

JULIA LOPES GOVERNICI

**INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DO AR DE SECAGEM E DA  
FRAGMENTAÇÃO DOS FRUTOS NO RENDIMENTO DE ÓLEO ESSENCIAL  
DE PIMENTA-ROSA**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2019

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

G723i  
2019

Governici, Julia Lopes, 1994-

Influência da temperatura do ar de secagem e da fragmentação dos frutos no rendimento de óleo essencial de pimenta-rosa / Julia Lopes Governici. – Viçosa, MG, 2019. v. 29 f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Evandro de Castro Melo.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 22-29.

1. *Schinus terebinthifolius*. 2. Plantas medicinais. 3. *Schinus terebinthifolius* - Tecnologia pós-colheita. 4. Modelos matemáticos. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

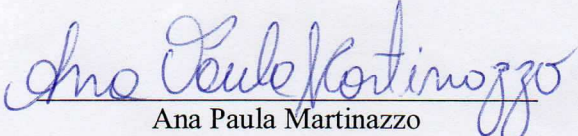
CDD 22. ed. 583.77


JULIA LOPES GOVERNICI

**INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DO AR DE SECAGEM E DA  
FRAGMENTAÇÃO DOS FRUTOS NO RENDIMENTO DE ÓLEO ESSENCIAL  
DE PIMENTA-ROSA**

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

APROVADA: 25 de fevereiro de 2019.

  
\_\_\_\_\_  
Ana Paula Martinazzo

  
\_\_\_\_\_  
Catariny Cabral Aleman

  
\_\_\_\_\_  
Evandro de Castro Melo  
(Orientador)

## AGRADECIMENTOS

Aos meu pais, Mônica e Roberto, e ao meu irmão, Vitor, por todo amor, apoio e incentivo em todos os momentos.

Ao meu noivo, Rodrigo, pelo amor incondicional, companheirismo, incentivo e paciência durante essa trajetória.

Ao professor Evandro de Castro Melo, orientador e amigo, por todo suporte, orientação, ensinamentos e conselhos.

Ao professor Antônio Policarpo de Souza Carneiro, coorientador, pela orientação e auxílio.

Aos amigos do laboratório, por todos os conselhos, ajuda e apoio quando nada parecia dar certo. Por todas as brincadeiras e alegria que tornaram essa trajetória mais leve.

À amiga Naiara Cristina Zotti Sperotto, pela ajuda na condução do experimento, paciência, conselhos e apoio. Obrigada por compartilhar comigo essa vitória.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola pela oportunidade de desenvolver este trabalho e realização do mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo.

A todos os envolvidos neste trabalho pela dedicação e disposição em ajudar.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	iv
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>ARTIGO</b> .....	1
<b>RESUMO</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	2
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	3
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	5
Material vegetal.....	5
Ensaio de secagem .....	5
Modelagem matemática.....	7
Consumo energético .....	8
Extração de óleo essencial .....	9
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	10
Modelagem matemática.....	10
Tempo de secagem e consumo energético.....	16
Rendimento de óleo essencial .....	19
<b>CONCLUSÃO</b> .....	22
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	22

## RESUMO

GOVERNICI, Julia Lopes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2019. **Influência da temperatura do ar de secagem e da fragmentação dos frutos no rendimento de óleo essencial de pimenta-rosa.** Orientador: Evandro de Castro Melo. Coorientador: Antônio Policarpo Souza Carneiro.

O uso de plantas medicinais para o tratamento de enfermidades é feito desde a antiguidade. Uma planta nativa brasileira usada para este fim é a *Schinus terebinthifolius*. Dos seus frutos, conhecidos como pimenta-rosa, é possível extrair o óleo essencial. O rendimento de óleo essencial pode ser afetado por diversos fatores e processos pós-colheita, dentre eles a secagem. Este processo é importante para garantir o armazenamento seguro, uma vez que o teor de água é reduzido. No entanto, a secagem é um processo complexo que pode provocar danos e conseqüente perda na qualidade dos produtos. Outro fator que interfere no rendimento é a fragmentação do material, devido ao rompimento de estruturas. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da temperatura do ar de secagem e da fragmentação dos frutos no rendimento do óleo essencial de pimenta-rosa, bem como ajustar e modelar estatisticamente modelos matemáticos às curvas de secagem dos frutos. Foram submetidas à secagem, 350 g de pimenta-rosa, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C em três repetições até atingir teor de água de 0,11 b.s.. Para fins de modelagem matemática, 90 g de frutos permaneceram no secador até atingirem o teor de água do equilíbrio. Aos dados experimentais foram ajustados doze modelos matemáticos usando regressão não-linear pelo método Quasi-Newton. O ajuste dos modelos foi analisado pelo coeficiente de determinação, erro médio relativo, erro médio estimado e distribuição de resíduos. Após a secagem, os frutos foram submetidos à extração de óleo essencial. Para avaliar a influência da fragmentação no rendimento, a extração foi realizada com 100 g de frutos inteiros e com 40 g de frutos triturados em moinho de facas. A extração de óleo essencial foi feita por três horas por meio de hidrodestilação. Os dados de rendimento foram analisados através de regressão e teste de Tukey a 5% de significância. Concluiu-se que o maior rendimento de óleo essencial de pimenta-rosa foi obtido a partir de frutos que foram secos a 50 °C e triturados antes da extração e o modelo de Midilli se ajustou satisfatoriamente aos dados de secagem para todas as temperaturas estudadas.

## ABSTRACT

GOVERNICI, Julia Lopes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2019. **Influence of drying air temperature and fruit fragmentation on yield of essential oil of pink pepper.** Adviser: Evandro de Castro Melo. Co-adviser: Antônio Policarpo Souza Carneiro.

The use of medicinal plants for the treatment of diseases has been done since antiquity. *Schinus terebinthifolius* is a Brazilian native plant used for this purpose. From its fruits, known as pink pepper, it is possible to extract the essential oil. The yield of essential oil can be affected by several factors and post-harvest processes, among them the drying. This process is important to ensure safe storage as the water content is reduced. However, drying is a complex process that can cause damage and consequent loss in product quality. Another factor that interferes in the yield is the fragmentation of the material, due to the rupture of structures. In this context, the objective of this work was to evaluate the influence of drying air temperature and fruit fragmentation on the yield of the essential oil of pink pepper, as well as to adjust and statistically model mathematical models to the drying curves of the fruits. About 350 g of pink pepper were dried at temperatures of 50, 60 and 70 ° C in three replicates until reaching a water content of 0.11 b.s.. For mathematical modeling, 90 g of fruits remained in the dryer until reach the equilibrium water content. Twelve mathematical models were adjusted to the experimental data using nonlinear regression by the method Quasi-Newton. The fit of the models was analyzed by the coefficient of determination, relative mean error, estimated mean error and distribution of residues. After drying, the fruits were submitted to the extraction of essential oil. To evaluate the influence of the fragmentation on the yield the extraction was carried out with 100 g of whole fruits and with 40 g of ground fruits in a knife mill. The extraction of essential oil was carried out for three hours by hydrodistillation. The yield data were analyzed through regression and Tukey test at 5% significance. It was concluded that the highest yield of essential oil of pink pepper was obtained from fruits that were dried at 50 ° C and ground before extraction and the Midilli model satisfactorily adjusted to the drying data for all temperatures studied.

## ARTIGO

### **Influência da temperatura do ar de secagem e da fragmentação dos frutos no rendimento de óleo essencial de pimenta-rosa (*Schinus terebinthifolius* Raddi)**

#### **RESUMO**

Os frutos de pimenta-rosa, devido a suas propriedades terapêuticas, são utilizados na medicina tradicional para o tratamento de diversas enfermidades. Após a colheita, é recomendado que o material vegetal seja seco para reduzir o teor de água a limites seguros para o armazenamento. No entanto, os processos de pós-colheita podem afetar a qualidade dos produtos. Objetivou-se com o presente trabalho, determinar a influência da temperatura do ar de secagem e da fragmentação dos frutos no rendimento de óleo essencial de pimenta-rosa e ajustar e modelar estatisticamente modelos matemáticos às curvas de secagem. Foram secos 350 g de frutos a 50, 60 e 70 °C, em três repetições, até atingir teor de água de 0,11 b.s.. Para fins de modelagem, 90 g permaneceram no secador até atingir teor de água de equilíbrio. Aos dados de secagem, ajustaram-se doze modelos matemáticos. O grau de ajuste foi analisado pelo coeficiente de determinação, erro médio relativo, erro médio estimado e distribuição de resíduos. Após a secagem, a extração de óleo essencial foi realizada por meio de hidrodestilação com os frutos inteiros e triturados em moinho de facas. O rendimento de óleo essencial foi analisado por regressão e teste de Tukey. Concluiu-se que o maior rendimento de óleo essencial foi obtido a partir de frutos que foram secos a 50 °C e triturados antes da extração. O modelo de Midilli se ajustou satisfatoriamente aos dados, independente da temperatura de secagem.

**Palavras-chave:** *Schinus terebinthifolius*, planta medicinal, pós-colheita, modelagem matemática.

## **Influence of drying air temperature and fruit fragmentation on yield of essential oil of pink pepper (*Schinus terebinthifolius* Raddi)**

### **ABSTRACT**

The fruits of pink pepper, due to its therapeutic properties, are used in traditional medicine for the treatment of several diseases. After harvesting, it is recommended that the plant material be dried to reduce the water content to safe limits for storage. However, post-harvest processes can affect product quality. Therefore, the objective of this work was to determine the influence of drying air temperature and fruit fragmentation on the yield of essential oil of pink pepper and to adjust and statistically model mathematical models to the drying curves. About 350 g of fruits were dried at 50, 60 and 70 °C in three replicates until water content of 0.11 b.s.. For modeling purposes, 90 g remained in the dryer until reaching equilibrium water content. Twelve mathematical models were fitted to the drying data. The degree of fit was analyzed by the coefficient of determination, relative mean error, estimated mean error and distribution of residues. After drying, the extraction of essential oil was accomplished by means of hydrodistillation with the whole fruits and ground fruits in a knife mill. The essential oil yield was analyzed by regression and Tukey test. It was concluded that the highest yield of essential oil was obtained from fruits that were dried at 50 ° C and ground before extraction and the Midilli model was satisfactorily adjusted to the data, regardless of the drying temperature.

**Key-words:** *Schinus terebinthifolius*, medicinal plant, post-harvest, mathematical modeling.

## INTRODUÇÃO

As plantas medicinais são usadas desde a antiguidade para o tratamento de diversas enfermidades (Wachtel-Galor & Benzie, 2011). Dentre estas, uma espécie amplamente utilizada é a *Schinus terebinthifolius* Raddi. Essa planta, originária do Brasil, é popularmente conhecida como aroeira-vermelha ou aroeira-brasileira. Seus frutos, conhecidos como pimenta-rosa, são pequenos e globosos e, quando maduros, apresentam coloração vermelha (Cardoso & Silveira, 2010). A pimenta-rosa é rica em óleo essencial e compostos fenólicos e suas propriedades terapêuticas já foram comprovadas por diversos estudos (Carlini et al., 2010; Rosas et al., 2015; Dannenberg et al., 2016; Uliana et al., 2016).

Após a colheita é recomendada a secagem do material vegetal, pois para garantir a conservação durante o armazenamento, o produto deve apresentar reduzidos valores de teor de água (Park et al., 2001a). Esse processo reduz o teor de água para limites seguros em que ocorre diminuição ou inibição do crescimento de microrganismos e de reações enzimáticas e oxidativas, além de facilitar o transporte e reduzir o custo, pela redução de volume do material (Mujumdar & Law, 2010; Jin et al., 2017).

A secagem é um procedimento complexo, devido à estrutura e composição do material, dos fenômenos de transporte envolvidos e da variabilidade biológica. A taxa de secagem depende de variáveis como temperatura, velocidade, umidade relativa do ar de secagem e características do produto. Assim, a modelagem matemática e a simulação deste processo são ferramentas úteis para lidar com a sua complexidade e obter condições operacionais adequadas (Castro et al., 2018).

O processo de secagem pode representar até 40% do consumo energético total necessário pela indústria, sendo assim, o maior custo com secadores está na operação e não no custo inicial do investimento (Mujumdar & Devahastin, 2000). O aumento na

temperatura do ar de secagem pode aumentar a taxa de secagem e reduzir o tempo efetivo que determinado produto permanece no secador. Essa redução no tempo de secagem pode promover significativa redução do consumo energético e, conseqüentemente, influenciar no custo operacional desse processo.

No entanto, esse processo de fornecimento contínuo de ar aquecido, principalmente a altas temperaturas, pode provocar alterações estruturais e físico-químicas no material a ser seco, tais como modificações em estruturas armazenadoras de compostos químicos, degradação da cor e redução no teor de óleo essencial, com conseqüente perda de qualidade do produto final (Radünz et al., 2006; Borsato et al., 2008; Gasparin et al., 2014).

Além da secagem, o rendimento e a composição química do óleo essencial das plantas medicinais também são influenciados pela metodologia de extração (Sefidkon et al., 2007; Memarzadeh et al., 2015), parte vegetal submetida ao processo (Cavalcanti et al., 2015) e fragmentação do material (Costa et al., 2009; Rosado et al., 2011).

As folhas de algumas espécies vegetais são recobertas por ceras que protegem os compostos ativos, o que pode dificultar sua extração. A redução do tamanho do material é uma maneira de romper essa barreira e facilitar a extração (Durling et al., 2007). O local onde os óleos essenciais ficam armazenados varia conforme a planta, podendo ocorrer em estruturas secretoras ou células parenquimáticas diferenciadas. Dessa forma, a trituração pode aumentar o rendimento extrativo de compostos de interesse devido ao aumento no número de células expostas ao processo (Vinatoru, 2001).

Neste contexto, este trabalho teve o objetivo de avaliar a influência da temperatura do ar de secagem e da fragmentação do material no rendimento de óleo essencial dos frutos de pimenta-rosa e no consumo energético do processo de secagem, bem como ajustar e modelar estatisticamente as curvas de secagem dos frutos.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado e esquema fatorial 3x2 com três repetições, totalizando 18 amostras experimentais. O primeiro fator representa a temperatura em que a secagem foi realizada (50, 60 e 70 °C) e o segundo fator está relacionado com a fragmentação dos frutos de pimenta-rosa antes da extração de óleo essencial (frutos inteiros e triturados em moinho de facas).

### **Material vegetal**

Os frutos de pimenta-rosa (*Schinus terebinthifolius* Raddi) utilizados eram provenientes da cidade de São Mateus – ES e cedidos pela empresa AgroRosa. As amostras foram transportadas até a Universidade Federal de Viçosa, na cidade de Viçosa – MG, acondicionadas em embalagens plásticas. Os frutos foram limpos, homogêneos e armazenados em BOD a 3,5 °C até o início dos ensaios de secagem. O teor inicial de água dos frutos foi de 0,62 b.s., determinado usando 10 g do material vegetal em estufa com circulação forçada de ar, com temperatura de  $105 \pm 2$  °C até atingir massa constante (ANVISA, 2010).

### **Ensaio de secagem**

Foram submetidos à secagem contínua 350 g de frutos frescos, em secadores elétricos de camada fixa, com temperaturas do ar de 50, 60 e 70 °C e velocidade do ar de  $2,0 \text{ m.s}^{-1}$ . O controle da temperatura nos secadores era automático e a velocidade era ajustada manualmente, permanecendo fixa durante todo o ensaio. A temperatura (T) e umidade relativa (UR) do ar ambiente foram determinadas a partir de um termohigrômetro digital (HOBO datalogger, Onset) e a umidade relativa do ar de secagem foi obtida por meio do programa GRAPSI 7.0<sup>®</sup> (Melo et al., 2004),

considerando-se a razão de mistura constante durante o aquecimento a partir das condições ambientais. As condições médias do ar ambiente e do ar de secagem foram apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Condições ambientais e de secagem observadas durante os ensaios

$T_s$ (°C)	$UR_s$ (%)	$T_{amb}$ (°C)	$UR_{amb}$ (%)
$50 \pm 0,50$	$14,2 \pm 0,06$	$21,7 \pm 0,04$	$67,3 \pm 0,14$
$60 \pm 0,50$	$9,1 \pm 0,06$	$22,3 \pm 0,04$	$67,1 \pm 0,31$
$70 \pm 0,50$	$6,3 \pm 0,06$	$24,6 \pm 0,00$	$63,0 \pm 0,06$

Para acompanhar a redução do teor de água, foram realizadas pesagens regulares a cada cinco minutos. Ao atingir teor de água de 0,11 b.s. a secagem foi considerada finalizada. Porém, para fins de modelagem matemática, 90 g de frutos permaneceram no secador, formando uma camada delgada, até atingirem o teor de água de equilíbrio. Considerou-se como ponto de equilíbrio higroscópico quando ocorreram três pesagens consecutivas sem variação de massa. O teor de água de equilíbrio obtido experimentalmente para as temperaturas de 50, 60, e 70 °C foi de 0,036, 0,022 e 0,028 b.s., respectivamente.

A razão do teor de água nas diferentes condições de secagem foi determinada através da Eq. 1:

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (1)$$

em que:

$RX$ – razão do teor de água (adimensional);

$X$  – teor de água no momento da pesagem (decimal, b.s.);

$X_i$  – teor inicial de água (decimal, b.s.);

$X_e$  – teor de água de equilíbrio (decimal, b.s.).

### Modelagem matemática

Aos dados experimentais foram ajustados doze modelos matemáticos (Eqs. 2 a 13), amplamente utilizados na descrição do processo de secagem de produtos agrícolas (Tabela 2).

Tabela 2. Modelos matemáticos ajustados às curvas de secagem de pimenta-rosa

Descrição do modelo	Modelo	
Page	$RX = \exp(-k t^n)$	(2)
Page modificado	$RX = \exp[-(k t)^n]$	(3)
Thompson	$RX = \exp\left\{\left[-a-(a^2+4 b t)^{1/2}\right]/2 b\right\}$	(4)
Newton	$RX = \exp(-k t)$	(5)
Midilli	$RX = a \exp(-k t^n) + b t$	(6)
Verma	$RX = a \exp(-k t) + (1-a) \exp(-k_1 t)$	(7)
Henderson e Pabis	$RX = a \exp(-k t)$	(8)
Henderson e Pabis modificado	$RX = a \exp(-k t) + b \exp(-k_0 t) + c \exp(-k_1 t)$	(9)
Dois termos	$RX = a \exp(-k t) + b \exp(-k_1 t)$	(10)
Exponencial dois termos	$RX = a \exp(-k t) + (1-a) \exp(-k a t)$	(11)
Aproximação de difusão	$RX = a \exp(-k t) + (1-a) \exp(-k b t)$	(12)
Wang e Singh	$RX = 1 + a t + b t^2$	(13)

RX – razão do teor de água do produto, adimensional; t – tempo de secagem, min; k, k0, k1 – constantes de secagem,  $\text{min}^{-1}$ ; a, b, c – coeficientes dos modelos. Referência: Ertekin & Firat (2017).

Para o ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais foi realizada análise de regressão não-linear pelo método Quasi-Newton. Para análise do grau de ajuste de cada modelo, foi considerado o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ), o erro médio relativo (P) e o erro médio estimado (SE), além da verificação do comportamento da distribuição dos resíduos (DR). Os valores de P e SE foram calculados conforme as Eqs. 14 e 15, descritas a seguir:

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \right) \quad (14)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y - \hat{Y})^2}{GLM}} \quad (15)$$

em que:

P – erro médio relativo;

n – número de observações experimentais;

Y – valor observado experimentalmente;

$\hat{Y}$  – valor estimado pelo modelo;

SE – erro médio estimado;

GLM – graus de liberdade do modelo.

### **Consumo energético**

A partir dos dados obtidos durante os ensaios de secagem dos frutos de pimenta-rosa foi possível determinar a influência da temperatura no consumo energético da secagem. A energia elétrica consumida e o consumo específico de energia para cada temperatura do ar de secagem foram calculados a partir das Eqs. 16 e 17:

$$EEC = [(V_{ar} \rho_{ar} C_{p_{ar}} \Delta T) + Ev] t \quad (16)$$

$$CEE = \frac{3,6 EEC}{m_{ev}} \quad (17)$$

em que:

EEC – energia elétrica consumida (kWh);

$V_{ar}$  – vazão de ar ( $m^3 s^{-1}$ );

$\rho_{ar}$  – massa específica do ar ( $kg m^{-3}$ );

$C_{par}$  – calor específico do ar a pressão constante ( $kJ kg^{-1} ^\circ C$ );

$\Delta T$  – diferença de temperatura entre o ar ambiente e o de secagem ( $^\circ C$ );

$E_v$  – energia elétrica necessária para movimentar o ventilador (kW);

$t$  – tempo de operação do secador (h);

CEE – consumo específico de energia ( $MJ kg^{-1}$ );

$m_{ev}$  – massa de água evaporada (kg).

### **Extração de óleo essencial**

Anteriormente ao processo de extração, os frutos de pimenta-rosa passaram por limpeza minuciosa para retirada de impurezas e frutos verdes, pois o estágio de maturação dos frutos provoca diferenças tanto no rendimento quanto na composição química do óleo essencial dessa espécie (Schimitberger et al., 2018). A extração de óleo essencial foi realizada através de hidrodestilação com os frutos inteiros e triturados. Para extração com frutos secos inteiros utilizou-se 100 g e para extração com material fragmentado utilizou-se 40 g de frutos triturados em moinho de facas (Fritsch Pulverisette 14, Oberstein, Alemanha). A massa de frutos utilizada na extração de óleo essencial foi determinada através de pré-testes.

Para as extrações foi usado o aparelho do tipo Clevenger, acoplado a um balão de fundo redondo com capacidade para 2000 mL. Adicionaram-se os frutos ao balão

contendo 1000 mL de água destilada. A mistura foi levada para extração por três horas, a partir do início da ebulição.

Durante o período de extração, o hidrolato (água condensada e óleo) foi coletado periodicamente. Após a extração, para separar o óleo essencial da água condensada, o hidrolato foi submetido ao processo de partição em um funil de separação com 20 mL de solvente orgânico (pentano P.A.). Repetiu-se o processo três vezes. À fração orgânica (óleo essencial e pentano) coletada adicionou-se carbonato de sódio anidro P.A. para remoção da água residual. A solução foi filtrada e concentrada em evaporador rotativo a 40 °C sob pressão reduzida para obtenção do óleo essencial puro. O rendimento de óleo essencial foi determinado por pesagem direta e foi expresso em porcentagem em relação à matéria seca (% m.s.).

O rendimento de óleo essencial em função da temperatura do ar de secagem e da fragmentação dos frutos foi analisado por meio de regressão linear múltipla, em que a variável indicadora (D) assumiu valor 0 para frutos triturados e 1 para frutos inteiros, e pelo teste de Tukey a 5% de significância.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Modelagem matemática**

A modelagem matemática da secagem de produtos agrícolas é fundamental para determinar o comportamento do produto diante das diversas condições de secagem, para simular os processos de secagem em camadas mais espessas, bem como, para auxiliar no processo de construção de novos secadores.

Na Tabela 3 são apresentados os critérios estatísticos usados para escolha dos modelos que melhor descreveram o processo de secagem dos frutos de pimenta-rosa. O modelo é considerado satisfatório quando apresenta valor de  $R^2$  próximo de 100%, P

menor que 10% e baixo SE (Ertekin & Firat, 2017). Todos os modelos analisados apresentaram coeficiente de determinação ajustado superior a 99%, exceto o modelo de Wang e Singh para a temperatura de 50 °C.

Tabela 3. Critérios estatísticos para escolha do modelo matemático para a secagem de pimenta-rosa em função da temperatura

Modelos matemáticos	T (°C)	P (%)	SE	R <sup>2</sup> (%)	DR
Page	50	4,355	0,012	99,791	Tendenciosa
	60	3,497	0,012	99,830	Tendenciosa
	70	1,592	0,005	99,976	Aleatória
Page modificado	50	4,355	0,012	99,791	Tendenciosa
	60	3,498	0,012	99,830	Tendenciosa
	70	1,592	0,005	99,976	Aleatória
Thompson	50	2,853	0,008	99,904	Tendenciosa
	60	2,785	0,009	99,896	Tendenciosa
	70	1,887	0,009	99,926	Tendenciosa
Newton	50	8,860	0,023	99,241	Tendenciosa
	60	5,109	0,015	99,685	Tendenciosa
	70	1,889	0,008	99,926	Tendenciosa
Midilli	50	0,890	0,004	99,982	Aleatória
	60	1,014	0,003	99,987	Aleatória
	70	0,734	0,004	99,988	Aleatória
Verma	50	0,869	0,004	99,981	Aleatória
	60	0,594	0,002	99,994	Aleatória
	70	1,889	0,009	99,926	Tendenciosa

	50	7,602	0,020	99,425	Tendenciosa
Henderson e Pabis	60	4,841	0,015	99,715	Tendenciosa
	70	1,709	0,007	99,944	Tendenciosa
	50	0,933	0,004	99,982	Aleatória
Henderson e Pabis modificado	60	0,581	0,002	99,995	Aleatória
	70	1,709	0,011	99,944	Tendenciosa
	50	0,933	0,004	99,982	Aleatória
Dois termos	60	0,598	0,002	99,994	Aleatória
	70	1,709	0,009	99,944	Tendenciosa
	50	3,203	0,009	99,889	Tendenciosa
Exponencial dois termos	60	4,462	0,014	99,742	Tendenciosa
	70	2,043	0,010	99,908	Tendenciosa
	50	0,870	0,004	99,981	Aleatória
Aproximação de difusão	60	0,594	0,002	99,994	Aleatória
	70	1,406	0,005	99,980	Aleatória
	50	10,006	0,031	98,597	Tendenciosa
Wang e Singh	60	5,212	0,019	99,536	Tendenciosa
	70	3,158	0,010	99,890	Tendenciosa

Todos os modelos analisados se ajustaram de maneira satisfatória aos dados de razão do teor de água e podem ser usados para descrever o processo de secagem de pimentarosa. Os modelos de Verma e Aproximação de Difusão apresentaram ótimo ajuste para as temperaturas de 50 e 60 °C. Já para 70 °C, o modelo mais satisfatório foi o de Midilli. Em todas as temperaturas, os modelos com melhor ajuste apresentaram os menores valores de erro médio estimado e erro médio relativo inferior a 5%.

Apesar de diversos modelos apresentarem ajuste adequado aos dados, optou-se por escolher um único modelo com ajuste satisfatório para todas as temperaturas. Neste caso, o modelo adequado para descrever a secagem de frutos de pimenta-rosa é o de Midilli (Eq. 6). Além dos valores de P, SE e  $R^2$  serem aceitáveis, também apresentou distribuição de resíduos aleatória, independente da temperatura. Para as folhas desta mesma espécie, Goneli et al. (2014b) também concluíram que o modelo com melhor ajuste foi o de Midilli. Vários estudos demonstram que este modelo é adequado para descrever a secagem de diversas plantas medicinais tais como alecrim (Mghazli et al., 2017), timbó (Martins et al., 2015), fruta-de-lobo (Prates et al., 2012), endro e salsa (Doymaz et al., 2006b).

Observou-se que, ao aumentar a temperatura de secagem, os valores de “k”, “n” e “a” também aumentaram e a tendência da variável “b” não foi influenciada pela temperatura (Tabela 4).

Tabela 4. Coeficientes do modelo de Midilli em função da temperatura do ar de secagem

Temperatura (°C)	Coeficientes do modelo
50	k = 0,026003
	n = 0,993336
	a = 0,997523
	b = 0,000575
60	k = 0,028339
	n = 1,044275
	a = 0,998492
	b = 0,000872

---

	$k = 0,037470$
	$n = 1,076749$
70	$a = 0,998579$
	$b = 0,000475$

---

Por ser similar ao modelo de Henderson e Pabis, com a adição de um termo empírico “t”, a constante de secagem “k” do modelo selecionado está relacionada com a difusividade efetiva no período decrescente (Ertekin & Firat, 2017). Dessa forma, o valor de “k” varia de acordo com a temperatura de secagem e o teor inicial de água do produto (Mujumdar & Devahastin, 2000). Como, neste caso, não houve variação no teor inicial de água da pimenta-rosa, pode-se inferir que somente a temperatura influenciou na constante de secagem. No caso de “b”, não foi observada influência da temperatura, pois esta variável está relacionada com os ajustes matemáticos do modelo e não com o processo de secagem.

A Figura 1 mostra a ausência de um período de secagem com taxa constante, em que a água evaporada é a água livre (Park et al., 2001b).

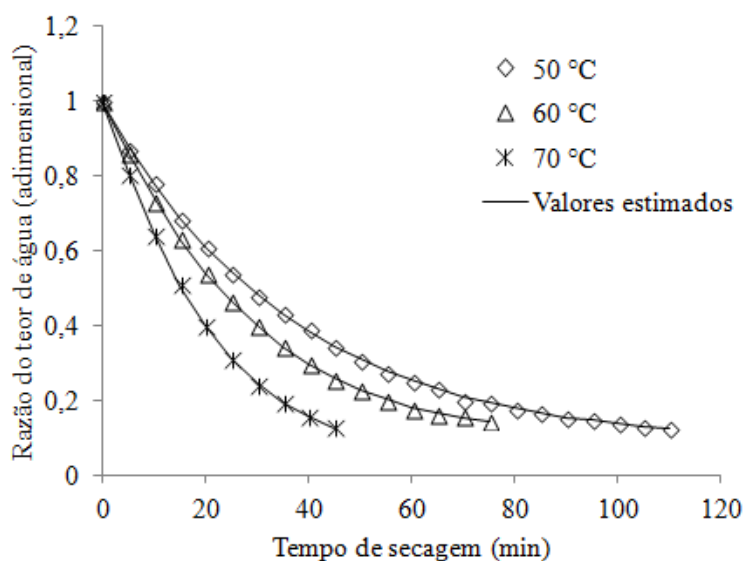


Figura 1. Valores da razão do teor de água observados e estimados, pelo modelo de Midilli, durante a secagem de pimenta-rosa para todas as temperaturas.

Verificou-se que todo o processo de secagem ocorreu com taxa decrescente. Neste estágio da secagem, devido ao menor teor de água dos frutos, a transferência de massa se reduz. Então, o fator limitante da secagem é a migração de água do interior para a superfície do produto (Park et al., 2001b). A tendência nessa fase é que a temperatura do produto aumente até atingir temperatura próxima a do ar de secagem. Estudos com hortelã (Doymaz, 2006a), moringa (Ali et al., 2014) e capim-limão (Martinazzo et al., 2010) também obtiveram curvas de secagem apenas com taxa decrescente.

A variação na taxa de secagem nos primeiros 30 minutos do processo pode ser observada na Figura 2. Observa-se, em todas as temperaturas, que a taxa de secagem diminui no decorrer do processo devido à menor quantidade de água na superfície do produto.

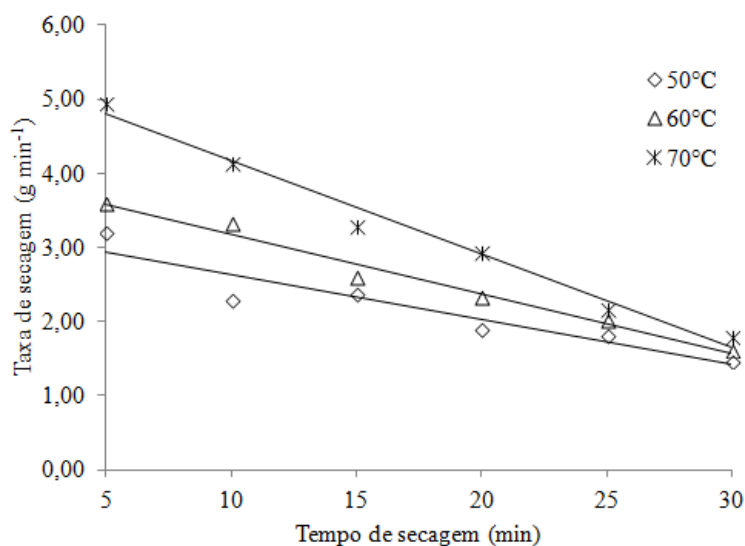


Figura 2. Variação na taxa de secagem de pimenta-rosa em função da temperatura do ar de secagem.

O aumento na temperatura do ar secagem aumenta a taxa de secagem, pois ocorre maior remoção de água. Quando a secagem foi realizada a 70 °C observou-se uma maior inclinação na reta o que indica uma maior variação na taxa de secagem. Isso pode ser explicado pelo fato de o produto atingir menores teores de água em menor tempo, quando comparado com as temperaturas de 50 e 60 °C.

### **Tempo de secagem e consumo energético**

O efeito da temperatura no tempo de secagem, consumo específico de energia e energia elétrica consumida pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 5. Tempo de secagem ( $T_s$ ), consumo específico de energia (CEE) e energia elétrica consumida (EEC) em função da temperatura do ar de secagem (T)

T (°C)	$T_s$ (min)	CEE (MJ kg <sup>-1</sup> )	EEC (kWh)
50 ± 0,50	108,33 ± 2,89	112,63 ± 2,74	3,44 ± 0,09
60 ± 0,50	71,67 ± 5,77	98,47 ± 7,84	3,02 ± 0,24
70 ± 0,50	45,00 ± 0,00	73,65 ± 0,62	2,27 ± 0,00

Ao elevar a temperatura do ar de secagem de 50 para 70 °C, o tempo necessário para o produto atingir 0,11 b.s. de teor de água foi reduzido em cerca de 59%. Isso se deve ao fato de que em temperaturas mais elevadas ocorre maior taxa de remoção de água do produto. O mesmo foi observado para hortelã-pimenta (Gasparin et al., 2017) e erva-baleeira (Goneli et al., 2014a). O consumo específico de energia reduziu com o aumento da temperatura do ar de secagem, ou seja, para evaporar uma mesma quantidade de água da pimenta-rosa requereu-se menos energia quando a temperatura do ar de secagem está a 70 °C do que a 50 °C.

O consumo de energia elétrica reduziu ao aumentar a temperatura de 50 para 70 °C. Considerando-se as mesmas condições ambientais, apesar de o secador demandar mais energia para a temperatura do ar de secagem atingir 70 °C, o tempo de secagem da pimenta-rosa nessa temperatura foi inferior à realizada a 50 °C, o que refletiu no consumo energético.

O consumo energético atribuído às operações de secagem pode chegar a quase 40% do consumo total na indústria, dependendo do produto, o que torna esta operação onerosa (Mujumdar & Devahastin, 2000). Dessa forma, o aumento da temperatura do ar de secagem, além de reduzir o tempo de secagem e o consumo de energia elétrica, pode promover redução significativa nos custos operacionais desse processo.

No entanto, a escolha da temperatura do ar de secagem não deve ser baseada apenas nas reduções do consumo de energia elétrica, tempo e custos desse processo, uma vez que o rendimento e qualidade do óleo essencial extraído da pimenta-rosa estão diretamente relacionados com essa variável. Sendo assim, fatores que podem interferir também na questão econômica.

Neste caso, o aumento na temperatura do ar de secagem resultou em um menor consumo de energia elétrica devido à redução no tempo de secagem. No entanto, observou-se também que o aumento da temperatura provocou volatilização do óleo essencial quando a pimenta-rosa foi triturada antes da extração, resultando em um menor rendimento extrativo. Isso evidencia a importância de avaliar outros fatores na tomada de decisão para redução de custos.

A correlação entre temperatura do ar de secagem, tempo de secagem, consumo específico de energia e energia elétrica consumida pode ser observada na Tabela 6.

Tabela 6. Matriz de correlação das variáveis temperatura (T), tempo de secagem ( $T_s$ ), consumo específico de energia (CEE) e energia elétrica consumida (EEC)

	T	$T_s$	CEE	EEC
T	1			
$T_s$	-0,989	1		
CEE	-0,959	0,962	1	
EEC	-0,958	0,962	0,999	1

Todas as correlações foram significativas ( $p < 0,05$ ). Observou-se elevada correlação negativa da temperatura sobre o tempo de secagem, consumo específico de energia e energia elétrica consumida. Portanto, ao aumentar a temperatura do ar de secagem, a

tendência das demais variáveis é diminuir. Essa influência foi observada por vários autores para diversos produtos agrícolas, como alecrim, arroz e crisântemo (Mghazli et al., 2017; Tohidi et al., 2017; Wang et al., 2018).

### **Rendimento de óleo essencial**

Observou-se pela análise de variância que a interação entre a temperatura do ar de secagem e a trituração dos frutos foi significativa pelo teste F a 5% de probabilidade, portanto essas variáveis atuam de forma dependente sobre o rendimento de óleo essencial de pimenta-rosa (Tabela 7).

Tabela 7. Análise de variância para o rendimento de óleo essencial de pimenta-rosa.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temp.	2	0,28	0,14	4,42
Frag.	1	26,66	26,66	844,05
Temp. x Frag.	2	0,39	0,19	6,13*
Resíduo	11	0,35	0,03	
CV (%)		13,71		

\* - significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; F.V. – fator de variação; G.L. – grau de liberdade; S.Q. – soma de quadrados; Q.M. – quadrado médio; CV – coeficiente de variação; Temp. – temperatura; Frag. – fragmentação.

Na Figura 3 podem-se observar as médias para o rendimento de óleo essencial em função da temperatura do ar de secagem e da fragmentação dos frutos. Na figura, letras maiúsculas diferentes nas barras para uma mesma temperatura diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância. Na equação de regressão, a variável indicadora (D) assume valor igual a 0 para frutos triturados e 1 para frutos inteiros.

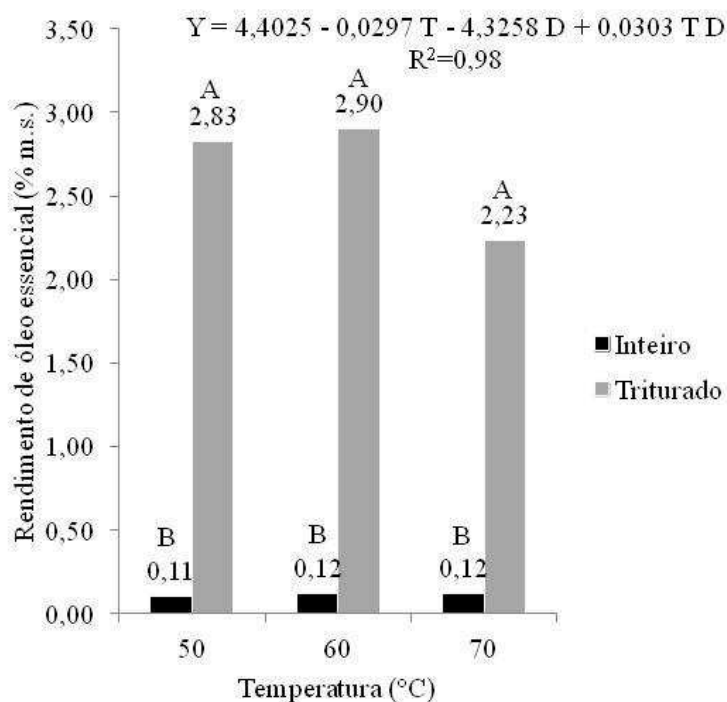


Figura 3. Rendimento de óleo essencial de pimenta-rosa em função da temperatura e trituração dos frutos de pimenta-rosa.

Observou-se que ao aumentar a temperatura do ar de secagem, a tendência do rendimento de óleo essencial da pimenta-rosa inteira foi manter-se constante, enquanto que, para os frutos triturados, a elevação da temperatura tende a diminuir o rendimento de óleo essencial.

Óleos essenciais são substâncias sensíveis ao calor, portanto o aumento da temperatura do ar de secagem pode volatilizar estes compostos, resultando em menor rendimento extrativo (Ebadi et al., 2015; Ahmed et al., 2018). Observou-se, quando a extração foi realizada com os frutos triturados, que ao secar os frutos na temperatura de 70 °C houve redução no rendimento de óleo essencial devido à volatilização. Quando a extração foi realizada com os frutos inteiros, não foi possível observar diferenças entre

as temperaturas, pois a casca dificultou a extração de óleo essencial e não se obteve o máximo rendimento.

Pode-se observar que a trituração da pimenta-rosa apresentou rendimento de óleo essencial cerca de 26, 23, e 18 vezes superior ao obtido com os frutos inteiros para as temperaturas do ar de secagem de 50, 60 e 70 °C, respectivamente.

As sementes de pimenta-rosa apresentam canais secretores bem desenvolvidos e complexos (Machado & Carmello-Guerreiro, 2001) que são protegidos pela casca vermelha. A fragmentação facilitou a extração de óleo essencial, pois expôs as estruturas que continham o óleo essencial ao processo e aumentou a superfície de contato dos frutos com a água usada na hidrodestilação.

Schimitberger et al. (2018) encontraram rendimento de óleo essencial semelhante ao obtido para os frutos de pimenta-rosa triturados. No entanto, Oliveira Junior et al. (2013) obtiveram rendimento de óleo essencial variando de 5,50% a 8,41%. Essa diferença não está relacionada somente ao processo de secagem, mas a fatores edafoclimáticos e inerentes às plantas.

Gobbo-Neto e Lopes (2007) apresentaram diversos fatores que podem influenciar na quantidade e composição dos metabólitos secundários, incluindo óleos essenciais, tais como desenvolvimento das plantas, temperatura, radiação solar, altitude e disponibilidade hídrica e de nutrientes.

Schimitberger et al. (2018), Ahmed et al. (2018), Memarzadeh et al. (2015) e Sefidkon et al. (2007) fizeram uma avaliação visual da coloração do óleo essencial obtido em seus estudos. Neste trabalho, verificou-se visualmente que a cor do óleo essencial também foi afetada pela fragmentação dos frutos. O óleo essencial extraído dos frutos inteiros apresentava coloração amarelada, enquanto que dos frutos triturados

era translúcido. Essa alteração pode ter sido ocasionada por diferenças na composição química.

## **CONCLUSÃO**

1. O maior rendimento de óleo essencial foi obtido quando a secagem foi conduzida à 50 °C e a pimenta-rosa foi triturada antes da extração.

2. A temperatura do ar de secagem de 70°C reduziu significativamente o tempo de secagem, a energia elétrica consumida e o consumo específico de energia.

3. O modelo mais adequado para descrever o processo de secagem de pimenta-rosa, para todas as temperaturas, foi o de Midilli.

## **REFERÊNCIAS**

Ahmed, A.; Ayoub, K.; Chaima, A. J.; Hanaa, L.; Abdelaziz, C. Effect of drying methods on yield, chemical composition and bioactivities of essential oil obtained from Moroccan *Mentha pulegium* L. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 16, p. 638-643, 2018.

Ali, M. A.; Yusof, Y. A.; Chin, N. L.; Ibrahim, M. N.; Basra, S. M. A. Drying kinetics and colour analysis of *Moringa oleifera* leaves. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, v. 2, p. 394-400, 2014.

ANVISA. Agência Nacional De Vigilância Sanitária. *Farmacopeia Brasileira*, volume 1. 5ª Ed. Brasília: Anvisa, 2010, 546p.

Borsato, A. V.; Doni-Filho, L.; Paglia, E. C. Tricomas glandulares e teores de água e de óleo essencial da camomila [*Chamomilla recutita* (L.) Rauschert] sob secagem em camada fina. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, v. 10, n. 2, p. 50-55, 2008.

Cardoso, J. H.; Silveira, J. V. Aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius*). Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010.

Carlini, E. A.; Duarte-Almeida, J. M.; Rodrigues, E.; Tabach, R. Antiulcer effect of the pepper trees *Schinus terebinthifolius* Raddi (aroeira-da-praia) and *Myracrodruon urundeuva* Allemão, Anacardiaceae (aroeira-do-sertão). *Brazilian Journal of Pharmacognosy*, v. 20, n. 2, p. 140–146, 2010.

Castro, A. M.; Mayorga, E. Y.; Moreno, F. L. Mathematical modelling of convective drying of fruits: A review. *Journal of Food Engineering*, v. 223, p. 152-167, 2018.

Cavalcanti, A. S.; Alves, M. S.; Silva, L. C. P.; Patrocínio, D. S.; Sanches, M. N.; Chaves, D. S. A.; Souza, M. A. A. Volatiles composition and extraction kinetics from *Schinus terebinthifolius* and *Schinus molle* leaves and fruit. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 25, n. 4, p. 356-362, 2015.

Costa, L. C. B.; Pinto, J. E. B. P.; Bertolucci, S. K. V.; Alves, P. B.; Evangelino, T. S. Variação no rendimento e composição química do óleo essencial de folhas de *atoveran* (*Ocimum selloi* Benth.) inteiras e moídas sob condições de armazenamento. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, v. 11, n. 1, p. 43-48, 2009.

Dannenbergh, G. S.; Funck, G. D.; Mattei, F. J.; Silva, V. P.; Fiorentini, A. M. Antimicrobial and antioxidant activity of essential oil from pink pepper tree (*Schinus terebinthifolius* Raddi) in vitro and in cheese experimentally contaminated with *Listeria monocytogenes*. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, v. 36, p. 120–127, 2016.

Doymaz, I. Thin-layer drying behaviour of mint leaves. *Journal of Food Engineering*, v. 74, n. 3, p. 370-375, 2006a.

Doymaz, I.; Tugrul, N.; Pala, M. Drying characteristics of dill and parsley leaves. *Journal of Food Engineering*, v. 77, n. 3, p. 559-565, 2006b.

Durling, N. E.; Catchpole, O. W.; Grey, J. B.; Webby, R. F.; Mitchell, K. A.; Foo, L. Y.; Perry, N. B. Extraction of phenolics and essential oil from dried sage (*Salvia officinalis*) using ethanol–water mixtures. *Food Chemistry*, v. 101, p. 1417-1424, 2007.

Ebadi, M. T.; Azizi, M.; Sefidkon, F.; Ahmadi, N. Influence of different drying methods on drying period, essential oil content and composition of *Lippia citriodora* Kunth. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, v. 2, p. 182-187, 2015.

Ertekin, C.; Firat, M. Z. A comprehensive review of thin-layer drying models used in agricultural products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 57, n. 4, p. 701-717, 2017.

Gasparin, P. P.; Alves, N. C. C.; Coelho, S. R. M. Qualidade de folhas e rendimento de óleo essencial em hortelã pimenta (*Mentha x piperita* L.) submetida ao processo de secagem em secador de leito fixo. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, v. 16, n. 2, p. 337-344, 2014.

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.

Gobbo-Neto, L.; Lopes, N. P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. *Química Nova*, v. 30, n. 2, p. 374-381, 2007.

Goneli, A. L. D.; Nasu, A. K.; Gancedo, R.; Araújo, W. D.; Sarath, K. L. L. Cinética de secagem de folhas de erva baleeira (*Cordia verbenacea* DC.). *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, v. 16, n. 2, p. 434-443, 2014a.

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 Tropical*, v. 44, n. 1, p. 56-64, 2014b.

Jin, W.; Mujumdar, A. S.; Zhang, M.; Shi, W. Novel drying techniques for spices and herbs: a review. *Food Engineering Reviews*, v.10, p. 34-45, 2017.

Machado, S. R.; Carmello-Guerreiro, S. M. Estrutura e desenvolvimento de canais secretores em frutos de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae). *Acta Botanica Brasilica*, v. 15, n. 2, p. 189-195, 2001.

Martinazzo, A. P.; Melo, E. C.; Corrêa, P. C.; Santos, R. H. S. Modelagem matemática e parâmetros qualitativos da secagem de folhas de capim-limão [*Cymbopogon citratus* (DC.) Stap]. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, v. 12, n. 4, p. 488-498, 2010.

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.

Melo, E. C.; Lopes, D. C.; Côrrea, P. C. GRAPSI – Programa computacional para o cálculo das propriedades psicrométricas do ar. *Engenharia na Agricultura*, v. 12, n. 2, p. 154-162, 2004.

Memarzadeh, S. M.; Pirbalouti, A. G.; Adibnejad, M.. Chemical composition and yield of essential oils from Bakhtiari savory (*Satureja bachtiarica* Bunge.) under different extraction methods. *Industrial Crops and Products*, v. 76, p. 809-816, 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.

Mujumdar, A. S.; Devahastin, S. Fundamental principles of drying. In: Mujumdar's Practical Guide to Industrial Drying: Principles, Equipment and New Developments. Exergex Corporation, 2000. p. 1-22.

Mujumdar, A. S.; Law, C. L. Drying technology: trends and applications in postharvest processing. Food Bioprocess Technology, v. 3, p. 843-852, 2010.

Oliveira Junior, L. F. G.; Santos, R. B.; Reis, F. O.; Matsumoto, S. T.; Bispo, W. M. S.; Machado, L. P.; Oliveira, L. F. M. Efeito fungitóxico do óleo essencial de aroeira da praia (*Schinus terebinthifolius* RADDI) sobre *Colletotrichum gloeosporioides*. Revista Brasileira de Plantas Mediciniais, v. 15, n. 1, p. 150-157, 2013.

Park, K. J.; Bin, A.; Brod, F. P. R. Obtenção das isoterms de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (*Pyrus* sp.) com e sem desidratação osmótica. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 21, n. 1, p. 73-77, 2001a.

Park, K. J.; Yado, M. K. M.; Brod, F. P. R. Estudo de secagem de pêra bartlett (*Pyrus* sp.) em fatias. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 21, n. 3, p. 288-292, 2001b.

Prates, M. F. O.; Reis, R. C.; 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 Mediciniais, v. 14, n. 3, p. 514-521, 2012.

Radünz, L. L.; Melo, E. C.; Barbosa, L. C. A.; Santos, R. H. S.; Barbosa, F. F.; Martinazzo, A. P. Influência da temperatura do ar secagem no rendimento do óleo essencial de hortelã-comum (*Mentha x villosa* Huds). *Engenharia na Agricultura*, v. 14, n. 4, p. 250-257, 2006.

Rosado, L. D. S.; Pinto, J. E. B. P.; Botrel, P. P.; Bertolucci, S. K. V.; Niculau, E. S.; Alves, P. B. Influência do processamento da folha e tipo de secagem no teor e composição química do óleo essencial de manjeriço cv. Maria Bonita. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, n. 2, p. 291-296, 2011.

Rosas, E. C.; Correa, L. B.; Pádua, T. A.; Costa, T. E. M. M; Mazzei, J. L.; Heringer, A. P.; Bizarro, C. A.; Kaplan, M. A. C.; Figueiredo, M. R.; Henriques, M. G. Anti-inflammatory effect of *Schinus terebinthifolius* Raddi hydroalcoholic extract on neutrophil migration in zymosan-induced arthritis. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 175, p. 490–498, 2015.

Schimitberger, V. M. B.; Pratti, D. L. A.; Cavalcanti, L. C.; Ramalho, V. F.; Costa, A. P. F.; Scherer, R.; Kuster, R. M.; Ramos, A. C.; Silva, A. G. Volatile compounds profile changes from unripe to ripe fruits of Brazilian pepper (*Schinus terenthifolia* Raddi). *Industrial Crops and Products*, v. 119, p. 125-131, 2018.

Sefidkon, F.; Abbasi, K.; Jamzad, Z.; Ahmadi, S. The effect of distillation methods and stage of plant growth on the essential oil content and composition of *Satureja rechingeri* Jamzad. *Food chemistry*, v. 100, n. 3, p. 1054-1058, 2007.

Tohidi, M.; Sadeghi, M.; Torki-Harchegani, M. Energy and quality aspects for fixed deep bed drying of paddy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 70, p. 519-528, 2017.

Uliana, M. P.; Fronza, M.; Silva, A. G.; Vargas, T. S.; Andrade, T. U.; Scherer, R. Composition and biological activity of Brazilian rose pepper (*Schinus terebinthifolius* Raddi) leaves. *Industrial Crops and Products*, v. 83, p. 235–240, 2016.

Vinatoru, M. An overview of the ultrasonically assisted extraction of bioactive principles from herbs. *Ultrasonics sonochemistry*, v. 8, n. 3, p. 303-313, 2001.

Wachtel-Galor, S.; Benzie, I. F. F. Herbal medicine: an introduction to its history, usage, regulation, current trends, and research needs. In: Benzie, I. F. F; Wachtel-Galor, S. *Herbal medicine: biomolecular and clinical aspects*. Boca Raton (FL): CRC Press/Taylor & Francis, 2011. Cap. 1.

Wang, Y.; Li, X.; Chen, X.; Li, B.; Mao, X.; Miao, J.; Zhao, C.; Huang, L.; Gao, W. Effects of hot air and microwave-assisted drying on drying kinetics, physicochemical properties, and energy consumption of chrysanthemum. *Chemical Engineering and Processing – Process Intensification*, v. 129, p. 84-94, 2018.