

## MODELAGEM MATEMÁTICA DA CINÉTICA DE SECAGEM DA FORRAGEM DE MANIÇOBA (*Manihot pseudoglaziovii*)

Antonio Daniel Buriti de Macedo <sup>1</sup>  
Gracimário Bezerra da Silva <sup>2</sup>  
Ayanne Basilio Malaquias <sup>3</sup>  
Ana Regina Nascimento Campos <sup>4</sup>

### RESUMO

A exploração dos recursos forrageiros da caatinga tem sido uma alternativa utilizada pelos criadores buscando a manutenção dos seus rebanhos em tempos de carência de alimento. Assim, a maniçoba (*Manihot pseudoglaziovii*) aparece como alternativa para suprir as necessidades dos animais durante o período de estiagem, pois apresenta grande potencial nutricional. Desta forma, o processo de secagem desempenha um papel importante, uma vez que, os criadores podem armazenar essas forragens sem risco de deterioração por um longo tempo. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi estudar a cinética de secagem da forragem de maniçoba em estufa de circulação de ar nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, assim como, ajustar modelos matemáticos aos dados experimentais. A matéria prima utilizada foi adquirida no sítio Bom Sucesso, município de Sossego, PB. As secagens foram realizadas em estufa de circulação de ar utilizando 40 g do material. As cinéticas foram determinadas pesando-se as amostras em intervalos de tempo regulares de 5, 30 e 60 min, até que atingissem o equilíbrio, sendo então determinadas as massas secas. O modelo Midilli foi o que melhor se ajustou os dados experimentais nas temperaturas estudadas, apresentando os maiores valores de coeficiente de determinação e menores desvios quadráticos médios e qui-quadrados. Os resultados indicaram que a temperatura influencia a taxa de secagem, onde o tempo de secagem diminui à medida que aumenta a temperatura do ar. O tempo necessário para alcançar o teor de água ideal foi de 340, 300, 240 min para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, respectivamente. Portanto, a utilização da forragem de maniçoba submetida à tecnologia de processamento favorece aos criadores o seu aproveitamento e o armazenado para o período de escassez de alimentos para seus rebanhos.

**Palavras-chave:** forragem, desidratação, secagem convectiva.

### INTRODUÇÃO

A cada ano que passa os criadores tem observado a necessidade de conservação e armazenamento de forragens de boa qualidade no período chuvoso visando a sua utilização no período de seca, combatendo assim uma das principais limitações da exploração pecuária do Semiárido Brasileiro, que é a escassez de alimento para os rebanhos neste período.

<sup>1</sup> Doutorando em Engenharia de Processos da Universidade Federal Campina Grande - UFCG, daniel\_buritt@hotmail.com;

<sup>2</sup> Doutorando em Engenharia Química da Universidade Federal Campina Grande - UFCG, eng\_gracimario@hotmail.com;

<sup>3</sup> Graduando do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG ayanne.bm@gmail.com;

<sup>4</sup> Professora orientadora, Doutora, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, ana.regina@professor.ufcg.edu.br.

Há muito tempo a pecuária nordestina tem aproveitado os recursos forrageiros da caatinga para manutenção dos rebanhos bovino, ovino e caprino, quase sempre em sistema extensivos de criação, onde os animais são mantidos durante o período chuvoso, bem como durante o período de seca (ARAÚJO FILHO, 2008).

A utilização de forragem não convencionais tem sido uma alternativa utilizada em tempos de carência de alimento, estimulando a aproveitar e explorar melhor a própria vegetação da região. Algumas espécies se destacam pela capacidade de produção, adaptação às condições edafoclimáticas, além de suas qualidades nutritivas e palatabilidade (MENDONÇA JÚNIOR et al., 2008). Nesse cenário a maniçoba (*Manihot pseudoglaziovii*) aparece como uma planta de fácil adaptação a diversos tipos de solo e relevo, difundida em quase todo o semiárido brasileiro, além de apresentar grande resistência a longos períodos de seca.

A maniçoba é uma planta nativa da caatinga que pode chegar até 20 m de altura. Planta forrageira que aparece como alternativa para suprir as necessidades dos animais durante o período de estiagem, pois apresenta grande potencial nutricional. Possui em sua composição quantidades elevadas de ácido cianídrico, o que deve ser levado em consideração pois pode provocar intoxicação, devendo ser fornecida na forma de feno. O feno da maniçoba apresenta nível de proteína acima de 20% e digestibilidade superior a 60% (MORAES; COSTA; ARAÚJO, 2011).

O processo de secagem reduz o teor de umidade do material para um nível de prateleira seguro e estável, desempenhando um papel significativo na conversão de forragem verde, fresca em um produto que pode ser armazenado e transportado com segurança sem risco de deterioração. A operação de secagem tem grande influência na qualidade do feno, pois o feno de boa qualidade é verde e não muito grosso e deve incluir diferentes partes das plantas após a secagem (IHEDIWA et al., 2022).

A secagem de plantas forrageiras durante a época de chuva garante a disponibilidade e qualidade de alimento para os rebanhos durante todo o ano. Segundo Agbossou, Napo e Chakraverty (2016) para uma compreensão adequada dos processos de transferência durante a secagem e produção de produtos de qualidade, é essencial conhecer as características de secagem em camada fina e a qualidade dos produtos secos.

Vários aspectos como espécie, variedade, condições ambientais, métodos de preparo pós-colheita, podem alterar as curvas de secagem em camada delgada (CORRÊA et al., 2007). Neste sentido, diversos modelos matemáticos são empregados para descrever o comportamento

do processo de secagem de produtos agrícolas, esses modelos podem ser classificados como: teóricos, empíricos e semi-empíricos (LIMA; FIGUEIRÊDO; QUEIROZ, 2007).

Desta forma, o objetivo desse trabalho foi estudar a cinética de secagem da forragem de maniçoba por secagem em estufa de circulação de ar a 50, 60 e 70 °C, assim como, ajustar modelos matemáticos aos dados experimentais, visando a produção de uma ração que possa ser armazenada e utilizada pelos criadores durante o período de escassez de alimento para os rebanhos.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Bioprocessos da Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia (UFCG/CCT), Campina Grande/PB. Foram utilizadas as folhagens de maniçoba (*Manihot glaziovii* Muell. Arg.) adquiridas no sítio Bom sucesso, município de Sossego, Paraíba. A matéria-prima (Figura 1) foi coletada de forma tradicional, assim como é feito pelos criadores da região, tendo o cuidado de coletar um material com boa aparência e em bom estado fitossanitário.

As secagens foram realizadas em estufa de circulação de ar empregando-se as temperaturas de 50, 60 e 70 °C. O material foi distribuído em bandejas circulares de alumínio, com dimensões 24 cm de diâmetro e 2 cm de altura, utilizando 40 g do material. Todos os experimentos foram realizados em triplicata. Determinou-se o teor de água dos resíduos em estufa a 105 °C, de acordo com a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

A faixa de temperatura estudada para a secagem, foi determinada com base na literatura e em teste preliminares, a fim de evitar perdas da qualidade física e química do material. As cinéticas de secagem foram determinadas realizando pesagens periódicas das amostras, em intervalos regulares de 5, 30 e 60 min, até que atingissem o equilíbrio, sendo então determinadas as massas secas.

Concluiu-se as secagens quando a diferença entre as massas das amostras foram iguais ou inferiores a 0,010 g em três pesagens consecutivas, utilizando uma balança digital semi-analítica (Weblabosp, modelo L303i) com 0,001 g de resolução. De acordo com a Equação 1, determinou-se a razão do teor de água das amostras de forragem de maniçoba durante as secagens em estufa nas diferentes condições de temperatura.

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

Em que:

RX - razão do teor de água da amostra (adimensional);

X - teor de água da amostra em um determinado tempo de secagem (b.s.);

X<sub>i</sub> - teor de água inicial da amostra (b.s.);

X<sub>e</sub> - teor de água de equilíbrio da amostra (b.s.).

Na Tabela 1 são apresentados os doze modelos matemáticos que foram ajustados na previsão da secagem da forragem de maniçoba. Para o ajuste de cada equação matemática aos dados experimentais, realizaram-se as análises de regressão não-linear pelo método Quasi-Newton, empregando-se o programa computacional Statistica 8.0.

**Tabela 1.** Modelos de regressão não-linear aplicados às curvas de secagem da forragem de maniçoba.

Modelo	Equações	Referências
Handerson e Pabis	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot T)$	(Henderson; Pabis, 1962)
Logarítimo	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot T) + c$	(Yagcioglu et al., 1999)
Dois termos	$RU = a \cdot \exp(-k_0 \cdot T) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot T)$	(Henderson, 1974)
Exponencial de dois termos	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot T) + (1-a) \cdot \exp(-k \cdot a \cdot T)$	(Ozdemir; Devres, 1999)
Wang e Sing	$RU = 1 + a \cdot T + b \cdot T^2$	(Wang; Singh, 1978)
Henderson e Pabis modificado	$RU = a \cdot \exp(-K \cdot t) + b \cdot \exp(-K_0 \cdot t) + c \cdot \exp(-K_1 \cdot t)$	(Henderson; Pabis, 1961)
Midili et al.	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot T^n) + b \cdot T$	(Midilli, 2002)
Aproximação da difusão	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot T) + (1-a) \cdot \exp(-k \cdot b \cdot T)$	(Côrrea et al., 2010)
Newton	$RU = \exp(-K \cdot t)$	(Togrul; pchlihan, 2002)
Page	$RU = \exp(-K \cdot t^n)$	(Page, 1949)
Thompson	$RU = \exp((-a - (a^2 + 4 \cdot b \cdot t)^{0,5}) / 2 \cdot b)$	(Leite et al., 2016)
Verna	$RU = a \cdot \exp(-K \cdot t) + (1-a) \cdot \exp(-K_1 \cdot t)$	(Verna et al., 1985)

Onde:

RX- razão de teor de água (adimensional);

t: tempo de secagem (min);

k: constante de secagem (adimensional);

a, b e n: coeficientes dos modelos.

Os dados experimentais da secagem da maniçoba foram submetidos à análise de regressão e escolha do modelo matemático que melhor representou as curvas de secagem. Para a adequação dos modelos matemáticos, foi realizada análise de regressão não linear pelo método Quasi-Newton, utilizando-se o *software* STATISTICA 8.0® (StatSoft, Inc. 2007). A escolha do melhor modelo baseou-se nos seguintes parâmetros estatísticos: coeficiente de determinação ( $R^2$ ) (Equação 2), desvio quadrático médio (DQM) (Equação 3) e qui-quadrado ( $\chi^2$ ) (Equação 4).

$$R^2 = 1 - \left( \frac{\sum_{i=1}^n (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^n (RX_{exp,i} - RX_{pred,i})^2} \right) \quad (\text{Eq. 2})$$

$$DQM = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Eq. 3})$$

$$\chi^2 = \frac{1}{n-N} \sum_{i=1}^n (RX_{exp,i} - RX_{pred,i})^2 \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que:

$R^2$  - coeficiente de determinação;

DQM - desvio quadrático médio;

$\chi^2$  - qui-quadrado;

$RX_{pred,i}$  - razão do teor de água predito pelo modelo;

$RX_{exp,i}$  - razão do teor de água experimental;

$n$  - número de observações;

$N$  - número de constantes do modelo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentados os valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ), desvio quadrático médio (DQM) e qui-quadrado ( $\chi^2$ ) para os modelos matemáticos testados na secagem, em estufa de circulação de ar, da forragem de maniçoba. Pode-se observar que todos os modelos testados se ajustaram bem aos dados experimentais de secagem, apresentando  $R^2$  superior a 98,0 e DQM e  $\chi^2$  menores ou iguais que 0,0569 e 0,0032, respectivamente. Desta forma, todos os modelos testados podem ser utilizados para prever as curvas cinéticas de secagem da forragem de maniçoba.

A partir dos parâmetros estatísticos, verificou-se que o modelo Midili et al. foi o que melhor se ajustou para estimar as curvas cinéticas de secagem entre os modelos estudados, por apresentar o maior  $R^2$  e uns dos menores DQM e  $\chi^2$ . Além disso, segundo Goneli et al. (2014), o modelo Midilli tem como vantagem ser matematicamente mais simples e apresentar menor número de parâmetros, o que torna mais prático sua aplicação em simulações de secagem.

**Tabela 2.** Valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ), desvio quadrático médio (DQM) e qui-quadrado ( $\chi^2$ ) para modelos matemáticos de secagem em estufa da folha de maniçoba.

Modelo	T (°C)	$R^2$	DQM	$\chi^2$
<b>Henderson e Pabis</b>	50	98,76	0,0523	0,0027
	60	99,58	0,0342	0,0012
	70	99,55	0,0360	0,0013
<b>Logarítimo</b>	50	99,98	0,0049	0,00002
	60	99,92	0,0145	0,00021
	70	99,90	0,0166	0,00028
<b>Dois termos</b>	50	98,76	0,0523	0,0027
	60	99,58	0,0342	0,0012
	70	99,55	0,0360	0,0013
<b>Exponencial de dois termos</b>	50	98,53	0,0569	0,0032
	60	99,52	0,0367	0,0013
	70	99,33	0,0438	0,0019
<b>Wang e Sing</b>	50	99,98	0,0071	0,00005
	60	99,88	0,0185	0,00034
	70	99,99	0,0057	0,00003
<b>Henderson e Pabis modificado</b>	50	98,76	0,0523	0,0030
	60	99,58	0,0342	0,0012
	70	99,55	0,0360	0,0013
<b>Midili et al.</b>	50	99,99	0,0040	0,00002
	60	99,92	0,0152	0,0002
	70	99,95	0,0114	0,0001
<b>Aproximação da difusão</b>	50	98,55	0,0565	0,0030
	60	99,77	0,0250	0,0006
	70	99,89	0,0178	0,0003
<b>Newton</b>	50	98,55	0,0565	0,0030
	60	99,53	0,0362	0,0013
	70	99,34	0,0433	0,0019
<b>Page</b>	50	99,39	0,0366	0,0010
	60	99,73	0,0272	0,0007
	70	99,88	0,0184	0,0003
<b>Thompson</b>	50	98,55	0,0565	0,0030
	60	99,53	0,0363	0,0013
	70	99,34	0,0433	0,0019
<b>Verna</b>	50	99,41	0,0361	0,0010
	60	99,77	0,0252	0,0006
	70	99,89	0,0178	0,0003

Apesar do modelo Midilli ser o que melhor se ajustou aos dados, pode-se observar que os modelos Logaritmo e Wang e Sing também apresentaram elevados valores de coeficientes de determinação, e baixos valores de desvios quadráticos médios e qui-quadrado, mostrando sua adequação para representar também a cinética de secagem da forragem de maniçoba.

Goneli et al. (2014) ao avaliarem e ajustarem diferentes modelos matemáticos aos dados de secagem de folhas de aroeira também indicaram que o modelo matemático Midilli foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais de secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C. Sousa et al. (2011) também estabeleceram esse modelo matemático como sendo o que melhor descreveu a cinética de secagem de nabo forrageiro. O modelo de Midilli também foi o que melhor se ajustou a secagem das folhas de jenipapo estudado por Silva et al. (2015b), na secagem de folhas de juazeiro estudado por Sousa et al. (2015) e de folhas de capim-cidreira avaliado por Gomes et al. (2017).

A partir da Tabela 3 pode-se verificar que, na maioria dos modelos estudados, com o aumento da temperatura de secagem o parâmetro  $k$  apresentou tendência de crescimento. Esse parâmetro, que representa a constante de secagem, está relacionado à difusividade térmica no processo, o que justifica esse comportamento, pois com o aumento da temperatura a energia na forma de calor é fornecida em maior quantidade, fazendo com que a amostra se ajuste mais rapidamente à temperatura em seu entorno, alcançando o teor de água de equilíbrio em menos tempo (ARAÚJO et al., 2021).

Este mesmo comportamento para o parâmetro  $k$  foi verificado por Oliveira et al. (2020) ao estudarem a cinética de secagem em camada de espuma da folha da gravioleira empregando as temperaturas de secagem 50, 60 e 70 °C, e também observado por Ali et al. (2014) ao estudarem a cinética de secagem e análise de cor de folhas de *Moringa oleífera* em diferentes temperaturas de secagem.

O parâmetro  $n$  do modelo Midilli, que de acordo com Araujo et al. (2017) representa a resistência interna do produto à secagem, demonstrou tendência de crescimento com o aumento da temperatura de secagem. Comportamento observado por Carvalho et al. (2015) no estudo da cinética de secagem da folha de *Moringa oleífera*, onde avaliaram a influência da temperatura no tempo de secagem. Para o modelo de Page o parâmetro  $n$  não apresentou tendência definida.

**Tabela 3.** Parâmetros obtidos nos modelos para a cinética de secagem em estufa da folha de maniçoba em temperaturas de 50, 60 e 70 °C

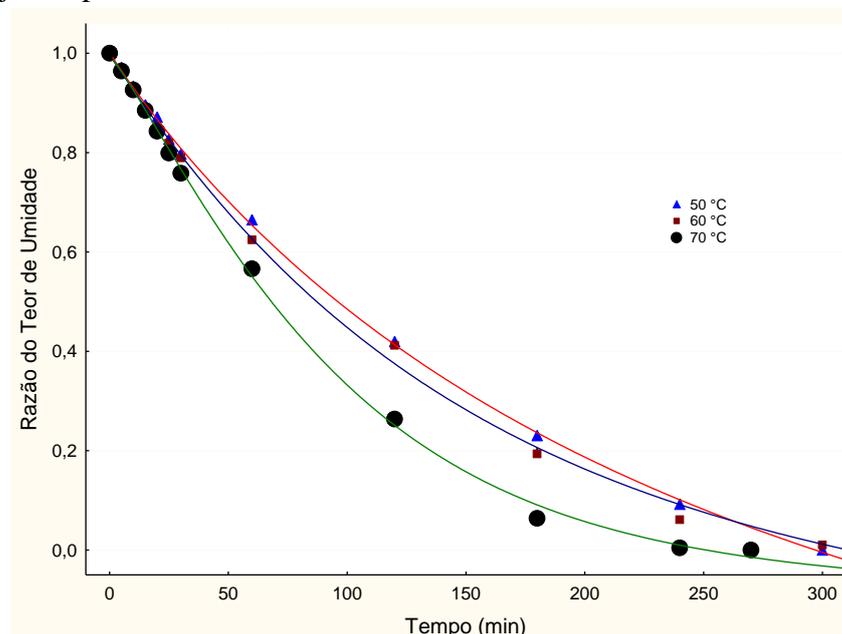
Modelo	T (°C)	a	b	c	n	k	k0	k1
<b>Henderson e Pabis</b>	50	1,0337				0,0067		
	60	1,0212				0,0090		
	70	1,0438				0,0117		
<b>Logarítimo</b>	50	2,2758		-1,2809		0,0019		
	60	1,1536		-0,1557		0,0064		
	70	1,1577		-0,1375		0,0087		
<b>Dois termos</b>	50	0,4871	0,5464				0,0067	0,0067
	60	0,5101	0,5101				0,0089	0,0089
	70	0,5222	0,5216				0,0117	0,0117
<b>Exponencial de dois termos</b>	50	0,0017				3,5358		
	60	0,0021				4,0456		
	70	0,0016				6,7112		
<b>Wang e sing</b>	50	-0,0043	0,00000					
	60	-0,0064	0,00001					
	70	-0,0082	0,00002					
<b>Henderson e pabis modificado</b>	50	0,3445	0,3445	0,3445		0,0067	0,0067	0,0067
	60	0,3405	0,3395	0,3411		0,0090	0,0090	0,0090
	70	0,3479	0,3479	0,3479		0,0117	0,0117	0,0117
<b>Midilli et al</b>	50	1,0008	-0,0015		0,9281	0,0041		
	60	0,9963	-0,0003		1,0227	0,0066		
	70	0,9934	-0,0002		1,1827	0,0045		
<b>Aproximação da difusão</b>	50	0,1541	0,9996			0,0064		
	60	-123,52	0,9957			0,0140		
	70	-168,286	0,9961			0,0199		
<b>Newton</b>	50					0,0064		
	60					0,0087		
	70					0,0108		
<b>Page</b>	50				1,2951	0,0015		
	60				1,1353	0,0046		
	70				1,2304	0,0040		
<b>Thompson</b>	50	-4611,89	5,4177					
	60	-4240,44	6,0748					
	70	-4156,79	6,7158					
<b>Verna</b>	50	-8,2985				0,01256		0,0116
	60	-7,2766				0,01451		0,0136
	70	-11,7782				0,02060		0,0195

A Figura 1 mostra as curvas de secagem da forragem de maniçoba com ajustes pelo modelo Midilli nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. A curva de secagem evidencia o bom ajuste deste modelo pela proximidade dos valores experimentais em relação à curva estimada pelo modelo em todas as condições estudadas.

O tempo necessário para as cinéticas de secagem alcançar o equilíbrio, foi de 340, 300, 240 min para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, respectivamente. A partir da curva de secagem é possível verificar a clara influência da temperatura do ar na cinética, onde o tempo de secagem diminui à medida que aumenta a temperatura do ar. Esse comportamento foi verificado por Silva et al. (2015) no estudo da modelagem matemática da desidratação osmo-convectiva da palma forrageira utilizando as temperaturas de 50 e 60 °C e por Vilhalva et al. (2012) ao estudarem a cinética da secagem da casca de mandioca provenientes de descartes de fecularia.

Segundo Ihediwa et al. (2022) esse comportamento ocorre pois temperaturas de secagem mais altas contribuíram para uma maior taxa de transferência de calor, estimulando a difusão da umidade do interior para a superfície para evaporação. Para Premi, Sharma e Upadhyay (2012) este fenômeno é geralmente atribuído ao aumento da difusividade da umidade em temperaturas mais altas. O fluxo entre o meio de aquecimento e o material sólido aumenta com o aumento da temperatura do meio de aquecimento, devido ao aumento da força motriz térmica e de massa resultando em aumento da taxa de secagem.

**Figura 1.** Curvas das cinéticas de secagem da forragem de maniçoba nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, com ajustes pelo modelo Midili et al.



## CONCLUSÕES

Os dados experimentais da cinética de secagem da forragem de maniçoba se ajustaram bem aos doze modelos matemáticos testados, apresentando coeficiente de determinação ( $R^2$ ), superior a 98,0 e desvio quadrático médio (DQM) e qui-quadrado ( $X^2$ ) menores ou iguais que 0,0569 e 0,0032, respectivamente. O modelo Midilli foi o que melhor se ajustou aos dados para representar o fenômeno de secagem nas diferentes condições de temperaturas.

As temperaturas têm influência sobre o processo de secagem, uma vez que o aumento da temperatura ocasionou uma maior taxa de remoção de água e conseqüentemente diminuição considerável do tempo de secagem. O tempo necessário para alcançar o equilíbrio foi de 340, 300, 240 min para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, respectivamente.

Portanto, a secagem da forragem de maniçoba empregando o método de estufa de circulação de ar mostrou-se eficiente para a redução de água. Desta forma, a utilização da forragem de maniçoba submetidos à tecnologia de processamento se torna atraente, uma vez que favorece aos criadores o aproveitamento da maniçoba, no período de chuva, e o armazenado para o período de escassez de alimentos para seus rebanhos.

## REFERÊNCIAS

AGBOSSOU, K.; NAPO, K.; CHAKRAVERTY, S. Mathematical Modelling and Solar Tunnel Drying Characteristics of Yellow Maize. **American Journal of Food Science and Technology**, v. 4, n. 4, p. 115–124, 2016.

ALI, M. A. et al. Drying Kinetics and Colour Analysis of Moringa Oleifera Leaves. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 2, p. 394–400, 2014.

ARAUJO FILHO, J. M. **Curva de desidratação e degradação in situ do feno de forrageiras nativas da caatinga cearense**. [s.l.] Universidade Federal do Ceará, 2008.

ARAÚJO, K. T. A. et al. Cinética de secagem e determinação do coeficiente de difusão efetivo das polpas de noni e umbu. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, p. 1–13, 2021.

ARAUJO, W. D. et al. Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim em camada delgada. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 3, p. 448–457, 2017.

CARVALHO, Y. O. et al. **CINÉTICA DE SECAGEM DAS FOLHAS DE MORINGA OLEÍFERA LAM**. XXXVII Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados - ENEMP 2015. **Anais...**São Carlos-SP: 2015

CORRÊA, P. C. et al. **MODELAGEM MATEMÁTICA PARA A DESCRIÇÃO DO**

- PROCESSO DE SECAGEM DO FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.) EM CAMADAS DELGADAS. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 501–510, 2007.
- CORRÊA, P. C. et al. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. *Revista Ceres*, v. 57, n. 5, p. 595-601, 2010.
- GOMES, N. H. F. et al. Cinética de secagem de folhas de *Cymbopogon citratus* Drying kinetics of *Cymbopogon citratus* leaves. **Engevista**, v. 19, n. 2, p. 328–338, 2017.
- GONELI, A. L. D. et al. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 1, p. 56–64, 2014.
- HENDERSON, S. M. (1974). Progress in developing the thin-layer drying equation. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 17(6), 1167-1168. doi: 10.13031/2013.37052.
- HENDERSON, S. M., & PABIS, S. (1962). Grain drying theory I: temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agricultural Research Engineering*, 12, 732-736.
- HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory I. Temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agriculture Engineering Research*, v.6, n.3, p.169-174, 1961.
- IHEDIWA, V. E. et al. Optimization of the energy consumption, drying kinetics and evolution of thermo-physical properties of drying of forage grass for haymaking. **Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung**, 2022.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ (São Paulo). (2008). Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4.ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1020p.
- LEITE, D. D. F. et al. Avaliação da cinética de secagem da carambola em secador convectivo. *Revista Verde*, v. 11, n. 2, p. 01-04, 2016.
- LIMA, E. E.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Cinética de secagem de polpa de facheiro. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 9, n. 1, p. 17–28, 2007.
- MENDONÇA JÚNIOR, A. F. et al. Avaliação da composição química , consumo voluntário e digestibilidade in vivo de dietas com diferentes níveis de feno de maniçoba ( *Manihot glaziovii* Muell . Arg .), fornecidas a ovinos Evaluation of the chemical composition , Intake and in vivo digestib. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, n. 1, p. 32–41, 2008.
- MIDILLI, A., KUCUK, H., YAPAR, Z. (2002). Um novo modelo para secagem de camada única. *Drying Technology* , 20(7):1503-1513.
- MORAES, S. A.; COSTA, S. A. P.; ARAÚJO, G. G. L. Nutrição e exigências nutricionais 7. In: **Embrapa Semiárido**. [s.l: s.n.]. p. 165–200.
- OLIVEIRA, B. F. et al. Modelagem matemática da cinética de secagem em camada de espuma da folha da gravioleira (*Annona muricata* Linn) e caracterização do pó obtido. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 4, p. 1–27, 2020.

OZDEMIR M., DEVRES YO (1999). As características de secagem de camada fina de avelãs durante a torrefação. *Journal of Food Engineering* , 42, 225-233

PAGE, G. E. Factors influencing the maximum of air drying shelled corn in thin layer. Dissertation (Master's Thesis)-Department of Mechanical Engineering, Purdue University, Purdue. 1949,

PEREIRA, L. E. T.; BUENO, I. C. S. **TECNOLOGIAS PARA CONSERVAÇÃO DE FORRAGENS : FENAÇÃO E ENSILAGEM**. São Paulo: [s.n.].

PREMI, M.; SHARMA, H.; UPADHYAY, A. Effect of Air Velocity and Temperature on the Drying Kinetics of Drumstick Leaves ( Moringa Oleifera ). **International Journal of Food Engineering**, v. 8, n. 4, 2012.

SILVA, E. T. et al. Modelagem matemática da desidratação osmo-convectiva da palma forrageira ( Opuntia fícus-indica Mill ) utilizando soluções mistas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 4, p. 39–48, 2015a.

SILVA, L. A. et al. Cinética de secagem e difusividade efetiva em folhas de jenipapo (Genipa americana L.). **Revista Brasileira de Plantas Medicinai**s, v. 17, n. 4, p. 953–963, 2015b.

SOUSA, F. C. et al. Predição de modelos sobre a cinética de secagem de folhas de Ziziphus joazeiro Mart. **Revista Brasileira de Plantas Medicinai**s, v. 17, n. 2, p. 195–200, 2015.

SOUSA, K. A. et al. Cinética de secagem do nabo forrageiro ( Raphanus sativus L .). **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 883–892, 2011.

TOGRUL, I. T.; PCHLIVAN, D. Mathematical modeling of solar drying of apricots in thinlayers. *Journal of Food Engineering*, v. 40, n. 3, p. 219–226, 2002.

VERNA, L. R.; BUCKLIN, R. A.; ENDAN, J. B.; WRATTEN, F. T.Effects of drying air parameters on rice drying models. *Transactions of the ASAE*, v. 28, p. 296- 301, 1985.

VILHALVA, D. A. A. et al. Secagem convencional de casca de mandioca proveniente de resíduos de indústria de amido. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 3, p. 331–339, 2012.

WANG, C. Y., & SINGH, R. P. (1978). Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. *Transactions of the of the American Society of Agricultural*, 11(78), 3001.

YAGCIOGLU, A., DEGIRMENCIOGLU, A., & CAGATAY, F. (1999). Drying characteristics of laurel leaves under different conditions. *In: International Congress on Agricultural Mechanization and Energy*, 7, Adana. Proceedings... Adana: Faculty of Agriculture, Cukurova University, 1999, p.565-569.