

**MODELAGEM MATEMÁTICA DAS CURVAS DE SECAGEM DE SEMENTES DE DUAS ESPÉCIES DE ANDIROBA**

Andreza Pereira Mendonça¹, Luzia Marcia de Melo Silva², Francinalva Cordeiro de Sousa³, Jeyciane Rosa da Silva⁴ & Jhonatas Cortes Rosa⁵

1 - Engenheira Florestal, Professora, IFRO, *Campus* Ji-Paraná, RO - Brasil. mendonca.andreza@gmail.com.

2 - Engenheira de Alimentos, Professora - Instituto Federal de Alagoas - *Campus* Murici, AL - Brasil. luziamarcia86@yahoo.com.br.

3 - Engenheira de Alimentos, Professora - Instituto Federal de Alagoas - *Campus* Murici, AL - Brasil. francis_nalva@yahoo.com.br.

4 - Química, Mestranda em Química, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, MS - Brasil. cortesbr@hotmail.com.

5 - Engenheiro Agrônomo, Mestre em Ciências Ambientais, UNIR - *Campus* Rolim de Moura, RO - Brasil. jhonatascortes@hotmail.com.

Palavras-chave:

Transferência de calor e massa
Óleo vegetal
Secagem
Pós-colheita
Carapa sp

RESUMO

A quantidade de óleo extraível das sementes de andiroba é diretamente influenciada pelo seu teor de água. Dessa forma, conhecer a cinética de secagem de sementes de andiroba é de suma importância no processo de otimização de sua prensagem e na qualidade físico-química do óleo produzido. Nesse aspecto, o objetivo deste trabalho foi descrever a cinética de secagem das sementes de duas espécies de andiroba (*Carapa surinamensis* e *Carapa guianensis*) usando estufa de ventilação forçada de ar a 40, 50 e 60 °C, ajustando os dados experimentais a seis modelos matemáticos. Os resultados mostraram que o teor de água de equilíbrio variou entre 5,32 a 2,70% b.u. e 5,35 a 2,84% b.u. para as sementes de *C. surinamensis* e *C. guianensis*, respectivamente. O teor de água e o tempo de secagem das sementes da *C. surinamensis* foram menores comparados à *C. guianensis*, nas três temperaturas avaliadas. O modelo Logarítmico foi o que representou de forma eficiente as curvas de secagem para as diferentes temperaturas, além de ser de fácil aplicação.

Keywords:

Heat transfer and mass
Vegetable oil
Drying
Post-harvest
Carapa sp

MATHEMATICAL MODELING OF DRYING CURVES OF SEEDS OF TWO SPECIES OF ANDIROBA**ABSTRACT**

The amount of extractable oil of andiroba seeds is directly influenced by their water content. Thus, knowing the drying kinetics of andiroba seeds is of paramount importance in the process of optimization of their pressing and in the physical-chemical quality of the oil produced. In this aspect, the objective of this work was to describe the drying kinetics of the seeds of two andiroba species (*Carapa surinamensis* and *Carapa guianensis*) using a forced air ventilation oven at 40, 50 and 60°C, adjusting the experimental data to six mathematical models. The results showed that the equilibrium water content ranged from 5.32 to 2.70% b.u. and 5.35 to 2.84% b.u. for the seeds of *C. surinamensis* and *C. guianensis*, respectively. The water content and drying time of *C. surinamensis* seeds were lower compared to *C. guianensis*, in the three temperatures evaluated. The Logarithmic model was the one that efficiently represented the drying curves for the different temperatures, besides being easy to apply.

INTRODUÇÃO

O óleo de andiroba é bastante utilizado na indústria de cosméticos e fitoterápicos, podendo ainda ser usado para produção de biodiesel (MENDONÇA & FERRAZ, 2007). Essa arbórea pertence à família das Meliaceae, com três espécies botânicas, *Carapa surinamensis* Miq, *Carapa guianensis* Aubl. e *Carapa vasquezii* Kenfack, possuindo todas o mesmo nome vulgar “andiroba” (KENFACK, 2011). As comunidades rurais na Amazônia ainda extraem o óleo dessa espécie por método artesanal e prensa.

De acordo com Mendonça *et al.* (2015), a secagem das sementes usadas pelas comunidades rurais da Amazônia ocorre, em geral, em terreiro de concreto utilizando ventilação natural, resultando com isso em sementes com alto teor de umidade (13,92%) no final do processo de secagem. Já Shanley & Medina (2005) descrevem que a quantidade de óleo extraível por prensa varia de 3,3 a 5,0 quilos de sementes para cada litro de óleo produzido, entretanto, os autores não registraram o teor de água das sementes. Nesse aspecto, destaca-se que o rendimento do óleo está diretamente influenciado pelo teor de água das sementes e também pela espécie utilizada (MENDONÇA & FERRAZ, 2007; MENDONÇA *et al.* 2015).

De acordo com Moscon *et al.* (2017), para que essa cultura possa assegurar retorno financeiro ao produtor, além de todos os cuidados necessários na coleta das sementes, devem ser adotadas técnicas que propiciem um produto final com qualidade superior, entre as quais se tem a secagem.

A secagem de produtos higroscópicos pode ser descrita por três métodos/modelos, ou seja: no método teórico; normalmente se consideram as condições externas sob as quais a operação ocorre, como também os mecanismos internos de transferência de energia e massa e seus efeitos (ALMEIDA *et al.*, 2006); no método semiteórico, os modelos baseiam-se na Lei de Newton para resfriamento aplicado à transferência de massa, presumindo-se que as condições sejam isotérmicas e que a resistência à transferência de água se restrinja apenas à superfície do produto (BROOKER *et al.*, 1992); e o método empírico, o qual consiste em formar grupos físicos adimensionais que podem ser facilmente investigados por experimentos de laboratórios, baseando-se nas condições externas de temperatura, razão da mistura e velocidade do ar de secagem (MARTINAZZO *et al.*, 2007).

Reis *et al.* (2011) descrevem que as informações contidas nas curvas de secagem são de fundamental importância para o desenvolvimento de processos, o dimensionamento de extratores de óleos e ainda permitem estimar os gastos energéticos na produção, o que reflete no preço final do produto e na qualidade do óleo produzido.

O que se observa é que são inúmeros os trabalhos com o objetivo de conhecer as características de secagem de espécies agrícolas oleaginosas como soja, mamona, girassol, pinhão manso, entre outros (ULLMAN *et al.*, 2010), entretanto, há poucas informações na literatura sobre secagem de sementes florestais oleaginosas, em especial da andiroba.

Considerando a importância de estudos no processo de secagem dos produtos de origem florestal não madeireira e sua aplicação no pós-colheita, o objetivo deste trabalho foi descrever a cinética de secagem de sementes de *Carapa guianensis* e *Carapa surinamensis* em três diferentes temperaturas, bem como ajustar diferentes modelos matemáticos utilizados para prever o processo de secagem.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado em uma propriedade particular localizada na zona rural do município de Ouro Preto d'Oeste, estado de Rondônia. As coordenadas geográficas do local são: latitude de 10°47'22" S, longitude de 62°10'22" W e altitude média de 280 metros.

O clima predominante da região, de acordo com Köppen é Aw (savânico, apresentando uma estação mais seca nos meses de junho a agosto), sendo que o mês mais seco tem precipitação inferior a 60 mm e equivale a menos de 4% da precipitação anual total.

Inicialmente, as sementes de andiroba (*C. surinamensis* Miq. e *C. guianensis* Aubl.) foram coletadas após a queda em plantios das espécies no período de março a maio. Em seguida, as sementes foram acondicionadas em saco plástico impermeável e encaminhadas ao Laboratório de Sementes e Produtos Não Madeireiros do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia, *campus* Ji-Paraná, onde foram beneficiadas e mantidas imersas em água por cerca de 24 h, a fim de matar, por afogamento, os insetos lepidópteros do gênero *Hypsipyla* conhecidos como broca-das-sementes da andiroba, bem como homogeneizar o teor de água das sementes (FERRAZ *et al.*, 2002).

O teor de água, inicial e final, foi determinado pelo método padrão de estufa a 105 ± 3 °C, por 24 h, de acordo com as Regras de Análises de Sementes (BRASIL, 2009), em quatro repetições.

A percentagem de teor de água foi calculada em base úmida aplicando-se a Equação 1, sendo o resultado expresso pela média aritmética das subamostras.

$$X_i = \frac{w_i - w_s}{w_i} \cdot 100 \tag{1}$$

em que,

- X_i = teor de água (%);
- w_i = massa úmida (kg); e
- w_s = massa seca (kg).

A cinética de secagem das duas espécies de andiroba foi realizada em sementes inteiras com casca, empregando o método de estufa de ventilação forçada nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C e velocidade do ar de 0,5 m s⁻¹, obtido por termo anemômetro digital da marca Minipa, modelo MDA - II. Para isso, as sementes foram colocadas em cesta de arame vazado formando uma amostra em monocamada, com pesagens realizadas em balança semianalítica, precisão de 0,01 g, até à constância de peso, determinando assim o teor de água de equilíbrio para as condições termodinâmicas do ar de secagem preestabelecidas.

As curvas de secagem foram obtidas pela conversão dos dados referentes à perda de água no parâmetro adimensional razão de teor de água (RX). A razão de teor de água é essencial para descrever diferentes modelos de secagem em camada delgada, ou seja, a cada tempo de secagem, um teor de água é correlacionado com o teor de água inicial e o teor de água de equilíbrio, para condições específicas de secagem. Com os valores

de razão de umidade em função do tempo de secagem ajustados aos modelos matemáticos, foi possível descrever a cinética de secagem.

Os dados observados na secagem das sementes foram ajustados a diferentes modelos matemáticos, como mostra a Tabela 1, utilizando o programa computacional Statistic, versão 7.0[®] por meio de análise de regressão não linear, usando o método Quasi-Newton.

Os critérios usados para determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais foram o coeficiente de determinação (R²), a magnitude do erro médio relativo (P) e o desvio-padrão da estimativa (SE). O erro médio relativo e o desvio-padrão da estimativa para cada um dos modelos foram calculados conforme as Equações 8 e 9, respectivamente.

$$P = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|(X_{exp} - X_{pred})|}{X_{exp}} \tag{8}$$

$$SE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(X_{exp} - X_{pred})^2}{GLR}} \tag{9}$$

em que,

- P = desvio percentual médio, (%);
- SE = desvio-padrão da estimativa;
- X_{exp} = valores obtidos experimentalmente;
- X_{pred} = valores preditos pelo modelo;
- n = número de dados experimentais; e
- GLR = graus de liberdade do modelo (número de observações menos o número de parâmetros do modelo).

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para prever o fenômeno de secagem de sementes das duas espécies de andiroba

Designação	Modelo	Equação
Dois termos	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + b \cdot \exp(-q \cdot t)$	(2)
Logarítmico	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$	(3)
Midilli	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$	(4)
Newton	$RX = \exp(-k \cdot t)$	(5)
Page	$RX = \exp(-k \cdot t^n)$	(6)
Thompson	$RX = \exp((-a(a^2 + 4 \cdot b \cdot t)^{0.5} / 2 \cdot b))$	(7)

k – constante de secagem.

a, b, c, n, q - coeficientes do modelo.

t – tempo (min).

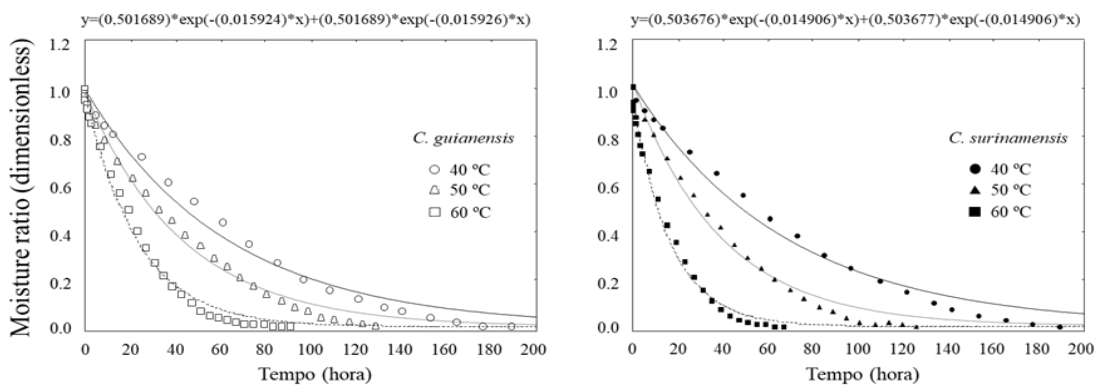
RESULTADOS E DISCUSSÃO

As sementes da *C. surinamensis* submetidas à secagem a 40 °C tinham teor de água inicial de 41,67% (b.u.), atingindo teor de água de equilíbrio de 5,32% após 177 horas; a 50 °C de 41,58% (b.u), atingindo o teor de água de equilíbrio de 3,63% após 125 horas; e a 60 °C, de 38,29% (b.u), atingindo o teor de água de equilíbrio de 2,70% após 66,5 horas.

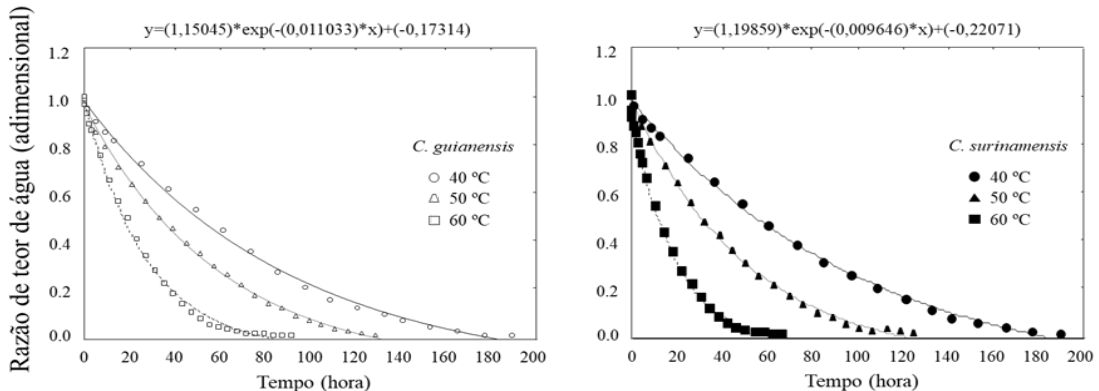
Já as sementes da *C. guianensis* secas a 40 °C tiveram teor de água inicial de 43,99% (b.u), atingindo teor de água de equilíbrio de 5,35% após 189 horas; a 50 °C de 41,90%, atingindo o teor de água de equilíbrio de 3,73% após 129 horas; e a 60 °C de 41,81%, atingindo o teor de água de equilíbrio de 2,84% após 91,16 horas.

Nota-se que a umidade de equilíbrio foi inversamente proporcional à temperatura de secagem para todos os modelos, como mostra a Figura 1.

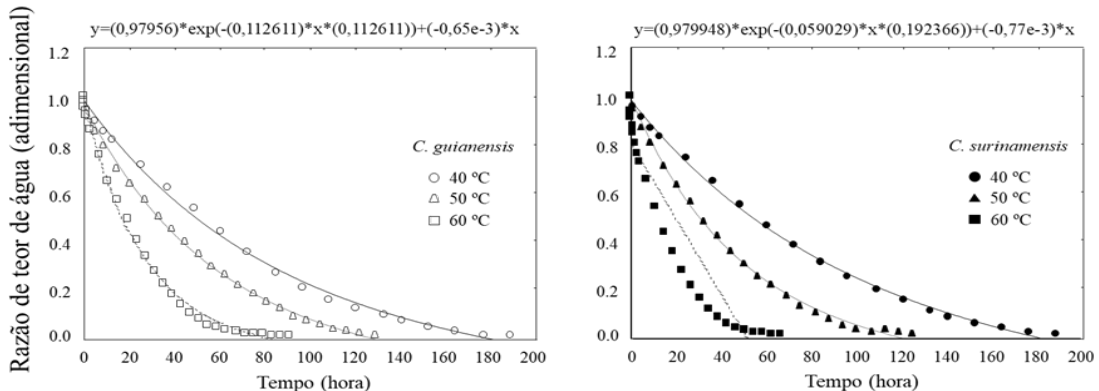
Modelo Dois Termos



Modelo Logaritmico



Modelo Midilli



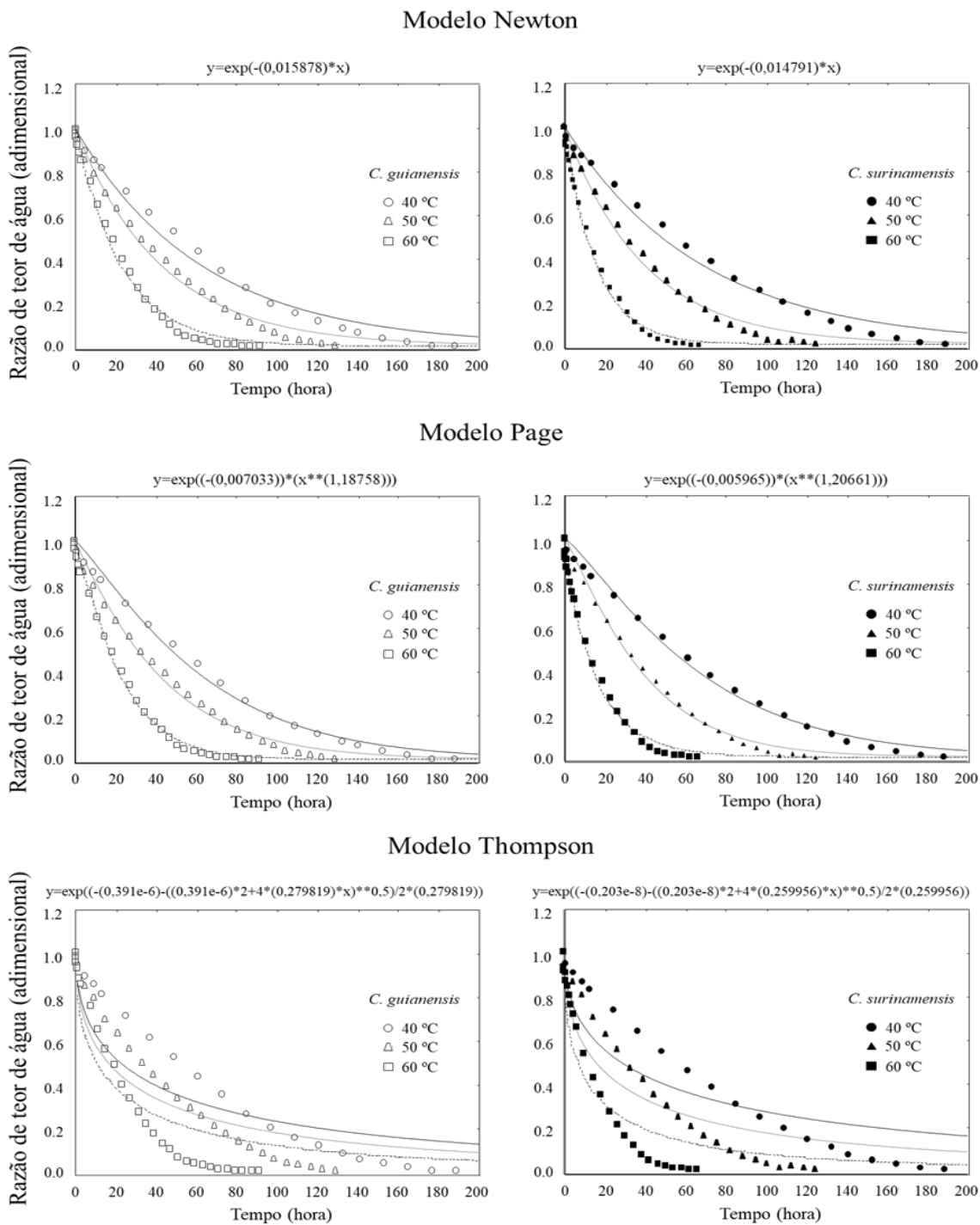


Figura 1. Curvas de secagem ajustadas aos modelos matemáticos Dois Termos, Logarítmico, Midilli, Newton, Page, Thompson e os resultados experimentais observados para sementes inteiras de duas espécies de andiroba (*Carapa surinamensis* Miq. e *Carapa guianensis* Aubl.) secas em estufa de ventilação forçada nas temperaturas 40, 50 e 60 °C

A remoção de água das sementes ocorreu com o aumento da temperatura de secagem devido ao gradiente de umidade entre a semente e o ar (Figura 1), fato observado por outros pesquisadores em produtos oleaginosos como urucum (SANTOS *et*

al., 2013), pinhão manso (ULMANN *et al.*, 2010), canola (CÔRREA *et al.*, 1999), soja (BARROZO *et al.*, 2006), girassol (SACILIK *et al.*, 2007), amendoim (CÔRREA *et al.*, 2007) e mamona (GONELI, 2008).

Verificou-se também que as sementes da *C. surinamensis* atingiram o teor de água de equilíbrio em menor tempo e menor valor do que a *C. guianensis*, isso possivelmente ocorreu pelo fato de essa espécie apresentar sementes menores e com espessura de tegumento mais fina que a da espécie *C. guianensis* (MENDONÇA *et al.*, 2015). Além disso, ressalta-se que a *C. surinamensis* tem maior quantidade de óleo comparada a *C. guianensis* (MENDONÇA & FERRAZ, 2007).

Os coeficientes de determinação (R^2) variam de 0 a 1 e mostram a força da relação entre os dados

observados e estimados. No estudo, observou-se que somente o modelo Thompson apresentou valores inferiores a 99% para as duas espécies em todas as temperaturas de secagem testadas (Tabela 2) e, de acordo com Chayjan & Shadidi (2014), os demais modelos indicam uma representação satisfatória no processo de secagem, que é acima de 99%. Madamba *et al.* (1996) ressaltam que o coeficiente de determinação (R^2) não é capaz de, sozinho, determinar satisfatoriamente o melhor modelo, tornando-se viável, portanto, a avaliação dos demais coeficientes calculados, para sua definição.

Tabela 2. Coeficientes de determinação (R^2), erro médio relativo (P), desvio-padrão da estimativa (SE) e tendência de distribuição de resíduos para os modelos testados com sementes de duas espécies de andiroba (*C. surinamensis* Miq. e *C. guianensis* Aubl.) secas em diferentes temperaturas

Modelo	Carapa	Temp. (°C)	R^2	P	SE	Resíduos
Dois termos	<i>surinamensis</i>	40	0,99257	75,9153	0,00215	tendenciosa
		50	0,99464	92,9506	0,00137	tendenciosa
		60	0,99818	99,7834	0,00061	aleatório
	<i>guianensis</i>	40	0,99314	21,6683	0,00209	tendenciosa
		50	0,99435	98,0097	0,00127	tendenciosa
		60	0,99696	32,1202	0,00107	tendenciosa
Logarítmico	<i>surinamensis</i>	40	0,99916	13,3190	0,00020	aleatória
		50	0,99922	28,0010	0,00017	aleatória
		60	0,99903	37,0545	0,00030	aleatória
	<i>guianensis</i>	40	0,99873	41,7304	0,00033	aleatória
		50	0,99920	11,9215	0,00018	aleatória
		60	0,99891	25,2812	0,00034	aleatória
Midilli	<i>surinamensis</i>	40	0,99898	15,0214	0,00026	aleatória
		50	0,99903	32,0394	0,00022	aleatória
		60	0,93895	56,5247	0,01783	tendenciosa
	<i>guianensis</i>	40	0,99850	46,4059	0,00041	aleatória
		50	0,99916	15,3517	0,00019	aleatória
		60	0,99867	25,9447	0,00043	aleatória
Newton	<i>surinamensis</i>	40	0,99253	20,0610	0,00180	tendenciosa
		50	0,99456	95,2074	0,00119	tendenciosa
		60	0,99498	78,1333	0,00151	tendenciosa
	<i>guianensis</i>	40	0,99312	22,4650	0,00174	tendenciosa
		50	0,99428	95,8684	0,00111	tendenciosa
		60	0,99692	31,4794	0,00097	tendenciosa
Page	<i>surinamensis</i>	40	0,99604	16,2414	0,00112	tendenciosa
		50	0,99707	56,9303	0,00068	tendenciosa
		60	0,99579	12,1196	0,00130	tendenciosa
	<i>guianensis</i>	40	0,99599	18,0183	0,00110	tendenciosa
		50	0,99520	74,2481	0,00101	tendenciosa
		60	0,99802	16,7093	0,00065	tendenciosa
Thompson	<i>surinamensis</i>	40	0,91870	37,8161	0,02078	tendenciosa
		50	0,92084	28,3552	0,01774	tendenciosa
		60	0,95599	52,2717	0,01199	tendenciosa
	<i>guianensis</i>	40	0,91814	41,8430	0,21819	tendenciosa
		50	0,92531	26,6140	0,15319	tendenciosa
		60	0,94553	17,5348	0,01693	tendenciosa

Costa *et al.* (2011) secaram sementes de cambre com teor de água inicial de 0,26 (decimal b.s.) nas temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70 °C, até teor de 0,09 (decimal b.s.) e verificaram que os modelos de Aproximação da difusão, Dois termos, Midilli, Page e Thompson produziram ajustes com R² superiores a 0,99. Sousa *et al.* (2011) também observaram coeficientes de determinação (R²) superiores a 0,99 para os modelos Page, Midilli e Logarítmico na secagem de nabo forrageiro.

Os valores do erro médio relativo (P) indicam o desvio dos valores observados em relação à curva estimada pelo modelo (KASHANINEJAD *et al.*, 2007) e, segundo Mohapatra & Rao (2005), valores menores que 10% são recomendados para a seleção de modelos, indicando dessa forma uma representação adequada do fenômeno, o que não ocorreu nesse estudo. Na presente situação, todos os modelos testados apresentaram valores do erro médio relativo superior a 10% (Tabela 2).

Notou-se também que houve predominância de valores baixos na magnitude do desvio-padrão da estimativa (SE) nos modelos Logarítmico e Midilli na secagem das sementes da *C. guianensis* nas três temperaturas testadas, com valores máximos de 0,00043. Já para a espécie *C. surinamensis*, o modelo logarítmico foi o que melhor se ajustou a esse parâmetro nas três temperaturas avaliadas, com valores máximos de 0,00030 (Tabela 2). Sendo assim, esses modelos corroboram a relação de quanto menor o valor encontrado para SE, melhor o ajuste do modelo (SIQUEIRA *et al.*, 2013; MOSCON *et al.*, 2017).

Um modelo é considerado aceitável se os valores residuais se encontrarem próximos à faixa horizontal em torno de zero, não indicando tendenciosidade dos resultados (MENDONÇA *et al.*, 2015). Almeida *et al.* (2006) mencionam em seus estudos que, se o modelo apresentar distribuição tendenciosa dos seus resíduos, este é considerado inadequado para representar a cinética de secagem.

Neste estudo, o modelo Logarítmico apresentou distribuição dos resíduos aleatória para as duas espécies de andiroba em todas as temperaturas testadas, enquanto o modelo Midilli teve distribuição aleatória apenas para a *C. guianensis* nas três temperaturas (Tabela 2).

Dados semelhantes foram observados por Sousa *et al.* (2011) ao secarem nabo forrageiro nas temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70 °C e tiveram os dados experimentais melhor ajustados ao modelo Midilli. Mendonça *et al.* (2015), ao secarem as sementes de andiroba (*C. surinamensis* e *C. guianensis*) em secador solar, verificaram que os modelos Logarítmico e Midilli foram os que melhor se ajustaram aos dados experimentais.

Para Moscon *et al.* (2017), a seleção e a recomendação do melhor modelo fundamentam-se também na simplicidade de aplicação e no número de parâmetros favoráveis. Embora os modelos Logarítmico e Midilli tenham apresentado melhores resultados na representação da cinética de secagem das sementes de duas espécies de andiroba nas condições nas quais este trabalho foi realizado, o modelo selecionado foi o Logarítmico, tendo por base, além dos coeficientes estatísticos favoráveis, a facilidade de uso, por ser de simples aplicação.

O parâmetro “k” nos modelos testados, com exceção do modelo Midilli, aumentou linearmente com a elevação da temperatura do ar de secagem (Tabela 3). A constante de secagem (k) pode ser utilizada como aproximação para caracterizar o efeito da temperatura e está relacionada à difusividade efetiva no processo de secagem no período decrescente e à difusão líquida que controla o processo (BABALIS & BELESSIOTIS, 2004), ou seja, o parâmetro “k” tende a aumentar, visto que temperaturas elevadas acarretam maiores taxas de secagem atingindo o teor de água de equilíbrio mais rápido (CÔRREA *et al.*, 2010). Resultados semelhantes foram observados para outras espécies, como mamona (GONELI, 2008) e nabo forrageiro (SOUSA *et al.*, 2011).

O parâmetro “n” possui um efeito de moderação do tempo e corrige os prováveis erros resultantes da negligência da resistência interna para a transferência de água (GUEDES & FARIA, 2000). Nos modelos Midilli e Page, notou-se uma diminuição do valor de “n” com elevação da temperatura na secagem da *C. surinamensis* (Tabela 3). Já na *C. guianensis*, o valor de “n” diminui apenas de 40 para 50 °C nos modelos Midilli e Page (Tabela 3).

Resultados semelhantes também foram observados por Rosa *et al.* (2017) na secagem

Tabela 3. Parâmetros dos modelos testados com sementes de duas espécies de andiroba (*C. surinamensis* Miq. e *C. guianensis* Aubl.) em estufa de ventilação forçada nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C

Modelo	Carapa	Temp. (°C)	Parâmetros					
			a	b	c	k	q	n
Dois termos	<i>surinamensis</i>	40	0,5037	0,5037		0,014906	0,0149	
		50	0,5054	0,5054		0,025813	0,0258	
		60	0,4725	0,4725		0,059564	0,0596	
	<i>guianensis</i>	40	0,5017	0,5017		0,015924	0,0159	
		50	0,4951	0,4951		0,023085	0,0231	
		60	0,4965	0,4965		0,043462	0,0435	
Logarítmico	<i>surinamensis</i>	40	1,1986		-0,2207	0,009646		
		50	1,1029		-0,1195	0,019515		
		60	0,9839		-0,0461	0,052416		
	<i>guianensis</i>	40	1,1504		-0,1731	0,011033		
		50	1,1021		-0,1415	0,016755		
		60	1,0510		-0,0678	0,036543		
Midilli	<i>surinamensis</i>	40	0,9799	-0,0008		0,059029		0,1924
		50	0,9861	-0,0007		0,191585		0,1133
		60	0,8050	-0,0157		0,000041		0,0000
	<i>guianensis</i>	40	0,9796	-0,0006		0,112611		0,1126
		50	0,9631	-0,0008		-0,139045		-0,1356
		60	0,9849	-0,0007		0,200764		0,1960
Newton	<i>surinamensis</i>	40				0,014791		
		50				0,025539		
		60				0,064287		
	<i>guianensis</i>	40				0,015878		
		50				0,023322		
		60				0,043780		
Page	<i>surinamensis</i>	40				0,005965		1,2066
		50				0,013816		1,1587
		60				0,084022		0,9080
	<i>guianensis</i>	40				0,007033		1,1876
		50				0,016357		1,0894
		60				0,026987		1,1435
Thompson	<i>surinamensis</i>	40	0,0000	0,2600				
		50	0,0000	0,3159				
		60	0,0000	0,4132				
	<i>guianensis</i>	40	0,0000	0,2798				
		50	0,0000	0,3115				
		60	0,0000	0,3589				

de farinha de mesocarpo de babaçu em estufa nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C; os autores observaram que ocorreu a diminuição do valor de “n” com aumento da temperatura no modelo Midilli. Jittannit (2011) ajustou o modelo de Page aos dados experimentais das sementes de abóbora em secador de bandeja nas temperaturas 60, 70 e 80 °C e notou que “n” diminuiu com elevação da temperatura. Já Santos *et al.* (2013) secaram farinha de urucum nas temperaturas de 40 a 70 °C

e notaram que “n” aumentou com a elevação da temperatura nos modelos de Midilli e Page.

O parâmetro “b” no modelo Thompson aumentou com a elevação das temperaturas, enquanto nos modelos Dois Termos e Midilli não houve variação com aumento da temperatura para as duas espécies testadas (Tabela 3). Resultado semelhante foi observado por Santos *et al.* (2013) na secagem de resíduos de urucum testando modelo de Aproximação da difusão nas temperaturas

de 40 a 60 °C. O parâmetro “a” diminuiu com a elevação da temperatura de 40 a 60 °C para as duas espécies de andiroba nos modelos de Dois Termos, Logarítmico e Midilli. O valor de “a” foi constante para as duas espécies no modelo de Thompson (Tabela 3).

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que:

- o teor de água e o tempo de secagem das sementes da *C. surinamensis* foram menores comparados à *C. guianensis*;
- a cinética de secagem das sementes de andiroba foi melhor representada pelos modelos matemáticos Logarítmico e Midilli, sendo que o Logarítmico, por ser de fácil aplicação e por ter representado de forma eficiente as curvas de secagem para as diferentes temperaturas, é recomendado para sementes das duas espécies de andiroba;
- os procedimentos usados pela comunidade da Amazônia podem ser melhorados com técnicas de secagem que permitam reduzir o teor de umidade das sementes, aumentando assim a quantidade de óleo extraível, bem como sua qualidade.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por meio do edital 058-2010, ao Núcleo de Estudos em Agroecologia e ao Instituto Federal de Rondônia, campus Ji-Paraná.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.A.C.; DUARTE, M.E.M.; MATA, M.E.R.M.C. **Tecnologia de armazenamento em sementes**. Campina Grande: UFCG, 2006. 402p.

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

BARROZO, M.A.S.; HENRIQUE, H.M.; SARTORI, D.J.M.; FREIRE, J.T. The use of the orthogonal collocation method on the study of the drying kinetics of soybean seeds. **Journal of stored products research**, Montreal, v.42, n.03, p.348-356, 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MARA. 365p. 2009.

BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. Westport: the AVI Publishing Company, 1992, 450p.

CHAYJAN, R.A.; SHADIDI, B. Modeling high moisture faba bean drying in fixed and semi-fluidized bed condition. **Journal of Food Processing and Preservation**, Medford, v.38, p.200-211, 2014.

CORRÊA, P.C.; GONELI, A.L.D.; JAREN, C.; RIBEIRO, D.M.; RESENDE, O. Sorption isotherms and isotheric heat of peanut pods, kernels and hulls. **Food Science Technology International**, Califórnia, v.13, n.03, p.230-237, 2007.

CORRÊA, P.C.; OLIVEIRA, G.H.H.; BOTELHO, F.M.; GONELI, A.L.D.; CARVALHO, F.M. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Revista Ceres**, Viçosa, v.57, p.595-601, 2010.

CÔRREA, P.C.; MARTINS, A. J. H.; CHRIST, D. Thin layer drying rate and loss of viability modeling for rapessed (canola). **Journal of Agricultural Engineering Research**, Montreal, v.74, n.01, p.33-39, 1999.

COSTA, L.M.; RESENDE, O.; SOUZA, K.A.; GONÇALVES, D.N. Coeficiente de difusão efetivo e modelagem matemática da secagem de sementes de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, p.1089-1096, 2011.

- FERRAZ, I.D.K.; CAMARGO, J.L.C.; SAMPAIO, P.T.B. Sementes e plântulas de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl. e *Carapa procera* D.C.): Aspectos botânicos, ecológicos e tecnológicos. **Acta amazônica**, Manaus, v.32, n.4, p.647-661, 2002.
- GONELI, A.L.D. **Variação das propriedades físicas-mecânicas e da qualidade da mamona (*Ricinus communis* L.) durante a secagem e o armazenamento.** 186f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- GUEDES, A.M.M.; FARIA, L.J.G. Determinação da constante de secagem de urucum (*Bixa orellana* L.) em secador convectivo de leito fixo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.2, p.73-86, 2000.
- JITTANIT, W. Kinetics and temperature dependent moisture diffusivities of pumpkin seeds during drying. **Kasetsart Journal: National Science**, Bangkok, v.45, p.147-158, 2011.
- KASHANINEJAD, M.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI, A.; TABIL, L.G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, Montreal, v.78, p.98-108, 2007.
- KENFACK, D. Resurrection in *Carapa* (Meliaceae): A reassessment of morphological variation and species boundaries using multivariate methods in a phylogenetic context. **Botanical Journal of Linnean Society**, London, v.165, p.86-221, 2011.
- MADAMBA, P.S.; DRISCOLL, R.H.; BUCKLE, K.A. The thin layer drying characteristic of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, Montreal, v.29, p.75-97, 1996.
- MARTINAZZO, A.P.; CORRÊA, P.C.; RESENDE, O.; MELO, E.D.C. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.03, p.301-306, 2007.
- MENDONÇA, A.P.; FERRAZ, I.D.K. Óleo de andiroba: processo tradicional da extração, uso e aspectos sociais no estado do Amazonas, Brasil. **Acta Amazonica**, Manaus, v.37, p.353-364, 2007.
- MENDONÇA, A.P.; SAMPAIO, P.T.B.; ALMEIDA, F.A.C.; FERREIRA, R.F.; NOVAIS, J.M. Determinação das curvas de secagem das sementes de andiroba em secador solar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, p.382-387, 2015.
- MOHAPATRA, D.; RAO, P.S.A. Thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**. Montreal, v.66, n.4, p.513-518, 2005.
- MOSCON, E.S.; MARTIN, S.; SPEHAR, C.R.; DEVILLA, I.A.; RODOLFO JUNIOR, F. Cinética de secagem de grãos de quinoa (*Chenopodium quinoa* W.). **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.25, n.4, p.318-325, 2017.
- REIS, R.D.; BARBOSA, L.S.; LIMA, M.D.L.; REIS, J.D.S.; DEVILLA, I.A.; ASCHERI, D.P. Modelagem matemática da secagem da pimenta Cumari do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.4, p.347-353, 2011.
- ROSA, J.C.; MENDONÇA, A.P.; OLIVEIRA, A.S.; RIBEIRO, S.B.; BATISTA, A.R.; ARAÚJO, M.E.R. Drying kinetics of 'babassu' mesocarp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.21, n.10, p.709-714, 2017.
- ULMANN, R.; RESENDE, O.; SALES, J.F.E.; CHAVES, T.H. Qualidade das sementes de pinhão manso submetidas a secagem artificial. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.41, n.03, p.442-447, 2010.
- SACILIK, K.; TARIMCI, C.; COLAK, A. Moisture content and bulk density dependence of dielectric properties of safflower seed in the radio frequency range. **Journal of Food Engineering**, Montreal, v.78, n.04, p.1111-1116, 2007.

SANTOS, D.C.; QUEIROZ, A.J.M.; FIGUEIREDO, R.M.F.; OLIVEIRA, E.N.A. Cinética de secagem de farinha de grãos residuais de urucum. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.2, p.223-231, 2013.

SHANLEY, P.; MEDINA, G. **Frutíferas e plantas úteis na vida amazônica**. Belém: CIFOR, Imazon, 300p. 2005.

SIQUEIRA, V.C.; RESENDE, O.; CHAVES, T.H. Mathematical modelling of the drying of jatropha fruit: an empirical comparison. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.44, p.278-285, 2013.

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