S. A.; MASCHERONI, R. H. Diffusive drying kinetics in wheat, Part 2: applying the simplified analytical solution to experimental data. **Postharvest Technology**, v.81, n.1, p.85-97, 2002.

GOMES, N. H. F.; NETO, H. C. da S.; 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. **Variação das propriedades físico-mecânicas e da qualidade da mamona (*Ricinus communis L.*) durante a secagem e o armazenamento**. 2008. 186p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

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 verbenácea DC.*). **Revista brasileira de plantas medicinais**, v16, n.2, p.434-443. 2014b.

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

ISQUIERDO, E. P. **Cinética de secagem de café natural e suas relações com a qualidade para diferentes temperaturas e umidades relativas do ar**. 2011. 157f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

ISQUIERDO, E. P.; BORÉM, F. M.; ANDRADE, E. T., CORREA, J. L. G.; OLIVEIRA, P. D.; ALVES, G. E. Drying kinetics and quality of natural coffee. **Transactions of the ASABE**, v.56, n.1, p.1003–1010, 2013.

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.

LIMA, M. A. C.; ASSIS, J. S.; GONZAGA NETO, L. Caracterização dos frutos de goiabeira e seleção de cultivares na região do submédio São Francisco. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.24, n.1, p.273-276, 2002.

LORENZI, Harri; BACHER, Luis; LACERDA, Marco; SARTORI, Sergio. **Frutas brasileiras e exóticas cultivadas (de consumo in natura)**. São Paulo: Plantarum, 2006, 640p.

LORENZI, Harri; MATOS, Francisco José de Abreu. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. 2.ed. Nova Odessa: Plantarum, 2008. 544p.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. Thinlayer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, v.29, n.1, p.75-97, 1996.

MARTINAZZO, A. P.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MELO, E. de C. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.1, p.301-306, 2007.

MARTINS, E. A. S. **Dimensionamento e experimentação de um secador de leito fixo para a secagem de produtos agrícolas**. 2015. 132p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Dourados, 2015.

MARTINS, J. J. A.; SOUSA, F. C.; ROCHA, A. P. T.; MARTINS, J. N.; GOMES, J. P. Estudo da cinética de secagem de folhas de *Bauhinia Cheilantha* (Bong.) Steud. (mororó). **Revista Cubana Plantas Mediciniais**, v.20, n.4, p.397-408, 2015a.

MARTINS, W. A.; MANTELLI, M.; SANTOS, S. C.; NETTO, A. P. C.; PINTO, F. Estaquia e concentração de reguladores vegetais no enraizamento de *Campomanesia adamantium*. **Revista de Ciências Agrárias**, v.38, n.1, p.58-64, 2015b.

MÉLO, E. DE A.; LIMA, V. L. A. G.; NASCIMENTO, P. P. Temperatura no armazenamento de pitanga. **Scientia Agricola**, v.57, n.4, p.629-634, 2000.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A. New model for single-layer drying. **Drying Technology**, v.20, n.1, p.1503-1513, 2002.

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

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de controle moderno**. 4.ed. São Paulo: Prentice Hall, 2003. 940p.

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

PASCOAL, A. C. R. F.; EHRENFRIED, C. A.; LOPEZ, B. G. C.; ARAUJO, T. M.; PASCOAL, V.; GILIOLI, R.; PAVAN, F. R.; LEITE, C. Q. F.; COELHO, R. G.; COUTINHO, I. D.; HONDA, N. K.; CARDOSO, C. A. L. Antiproliferative activity and induction of apoptosis in PC-3 cells by the chalcone cardamonin from *Campomanesia adamantium* (Myrtaceae) in a bioactivity-guided study. **Molecules**. v.19, n.1, p.1843-1855, 2014.

PAVAN, F. V. R.; LEITE, C. Q. F.; COELHO, R. G.; COUTINHO, I. D.; HONDA, N. K.; CARDOSO, C. A. L. Evaluation of anti-mycobacterium tuberculosis activity of *Campomanesia adamantium* (Myrtaceae). **Química Nova**, v.32, n.1, p.1222-1226. 2009.

PIVA, Maria da Graça. **O Caminho das Plantas Medicinais: Estudo Etnobotânico**. Rio de Janeiro: Mondrian, 2002. 313p.

PRATES, M. F. O.; REIS, R. C. dos; DEVILLA, I. A.; FARIA, R. Q.; LIMA JUNIOR, A. F. Cinética de secagem de folhas de *Solanum lycocarpum* A. St.-Hil. (fruta-de-lobo). **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v.14, n.1, p.514-521, 2012.

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

REIS, R. C. DOS; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. R.; SERVULO, A. C. O.; SOUZA, A. B. M. Cinética de secagem de folhas de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) via infravermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.12, p.1346-1352, 2012.

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M. RODRIGUES, S. Modelagem matemática do processo de secagem de duas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.10, n.1, p.17-26, 2008.

ROSA, C. da; CÂMARA, S. G.; BÉRIA, J. U. Representações e intenção de uso da Fitoterapia na atenção básica à saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v.16, n.1, p.311-318, 2011.

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.

SILVA, R. B.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; ALVES, A. P. Estudo da cinética de secagem de polpa de carambola. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v.10, n.2, p.2069-2080, 2016.

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 Medicinais**, v.17, n.2, p.19-200, 2015.

SOUSA, K. A. DE; RESENDE, O.; CHAVES, T. H.; COSTA, L. M.; Cinética de secagem do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.4, p.883-892, 2011.

SOYSAL, Y.; ÖZTEKIN, S. Equilibrium moisture content equations for some medicinal and aromatic plants. **Journal of Agricultural Engine**, v.74, n.3, p.317-324, 1999.

THOMPSON, T. L.; PEART, R. M.; FOSTER, G. H. Mathematical simulation of corn drying: A new model. **Transactions of ASAE**, v.11, n.4, p.582-586, 1968.

VALLILO, M. I.; BUSTILLOS, O. V.; AGUIAR, O. T. Identificação de terpenos no óleo essencial dos frutos de *Campomanesia adamantium* (Cambessédes) O. Berg - Myrtaceae. **Revista do Instituto Florestal**, v.18, n. único, p.15-22, 2006.

WANG, C. Y.; SINGH, R. P. Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. **Transaction of ASAE**, v.11, n.1, p.668-772, 1978.