

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

**CINÉTICA DE SECAGEM DOS FRUTOS DE MACAÚBA
(*Acrocomia aculeata*)**

**MIZUEL TADEU CASSOL TERRA
RAFAEL FERNANDES BREURE**

Dourados – MS
Mato Grosso do Sul
2016

CINÉTICA DE SECAGEM DOS FRUTOS DE MACAÚBA
(*Acrocomia aculeata*)

MIZAEL TADEU CASSOL TERRA
RAFAEL FERNANDES BREURE
Engenheiros Agrônomos

Orientador: ANDRÉ LUÍS DUARTE GONELI

Trabalho de Conclusão de
Curso apresentado à Faculdade de Ciências
Agrárias da Universidade Federal da
Grande Dourados como parte das
exigências do curso de Graduação em
Agronomia.

Dourados – MS
Mato Grosso do Sul
2016

CINÉTICA DE SECAGEM DOS FRUTOS DE MACAÚBA (*Acrocomia aculeata*)

por

Mizael Tadeu Cassol Terra

Rafael Fernandes Breure

Monografia apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção
do título de Engenheiro Agrônomo

Aprovado em: / /

Prof. André Luís Duarte Goneli

Orientador – UFGD/FCA

Prof. Elton Aparecido Siqueira Martins

UFGD/FCA

Msc. Guilherme Cardoso Oba

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

(José de Alencar)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, por ser nosso sustento e refúgio em todos os momentos de nossas vidas.

Em especial aos nossos pais que sempre estiveram conosco, nunca deixaram de nos apoiar, vibraram a cada parágrafo escrito, suportando juntos todos os momentos de dificuldade que passamos.

A nossa família que sempre nos incentivou e ressaltou nossas qualidades: Jacob Meeuwis Breure, Laura Ynes Yule Fernandes Breure, Gabriela Breure Fernandez, Mateus Fernandes Breure, Mariana Fernandes Aniz, Juliana Fernandes Aniz, Paulina BreureCristhianini, Luciano Barbosa Breure, Cristhiano Barbosa Breure, Waugles Martins, Antonio Tadeu de Freitas Terra, Rosangela Cassol Terra, Tami Cassia Cassol de Freitas Terra e Guiomar Antonia Cassol de Freitas Terra.

Aos nossos amigos que nos apoiaram e deram força durante toda a elaboração deste trabalho. Em especial ao Guilherme Cardoso Oba e Sara Maria Mongelós Barrios, que dispuseram seu tempo e se mostraram sempre prontos para nossas tirar dúvidas, sempre nos aconselhando e auxiliando no preparo do mesmo.

Ao nosso orientador, André Luís Duarte Goneli, por ter nos instruído com toda calma e atenção, sua ajuda teve grande peso na construção deste trabalho.

Ao professor Elton Aparecido Siqueira Martins, pela orientação, apoio e confiança.

A Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), que nos proporcionou o conhecimento e a oportunidade de realização do curso.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Biodiesel	3
2.2 Macaúba	4
2.3 Secagem de produtos agrícolas	6
3. MATERIAL E MÉTODOS	8
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
5. CONCLUSÃO	22
6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	23

BREURE, R. F.; TERRA, M. T. C. **Cinética de secagem dos frutos de macaúba (*Acrocomia aculeata*)**. 2016. Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

RESUMO

Na busca de novas alternativas para a substituição de combustíveis fósseis não renováveis e poluentes por combustíveis renováveis menos poluentes, entra o cultivo de oleaginosas na produção de óleo vegetal para a obtenção do biodiesel, como é o caso do fruto da macaúba que possui alta produtividade em óleo. Para melhor aproveitamento dos processos industriais, a secagem é uma eficiente maneira de estabilizar a atividade aquosa do fruto, mantendo suas características químicas e físicas adequadas. Nesse contexto, objetivou-se com o presente trabalho realizar a secagem em camada delgada dos frutos de macaúba, acompanhar os processos obtidos durante a secagem, definir o melhor modelo matemático que se ajusta aos dados e estimar os valores de coeficiente de difusão efetiva e calcular a energia de ativação. Foram realizadas duas repetições, sob temperaturas do ar de secagem de 40, 50, 60, 70 e 80°C, e velocidade do ar de secagem de 0,4 e 2,0 m s⁻¹. Os frutos de macaúba foram coletados próximo a região de Dourados-MS, local de execução do trabalho. Inicialmente, os frutos continham, em média, 42,85% de b.s., os tratamentos foram realizados até os frutos alcançarem valor menor ou igual a 11,1% b.s. Concluiu-se que a elevação da temperatura e da velocidade do ar de secagem gerou redução do tempo necessário, para a retirada de água dos frutos de macaúba. Os modelos matemáticos que apresentaram melhores ajustes aos dados experimentais foram Page, Dois termos, Midilli, Exponencial de dois termos, Logarítmica e Thompson. O coeficiente de difusão efetiva aumentou com a elevação das temperaturas para o mesmo fluxo de ar de secagem.

Palavras-chave: Taxa de redução de água; modelo de Midilli; energia de ativação.

BREURE, R. F.; TERRA, M. T. C. **Kinetics of drying fruit macaúba (*aculeata Acrocomia*)**.2016. Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

ABSTRACT

In the search for new alternatives for the replacement of non-renewable and polluting fossil fuels by renewable fuels cleaner, enters the oil cultivation in vegetable oil to obtain biodiesel, such as the fruit of macaúba that has high productivity oil. For better use of industrial processes, drying is an efficient way to stabilize the water activity of the fruit, keeping its chemical and physical characteristics appropriate. In this context, the aim of the present work perform drying thin layer of fruit macaúba, follow the procedures obtained during drying, set the best model that fits the data and estimate the effective diffusion coefficient values and calculate the activation energy. There were two replicates, using drying air temperatures of 40, 50, 60, 70 and 80° C, and drying air speed of 0.4 to 2.0 m s⁻¹. The fruits of macaúba were collected near Dourados-MS, place of execution of work. First, fruits contained, on average, 42.85% bs, treatments were carried out until the fruits reach less than or equal to 11.1% db. It was concluded that elevation of temperature and drying air velocity generated reducing the time required for the removal of water from fruit macaúba. The mathematical models presented better adjustments to the experimental data were Page, Two terms, Midilli, Exponential two terms, Logarithmic and Thompson. The effective diffusion coefficient increased with rising temperatures for the same drying air flow.

Keywords: Water reduction rate; model Midilli; activation energy.

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento exponencial da população junto à globalização, há um aumento significativo do emprego de combustíveis fósseis não renováveis no sistema de produção. Na busca de fontes alternativas de combustíveis renováveis e menos poluentes, entra como opção o óleo vegetal na produção de biodiesel, que apresentou aumento expressivo nos últimos anos. Na procura de novas oleaginosas, a macaúba tem despertado interesse socioeconômico por sua alta produtividade em óleo, além de inúmeros outros produtos primários e os potencialmente obtidos em biorrefinarias (NUNES, 2013).

A macaúba (*Acronomia aculeata*) é considerada a palmeira de maior dispersão no Brasil, com ocorrência em quase todo território brasileiro, com elevadas concentrações nos biomas Cerrado e Pantanal (CICONINI, 2012). As macaúbas são palmeiras robustas, podendo alcançar até 25 metros de altura. Em alguns indivíduos seu tronco apresenta espinhos longos e pontiagudos. Essa planta possui folhas de até 5 metros de comprimento, apresentando flores, frutos e cachos podendo pesar até 60 quilos.

O óleo extraído do mesocarpo do fruto possui excelentes características como matéria-prima do biodiesel, por ter alta concentração de ácido graxo oleico, baixa acidez e boa estabilidade à oxidação (HIANE et al., 2005; COIMBRA e JORGE, 2011). O principal sistema de colheita do fruto é feita de modo extrativista, quando eles caem naturalmente no chão, apresentando estágio de degradação por microrganismo, sendo posteriormente armazenado sem nenhum controle, resultando em pouco rendimento e em baixa qualidade do óleo.

Para contornar essa situação, tem se como alternativa a utilização do processo de secagem que permite a colheita antecipada dos frutos, reduzindo seu tempo de exposição a condições adversas no campo. A secagem é o processo mais eficiente utilizado para assegurar a qualidade e estabilidade após a colheita, viabilizando o armazenamento dos frutos, mantendo adequados teores de água, a fim de ampliar o período de processamento industrial.

A retirada do teor de água através da secagem é um processo simultâneo de transferência de calor e massa, envolvendo o produto e o ar de secagem, que consiste na

remoção do excesso de água contida no fruto por meio de evaporação, comumente causada por convecção forçada de ar aquecido (YILBAS et al., 2003).

A temperatura e a velocidade do ar de secagem são alguns dos principais fatores que afetam o processo de secagem, tendo influência direta no tempo de secagem e também na qualidade do produto. Quanto maior for a temperatura e a velocidade do ar de secagem, menor será o tempo de secagem do produto, assim como também a possibilidade de perda de qualidade devido ao stress hídrico gerado pela elevada taxa de secagem (CARLESSO et al., 2005).

Desta forma, o presente trabalho teve o objetivo determinar as curvas de secagem em camada delgada de frutos de macaúba, o ajuste de modelos matemáticos aos dados experimentais, estimar o coeficiente de difusividade efetiva e calcular a energia de ativação para frutos de macaúba.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Biodiesel

A produção de combustíveis a partir de óleos vegetais é um processo conhecido há várias décadas. Os registros mostram que desde o início do século XX vários ensaios e testes foram realizados em motores ciclo diesel utilizando este biocombustível. No entanto, os seus custos de produção nunca foram competitivos em relação aos derivados de petróleo, motivos pelos quais pesquisas e até mesmo a utilização de óleos vegetais como combustível ficaram em segundo plano em relação à matriz energética mundial (MATTEI, 2010).

Com os choques petrolíferos ocorridos na década de 1970 adicionados à pressão exercida pela sociedade em defesa do Meio Ambiente, principalmente em relação ao efeito estufa, houve uma nítida retomada das pesquisas com fontes energéticas menos poluidoras, surgindo como solução o biodiesel. As perspectivas de esgotamento das reservas de combustíveis fósseis, bem como os constantes conflitos existentes em países produtores e exportadores de petróleo, contribuíram de forma exacerbada para a pesquisa e utilização de combustíveis alternativos (XAVIER e GUIMARÃES, 2009).

No Brasil, as pesquisas sobre o biodiesel começaram a partir da década de 80 e a primeira patente do produto, feito a partir do óleo de mamona, foi concedida em 30 de outubro de 1983, ao pesquisador cearense Expedito Parente (CÁNEPA, 2004 e MENANI, 2005).

Em 2003, por meio do Decreto de 02/07/2003, foi instituído um Grupo de Trabalho Interministerial, coordenado pela Casa Civil da Presidência da República onde se criou o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (ABREU et al., 2006).

No início de 2005 o Governo Federal editou a Lei nº 11.097, com a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira, possibilitando a implementação do biodiesel no Brasil em definitivo, com isso, estabeleceu-se percentuais mínimos de mistura de biodiesel ao diesel e o monitoramento da inserção do novo combustível no mercado, uma mistura de 2% de biodiesel inicialmente e a partir de 2008 (BRASIL, 2009).

O biodiesel apresenta uma série de aspectos positivos, entre eles a necessidade de pequenos investimentos no processo e o impacto positivo na balança

comercial do Brasil, em função principalmente da progressiva redução de importação de óleo diesel, segundo Paulo Roberto Costa “a possibilidade de geração de empregos e renda a partir do incentivo à produção de óleos vegetais, impulsionando desta maneira o agronegócio brasileiro”, assim como o fato do H-Bio, como é conhecido, “ser um óleo de excelente qualidade e com baixo teor de enxofre” (DIETRICH, 2006).

O biodiesel é proveniente da biomassa, processamento de vegetais como soja, girassol, mamona, algodão, amendoim, buriti, macaúba, entre outros, é considerado um combustível de queima limpa e pode ser usado para alimentar motores ou com a finalidade de geração de energia elétrica (bioeletricidade) (GENOVESE et al., 2006).

Esse combustível é produzido por meio da reação do álcool com os óleos vegetais, com o auxílio de um catalisador e de um co-catalisador, substâncias que geram as reações químicas que resultam no biodiesel e em subprodutos como a glicerina, matéria-prima empregada em diversos ramos da indústria, com destaque para a de cosméticos, de remédios e a torta utilizada na fabricação de rações animais e adubos orgânicos (GENOVESE et al., 2006).

Segundo Lebid e Henks (2015) “o biodiesel pode ser extraído de diversas espécies vegetais como girassol, amendoim, mamona, soja, algodão, canola, babaçu, macaúba, jojoba, coco, nabo forrageiro, pinhão manso, dendê dentre outras tantas espécies”.

2.2 Macaúba

Macaúbas (*Acronomia aculeata*) são palmeiras resistentes, podendo alcançar até 25 metros de altura, em geral o tronco apresenta espinhos longos e pontiagudos, a planta possui folhas de até 5 metros de comprimento e apresentam flores, frutos e cachos podendo pesar até 60 quilos. É uma planta comum do território brasileiro, conhecida por diferentes nomes como bocaiúva, macaíba, macaiúva, mocajá, mocujá, mucajá, bacaiúva, coco-de-catarro ou coco-de-espinho, imbocaiá e umbocaiuva (LORENZI e MATOS, 2002).

A macaúba é uma planta de grande aproveitamento econômico, todos os subprodutos são valorizados. Segundo Junqueira (2014) os frutos da macaúba são a parte mais importante podendo ser obtido o óleo vegetal através da extração ou servir

para o consumo in natura. A madeira pode se transformar em ripas e calhas de água e as folhas serem utilizadas como forragem e fibras têxteis.

Diante da potencialidade de produção da macaúba, principalmente pelo potencial de populações naturais, pesquisadores da Embrapa têm movimentado para que investimentos sejam focados na extração de óleos e utilização da planta para o biodiesel.

Nesse sentido o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) e o Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA) vêm promovendo políticas de incentivo no desenvolvimento da cadeia produtiva da macaúba, tanto no aspecto extrativo como no incentivo de produção da cultura em larga escala, para que seja usada como matéria-prima das indústrias de biodiesel e demais indústrias de alimentos, cosméticos e remédios. Em 2015 foi iniciado um zoneamento dos riscos climáticos para o cultivo da macaúba, com isso viabilizando financiamento para incentivar a cultura da espécie (BRASIL, 2013).

Rodrigues (2007) realizou uma pesquisa experimental de produção de biodiesel (ésteres metílicos e etílicos) a partir do óleo extraído do coco da *Acrocomia aculeata*, os resultados e rendimentos das reações para a produção de biodiesel a partir do óleo de macaúba foram os seguintes:

Parte do Fruto	Reação	Álcool	Separação (S/N) ⁽¹⁾	Éster m/m%	Glicerina m/m%
Mesocarpo	In situ	Metanol	N	Baixo	Baixo
Mesocarpo	In situ	Etanol	N	Baixo	Baixo
Amêndoa	In situ	Metanol	S	34,58 ⁽²⁾	7,87 ⁽²⁾
Amêndoa	In situ	Etanol	S	34,58 ⁽²⁾	8,66 ⁽²⁾
Mesocarpo	Óleo	Metanol	N	Baixo	Baixo
Mesocarpo	Óleo	Etanol	N	Baixo	Baixo
Amêndoa	Óleo	Metanol	S	75,56 ⁽³⁾	21,2 ⁽³⁾
Amêndoa	Óleo	Etanol	S	78,90 ⁽³⁾	18,9 ⁽³⁾

(1) Separação espontânea (Sim/Não). (2) porcentagem em massa relativa a massa bruta das amêndoas secas (3) porcentagem em volume: volume de biodiesel seco ou glicerina bruta, em relação ao volume de óleo bruto.

Fonte: Rodrigues (2007, p.93)

O resultado das reações obtidas levou o autor à conclusão de que é viável a produção de ésteres metílicos e etílicos, a partir das amêndoas do fruto da palmeira macaúba.

2.3 Secagem de produtos agrícolas

A secagem dos produtos agrícolas constitui-se em uma técnica de redução da umidade, podendo evitar o desenvolvimento de fungos e bactérias, reduzindo as perdas por deteriorações e reações bioquímicas que causam a auto degeneração do produto. A redução da umidade contribui para que a armazenagem dos produtos agrícolas seja eficiente, conservando assim a matéria seca e garantindo a estabilização da atividade aquosa do produto (SILVA, 2004).

Os métodos de secagem podem ser de forma natural como artificial, na secagem natural é usado o calor e raios solares que potencializa a secagem dos produtos agrícolas ao ar livre. Esse processo é bastante usado na secagem de café, cacau, feijão, milho e arroz pelos pequenos agricultores, que espalham a produção em terreiros. No entanto em grandes produções esse processo natural é desvantajoso, pois depende das condições climáticas para que o resultado seja eficiente. No processo artificial que é o mais usado existem duas modalidades de secagem os de baixa temperatura e os de alta temperatura, neste são usados secador de leito fixo, secador de fluxos cruzados, secador de fluxos concorrentes, secador de fluxos contracorrentes e secador de fluxos misto (SILVA, 2004).

Sulzbacher et al. (2010) explicam que o método de secagem de produtos agrícolas é uma das etapas mais importantes para se ter aproveitado de forma eficiente nas etapas finais de processamento e industrialização. Pois o papel da secagem é manter a qualidade das amêndoas ou sementes, no aspecto de manter os atributos físicos e nutricionais dos quais a indústria utilizará.

Para a determinação de curvas de secagem são utilizados modelos matemáticos, cujo princípio se fundamenta na secagem de sucessivas camadas delgadas do produto, possibilitando compreender e visualizar melhor o processo de secagem, representando satisfatoriamente a perda do teor de água do produto. Na literatura, encontram-se modelos teóricos, semi-teóricos e os empíricos, empregado no uso da análise da secagem em camada delgada de produtos (AFONSO JÚNIOR e CORRÊA, 1999).

Estudos apontam que os frutos de macaúba possuem elevado teor de umidade. Em regiões do estado do Mato Grosso do Sul, por exemplo, foram identificados frutos com 49,06% de teor de água em Campo Grande. No município de Corumbá os experimentos apontaram 63,00% de teor de água (Ciconini et al., 2013) e

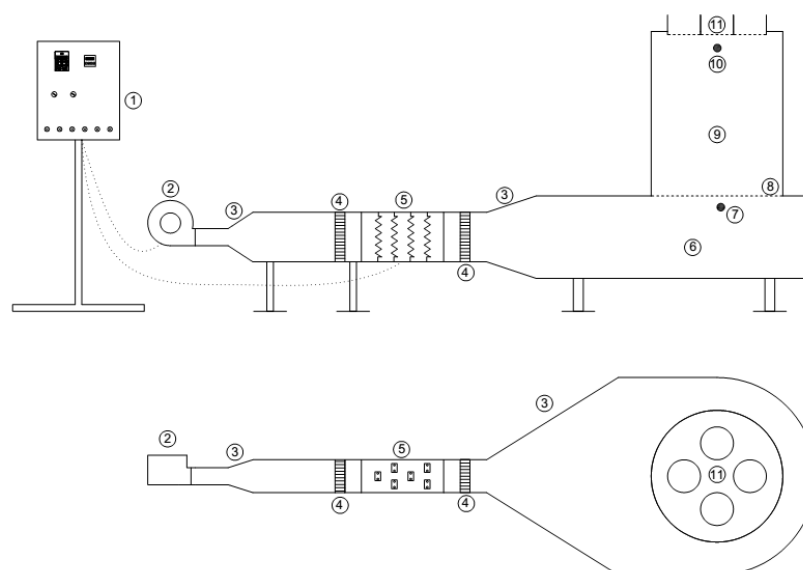
na região de Dourados as pesquisas experimentais identificaram 51,13% (Sanjinez-Argandoña e Chuba, 2011). Essa alta umidade dos frutos dificulta a extração do óleo da polpa. Nesse sentido a secagem dos frutos é fundamental para que a extração do óleo seja eficiente (Santos, 2014).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, da Faculdade de Ciências Agrárias (FCA), pertencente à Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), no Município de Dourados, MS.

Foram utilizados frutos de macaúba colhidos na região de Itahum, distrito de Dourados-MS. As coletas dos frutos foram feitas com instalações de rede ao redor da palmeira. Foram coletados apenas os frutos que atingiram a maturação e se soltavam dos cachos, sendo coletados a partir de visitas periódicas aos locais. Os frutos de macaúba, aparentemente sadios, foram recolhidos e colocados em sacos grandes de polipropileno de baixa densidade, em seguida levados, o mais rápido possível, a uma câmara fria situada no mesmo laboratório de condução do experimento, com temperatura do ar mantida em $4^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$, para evitar troca de água na forma de vapor entre os frutos e o ambiente externo, visando assim, manter e homogeneizar o teor de água do produto.

Para a realização da secagem do fruto de macaúba, foram utilizadas duas bandejas como repetições, onde os frutos eram colocados em duas camadas com massa aproximada de 870 gramas por bandeja, realizando o melhor acomodamento possível entre eles, diminuindo assim a porosidade. Os frutos eram escolhidos de forma aleatória e após a montagem das bandejas eram colocadas em um secador experimental (Figura 1).



Legenda:

1- Painel de controle de temperatura e fluxo de ar; 2- Ventilador centrífugo; 3- Expansões; 4- Homogeneizadores de ar; 5. Conjunto de resistências elétricas; 6- Plenum; 7- Ponto de medição de temperatura para secagem em camada espessa; 8- Fundo telado para secagem em camada espessa; 9- Câmara de secagem em camada espessa; 10- Ponto de medição de temperatura para secagem em camada delgada; 11- Conjunto de bandejas para secagem em camada delgada.

FIGURA 1. Secador experimental utilizado na secagem dos frutos de macaúba.

Foram utilizadas as temperaturas do ar de secagem (40, 50, 60, 70 e 80°C), em duas velocidades de ar de secagem (0,4 e 2,0 m s⁻¹). A redução do teor de água dos frutos foi acompanhada através de uma balança analítica com resolução de 0,01g pelo método gravimétrico ou de perda de massa. O tempo entre as leituras variou conforme a perda de água dos frutos de macaúba, evitando grandes diferenças de valores nos intervalos de amostragem. O teor de água inicial dos frutos apresentou em média 0,43 decimal b.s. e estes foram secados até atingirem teor de água final de 0,11 decimal b.s. A determinação dos teores de água inicial e final dos frutos de macaúba foi obtida pelo método gravimétrico em estufa com circulação de ar forçada, a 103 ± 1 °C, durante 72 h, em três repetições (HANAN et al. 1985).

A velocidade do ar de secagem foi aferida a partir de um termomômetro de pás rotativas, da marca Instrutherm, modelo TAD 500 , com precisão de ±0,1 m s⁻¹. O ajuste da velocidade do ar foi realizado através do inversor de frequência que adequava a rotação do motor de ventilação do secador experimental. E para aferir a temperatura do secador, com a finalidade de dar maior confiabilidade ao trabalho realizado, foram utilizados termômetros de mercúrio graduados de -10 à 210 °C.

A razão de umidade (RU) dos frutos de macaúba, utilizado por (Costa et al., 2011) durante a secagem nas diferentes condições de ar foi determinado por meio da seguinte equação:

$$RU = \frac{M_{\theta} - M_e}{M_i - M_e} \quad (1)$$

em que:

RU = razão de umidade do produto, adimensional;

M_{θ} = teor de água do produto em um determinado tempo, decimal
b.s.;

M_i = teor de água inicial do produto, decimal (b.s.).

M_e = teor de água em equilíbrio do produto, decimal (b.s.)

Segundo Doymaz (2003), em processos de secagem de cenouras em camadas, os valores da massa do teor de água em equilíbrio (M_e) são relativamente pequenos se comparados com os valores da massa do teor de água em um determinado tempo (M_{θ}) ou valores da massa do teor de água inicial do produto (M_i). Simplificando a equação para $RU = M_{\theta}/M_i$.

Modelos matemáticos tradicionalmente utilizados por vários pesquisadores para prever o fenômeno da secagem de produtos agrícolas foram ajustados aos dados observados neste trabalho (CORRÊA et al., 2007; MOHAPATRA e RAO, 2005; ERTEKIN e YALDIZ, 2004; LAHSANI et al., 2004; AKPINAR et al., 2003; MIDILLI et al., 2002). Na Tabela 1 apresentam-se os modelos matemáticos que foram utilizados neste trabalho.

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para estimar as curvas de secagem.

Designação do modelo	Modelo	
Page	$ru = \text{Exp}(-k \cdot \theta^n)$	(2)
Dois termos	$ru = a \cdot \text{Exp}(-k \cdot \theta) + b \cdot \text{Exp}(-g \cdot \theta)$	(3)
Aproximação da difusão	$ru = a \cdot \text{Exp}(-k \cdot \theta) + (1-a) \cdot \text{Exp}(-k \cdot b \cdot \theta)$	(4)
Henderson e Pabis modificado	$ru = a \cdot \text{Exp}(-k \cdot \theta) + b \cdot \text{Exp}(-g \cdot \theta) + c \cdot \text{Exp}(-h \cdot \theta)$	(5)
Midilli	$ru = a \cdot \text{Exp}(-k \cdot \theta^n) + b \cdot \theta$	(6)
Exponencial de dois termos	$ru = a \cdot \text{Exp}(-k \cdot \theta) + (1-a) \cdot \text{Exp}(-k \cdot a \cdot \theta)$	(7)
Logarítmica	$ru = a \cdot \text{Exp}(-k \cdot \theta) + c$	(8)
Thompson	$ru = \text{Exp}((-a - (a^2 + 4 \cdot b \cdot \theta)^{1/2}) / 2 \cdot b)$	(9)

em que:

θ = tempo de secagem, h;

k, k_0, k_1 = constantes de secagem, h^{-1} ;

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

A taxa de redução de água durante a secagem dos frutos de macaúba foi determinada pela Equação 10, conforme Corrêa et al. (2001), que conceituam a mesma como a quantidade de água que um determinado produto perde por unidade de matéria seca por unidade de tempo.

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

em que:

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

Ma_0 = massa de água total anterior, kg;

Ma_i = massa de água total atual, kg;

MS = massa de matéria seca, kg;

t_0 = tempo total de secagem anterior, h; e

t_i = tempo total de secagem atual, h.

O coeficiente de difusão efetivo para as diversas condições de secagem foi calculado utilizando o modelo baseado na teoria da difusão líquida, por meio da seguinte equação:

$$RU = \frac{M_\theta}{M_i} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp \left[-\frac{n^2 \pi^2 D_i \theta}{9} \left(\frac{3}{R_e} \right)^2 \right] \quad (11)$$

em que:

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

R_e = raio equivalente, m;

n = número de termos.

O raio equivalente utilizado no modelo da difusão efetivo é definido como o raio de uma esfera cujo volume é igual ao do fruto.

Para a determinação do raio equivalente fez-se a medição dos três eixos ortogonais dos frutos de macaúba, os quais são: comprimento (a), largura (b) e espessura (c), com auxílio de um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm, 50 frutos foram escolhidos aleatoriamente e medidos. O volume de fruto, considerado como um corpo esferoide triaxial, foi calculado com base nos diâmetros perpendiculares, utilizando a Equação 12, descrita por Mohsenin (1986).

$$V = \frac{\pi}{6} a b c \quad (12)$$

em que:

V = volume, mm^{-3} ;

a = comprimento, mm;

b = largura, mm;

c = espessura, mm.

Para avaliação do efeito da temperatura sobre o coeficiente de difusão efetivo, foi utilizada a equação 13, conhecida como Equação de Arrhenius.

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

em que:

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

- D_0 = fator pré-exponencial;
 E_a = energia de ativação, kJ mol^{-1} ;
 R = constante universal dos gases, $8,314 \text{ kJ kmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$;
 T_a = temperatura absoluta, K.

Todos os dados experimentais de razão de umidade foram submetidos à análise de regressão não linear e seleção do modelo matemático adequado para expressar a relação entre as variáveis estudadas. Para a construção dos gráficos foi utilizado o programa SigmaPlot 11.0 e para o ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais, foi utilizado o programa computacional STATISTICA 7.0. Para análise do grau de ajuste de cada modelo, foram consideradas as magnitudes do coeficiente de determinação ajustados (variância explicada), do erro médio relativo e desvio padrão da estimativa.

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

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

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

em que:

- n = número de observações experimentais;
 Y = valor observado experimentalmente;
 \hat{Y} = valor estimado pelo modelo;
 GLR = graus de liberdade do modelo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apenas os modelos Aproximação da difusão (4) e Henderson e Pabis modificado (5) apresentam o coeficiente de determinação inferior a 0,98. Segundo Kashaninejad et al. (2007) valores inferiores a 0,98 indicam uma representação insatisfatória destes modelos para o processo de secagem estudado. Na Temperatura de 60°C com velocidade 0,4 m s⁻¹ o valor apresentado do coeficiente de determinação foi de aproximadamente 0,86 para o modelo matemático Aproximação da difusão (4). Em temperatura de 80°C com velocidade 0,4 m s⁻¹, os valores de R² para os modelos Aproximação da difusão (4) e Henderson e Pabis modificado (5) foram de aproximadamente 0,96 e 0,97, respectivamente. Mohapatra e Rao (2005) relatam que apenas o uso do coeficiente de determinação como critério de avaliação para a seleção dos modelos de secagem, não constitui um bom parâmetro para representação do fenômeno de secagem, sendo necessária observar um conjunto de outros parâmetros estatísticos.

Analizando os valores de erro médio relativo na Tabela 2, os modelos Aproximação da difusão (4) e Henderson e Pabis modificado (5) apresentaram magnitudes superiores a 10%. Os valores do erro médio relativo indicam o desvio dos dados observados em relação a curva estimada pelo modelo matemático (KASHANINEJAD et al., 2007). Mohapatra & Rao (2005) consideram que os modelos que apresentam valores de erro médio relativo superior a 10% são impróprios para representar o processo.

Segundo Draper & Smith (1998) o desvio padrão da estimativa é a capacidade de um modelo descrever com fidelidade um determinado processo físico, sendo que quanto menor seu valor melhor será a qualidade da adequação do modelo em relação aos dados observados. Nota-se que os modelos Page (2) e Aproximação da difusão (4) em quase todas as temperaturas e velocidades do ar de secagem apresentaram valores do desvio padrão da estimativa mais elevados que os demais (Tabela 2).

TABELA 2. Parâmetros estatísticos obtidos na secagem dos frutos de macaúba.

Modelo	0,4 m s ⁻¹			2,0 m s ⁻¹		
	SE	P	R ²	SE	P	R ²
40 °C						
(2)	0,0153	2,5413	0,9979	0,0082	1,2940	0,9995
(3)	0,0016	0,1752	1,0000	0,0041	0,4524	0,9999
(4)	0,0380	6,3639	0,9870	0,0098	1,5341	0,9993
(5)	0,0018	0,2177	1,0000	0,0053	0,6425	0,9998
(6)	0,0084	1,4035	0,9994	0,0050	0,6655	0,9998
(7)	0,0023	0,2659	1,0000	0,0058	0,7171	0,9998
(8)	0,0014	0,2173	1,0000	0,0024	0,1694	1,0000
(9)	0,0009	0,1224	1,0000	0,0022	0,1638	1,0000
50 °C						
(2)	0,0171	2,9441	0,9978	0,0009	0,0983	1,0000
(3)	0,0016	0,2084	1,0000	0,0019	0,2018	1,0000
(4)	0,0444	7,7482	0,9847	0,0128	1,8821	0,9988
(5)	0,0027	0,3887	1,0000	0,0026	0,3250	1,0000
(6)	0,0090	1,5853	0,9994	0,0071	1,1614	0,9996
(7)	0,0021	0,2830	1,0000	0,0025	0,2874	1,0000
(8)	0,0025	0,3964	1,0000	0,0012	0,1581	1,0000
(9)	0,0013	0,1637	1,0000	0,0010	0,0935	1,0000
60 °C						
(2)	0,0142	2,4558	0,9984	0,0087	1,2310	0,9994
(3)	0,0029	0,3228	0,9999	0,0051	0,6016	0,9998
(4)	0,1297	26,4255	0,8600	0,0104	1,4688	0,9992
(5)	0,0028	0,3363	0,9999	0,0057	0,6976	0,9998
(6)	0,0081	1,4261	0,9995	0,0065	0,8902	0,9997
(7)	0,0028	0,3218	0,9999	0,0073	0,9470	0,9996
(8)	0,0032	0,3957	0,9999	0,0039	0,4131	0,9999
(9)	0,0030	0,3235	0,9999	0,0034	0,3238	0,9999
70 °C						
(2)	0,0107	1,76962	0,9992	0,00913	1,44865	0,99936
(3)	0,01985	3,12423	0,99762	0,00253	0,30574	0,99996
(4)	0,00651	0,98506	0,9997	0,00569	0,87591	0,99975
(5)	0,00273	0,39688	0,99995	0,00255	0,26641	0,99995
(6)	0,00623	0,93757	0,99973	0,00425	0,66343	0,99986
(7)	0,00198	0,27955	0,99997	0,00309	0,41753	0,99993
(8)	0,00203	0,28167	0,99998	0,0017	0,20606	0,99998
(9)	0,00216	0,27887	0,99998	0,00161	0,18052	0,99998
80 °C						
(2)	0,0089	1,4909	0,9995	0,0089	0,9955	0,9994
(3)	0,0132	2,1495	0,9989	0,0088	0,6518	0,9995
(4)	0,0742	12,3080	0,9618	0,0101	1,4437	0,9992
(5)	0,0646	10,4235	0,9729	0,0086	0,7206	0,9994
(6)	0,0060	0,9981	0,9998	0,0101	0,8732	0,9992
(7)	0,0016	0,2410	1,0000	0,0101	1,3545	0,9992
(8)	0,0018	0,2075	1,0000	0,0086	0,7291	0,9995
(9)	0,0015	0,1807	1,0000	0,0104	1,1401	0,9993

Levando em consideração todos os parâmetros estatísticos preestabelecidos, apenas os modelos Aproximação da difusão (4), Henderson e Pabis modificado (5) não puderam ser recomendados para representação da cinética de secagem de camada delgada dos frutos de macaúba. Sendo assim os modelos Page (2), Dois Termos (3),

Thompson (9), Midilli (6), Exponencial de dois termos (7) e Logarítmica (8) podem ser utilizados para descrever o processo de secagem do fruto de macaúba.

Dentre os modelos recomendados para representação da cinética de secagem em camada delgada do fruto de macaúba, o modelo de Midilli (6) foi o que melhor representou o processo de secagem, sua escolha também se deve a facilidade em sua aplicação e por apresentar operações matemáticas simples. Santana et al. (2015), concluíram que o modelo de Midilli (6) foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais de secagem de sementes de amendoim.

Na Figura 2 são apresentados, para todas as condições de temperatura e velocidade do ar de secagem, os valores observados e estimados, pelo modelo de Midilli, de razão de umidade para a secagem em camada delgada dos frutos de macaúba.

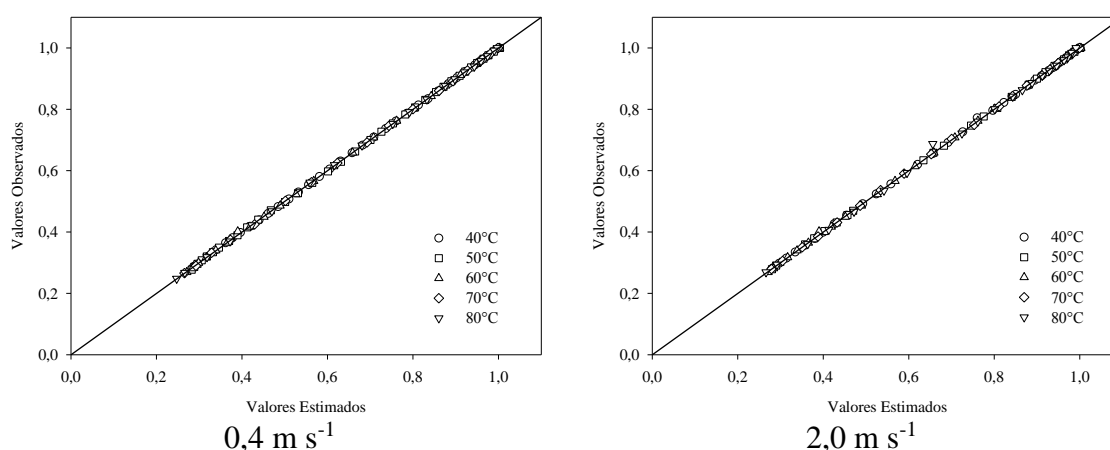


FIGURA 2. Valores de razão de umidade observados e estimados pelo modelo de Midilli para a secagem dos frutos de macaúba em camada delgada nas diferentes temperaturas e velocidades do ar.

Analisando a Figura 2, é possível observar as comparações entre os valores observados e os estimados, pelo modelo de Midilli, durante a secagem em camada delgada de frutos de macaúba. Notando o comportamento dos dados nestes gráficos, é possível reforçar a aplicabilidade do modelo de Midilli, devido à correspondência entre valores estimados e observados, acompanhando uma reta com inclinação de 45°.

As curvas de secagem em camada delgada de frutos de macaúba, válido para o modelo de Midilli, nas velocidades do ar de 0,4 e 2,0 m s⁻¹, e temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C estão apresentados nas Figuras 3 e 4. Fica demonstrado, pela

proximidade dos valores observados aos proporcionados pelo modelo de Midilli, o ajuste satisfatório deste modelo às condições de secagem estudadas neste trabalho.

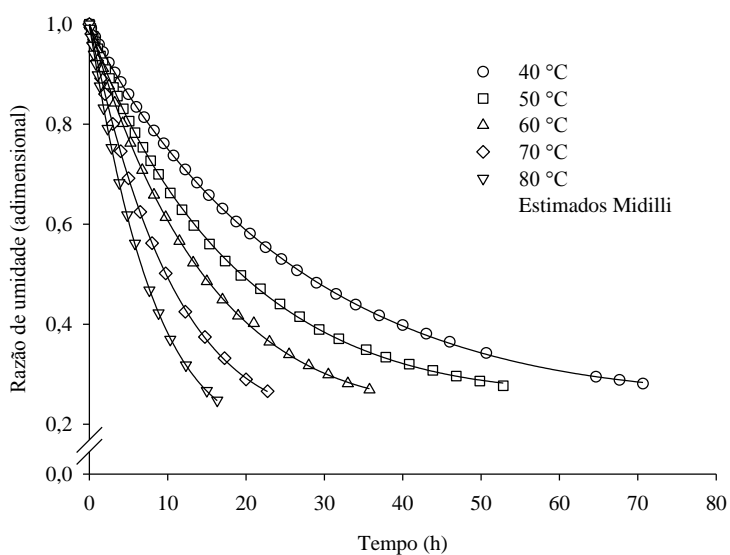


FIGURA 3. Valores de razão de umidade experimentais e estimados pelo modelo de Midilli para a secagem dos frutos de macaúba em camada delgada na velocidade do ar de $0,4 \text{ m s}^{-1}$.

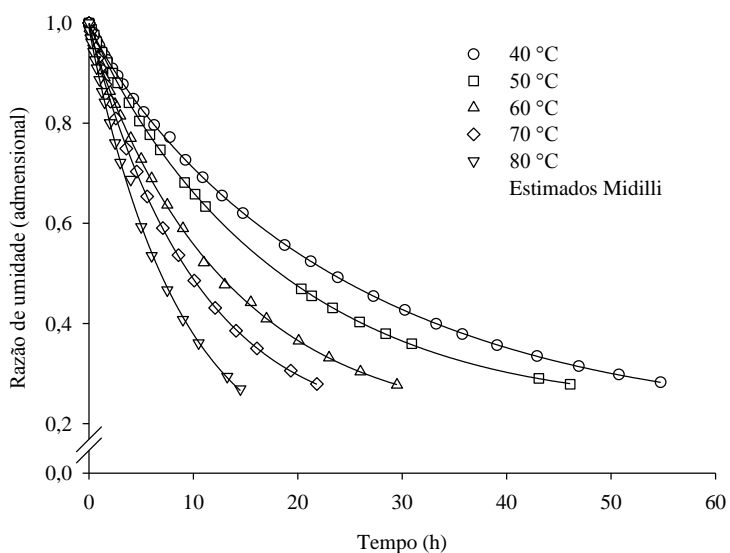


FIGURA 4. Valores de razão de umidade experimentais e estimados pelo modelo de Midilli para a secagem dos frutos de macaúba em camada delgada na velocidade do ar de $2,0 \text{ m s}^{-1}$.

Observando as Figuras 3 e 4, nota-se que o processo de secagem ocorreu no período de secagem a taxa decrescente, possivelmente relacionado com a maior

resistência a transferências de água no interior do produto, tornando a taxa de evaporação superficial superior à taxa de reposição de água na superfície do fruto de macaúba (KASHANINEJAD et al., 2007). Analisando ainda as Figuras 3 e 4 é possível observar que com o aumento da temperatura de secagem ocasionou uma redução no tempo necessário para que os frutos atingissem o mesmo teor de água. O aumento da velocidade do ar de secagem apresentou redução visível no tempo para as secagens dos frutos de macaúba.

As curvas de taxa de redução de água para as velocidades do ar de secagem de $0,4$ e $2,0 \text{ m s}^{-1}$, respectivamente, durante a secagem em camada delgada dos frutos de macaúba para as temperaturas de $40, 50, 60, 70$ e 80°C estão apresentadas na Figura 5.

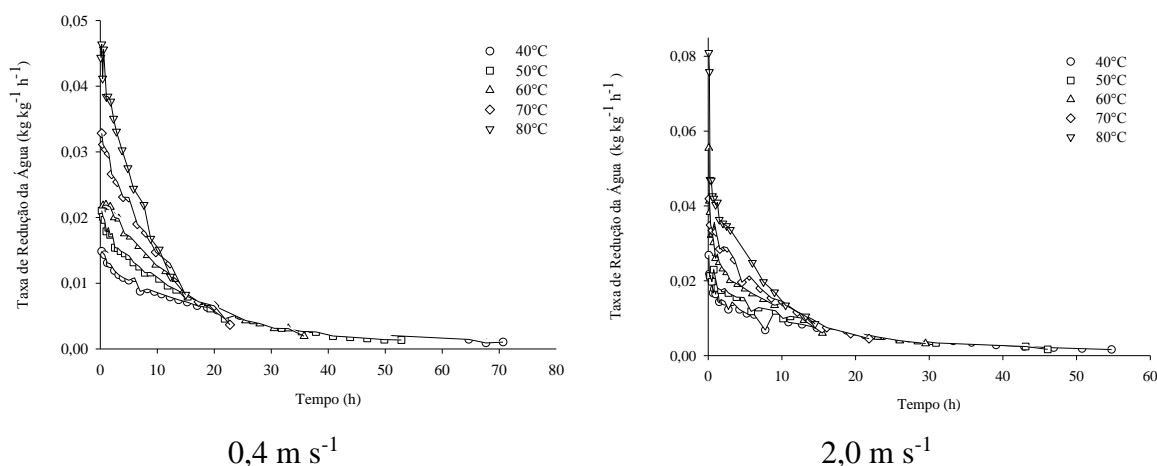


FIGURA 5. Taxa de redução de água para os frutos de macaúba durante o processo de secagem em camada delgada.

O aumento da temperatura do ar, para uma mesma velocidade do ar de secagem, gera uma maior taxa de redução de água (TRA) dos frutos de macaúba, sendo que a TRA diminui no decorrer da secagem conforme diminui o teor de água do produto, independentemente da velocidade de ar de secagem, porém quanto maior a temperatura, maiores são os valores de TRA, como se constata nas Figuras 5.

Ainda analisando as mesmas figuras determina-se que para uma mesma temperatura, as magnitudes da TRA no início da secagem aumentam conforme se eleva a velocidade do ar de secagem.

Analisando os resultados da Tabela 3, observa-se que os coeficientes “a” e “n” não apresentaram uma tendência clara em função do aumento da temperatura de

secagem. No entanto, a magnitude da constante de secagem “k” e “b” para o modelo de Midilli, aumentou com a elevação da temperatura do ar de secagem. O parâmetro “k”, que representa as condições externas, pode ser usado para caracterizar o efeito da temperatura e está relacionado com a difusão efetiva no processo de secagem no período decrescente (BABALIS e BELESSIOTIS, 2004).

TABELA 3. Parâmetros do modelo de Midilli para as diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem dos frutos de macaúba.

T °C	0,4 m s ⁻¹				2,0 m s ⁻¹			
	a	k	n	b	a	k	n	b
40	1,00057	0,03636	0,93778	0,00204	0,99825	0,04633	0,89678	0,00176
50	1,00339	0,05385	0,91631	0,00288	1,00141	0,05373	0,93056	0,00282
60	1,00255	0,05951	0,97467	0,00357	0,99562	0,07901	0,90762	0,00329
70	0,99895	0,07950	1,00568	0,00470	0,99943	0,09019	0,95392	0,00447
80	0,99725	0,10293	1,03505	0,00558	0,99125	0,11291	0,96714	0,00309

Na Tabela 4, são apresentados os valores médios do coeficiente de difusão efetivo determinados durante a secagem dos frutos de macaúba, respectivamente, para diferentes condições de temperatura e velocidade do ar de secagem, considerando o raio equivalente inicial de 16 mm.

TABELA 4. Coeficiente de difusão efetivo (D) ajustado as diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem em camada delgada dos frutos de macaúba.

Temperatura do ar °C	Velocidade do ar	
	0,4 m s ⁻¹	2,0 m s ⁻¹
	(Di . 10 ⁻¹⁰ m ² s ⁻¹)	
40	0,70606	0,85153
50	1,00360	1,04914
60	1,42926	1,56750
70	2,03269	2,01561
80	2,77859	2,76830

Os valores do coeficiente de difusão efetivo dos frutos de macaúba observados na Tabela 4 aumentam com o incremento da temperatura para a mesma velocidade de ar de secagem. Segundo Goneli et al. (2009) havendo um aumento da temperatura a viscosidade da água diminui, sendo a viscosidade uma medida da resistência do fluido ao escoamento, a mudança dessa propriedade torna-se propício o

deslocamento da água do interior para a superfície do produto. O aumento da temperatura também causa o aumento do nível das vibrações moleculares da água, colaborando para que a difusão ocorra mais rapidamente.

As variações entre os valores do coeficiente de difusão efetivo encontrada nos frutos de macaúba no presente trabalho, ficaram entre $0,70606$ e $2,76830 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ para as temperaturas e velocidades do ar de $40 \text{ }^\circ\text{C} - 0,4 \text{ m s}^{-1}$ e $80 \text{ }^\circ\text{C} - 2,0 \text{ m s}^{-1}$, respectivamente. Os valores do coeficiente de difusão efetivo calculados para os frutos de macaúba, estão coerentes com os relatados na literatura para secagem de produtos agrícolas que, de acordo com Madamba et al. (1996), apresentam-se na ordem de 10^{-9} a $10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

Na Figura 6 são apresentados os valores de $\text{Ln}(D)$ em função do inverso da temperatura absoluta obtido para os frutos de macaúba nas diferentes condições do ar de secagem.

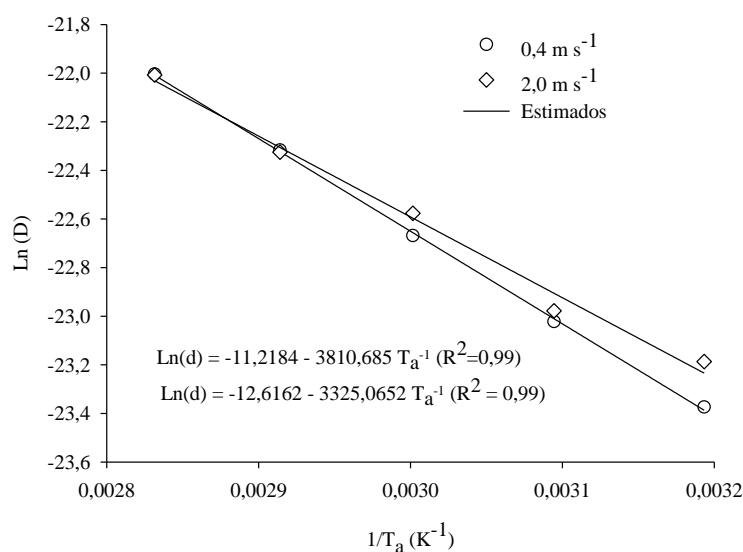


FIGURA 6. Representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão efetivo em função das diferentes temperaturas e para as diferentes velocidades do ar durante a secagem dos frutos de macaúba.

A dependência dos valores do coeficiente de difusão efetivo aumentou linearmente com relação ao incremento da temperatura (Figura 7), comportamento similar foi observado por Resende et al. (2014). A inclinação da curva da interpretação de Arrhenius fornece a relação E_a/R , enquanto a sua interseção com o eixo das ordenadas indica o valor de D_0 . As Equações 16 e 17 apresentam os coeficientes da

equação de Arrhenius ajustadas para o coeficiente de difusão efetivo dos frutos de macaúba para as velocidades do ar de 0,4 e 2,0 m s⁻¹, respectivamente, calculados de acordo com a Equação 13.

$$D_i = 1,34249 \times 10^{-5} \exp\left(\frac{31,682}{R T_a}\right) \quad (16)$$

$$D_i = 3,31783 \times 10^{-6} \exp\left(\frac{27,6446}{R T_a}\right) \quad (17)$$

A energia de ativação para difusão da água durante o processo de secagem dos frutos de macaúba foi de 31,682 e 27,6446 kJ mol⁻¹ (Equação 16 e 17) para as velocidades do ar de secagem 0,4 e 2,0 m s⁻¹ respectivamente. Esse mesmo comportamento da redução da energia de ativação com o aumento da velocidade do ar de secagem foi observado em frutos de azeitona russa (MAYVAN et al., 2012). Segundo Kashaninejad et al. (2007), é necessário que se ultrapasse a energia de ativação para que o processo de difusão possa ser desencadeado no produto. Os valores de energia de ativação calculada para os frutos de macaúba foram próximos aos de alguns outros produtos oleaginosos, como canola 28,47 kJ mol⁻¹ (DUC et al., 2011), nabo forrageiro 24,78 kJ mol⁻¹ (SOUSA et al., 2011). Valores de energia de ativação para produtos agrícolas variam de 12,7 a 110 kJ mol⁻¹ (ZOGZAS et al. 1996), logo os valores encontrados no presente trabalho se encontram nessa faixa.

5. CONCLUSÃO

Os modelos matemáticos, Page Dois Termos, Thompson, Midilli, Exponencial de dois termos e Logarítmica apresentaram melhor ajuste.

O aumento da velocidade do ar de secagem para as diferentes temperaturas promoveu redução no tempo de secagem dos frutos de macaúba.

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

O aumento da velocidade do ar de secagem fez com que reduzisse a magnitude da energia de ativação para secagem de frutos de macaúba.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AKPINAR, E.K.; BICER, Y.; YILDIZ, C. Thin layer drying of red pepper. **Journal of Food Engineering**, v.59, p.99-104, 2003.

AREU, F.R.; VIEIRA, J.N.S.; RAMOS, S.Y. **Programa Nacional para a Produção e Uso do Biodiesel Diretrizes, desafios e perspectivas**. Ano XV, n.3, Jul./Ago./Set. 2006.

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

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Governo quer ampliar produção de macaúba no país**. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/comunicacao/noticias/2013/11/governo-quer-ampliar-producao-de-macauba-no-pais>> Acesso em abril de 2016.

BRASIL. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. **Brasil em Desenvolvimento**. Estado, planejamento e políticas públicas. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Disponível em <http://semanaculturaviva.cultura.gov.br/linhadotempo/pdf/publicacoes/SPPC/Brasil_Deenvolvimento_Estado_Planejamento_v2_2009.pdf> Acesso em abril de 2016.

CANEPA, D. L.; **Alternativas de constituição da cadeia produtiva do Biodiesel na perspectiva dos Centros de P&D**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios, 2004. (Dissertação de Mestrado).

CARLESSO, V. O.; BERBERT, P. A.; SILVA, R. F. da; VIANNA, A. P.; DETMANN, E.; DIONELLO, R. G. Secagem de sementes de maracujá em camada delgada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.27, p.444-448, 2005.

CICONINI, G. **Caracterização de frutos e óleo de polpa de macaúba dos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia). Universidade Católica Dom Bosco, 128p., 2012.

CICONINI, G.; FAVARO, S. P.; ROSCOE, R.; MIRANDA, C.H.B.; TAPETI, C.F.; MIYAHIRA, M. A. M.; BEARARI, L.; GALVANI, F.; BORSATO, A. V.; COLNAGO, L.A.; NAKA, M. H. Biometry and oil contents of *Acrocomia aculeata* fruits from the Cerrados and Pantanal biomes in Mato Grosso do Sul, Brazil. **Industrial Crops and Products**, n.45, p.208-214, 2013.

COIMBRA, M. C.; JORGE, N. Characterization of the Pulp and Kernel Oils from *Syagrus oleracea*, *Syagrus romanzoffiana*, and *Acrocomia aculeata*. **Journal of food science**, v.76, n. 8, p. C1156-C1161, 2011.

- CORRÊA, P.C.; MACHADO, P. F.; ANDRADE, E. T. Cinética de secagem e qualidade de grãos de milho pipoca. **Ciência e Agrotécologia**, v.25, n.1, p.134-142, 2001.
- CORRÊA, P.C.; RESENDE, O.; MARTINAZZO, A.P.; GONELI, A.L.D.; BOTELHO, F.M. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. **Engenharia Agrícola**, v.27, p.501-507, 2007.
- COSTA, M. L.; RESENDE, O.; SOUSA, 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** v.15, n.10, p.1089–1096, 2011.
- DIETRICH, Márcia. Biodiesel, já nos postos. **Revista Lida Agro-Negócios**, v. 6, n.4, p. 10-15, junho de 2006.
- DOYMAZ, I. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. **Journal of Food Engineering**. v.61, p. 359-364, 2004.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 3^{ed}. New York: John Wiley & Sons, 1998. 712p.
- DUC, L.A.; HAN, J.W.; KEUM, D.H. Thin layer drying characteristics of rapeseed (*Brassica napus* L.). **Journal of Stored Products Research**, v.47, n.1, p.32-38, 2011.
- ERTEKIN, C.; YALDIZ, O. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. **Journal of Food Engineering**, v.63, p.349-359, 2004.
- GENOVESE, A.L.; UDAETA, M.E.M.; GALVAO, L.C.R. Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo. In **Proceedings of the 6.Encontro de Energia no Meio Rural**, Campinas (SP), 2006.
- GONELI, A.L.D.; CORRÊA, P.C.; AFONSO JÚNIOR, P.C.; OLIVEIRA, G.H.H. Cinética de secagem dos grãos de café descascados em camada delgada. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Especial Café - Viçosa - MG, n.11, p.64-73, 2009.
- HANAN, R.; PURCHWITE, M.; ROSENTERER, E. Eds. **ASAE Standards**. ASAE, St. Joseph, 1985. 533p.
- HIANE, P.; RAMOS FILHO, M.; RAMOS, M.; MACEDO, M. Bocaiúva, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. pulp and kernel oils: characterization and fatty acid composition. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 8, n. 3, p. 256-259, 2005.
- JÚNIOR, P.C.A.; CORRÊA, P.C. Comparação de modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.3, p.349-353, 1999.
- JUNQUEIRA, N. **Macaúba é matéria-prima promissora para biodiesel**. BRASIL/EMBRAPA, 9 de dezembro de 2014. Disponível em <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2329636/macauba-e-materia-prima-promissora-para-biodiesel>> Acesso em abril de 2016.

- KASHANINEJAD, M.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI, A.; TABIL, L.G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, v.78, n.1, p.98-108, 2007.
- LAHSASNI, S.; KOUHILA, M.; MAHROUZ, M.; JAOUHARI, J.T. Drying kinetics of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*). **Journal of Food Engineering**, v.61, p.173-179, 2004.
- LEBID, T.; HENKS, J. A. Óleo de dendê na produção de biodiesel: um estudo de caso das vantagens e desvantagens econômica, ecológica e social da cultura dessa oleaginosa para a produção de biodiesel. **Revista Gestão Sustentável Ambiental**, Florianópolis, v. 4, n. 1, p. 392- 415, abr./set.2015.
- LORENZI, H. & MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais do Brasil: nativas e exóticas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002.
- MADAMBA, P.S.; DRISCOLL, R.H.; BUCKLE, K.A. The Thin-layer Drying Characteristics of Garlic Slices. **Journal of Food Engineering**, v.29, n.1, p.75-97, 1996.
- MATTEI, L. **Programa Nacional para Produção e Uso do Biodiesel no Brasil (PNPB): trajetória, situação atual e desafios**. Documento técnico científico, v.41, n.4, p.731-740, outubro – dezembro, 2010.
- MAYVAN, A.A.; MOTEVALI, A.; GHOBADIAN, B.; KHOSHTAGHAZA, M.H.; MINAEI, S. Effect of Air Velocity and Temperature on Energy and Effective Moisture Diffusivity for Russian Olive (*Elaeagnus gastifolia* L.) in Thin-Layer Drying. **Iranian Journal of Chemistry & Chemical Engineering**, v.31, n.1, p.65-69. 2012.
- MENANI, R. O fascínio pelo combustível limpo. **Revista Biodiesel & Agronegócios**, v.1, n.1, p.16-19, novembro de 2005.
- MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A. New model for single-layer drying. **Drying Technology**, v.20, p.1503–1513, 2002.
- MOHAPATRA, D.; RAO, P.S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, v.66, n.4, p.513-518, 2005.
- MOSHENIN, N.N. **Physical properties of plant and animal materials**. New York: Gordon and Breach Publishers, p.841, 1986.
- NUNES, A.A. **Óleo da polpa da macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd.) com alta qualidade: Processo de refino e Termoestabilidade**. 2013, 126p. Dissertação (Mestrado em biotecnologia) – Universidade Católica Dom Bosco, UCDB, Campo Grande, 2013.
- RESENDE, O.; OLIVEIRA, D.E.C.; CHAVES, T.H.; FERREIRA, J.; BESSA, V. Kinetics and thermodynamic properties of the drying process of sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) grains. **African Journal of Agricultural Research**, v.9, n.32, p.2453-2462, 2014.
- ROBRIGUES, H. S. **Obtenção de ésteres metílicos e etílicos, por reações de transesterificação, a partir do óleo da palmeira Latino Americana macaúba –**

Acrocomia aculeata. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo. Ribeirão Preto, São Paulo, 2007.

SANJINEZ-ARGANDOÑA, E.J.; CHUBA, C.A. Caracterização biométrica, física e química de frutos da palmeira bocaiuva *Acrocomia aculeata* (Jacq) Lodd. **Revista Brasileira de Fruticultura**, vol.33, n.3, pp. 1023-1028. ISSN 0100-2945, 2011.

SANTANA, E. B; VALENTE, M. C. C. ; BARRETO, H. C. ; ARAUJO, R. C. S. ; COSTA, T. F. ; Faria, L.J.G ; Costa, C.M.L. . Influência da Secagem sobre Parâmetros Oleo químicos de Sementes de Amendoim (*Arachis Hypogaea* L.). In: 14 Encontro de Profissionais da Química da Amazônica, 2015, Belém. **Anais do 14 Encontro de Profissionais da Química da Amazônica**, 2015. p. 721-729.

SANTOS, G.P. **Metodologia de superfície de resposta aplicada à secagem de frutos de macaúba para obtenção de óleo de polpa de alta qualidade**. Dissertação de Mestrado. Universidade Católica Dom Bosco. Campo Grande (MS), 2014.

SILVA, L.C. Secagem de grãos. **Revista Grãos Brasil da Semente ao Consumo**, Ano III, n.XIV,p.10-14, Maio de 2004.

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

SULZBACHER, A.L.; GOLTZ, V.; VILLELA, F.A. Procedimentos Operacionais na Secagem com Alta Temperatura. **SEED News – Revista Internacional de Sementes**, Ano XIV, n.6, p.1, reportagem de capa do mês nov/dez, 2010.

XAVIER, Y.M.A.; GUIMARÃES, P.B.V. **O direito das energias renováveis**. Fundação Konrad Adenauer. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2010.

YILBAS, B.S.; HUSSAIN, M.M.; DINCER, I. Heat and moisture diffusion in slab products to convective boundary condition. **Heat and Mass Transfer**, v.39, p.471–476, 2003.

ZOGZAS, N.P.; MAROULIS, Z.B.; MARINOS-KOURIS, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. **Drying Technology**, v.14, n.10, p.2225-2253, 1996.