

MARCELA SILVA CARVALHO

**CINÉTICA DE SECAGEM, CONSERVAÇÃO E PROPRIEDADES FÍSICO-
QUÍMICAS DE AMÊNDOAS DE MACAÚBA**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

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

T

C331c
2018

Carvalho, Marcela Silva, 1988-
Cinética de secagem, conservação e propriedades
físico-químicas de amêndoas de macaúba / Marcela Silva
Carvalho. – Viçosa, MG, 2018.
xii, 74 f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Paulo César Corrêa.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f.71-73.

1. Óleo de palmeira - Armazenamento. 2. Óleo de palmeira
- Conservação. 3. Macaúba - Fisiologia pós-colheita. 4. Macaúba
- Secagem. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Engenharia Agrícola. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed.633.85168

MARCELA SILVA CARVALHO

**CINÉTICA DE SECAGEM, CONSERVAÇÃO E PROPRIEDADES FÍSICO-
QUÍMICAS DE AMÊNDOAS DE MACAÚBA**

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

Adalberto Hipólito de Sousa

Juliana Lobo Paes

Leonardo Duarte Pimentel
(Coorientador)

Paulo Roberto Cecon
(Coorientador)

Paulo Cesar Corrêa
(Orientador)

"Elogie em público e corrija em particular, um líder corrige sem ofender e orienta sem humilhar".

Mario Sergio Cortella

DEDICO

Mais uma vez e porque não dizer SEMPRE:
à meus queridos e estimados pais Teodomiro e Nenilce,
os quais são meus exemplos de vida. Amo vocês!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por sempre está guiando meu caminho, por me conceder saúde e sabedoria, disposição e alegria de viver e por ter me dado mais uma conquista na vida.

Aos meus pais, Teodomiro (painho) e Nenilce (mainha), por sempre me apoiarem nas escolhas que fiz me dando conselhos, e meus queridos irmãos: Marquinhos, que mesmo a distância nesses últimos anos, sempre sabe a hora de me dá conselhos e me apoiar, a Marta (pelas companhias durante as madrugada) e Marina que sempre presente esteve ao meu lado, nas horas boas e ruins, e por todo amor, carinho, confiança e apoio incondicionais. A minha amada afilhada/sobrinha pelo carinho e momentos divertidos, e por mesmo pequenina ter passado algumas madrugadas fazendo companhia a madrinha no laboratório. Como eu AMO VOCÊS.

Ao meu esposo Gutierres Nelson Silva pela confiança, paciência e (e como teve que ter paciência), e principalmente incentivo e por toda ajuda no desenvolvimento desse trabalho, você foi essencial, me dando forças. Seu companheirismo foi fundamental para levar adiante esta jornada.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), pela oportunidade de desenvolver este trabalho.

À FAPEMIG pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Professor Paulo Cesar Corrêa pela orientação, confiança, ensinamentos e oportunidades concedidas. Tenho muito a agradecer.

Ao Professor Paulo Roberto Cecon pela coorientação e pelas valiosas contribuições no desenvolvimento deste trabalho e principalmente pela paciência.

Aos Professores José Antônio Grossi e Leonardo Pimentel pela coorientação, pelas ideias e contribuições nesse trabalho.

Aos Professores Juliana Paes e Adalberto Hipólito por terem aceitado a participar da banca, contribuindo nesse trabalho.

Aos colegas de laboratório Cris, Juliana, Renata e Pedro sempre bem humorados, fazendo com que o trabalho se tornasse menos árduo. A vocês, sou muito grata pela colaboração.

Ao colega Samuel do Laboratório de Biotecnologia e Pós-Colheita de Macaúba do Departamento de Fitotecnia por toda ajuda desde a colheita até a realização das análises,

Aos Colegas do CENTREINAR, Fernanda, Claudinha, Magela e Professor Tetuo pelo apoio e incentivo.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA), campus Caxias/MA pela compreensão e liberação para conclusão da minha pesquisa de doutorado, e a todos colegas do mesmo.

Aos amigos do VIPs pelo apoio, incentivo e amizade ao longo dos últimos anos de convivência, tornando a vida aqui mais alegre e divertida. A vocês o meu eterno carinho e gratidão. Especialmente a minha grande amiga Lívia.

A minha grande amiga/madrinha/afilhada Mariane Ávila que a pós graduação me presenteou, agradeço toda a força e incentivo nos momentos de desespero, meu muito obrigada.

A todos que de um modo geral, direta ou indiretamente, contribuíram para realização deste trabalho e para minha formação acadêmica o meu MUITO OBRIGADA!

BIOGRAFIA

Marcela Silva Carvalho, filha de Teodomiro da Silva Carvalho e Nenilce da Cunha Silva, nasceu em Eunápolis, Bahia, em 07 de janeiro de 1988.

Em março de 2007 iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa e graduou-se Engenheira Agrônoma em janeiro de 2012. Em 21 de novembro do mesmo ano ingressou no curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, na Área de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, da referida Universidade sob orientação do Professor Paulo Cesar Corrêa, e no dia 21 de fevereiro de 2014 defendeu sua dissertação.

Em março de 2014 iniciou o doutorado em Engenharia Agrícola, na Área de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas na Universidade Federal de Viçosa.

SUMÁRIO

RESUMO.....	ix
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	4
CAPITULO 1 – Cinética e modelagem de secagem de amêndoas de macaúba.....	7
1. RESUMO.....	7
2. INTRODUÇÃO.....	8
3. MATERIAL E METODOS.....	10
3.1 <i>Matéria-prima</i>	10
3.2 <i>Secagem</i>	11
3.3 <i>Análise estatística</i>	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
4.1 <i>Teor de água</i>	13
4.2 <i>Curva de secagem</i>	14
4.3 <i>Modelagem matemática</i>	16
5. CONCLUSÃO.....	20
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20
CAPITULO 2 – Características físico-químicas de amêndoas de macaúba durante o armazenamento, após secagem em diferentes temperaturas.....	24
1. RESUMO.....	24
2. INTRODUÇÃO.....	25
3. MATERIAL E METODOS.....	27
3.1 <i>Matéria-prima</i>	27
3.2 <i>Caracterização físico-química da amêndoa da macaúba após a secagem</i>	28
3.2.1 <i>Teor de água</i>	28
3.2.2 <i>Secagem</i>	28
3.2.3 <i>Teor de óleo</i>	29
3.2.4 <i>Índice de acidez</i>	30
3.2.5 <i>Estabilidade oxidativa</i>	31
3.2.6 <i>Atividade de água (Aw)</i>	31
3.2.7 <i>Cor</i>	32
3.3 <i>Delineamento experimental e análises estatísticas</i>	32

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4.1. Estabilidade oxidativa do óleo da amêndoa (EO).....	32
4.2 Índice de acidez no óleo da amêndoa (IA).....	35
4.3 Teor de óleo na amêndoa (TO).....	38
4.4 Atividade de água no óleo (AA).....	40
4.5. Cor do óleo da amêndoa (CO).....	42
5. CONCLUSÃO.....	47
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
CAPITULO 3 – Propriedades físicas das amêndoas de macaúba submetidas a diferentes temperaturas de secagem.....	
	51
1. RESUMO.....	51
2. INTRODUÇÃO.....	52
3. MATERIAL E METODOS.....	54
3.1 Matéria-prima.....	55
3.2 Secagem.....	55
3.3 Caracterização física da amêndoa da macaúba.....	56
3.3.1 Forma e Tamanho.....	56
3.3.2 Massa Específica Aparente (ρ_a) e Unitária (ρ_u).....	58
3.3.3 Porosidade Total (ϵ).....	58
3.3.4 Índice de Contração Volumétrica Unitária (Ψ).....	59
3.4 Análise estatística.....	60
4 RESULTADOS E DISCURSÃO.....	60
4.1. Análise da forma das amêndoas de macaúba.....	60
4.1.1. Diâmetro geométrico.....	60
4.1.2. Esfericidade.....	62
4.1.3. Circularidade.....	63
4.1.4. Área projetada e área superficial.....	64
4.2. Análise da massa específica aparente e unitária.....	67
4.3. Análise da porosidade total.....	69
5. CONCLUSÃO.....	70
6. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.....	71
CONCLUSÃO GERAL.....	74

RESUMO

CARVALHO, Marcela Silva, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2018. **Cinética de secagem, conservação e propriedades físico-químicas de amêndoas de macaúba.** Orientador: Paulo Cesar Corrêa. Coorientadores: José Antônio Saraiva Grossi, Leonardo Duarte Pimentel e Paulo Roberto Cecon.

A macaúba (*Acrocomia aculeata*) produz óleo na amêndoa de excelente qualidade, o qual pode ser usado nas indústrias de alimentos, cosméticos e biocombustíveis. Durante o período pós-colheita, amêndoa de macaúba pode apresentar diversas transformações físicas e químicas que são favoráveis para o desenvolvimento de microrganismos e, conseqüentemente, a degradação do óleo. Nesse contexto, é importante adotar estratégias de armazenamento que garantam a qualidade da amêndoa armazenada e seu óleo. Diante do exposto, objetivou-se com este estudo investigar a cinética de secagem, o efeito da secagem na conservação do óleo da amêndoa e avaliar a influência do teor de água e temperatura de secagem sobre as propriedades físicas da amêndoa de macaúba. O estudo foi dividido em três etapas. Na primeira etapa, analisou-se à cinética de secagem e modelagem dos dados da secagem de amêndoa de macaúba em diferentes temperaturas (40, 50 e 60 °C). O processo de secagem ocorreu após 20 dias de armazenamento dos frutos. O incremento da temperatura de secagem ocasionou redução no tempo de secagem. O menor tempo de secagem (34,08 h) até atingir a umidade de equilíbrio foi observado na temperatura de 60 °C. Indicou-se os modelos Aproximação de Difusão, Midilli, Page e Page Modificado como os mais adequados para descrever o fenômeno de secagem de amêndoas de macaúba. Na segunda etapa, amêndoas de macaúba foram secas na temperatura de secagem foram de 40, 50 e 60 °C. O processo de secagem das amêndoas ocorreu em um secador de cabine com convecção forçada de ar aquecido. Após o processo de secagem, as amêndoas foram armazenadas durante 0, 60, 120, 240 e 360 dias. O processo de secagem permitiu o armazenamento eficiente da macaúba em baixos níveis de acidez. Os valores médios de teor de óleo não sofreram alterações significativas, independentemente do tratamento utilizado, ao longo do armazenamento. Secagem na temperatura de 60 °C preservou por um maior período a estabilidade oxidativa do óleo da amêndoa. Na terceira etapa, avaliou-se a influência do teor de água e temperatura de secagem sobre as propriedades físicas da amêndoa de macaúba. A secagem das amêndoas de macaúba ocorreu nas seguintes temperaturas de secagem: 60, 70, 80 e 90 °C e teores de água: 4,3; 5,3; 6,0; 7,0 e 8,9%. A redução do

teor de água de amêndoa de macaúba proporcionou aumento no diâmetro geométrico, na área projetada e superficial e redução na circularidade. O aumento na temperatura de secagem de amêndoa de macaúba proporcionou redução no diâmetro geométrico, esfericidade, circularidade, área projetada e superficial. Conclui-se que a técnica de secagem durante o armazenamento pode tornar-se uma alternativa na preservação do óleo de amêndoa de macaúba. Os dados de cinética de secagem, bem como de propriedades físicas poderão subsidiar o dimensionamento de equipamentos para as principais operações pós-colheita de amêndoas de macaúba.

ABSTRACT

CARVALHO, Marcela Silva, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2018. **Kinetics of drying, conservation and physical-chemical properties of macaúba almonds.** Adviser: Paulo Cesar Corrêa. Co-advisers: José Antônio Saraiva Grossi, Leonardo Duarte Pimentel and Paulo Roberto Cecon.

Macauba (*Acrocomia aculeata*) produces excellent quality almond oil, which can be used in the food, cosmetics and biofuel industries. During the post-harvest period, macaúba almonds can exhibit various physical and chemical transformations that are favorable for the development of microorganisms and, consequently, the degradation of the oil. In this context, it is important to adopt storage strategies that ensure the quality of the stored almond and its oil. Therefore, the objective of this study was to investigate the kinetics of drying, the effect of drying on the conservation of almond oil and to evaluate the influence of water content and drying temperature on the physical properties of macaúba almond. The study was divided into three stages. In the first stage, the kinetics of drying and modeling of macaúba almond at different temperatures (40, 50 and 60 ° C) were analyzed. The drying process occurred after 20 days of fruit storage. The increase of the drying temperature caused a reduction in drying time. The lowest drying time (34.08 h) until reaching equilibrium moisture was observed at the temperature of 60 ° C. The models Diffusion Approximation, Midilli, Page and Page Modified were indicated as the most suitable to describe the phenomenon of drying of macaúba almonds. In the second stage, macauba almonds dried at the drying temperature were 40, 50 and 60 ° C. The process of drying the almonds occurred in a cabin dryer with forced convection of heated air. After the drying process, the almonds were stored for 0, 60, 120, 240 and 360 days. The drying process allowed the efficient storage of macauba at low levels of acidity. The mean values of oil content did not change significantly, regardless of the treatment used, throughout the storage. Drying at the temperature of 60 ° C preserved for a longer period the oxidative stability of the almond oil. In the third step, the influence of water content and drying temperature on the physical properties of macaúba almond was evaluated. Drying of the macaúba almonds occurred at the following drying temperatures: 60, 70, 80 and 90 ° C and water contents: 4.3; 5.3; 6.0; 7.0 and 8.9%. The reduction of the water content of macaúba almond provided increase in the geometric diameter, in the projected and superficial area and reduction in the circularity. The increase in the macaúba almond drying

temperature provided a reduction in the geometric diameter, sphericity, circularity, projected and superficial area. It is concluded that the drying technique during storage may become an alternative in the preservation of macaúba almond oil. The drying kinetics data, as well as physical properties, may support the sizing of equipment for the main post-harvest operations of macaúba almonds.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Os óleos vegetais têm sido utilizados como fonte de inúmeros produtos, seja como biocombustíveis, na indústria energética, na indústria alimentícia, ou na indústria de cosméticos. No Brasil, em que predomina clima tropical e potencial em irrigação, possui facilidade no crescimento de diversas espécies de alto rendimento em óleo. Entre elas, está a macaúba (*Acrocomia aculeata*), também conhecida como bocaiuva, uma palmeira arborescente perene, frutífera, tipicamente brasileira e com ampla distribuição geográfica. Da macaúba são extraídos dois óleos, o óleo de polpa e o óleo de amêndoa.

Segundo Silva (2009), a macaúba possui ampla utilidade, e tem despertado interesse socioeconômico por sua capacidade em produção de óleo vegetal. Contudo, também são relatados usos alimentícios, de importância ambiental e na indústria de produtos manufaturados, como fármacos, cosméticos, resinas, lubrificantes, entre outros.

A escolha da macaúba como cultura para servir à indústria de óleo é justificada pela alta produtividade de óleo por hectare, sua adaptabilidade a regiões com restrições hídricas em certa época do ano, por ser uma cultura perene e nativa e seu cultivo ser considerado para reflorestamento e recuperação de áreas degradadas, havendo também a possibilidade de consórcio com pecuária, gramíneas e leguminosas, e seus frutos podem ser completamente aproveitados (CAMPOS et al., 2008). A produção de óleo dessa palmeira pode gerar cerca de $5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (NAVARRO-DÍAZ et al., 2014), sendo assim valores próximo ao índices de produtividade semelhantes à palma (*Elaeis guineenses*). O fruto é constituído pela casca fibrosa (epicarpo), polpa oleaginosa (mesocarpo) e uma castanha que apresenta um endocarpo bastante rígido, pétreo, e amêndoa/semente rica em óleo.

Segundo Mota et al. (2011), o óleo extraído da polpa da macaúba possui elevado teor de ácidos graxos insaturados o que lhe confere estabilidade, sendo portanto indicado para a produção de biodiesel. No entanto, o óleo extraído da amêndoa é composto por ácidos graxos de cadeia curta, onde os principais ácidos graxos encontrados são: caprílico (C8), cáprico (C10), láurico (C12) e mirístico (C14), juntos compõem entre 56% e 71%, de todo o óleo da amêndoa.

O óleo extraído da amêndoa da macaúba apresenta um alto teor de ácidos graxos saturados que varia entre 71,2% e 84,6%, predominando o ácido láurico (C12) que varia entre 39% e 59% do conteúdo total de ácidos graxos da amêndoa (SILVEIRA, 2014). A estabilidade do ácido láurico e sua consistência cremosa conferem ao óleo da amêndoa da macaúba um valor nobre, para a indústria de cosmético (MOTA et al., 2011).

Além da qualidade do óleo da amêndoa para a indústria de cosméticos (BARRETO et al., 2016) e do óleo do mesocarpo para produção de biodiesel, outros produtos podem ser gerados a partir do fruto de macaúba, como o endocarpo que pode ser convertido em carvão vegetal (EVARISTO et al., 2016); o farelo resultante da prensagem do mesocarpo e da semente fornece aditivos alimentares de alta qualidade para pecuária (HIANE et al., 2006). Dessa forma, a diversificação de produtos gerados pelo fruto da macaúba poderá gerar um maior valor agregado e, conseqüentemente, maior sustentabilidade do processo (NAVARRO-DIAZ, 2014).

Na maior parte do território brasileiro, a colheita dos frutos de macaúba, geralmente, ocorre entre setembro e janeiro (MONTROYA et al., 2016). Isso pode ser considerado um problema, pois o processo seria limitado a um curto período do ano, resultando em prolongada inatividade industrial. Uma solução adequada poderia ser o armazenamento de culturas excedentárias. No entanto, os frutos de macaúba apresentam

elevado teor de água na colheita, o que promove o crescimento e o desenvolvimento de microrganismos durante o armazenamento (CICONINI et al., 2013).

Com isso, apesar do grande potencial, há poucas pesquisas sobre seu armazenamento o que pode tornar-se um gargalo para o cultivo racional e em grande escala (CAMPOS et al., 2008), o que torna necessário o estudo da adoção de estratégias de armazenamento que possam garantir a qualidade do fruto de macaúba armazenado e seu óleo.

Para viabilizar o armazenamento dos frutos de macaúba faz-se necessário a retirada da água dos frutos por meio da secagem, facilitando assim a conservação dos frutos, já que tanto os microrganismos, as enzimas e todo o mecanismo metabólico necessitam de água para suas atividades. A diminuição da quantidade de água até níveis seguros para armazenagem leva à redução da atividade de água, do desenvolvimento de microrganismos e, assim, da velocidade de ocorrência de reações químicas de degradação do produto (CHRISTENSEN; KAUFMANN, 1974; GONELI et al., 2007).

A secagem é o processo comercial bastante utilizado para a preservação da qualidade dos produtos agrícolas (MARTINAZZO et al., 2010). É considerada uma das mais antigas formas de conservação de alimentos, sendo um processo com transferência de calor e massa. A secagem favorece as reações físico-químicas devido à remoção de água da hidratação protetora dos locais reativos, promovendo a aproximação entre as moléculas, aumentando a interação entre elas (MORETTO; FETT, 1998; BOBBIO; BOBBIO, 2001; ARAÚJO, 2004).

Silva et al. (2017) utilizando a secagem como método de armazenamento de frutos de macaúba verificou que, a secagem a 60 °C é eficiente para o armazenamento de frutos de macaúba, mantendo a acidez do óleo do mesocarpo baixa. No entanto, Favaro et al. (2017) obteve resultados distintos, determinando que a secagem de frutos

de macaúba a 60 °C não é um procedimento adequado para obter um óleo final com uma qualidade aceitável para a maioria dos fins industriais. No entanto ainda não há na literatura relatos a cerca do efeito da secagem das amêndoas na qualidade do óleo, objeto avaliado nesse estudo.

Martins (2013) avaliando o óleo do mesocarpo e da amêndoa, após secagem do fruto inteiro de macaúba (sem secagem, 45 e 65°C) e armazenamento (0, 15, 30, 60, 60 e 120 dias), observou que o óleo da amêndoa mostrou-se mais estável que o óleo do mesocarpo. Ao se avaliar o efeito de cada tratamento de secagem para cada tempo de armazenamento, não se verificou diferenças entre os tratamentos de secagem, no índice de acidez, até os 30 dias de armazenamento.

Nesse contexto, é importante avaliar o efeito da secagem na conservação de amêndoas de frutos de macaúba, tendo em vista que são escassas na literatura trabalhos realizados com secagem da amêndoa dessa palmeira. Objetivou-se, assim, com este estudo, investigar a cinética e modelagem matemática de secagem de amêndoas de macaúba em diferentes temperaturas, bem como efeito da secagem na qualidade do óleo da amêndoa e o efeito da secagem nas propriedades físicas das amêndoas de frutos de macaúba.

2. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, J. **Química de alimentos: teoria e prática**. In. Química de alimentos: teoria e prática. ed.: UFV, 2004.

BARRETO, L. C.; MAGALHÃES, A. L. L.; TAKAHASHI, J. A.; GARCIA, Q. S. Dynamic of reserve compounds of mesocarp and seeds of macaw palm (*Acrocomia aculeata*) submitted to different storage conditions. **Trees**, 30 (6), 1945-1952. 2016.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. 3. ed. Liv. Varela, 2001.

- CAMPOS, M. B. N.; JÚNIOR, A. G. S.; PEREZ, R.; SIQUEIRA, J. Análise de Viabilidade Econômico-Financeira de uma Unidade de Extração de Óleo de Macaúba. In: **V Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel**, Lavras, CD ROOM. 2008.
- CHRISTENSEN, C. M.; KAUFMANN, H. H. Microflora. In: CHRISTENSEN, C. M. (Ed.). *Storage of cereal grain and their products* ed. St. Paul: **American Association of Cereal Chemists**, p. 158-192. 1974.
- CICONINI, G.; FAVARO, S. P.; ROSCOE, R.; MIRANDA, C. H. B.; TAPETI, C. F.; MIYAHIRA, M. A. M.; L. BEARARI, A. M. L.; GALVANID, 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**, 45, 208-214. 2013.
- EVARISTO, A. B.; GROSSI, J. A. S.; CARNEIRO, A. D. C. O.; PIMENTEL, L. D.; MOTOIKE, S. Y.; KUKI, K. N. Actual and putative potentials of macauba palm as feedstock for solid biofuel production from residues. **Biomass and Bioenergy**, 85, 18-24a. 2016.
- GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; REIS NETO, S. A. D. Estudo da difusão de umidade em grãos de trigo durante a secagem. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 1, p. 135-140, 2007.
- HIANE, P. A.; BALDASSO, P. A.; MARANGONI, S.; MACEDO, M. L. R. Chemical and nutritional evaluation of kernels of bocaiuva, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. **Food Science and Technology**, 26 (3), 683-689. 2006.
- MARTINAZZO, A. P.; MELO, E. C.; CORREA, P. C. and SANTOS, R. H. S.. Modelagem matemática e parâmetros qualitativos da secagem de folhas de capim-limão [*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf]. **Rev. bras. plantas med.** [online]. vol.12, n.4, pp. 488-498. ISSN 1516-0572. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-05722010000400013>. 2010.
- MARTINS A. D. **Radiação gama e secagem na conservação da qualidade do óleo de frutos de macaúba**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 89 p. 2013.
- MONTOYA, S. G.; MOTOIKE, S. Y.; KUKI, K. N.; COUTO, A. D. Fruit development, growth, and stored reserves in macauba palm (*Acrocomia aculeata*), an alternative bioenergy crop. **Planta**, 244 (4), 927-938, 2016.

- MORETTO, E.; FETT, R. **Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos**. São Paulo: Varela, 1998.
- MOTA, C. S.; CORRÊA, T. R.; GROSSI, J. A. S.; CASTRICINI, A.; RIBEIRO, A. S. Exploração sustentável da macaúba para produção de biodiesel: colheita, pós-colheita e qualidade dos frutos. **Informe Agropecuário**, v. 32, n 265, p. 41 - 51, 2011.
- NAVARRO-DÍAZ, H. J.; GONZALEZ, S. L.; IRIGARAY, B.; VIEITEZ, I.; JACHMANIÁN, I.; HENSEA, H.; OLIVEIRA, J. V. Macauba oil as an alternative feedstock for biodiesel: Characterization and ester conversion by the supercritical method. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 93, p. 130-137, 2014.
- SILVA, G. N.; EVARISTO, A. B.; GROSSI, J. A. S.; CAMPOS, L. S.; CARVALHO, M. S.; PIMENTEL, L. D. **Drying of macaw palm fruits and its influence on oil quality**. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 38, n. 5, p. 3019-3030, set./out. 2017.
- SILVA, I. Uso de processos combinados para o aumento do rendimento da extração e da qualidade do óleo de macaúba. **Dissertação de Mestrado**. UFRJ. Rio de Janeiro, 99 p., 2009.
- SILVEIRA, S. D. **Produção de biodiesel de óleo de macaúba (*Acrocomia aculeata*) via esterificação seguida de transesterificação metílica com catalisador Básico**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2014.

CAPITULO 1

Cinética e modelagem de secagem de amêndoas de macaúba.

1. RESUMO

O estudo da cinética de secagem é o primeiro passo para a correta escolha do tempo e temperatura de secagem. Além disso, a modelagem matemática possibilita a simulação e otimização do processo, dimensionamento e a determinação da aplicação comercial do sistema de secagem. Diante do exposto, objetivou-se com este estudo investigar a cinética e a modelagem matemática de secagem de amêndoas de macaúba (*Acrocomia aculeata*) em diferentes temperaturas de secagem. A secagem foi realizada em três condições de ar de secagem: 40, 50 e 60 °C. Foram utilizadas quatro repetições para cada temperatura de secagem. Os dados da secagem foram ajustados em nove diferentes modelos matemáticos. A escolha do melhor modelo baseou-se nos seguintes parâmetros estatísticos: magnitude do coeficiente de determinação ajustado (R^2), magnitude do erro médio relativo (P) e erro padrão da estimativa (SE). O incremento da temperatura de secagem ocasionou redução no tempo de secagem. O menor tempo de secagem foi observado no tratamento com temperatura de secagem de 60 °C, as amêndoas desse tratamento atingiram a umidade de equilíbrio em 34,08 h. Já o maior tempo de secagem até atingir a umidade de equilíbrio foi verificado no tratamento com ar de secagem de 40 °C, nesse tratamento, o período de secagem foi de 404,4 h. Foi indicado, de acordo com os três parâmetros estatístico em conjunto (R^2 , P e SE), os modelos Aproximação de Difusão, Midilli, Page e Page Modificado como os mais adequados para descrever o fenômeno de secagem de amêndoas de macaúba e subsidiar o dimensionamento de secadores industriais. Conclui-se que a temperatura de secagem de 60 °C acelera o

processo de secagem de amêndoas de macaúba. Indicou-se os modelos Aproximação de Difusão, Midilli, Page e Page Modificado como os mais adequados para descrever o fenômeno de secagem de amêndoa de macaúba.

2. INTRODUÇÃO

A macaúba apresenta ampla utilidade, e tem despertado interesse socioeconômico por sua capacidade em produção de óleo vegetal, contudo, também são relatados usos alimentícios, de importância ambiental e na indústria de produtos manufaturados, como fármacos, cosméticos, resinas, lubrificantes, entre outros (SILVA, 2009). A partir de 2013, a palmeira começou a ser destinada à produção de biodiesel e seu uso vem crescendo gradativamente ao longo dos anos (CÉSAR et al., 2015).

No sistema de produção com base no extrativismo, a colheita dos frutos não é feita na planta, espera-se que os frutos soltem dos cachos e caem ao chão, normalmente no fim da safra, tempo esse em que os frutos apresentam visível estágio de degradação por microrganismos. Com a falta de controle no armazenamento desses frutos, faz com que ocorra pouco rendimento de óleo durante a extração e em baixa qualidade do óleo extraído (EVARISTO, 2015).

Tanto os óleos quanto os coprodutos gerados no processamento dos frutos da macaúba podem ser utilizados na indústria alimentícia e de cosméticos, setor de energia, para alimentação animal e outros fins. Entretanto, vale ressaltar a importância da conservação pós-colheita dos frutos da macaúba para garantir a manutenção das suas propriedades físicas e químicas (EVARISTO, 2015).

Coelho et al. (1994) relatam que grande parte das perdas em pós-colheita são devidas à falta de tratamento, manuseio adequado e vulnerabilidade ao ataque de microrganismos. No instante em que o órgão vegetal (fruto, que é parte comercial) é

destacado da planta mãe, inicia-se o processo de deterioração (SIMSON, 2010). Este processo de deterioração resulta da combinação de fatores internos e externos aos órgãos vegetais. A temperatura e a umidade do ar são os fatores do meio mais importante na determinação da extensão da vida pós-colheita.

Para reduzir as perdas em pós-colheita, principalmente por infestação de microrganismos, são empregados diversos métodos físicos, químicos e/ou biológicos, para aumentar a vida pós-colheita de produtos hortícolas.

Entre os métodos físicos para conservação pós-colheita, a secagem artificial é amplamente empregada, principalmente em sementes oleaginosas. Este método baseia no fato de microrganismos, enzimas e todo o mecanismo metabólico necessitarem de água para suas atividades. A redução da quantidade de água disponível até níveis seguros para armazenagem leva à diminuição da sua atividade, do desenvolvimento de microrganismos e, conseqüentemente, da velocidade de ocorrência de reações químicas de degradação do produto (CHRISTENSEN; KAUFMANN, 1974; GONELI et al., 2007).

Silva et al. (2017) utilizando a secagem como método de armazenamento de frutos de macaúba verificou que, a secagem a 60 °C é eficiente para o armazenamento de frutos de macaúba, mantendo a acidez do óleo do mesocarpo baixa. No entanto, Favaro et al. (2017) obteve resultados distintos, determinando que a secagem de frutos de macaúba a 60 °C não é um procedimento adequado para obter um óleo final com uma qualidade aceitável para a maioria dos fins industriais.

Martins (2013) avaliando o óleo do mesocarpo e da amêndoa, após secagem (sem secagem, 45 °C e 65 °C) e armazenamento (0, 15, 30, 60, 60 e 120 dias), observou que o óleo da amêndoa mostrou-se mais estável que o óleo do mesocarpo. Ao se avaliar o efeito de cada tratamento de secagem para cada tempo de armazenamento, não se

verificou diferenças entre os tratamentos de secagem, no índice de acidez, até os 30 dias de armazenamento.

Diante disso o objetivo desse estudo foi avaliar a cinética e a modelagem de secagem das amêndoas de macaúba em diferentes temperaturas de secagem.

3. MATERIAL E METODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Propriedades Físicas e Qualidade de Produtos Agrícolas pertencente ao Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (Centreinar) na Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais, MG.

3.1. Matéria-prima

Foram utilizados no experimento frutos de macaúba (*Acrocomia aculeata*), esses frutos foram colhidos manualmente no estágio de maturação fisiológica. Os frutos foram colhidos na fazenda Capela, no município de Acaiáca, Minas Gerais, Brasil, situado a 20.76° de latitude sul, 42.86° de longitude oeste, a 481 m de altitude em relação ao nível do mar e de clima subtropical úmido Cwa (KOPPEN; GEIGER, 1928)

Para compor as amostras foram selecionadas cerca de 4 plantas adultas. As palmeiras foram previamente identificadas, georreferenciadas e os cachos com frutos maduros foram colhidos no período de produção, época em que os frutos estavam se despreendendo naturalmente dos cachos. Durante a colheita, foi utilizado colchão equipado com redes laterais para amortecer a queda do cacho e minimizar os danos mecânicos nos frutos.

Após a colheita os frutos foram debulhados, e submetidos a uma seleção prévia no campo, eliminando-se frutos com danificações, deformações visíveis e doenças, com a finalidade de obter um produto homogêneo para composição das unidades

experimentais, após a seleção, os frutos foram transportados até o laboratório de Propriedades Físicas e Qualidade de Produtos Agrícolas.

Os frutos após a colheita ficaram armazenados (intactos) em laboratório durante 20 dias (temperatura de 30 ± 2 °C e umidade relativa $70 \pm 5\%$) (período de repouso), e apenas após esse período foi realizada a secagem. Este armazenamento foi realizado para permitir acúmulo de óleo no mesocarpo, considerando que o fruto é climatérico, de acordo com os resultados obtidos por Goulart (2014).

3.2. Secagem

Após o período de 20 dias os frutos foram despulpados com auxílio de uma despulpadora, logo em seguida ocorreu o rompimento do endocarpo com auxílio de uma morsa. Logo após as amêndoas foram levadas para a secagem, a secagem das amêndoas dos frutos de macaúba foi realizada em uma unidade condicionadora de atmosfera, de fabricação da empresa Aminco, modelo Aminco-Aire 150/300 CFM, dotada de dispositivos para o controle da temperatura e umidade relativa do ar fornecido. O fluxo de ar mantido constante em torno de $4 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$. Bandejas removíveis com fundo telado foram colocadas no interior do equipamento para permitir a passagem do ar por meio da amostra. A secagem das amêndoas dos frutos de macaúba foi realizada em três condições de ar de secagem, 40 °C e 40,26%; 50 °C e 24,07%; e 60 °C e 14,91% de temperatura e umidade relativa, respectivamente, as amostras foram pesadas periodicamente, até que a variação da massa, entre três pesagens consecutivas, fossem igual ou inferior a 0,01 g.

Aos dados experimentais da secagem das amêndoas de macaúba foram ajustados modelos de regressões frequentemente usados para descrever o fenômeno da secagem.

Tabela 1: Modelos matemáticos usados para modelagem da secagem das amêndoas de macaúba

Designação do modelo	Modelo
Aproximação da difusão (MENGES; ERTEKIN, 2006)	$RU = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-ktb)$ (1)
Henderson e Pabis (HENDERSON; PAPIS, 1961)	$RU = a \exp(-kt)$ (2)
Logaritmo (YAGCIOGLU et al., 1999)	$RU = a \exp(-kt) + c$ (3)
Midili et al. (MIDILLI et al., 2002)	$RU = a \exp(-kt^n) + bt$ (4)
Midili modificado (GHAZANFARI et al., 2006)	$RU = \exp(-kt^n) + (bt)$ (5)
Newton (LEWIS, 1921)	$RU = \exp(-kt)$ (6)
Page (PAGE, 1949)	$RU = \exp(-kt^n)$ (7)
Page modificado (OVERHULTS et al. 1973)	$RU = \exp(-kt^2) + (b*t)$ (8)
Thompson (THOMPSON et al., 1968)	$RU = \text{Exp}((-a - (a^2 + 4*b*t)^{1/2}) / 2*b)$ (9)

Em que:

t:= tempo de secagem, minuto
k:= constante de secagem, min^{-1}
a, b, c, n= coeficientes dos modelos, adimensionais.

A razão de teor de água (RU) foi determinada de acordo com a Equação 10.

$$RU = \frac{U_t - U_e}{U_0 - U_e} \quad (10)$$

Em que:

U_t = teor de água num tempo t, kg kgms^{-1}
 U_0 = teor de água inicial, kg kgms^{-1}
 U_e = teor de água no equilíbrio, kg kgms^{-1} .

3.3. Análise estatística

Os dados experimentais da secagem foram submetidos à análise de regressão e a seleção do modelo foi baseada no coeficiente de determinação (R^2) do erro médio relativo e do erro médio estimado. Utilizamos para as análises o software Statistical Analysis System (SAS). Foram realizadas em experimento montado em delineamento

inteiramente casualizado com 4 repetições.

Os valores do erro médio relativo (P) e do erro médio estimado (SE) foram calculados de acordo com as Equações 11 e 12:

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - \hat{Y}_i|}{Y_i} \quad (11)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{GLR}} \quad (12)$$

Em que:

Y_i = valor observado,

\hat{Y}_i = valor estimado,

n = número de dados observados,

GLR = graus de liberdade do resíduo (número de dados observados menos o número de parâmetros do modelo).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Teor de água

O teor de água para a amêndoa de macaúba foi de 15,22% em base seca (bs) que corresponde a 13,21% em base úmida (bu), menores que os valores encontrados por Ciconini (2011) que encontrou valores entre 15,53 a 20,19% b.u na amêndoa coletadas na região do estado de Mato Grosso do Sul. Os menores valores de teor de água no presente estudo é devido, provavelmente, aos 20 dias de armazenamento dos frutos em temperatura ambiente, o que resultou em secagem natural durante esse período. Já Hiane et al. (2006) encontrou valores bem inferiores (6,50% b.u) aos encontrados por Ciconini (2011) no mesmo estado. Dessimoni-Pinto et al. (2010) encontrou valores de umidade em base úmida de 12,08%, trabalhando com amêndoas provenientes do mesmo estado deste trabalho (Minas Gerais). O estudo do teor de água em frutos oleosos é de

suma importância, pois este fato aumenta o custo de extração do óleo (CICONINI et al., 2013), além de criar condições favoráveis para o crescimento e desenvolvimento de microrganismo.

4.2. Curva de secagem

Na Figura 1 estão apresentadas as curvas de secagem das amêndoas de macaúba, para as temperaturas de 40 °C, 50 °C e 60 °C. Quando as amêndoas foram secas a 40 °C, o tempo necessário para reduzir o teor de água para cerca de 0,02 kg_a kg_{ms}⁻¹ foi de 404,4 h. Para a temperatura de 50 °C, necessitou de 169,08 h para reduzir o teor de água para cerca de 0,02 kg_a kg_{ms}⁻¹. Já para 60 °C o tempo foi de 34,08 h, 11,86 vezes menor, quando comparado a temperatura de 40 °C.

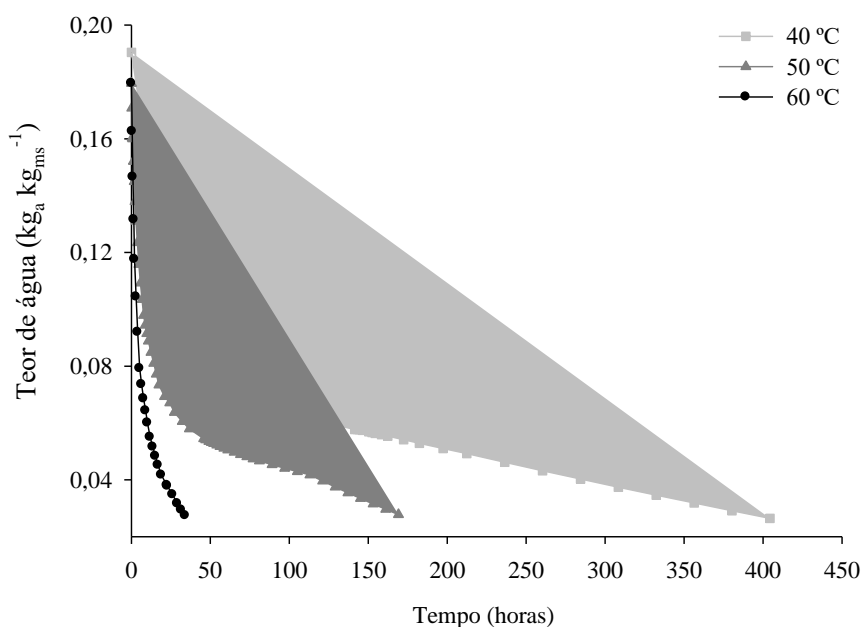


Figura 1: Dispersão do teor de água em função do tempo de secagem das amêndoas de macaúba, nas temperaturas de 40 °C, 50 °C e 60 °C.

O tempo de secagem reduz com o aumento da temperatura, além disto, as curvas adquirem uma maior inclinação, já que, o calor transferido do ar para o material é maior (BAPTESTINI et al., 2015), resultando assim, em remoção mais rápida da água em

temperaturas mais elevadas. Com o incremento da temperatura do ar de secagem resulta em maior taxa de remoção de água do produto, isso se deve a uma maior pressão de vapor de água entre o grão e o ar (SMANIOTTO et al., 2017). Outro fator que pode ser atribuído para o menor tempo de secagem na temperatura de 60 °C é que, de acordo com Goneli et al. (2009), com a elevação da temperatura, aumenta-se o nível de vibração molecular das moléculas de água, contribuindo assim, para uma difusão mais rápida da água. Borompichaichartkul et al. (2009) estudando a qualidade de macadâmia (*Macadamia integrifolia*) após tratamento de secagem nas temperaturas de 50 °C, 60 °C e 70 °C, verificaram também que o aumento da temperatura de secagem, resultou em maior taxa de secagem das nozes de macadâmia. A cinética de secagem das amêndoas de macaúba, ou seja, a rapidez com que o as amêndoas perdem umidade, é controlada pelas características das amêndoas, bem como, as variáveis: temperatura, velocidade e umidade relativa do ar.

Ainda analisando a Figura 1, nela é possível evidenciar que a secagem em todos os tratamentos (40 °C, 50 °C e 60 °C) ocorreu em dois estágios: No primeiro estágio, ocorreu uma rápida redução no teor de água das amêndoas; já no segundo estágio, continuou a redução do teor de água, entretanto, de forma mais lenta. Esse comportamento de secagem em dois estágios também foi elucidado por Silva et al. (2017), estudando a secagem de frutos de macaúba e sua influência na qualidade do óleo.

O processo de secagem em todos os tratamentos (40 °C, 50 °C e 60 °C) ocorreu predominantemente em período de secagem a taxa decrescente. Esse fenômeno ocorre em decorrência da maior resistência a transferência de água no interior da amêndoa, resultando assim, a taxa de evaporação superficial maior que a reposição de água no interior do produto (KASHANINEJAD et al., 2007). Sugere-se um mecanismo físico

predominante ao longo do processo de secagem, ou seja, ocorre um processo de difusão de umidade (SILVA et al., 2009; DOYMAZ, 2007). Para Brooker et al. (1992), no processo de difusão, a transferência de calor não é compensada pela transferência de massa, pois o transporte de umidade apresenta uma resistência interna maior, sendo assim, a temperatura do produto pode atingir a temperatura utilizada durante a secagem.

Na Figura 2 estão apresentados os valores de razão de umidade, para as temperaturas de 40 °C, 50 °C e 60 °C, as quais representam a perda de água de amêndoas de macaúba em função do tempo para o período de secagem decrescente. A medida que elevou a temperatura de secagem, notou-se uma redução no tempo de secagem.

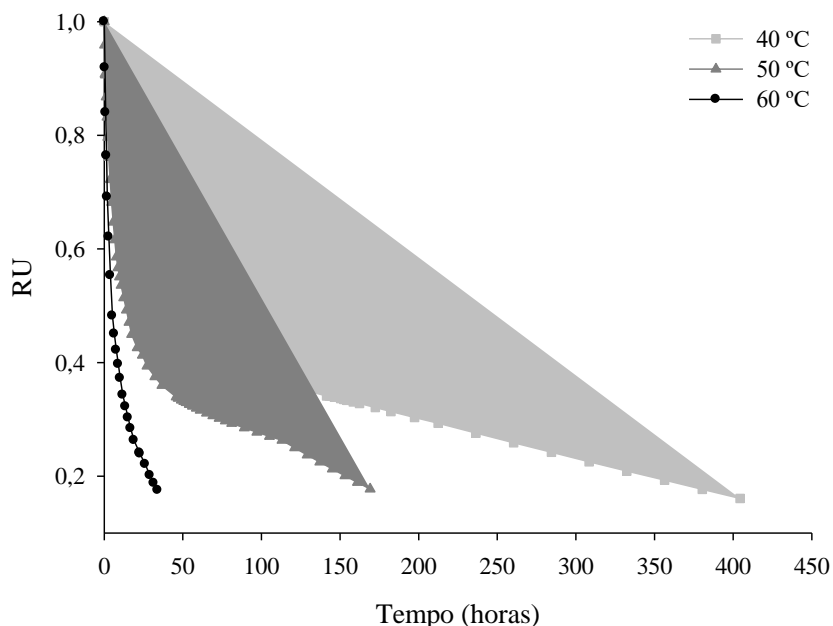


Figura 2: Dispersão da razão de umidade (RU) de amêndoas de macaúba expostas nas temperaturas de 40 °C, 50 °C e 60 °C.

4.3. Modelagem matemática

As curvas foram ajustadas em nove diferentes modelos matemáticos relatados na literatura que descrevem o fenômeno de secagem e os resultados estão apresentados nas

Tabelas 1. No cálculo da RU um teor de água é correlacionado com um teor de água inicial e o teor de água de equilíbrio a cada tempo de secagem (GONELI et al., 2009).

De acordo com a Tabela 2, pode-se observar que, à exceção dos modelos de Newton e Henderson e Pabis na temperatura de 40 e 50 °C, todos os demais modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais de secagem apresentaram coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,95. Silva et al. (2017) estudando a secagem de frutos de macaúba e seu efeito na qualidade do óleo, verificaram que os modelos (Aproximação da difusão, Henderson e Pabis, Logaritmo, Midilli, Newton, Page e Page Modificado) apresentaram valores de R^2 superiores a 0,99 para os valores experimentais de secagem.

Para fins de representação do fenômeno de secagem de produtos agrícolas é necessária a análise conjunta de três parâmetros estatísticos (R^2 , P e SE) (CORRÊA et al., 2010; BAPTESTINI et al., 2015). Analisando a Tabela 2, constata-se que, dentre os nove modelos matemáticos utilizados para predizer o fenômeno de secagem de amêndoa de macaúba, apenas os modelos Aproximação de Difusão, Midilli, Page e Page Modificado apresentaram magnitudes do erro médio relativo inferiores a 10%. Para Mohapatra e Rao (2005), os modelos que apresentam valores de erro médio relativo superiores a 10% são considerados inadequados para a descrição de um determinado fenômeno. O erro médio relativo (P) indica desvio dos valores observados em relação a curva estimada pelo modelo (KASHANINEJAD et al., 2007). Assim, quanto menor o valor de P, menos são os desvios entre os valores experimentais e os estimados pelo modelo (SIQUEIRA et al., 2013).

Além dos valores do coeficiente de determinação (R^2) e do erro médio relativo (P), também foram calculados os valores do erro médio estimado (SE). Este parâmetro indica a capacidade de um determinado modelo em descrever um processo físico,

quanto menor sua magnitude melhor será qualidade do ajuste do modelo em relação aos dados observados (BAPTESTINI et al., 2015; DRAPER; SMITH, 1998). Assim, analisando os três parâmetros estatístico em conjunto, apenas os modelos Aproximação de Difusão, Midilli, Page e Page Modificado são aptos ao descrever o fenômeno de secagem de amêndoa de macaúba para todas as condições do ar de secagem. Smaniotto et al. (2017) estudando a cinética de secagem de sementes de girassol, também verificaram que os modelos os modelos Midilli, Page e Aproximação da Difusão exibiram os melhores ajustes para os dados experimentais da secagem de girassol. Dhanushkodi et al. (2017) estudando a modelagem matemática do comportamento de secagem da castanha de caju em um secador híbrido de biomassa solar, observaram que o modelo de Page também foi considerado o melhor para descrever o fenômeno de secagem de castanha de caju.

Tabela 2. Estimativas dos parâmetros dos modelos aplicados para a representação dos dados experimentais e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), erro médio relativo (P) e do erro médio estimado (SE).

Modelos	T (°C)	Parâmetros ⁽¹⁾					R^2	P	SE
		k	c	a	n	b			
Aproximação de difusão	40	$5,5127 \cdot 10^{-4}$	-	0,5384	-	$7,0026 \cdot 10^{-2}$	0,9986	2,6768	0,0111
	50	$2,80454 \cdot 10^{-3}$	-	0,5491	-	$3,1652 \cdot 10^{-2}$	0,9979	2,6765	0,0150
	60	$5,9369 \cdot 10^{-3}$	-	0,5180	-	$8,5329 \cdot 10^{-2}$	0,9996	1,2360	0,0067
Henderson e Pabis	40	$9,7390 \cdot 10^{-5}$	-	0,8147	-	-	0,9311	17,584	0,0751
	50	$2,2848 \cdot 10^{-4}$	-	0,7452	-	-	0,8944	21,875	0,1030
	60	$1,1401 \cdot 10^{-3}$	-	0,8411	-	-	0,9525	18,220	0,0770
Logaritmo	40	$2,7500 \cdot 10^{-4}$	0,2462	0,7023	-	-	0,9854	9,5584	0,0355
	50	$1,3695 \cdot 10^{-3}$	0,2824	0,6432	-	-	0,9844	10,124	0,0409
	60	$2,9707 \cdot 10^{-3}$	0,2231	0,7330	-	-	0,9932	7,1812	0,0301
Midilli et al.	40	$5,4330 \cdot 10^{-3}$	-	1,0385	0,6014	$4,3039 \cdot 10^{-6}$	0,9913	6,4241	0,0279
	50	$3,6009 \cdot 10^{-2}$	-	1,0585	0,4467	$1,0881 \cdot 10^{-5}$	0,9942	5,5899	0,0251
	60	0,0163	-	1,0259	0,6588	$5,4420 \cdot 10^{-5}$	0,9973	3,8050	0,0195
Midilli Modificado	40	$3,7516 \cdot 10^{-3}$	-	-	0,6399	$4,6849 \cdot 10^{-6}$	0,9991	28,020	0,0122
	50	0,0238	-	-	0,4948	$1,2581 \cdot 10^{-5}$	0,9931	6,1226	0,0270
	60	0,0131	-	-	0,6902	$5,8259 \cdot 10^{-5}$	0,9970	3,9813	0,0196
Newton	40	$1,2948 \cdot 10^{-4}$	-	-	-	-	0,8754	25,6310	0,0981
	50	$4,1971 \cdot 10^{-4}$	-	-	-	-	0,7144	39,5499	0,1595
	60	$1,5199 \cdot 10^{-3}$	-	-	-	-	0,9119	28,6272	0,1037
Page	40	$7,9211 \cdot 10^{-3}$	-	-	0,5413	-	0,9864	6,6634	0,0338
	50	0,0375	-	-	0,4181	-	0,9883	6,7889	0,0350
	60	0,0230	-	-	0,5786	-	0,9933	5,6319	0,0291
Page modificado	40	$1,3139 \cdot 10^{-4}$	-	-	0,5413	-	0,9864	6,6634	0,0338
	50	$3,8908 \cdot 10^{-4}$	-	-	0,4181	-	0,9883	6,7889	0,0350
	60	$1,4760 \cdot 10^{-3}$	-	-	0,5786	-	0,9970	5,6319	0,0291
Thompson	40	-	-	-3,9195	-	$5,4490 \cdot 10^{-2}$	0,9892	6,6446	0,0301
	50	-	-	0,6941	-	$7,2092 \cdot 10^{-2}$	0,9806	10,6454	0,0452
	60	-	-	2,5344	-	0,1260	0,9962	4,8008	0,0220

⁽¹⁾Determinação em quadruplicada para cada temperatura.

5. CONCLUSÃO

O incremento da temperatura de secagem ocasionou redução no tempo de secagem, além disto, as curvas adquirem uma maior inclinação, já que, o calor transferido do ar para o material é maior, resultando assim, em remoção mais rápida da água em temperaturas mais elevadas.

Indicaram-se, de acordo com os três parâmetros estatístico em conjunto (R^2 , P e SE), os modelos Aproximação de Difusão, Midilli, Page e Page Modificado como os mais adequados para descrever o fenômeno de secagem de amêndoas de macaúba e subsidiar o dimensionamento de secadores industriais.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAPTESTINI, F. M.; CORRÊA, P. C.; JUNQUEIRA, M. S.; RAMOS, A. M.; VANEGAS, J. D.; E COSTA, C. F. Modelagem matemática da secagem de espuma de graviola. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 19: 1203-1208. 2015.
- CHRISTENSEN, C. M.; KAUFMANN, H. H. Microflora. In: CHRISTENSEN, C. M. (Ed.). Storage of cereal grain and their products. St. Paul: **American Association of Cereal Chemists**, p. 158-192. 1974.
- CICONINI, G., FAVARO, S.P., ROSCOE, R., et al. Biometry and oil contents of *Acrocomia aculeata* fruits from the Cerrados and Pantanal biomes in Mato Grosso do Sul, Brazil. **Ind. Crops Prod.** 45, 208-214, 2013.
- COELHO, A. Qualidade pós-colheita de pêssegos. **Informe Agropecuário**, v. 17, n.180, p. 31-39, 1994.
- CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M.; GONELI, A. L. D.; E CARVALHO, F. M. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Revista Ceres**, 57: 595-601. 2010.
- DAI, L. *at al.* Fruit quality of 12 provenances of *Idesia polycarpain* China. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, v.12, n. 2, 802-807, 2014.

- DHANUSHKODI, S.; WILSON, V. H.; SUDHAKAR K. Mathematical modeling of drying behavior of cashew in a solar biomass hybrid dryer. **Resource-Efficient Technologies** 3. 359–364. 2017.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 712 p. 1998.
- EVARISTO, A. B. **Conservação pós-colheita e potencial bioenergético de Frutos de macaúba (*Acrocomia aculeata*)**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Viçosa – Viçosa, MG, xix, 120f. 2015.
- GHAZANFARI, A.; EMAMI, S.; TABIL, L. G.; PANIGRAHI, S. Thin-layer drying of flax fiber: II modeling drying process using semi-theoretical and empirical models. **Drying Technology**, 24 (12), pp. 1637–1642, 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**, 11: 64-73. 2009.
- GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; REIS NETO, S. A. D. Estudo da difusão de umidade em grãos de trigo durante a secagem. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 1, p. 135-140, 2007.
- HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory. I. Temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agriculture Engineering Research**, v.6, n.3 p.169174, 1961.
- HIANE, P. A.; BALDASSO, P. A.; MARANGONI, S.; MACEDO, M. L. R. Chemical and nutritional evaluation of kernels of bocaiuva, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. **Food Science and Technology**, 26 (3), 683-689. 2006.
- KASHANINEJAD, M.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI, A.; E TABIL, L. G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of food engineering**, 78: 98-108. 2007.
- KÖPPEN, W. P.; GEIGER, R. **Die Klimate der Erde : Grundriss der Klimakunde**. Berlin, Leipzig: **Waltr de Gruyter**, 1928.
- LEWIS, W. K. The drying of solid materials. *The Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, v. 13, n. 05, p. 427-433, 1921.
- MARTINS A. D. **Radiação gama e secagem na conservação da qualidade do óleo de frutos de macaúba**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 89 p. 2013.

- MAYOR, L.; SERENO, A. M. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 3, p. 373-386, 2004.
- MELLO, B. T. F. de; SILVA, S. B. da; SILVA, C. da. Avaliação da eficiência da catálise enzimática na conversão de ácidos graxos livres do óleo da polpa de macaúba. **E-xacta**, Belo Horizonte, v. 9, n. 1, p. 15-22. Editora UniBH doi: 10.18674/exacta.v9i1.1618. 2016.
- MENGES, H. O.; ERTEKIN, C. Mathematical modeling of thin layer drying of Golden apples. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 77, n. 1, p. 119-125, 2006.
- MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A. New model for single-layer drying. **Drying Technology**, Nigde, v. 20, n. 7, p. 1503-1513, 2002.
- MOHAPATRA, D.; & RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of food engineering**, 66: 513-518. 2005.
- OVERHULTS, D. D.; WHITE, G. M.; HAMILTON, M. E.; ROSS, I. J. Drying soybeans with heated air. **Transactions of the ASAE**, v.16, n.2, p.195-200, 1973.
- PAGE, G. E. **Factors influencing the maximum of air drying shelled corn in thin layer**. Thesis Dissertation (M.Sc.) – Purdue University, Indiana. 1949.
- SILVA, G. N.; EVARISTO, A. B.; GROSSI, J. A. S.; CAMPOS, L. S.; CARVALHO, M. S.; PIMENTEL, L. D. **Drying of macaw palm fruits and its influence on oil quality**. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 38, n. 5, p. 3019-3030, set./out. 2017.
- SILVA, I. Uso de processos combinados para o aumento do rendimento da extração e da qualidade do óleo de macaúba. **Dissertação de Mestrado**. UFRJ. Rio de Janeiro, 99 p., 2009.
- SIMSON, S. P. Post-harvest technology of horticultural crops. **Oxford Book Company**, 2010.
- SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; E CHAVES, T. H. Mathematical modelling of the drying of jatropha fruit: an empirical comparison. **Revista Ciência Agrônômica**, 44: 278-285. 2013.
- SMANIOTTO, T. A. DE S.; RESENDE, O.; SOUSA, K. A. DE.; OLIVEIRA, D. E. C. DE; & CAMPOS, R. C. Drying kinetics of sunflower grains. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.21, n.3, p.203-208, 2017.

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

CAPITULO 2

Características físico-químicas do óleo de amêndoas de macaúba durante o armazenamento, após secagem em diferentes temperaturas.

1. RESUMO

A etapa de pós-colheita de fruto de macaúba (*Acrocomia aculeata*) é ainda pouco estudada. Deste modo, torna-se necessário o desenvolvimento de pesquisas que visem a manutenção da qualidade do óleo de amêndoa de macaúba durante o armazenamento. Objetivou-se com este estudo, avaliar o efeito da secagem na qualidade do óleo de amêndoa de macaúba durante o armazenamento. A secagem foi realizada em três condições de ar de secagem: 40 °C, 50 °C e e 60 °C. Foram utilizadas quatro repetições para cada temperatura de secagem. Após a secagem, as amêndoas foram armazenadas durante 0, 60, 120, 240 e 360 dias, em cada período de armazenamento foram realizadas as análises físico-química do óleo da amêndoa: teor de óleo da amêndoa; índice de acidez; estabilidade oxidativa; atividade de água no óleo; e cor do óleo da amêndoa. Com o aumento no período de armazenamento das amêndoas, notou-se elevação no índice de acidez e redução na estabilidade oxidativa do óleo para todos os tratamentos. Os valores médios de atividade de água no óleo variaram de 0,56 – 0,68, independentemente do tratamento e período de armazenamento. Os valores médios das coordenadas L* e b*, não diferiram do valor médio do controle, com exceção dos períodos de armazenamento de 0 e 60 dias. Com relação à coordenada a*, houve diferença estatística entre os processos de secagem, quando comparados ao tratamento controle. Os valores médios de TO na amêndoa de frutos de macaúba não variaram

estatisticamente durante o armazenamento para todos os tratamentos. Conclui-se que a secagem pode ser tornar uma alternativa eficiente para o controle da qualidade do óleo de amêndoa ao longo do armazenamento.

2. INTRODUÇÃO

A macaúba (*Acrocomia aculeata*) tem potencial de produção de aproximadamente 5 toneladas de óleo por hectare, podendo ser comparada à palma africana (*Elaeis guinnensis*), que é a cultura agrícola com maior produtividade de óleo por ha cultivado (PIMENTEL et al., 2011).

O óleo extraído da amêndoa da macaúba apresenta um alto teor de ácidos graxos saturados que varia entre 71,2% e 84,6%, predominando o ácido láurico (C12) que varia entre 39% e 59% do conteúdo total de ácidos graxos da amêndoa. A estabilidade do ácido láurico e sua consistência cremosa conferem ao óleo da amêndoa da macaúba um valor nobre, para a indústria de cosmético.

A cadeia produtiva do óleo da macaúba compreende diversas fases que vão desde a produção e colheita do coco até o beneficiamento final dos produtos derivados. A etapa de pós-colheita do fruto é ainda pouco estudada e a extração do óleo é feita aplicando-se tecnologias adaptadas de outras oleaginosas. Estes fatores contribuem para a baixa qualidade do óleo comercializado pelas indústrias extrativistas no cerrado brasileiro (SILVA, 2009). Após a colheita o óleo da macaúba pode atingir elevados valores de ácidos graxos livres em poucos dias. Esta rápida degradação do óleo é um dos fatores mais limitantes na exploração econômica da cultura, pois reflete em produtos (óleo) de baixa qualidade e conseqüentemente de baixo valor agregado. Para superar este problema é preciso desenvolver sistemas de armazenamento e/ou

tratamentos dos frutos que mantenham a qualidade do óleo no fruto e permitam ampliar o período de processamento industrial.

Os métodos físicos podem atuar diretamente sobre os patógenos, bem como, de modo indireto, sobre a fisiologia do fruto, retardando o amadurecimento, a senescência dos frutos e prolongando a manutenção de sua qualidade (BENATO, 1999). Vários agentes físicos podem ser utilizados; os principais são a temperatura, a radiação, a ventilação e a luz (GHINI e BETTIOL, 1995).

A secagem dos produtos agrícolas é um dos processos físicos de conservação mais utilizados para assegurar a qualidade e estabilidade durante o armazenamento. A diminuição da quantidade de água do material reduz a atividade biológica e as mudanças químicas e físicas que ocorrem durante o período de pós-colheita. A conservação pela secagem baseia-se no fato de que tanto os microrganismos como as enzimas e todo o mecanismo metabólico necessitam de água para suas atividades (MARTINS, 2013). Assim, a redução da quantidade de água disponível até níveis seguros para armazenagem, reduz a velocidade das reações químicas no produto, controlando também o desenvolvimento de microrganismos (CHRISTENSEN e KAUFMANN, 1974).

Altas temperaturas tendem a mudar a estrutura dos produtos agrícolas, podendo alterar cor, sabor, estabilidade, dentre outros, essas alterações podem ser de maior ou menor intensidade dependendo do tempo de exposição do produto à essa temperatura (BIAGI; VALENTINI; QUEIROZ, 1992; NOGUEIRA, 1992).

Levando-se em consideração a eficiência do processo de secagem na conservação de produtos agrícolas e a necessidade de manter a qualidade do óleo de frutos de macaúba após a colheita, levantou-se a hipótese de que a secagem dos frutos poderia prolongar a vida útil dos frutos. O objetivo desse estudo foi avaliar o efeito de

diferentes temperaturas de secagem, na qualidade e quantidade de óleo de amêndoas de frutos de macaúba ao longo do armazenamento por 360 dias à temperatura ambiente.

3. MATERIAL E METODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Propriedades Físicas e Qualidade de Produtos Agrícolas pertencente ao Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (Centreinar) e Laboratório de Biotecnologia e Pós-Colheita de Macaúba do Departamento de Fitotecnia, ambos na Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais, MG.

3.1. Amêndoas de macaúba

Foram utilizados no experimento frutos de macaúba (*Acrocomia aculeata*), esses frutos foram colhidos manualmente no estágio de maturação fisiológica. As plantas estavam localizadas na fazenda Capela, no município de Acaiáca, Minas Gerais, Brasil, situado a 20.76° de latitude sul, 42.86° de longitude oeste, a 481 m de altitude em relação ao nível do mar e de clima subtropical úmido Cwa (KOPPEN; GEIGER, 1928)

Para compor as amostras foram selecionadas cerca de algumas plantas adultas. As palmeiras foram previamente identificadas, georreferenciadas e os cachos com frutos maduros foram colhidos no período de produção, época em que os frutos estavam se despreendendo naturalmente dos cachos. Durante a colheita, foi utilizado colchão equipado com redes laterais para amortecer a queda do cacho e minimizar os danos mecânicos nos frutos.

Após a colheita os frutos foram debulhados, e submetidos a uma seleção prévia no campo, eliminando-se frutos com danificações, deformações visíveis e doenças, com a finalidade de obter um produto homogêneo para composição das unidades

experimentais, após a seleção, os frutos foram transportados até o laboratório de Propriedades Físicas e Qualidade de Produtos Agrícolas.

Os frutos após a colheita foram armazenados por 20 dias, para total acúmulo do óleo na amêndoa.

3.2. Caracterização físico-química da amêndoa da macaúba após a secagem.

3.2.1. Teor de água

Foi quantificado pela diferença de massa entre a amostra inicial e a final após a secagem em estufa a 105°C por 24 horas a amêndoa com e sem a proteção do endocarpo, de acordo com as técnicas descritas pelo Instituto Adolfo Lutz (2008), utilizando uma balança analítica com precisão de 0,001 g, sendo os resultados expressos em base úmida (b.u.) pela equação:

$$\text{Teor de água (b.u.)} = \frac{m_i - m_f}{m_f} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

i= massa inicial (kg)

f= massa final (kg)

3.2.2. Secagem

Após o período de 20 dias os frutos foram despulpados com auxílio de uma despulpadora, logo em seguida ocorreu o rompimento do endocarpo com auxílio de uma morsa. Logo após as amêndoas foram levadas para a secagem, a secagem das amêndoas dos frutos de macaúba foi realizada em uma unidade condicionadora de atmosfera, de fabricação da empresa Aminco, modelo Aminco-Aire 150/300 CFM, dotada de dispositivos para o controle da temperatura e umidade relativa do ar fornecido. O fluxo de ar mantido constante em torno de $4 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$. Bandejas removíveis com fundo telado foram colocadas no interior do equipamento para permitir a passagem do ar por

meio da amostra. A secagem das amêndoas dos frutos de macaúba foi realizada em três condições de ar de secagem, 40 °C e 40,26% UR; 50 °C e 24,07% UR; e 60 °C e 14,91% UR de temperatura e umidade relativa, respectivamente, as amostras foram pesadas periodicamente, até que atingisse teores de umidade entre 4,5 – 5 % b.u.

Logo após a secagem foi realizada análises iniciais das amêndoas após a secagem. As amêndoas foram armazenadas após a secagem por períodos de 60, 120, 240, e 360 dias. Após cada período foram realizadas análises do óleo da amêndoa.

3.2.3. Teor de óleo

Para a extração do óleo da amêndoa, foi utilizada uma prensa hidráulica com capacidade de 15 t de força. Em seguida foi acondicionados em frascos âmbar e congelados em freezer a -20°C, com a finalidade de evitar a degradação do óleo por ação da luz e temperatura.

Para determinação do teor de óleo utilizaremos a metodologia adaptada 032 / V IAL (1985). As amostras foram secadas em estufa, trituradas, colocadas em cartucho composto de papel filtro e o óleo extraído em extrator de óleos e gorduras do tipo “Soxhlet”, por meio do solvente orgânico n-hexano.

Durante o processo de extração, as amostras permaneceram mergulhadas no solvente por 2 horas à 80°C. Após o cozimento procede-se a lavagem das amostras com o hexano acumulado no condensador, em temperatura de 110°C. Este processo foi repetido por seis vezes. Finalizando a extração, os cartuchos foram levados para uma estufa, com circulação forçada de ar, a 65°C por 24 h, para evaporar o excesso de n-hexano na amostra. Em seguida, procedeu-se a pesagem dos cartuchos contendo a amostra em balança analítica. O teor de óleo foi calculado pela equação:

$$TO(\%) = \frac{(P1 - P2)}{(P1 - P)} * 100 \quad (2)$$

em que:

TO(%) = teor de óleo em porcentagem;

P = peso do cartucho em g;

P1 = peso do cartucho contendo amostra antes da extração do óleo em g;

P2 = peso do cartucho contendo amostra após a extração do óleo em g.

3.2.4. Índice de acidez

O índice de acidez é definido pela quantidade de base necessária para neutralizar os ácidos graxos livres presentes nos óleos e gorduras. Esse índice foi determinado de acordo com o método Ca 5a – 40 (AOCS, 1994). Foram pesados cerca de $2,00 \pm 0,10$ g das amostras de óleo em Erlenmeyers de 125,0 mL; em seguida foi adicionado 25,00 mL da solução neutra de éter etílico-álcool (2:1). Foi adicionado duas gotas de indicador fenolftaleína 0,4% e para a realização da titulação com solução padronizada de NaOH 0,01 M devido à baixa acidez do óleo, objetivando aumentar a precisão da análise.

O índice de acidez foi calculado por meio da equação:

$$I.A = (0,561 \frac{V_a f}{m}) \quad (3)$$

onde:

I.A: índice de acidez expresso em mg KOH.g⁻¹;

V_a: volume da solução de hidróxido de sódio 0,1 M, padronizada, gasto na titulação da amostra, em mL;

f: fator de correção da solução de hidróxido de sódio 0,1 M, encontrado com a padronização, adimensional;

m: massa da amostra, em g.

O índice de acidez foi expresso em porcentagem de ácido oleico; para isso, dividiu o resultado do I.A em mg KOH.g⁻¹ por 1,99.

3.2.5. Estabilidade oxidativa

A estabilidade oxidativa refere-se à capacidade do óleo vegetal em resistir às reações de oxidação dos lipídios que ocorre quando o oxigênio atmosférico ou aquele que está dissolvido no óleo reage com ácidos graxos insaturados presentes (LIMA; GONÇALVES, 1995).

A estabilidade oxidativa foi obtida através da metodologia proposta pela American Oil Chemistry Society (AOCS, 1997), utilizando-se o equipamento 873 Biodiesel Rancimat® - Metrhom.

Foi pesado $2,50 \pm 0,01$ g de óleo da amêndoa de frutos de macaúba em um tubo de ensaio. Em seguida os tubos foram levados para o equipamento. Esse aparelho foi programado para operar a 110°C , com velocidade de fluxo de ar de $10,0 \text{ L.h}^{-1}$. A oxidação foi induzida pela passagem de ar pela amostra, mantida à temperatura constante. Os produtos voláteis da reação foram coletados em água destilada e determinados pela mudança na condutividade elétrica desta. Esses produtos são expressos através de uma curva. Quando um pico de condutividade elétrica for registrado, o aparelho determina o tempo de indução, que caracteriza a perda da estabilidade oxidativa, é calculado pela intersecção de duas linhas: a tangente de inclinação e a outra tangente nivelada à curva. Assim, quanto menor o tempo de indução, menor a estabilidade oxidativa do óleo.

3.2.6. Atividade de água (A_w)

Será determinada por meio do aparelho Aqualab 4 TE da Decagon Devices, que fornece leituras de atividade de água no intervalo de 0,050 a 1,000, com precisão de $\pm 0,003$ e resolução de 0,0001, na temperatura de 25°C .

3.2.7. Cor

Amostras foram submetidas avaliação da cor em um colorímetro tristímulo (MiniSacrn XE - Plus 45/0^{-L}). Onde foi feita leitura direta de reflectância das coordenadas L*(luminosidade), a* (conteúdo de vermelho a verde) e b* (conteúdo de amarelo a azul), empregando-se a escala CIE e iluminante 10°/D65.

3.3. Delineamento experimental e análises estatísticas

O experimento foi instalado em esquema de parcela subdividida, tendo nas parcelas as temperaturas de secagem (controle, 40 °C, 50 °C e 60 °C) e nas subparcelas os períodos de armazenamento (0, 60, 120, 240, 300 e 360 dias), no delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições.

Para comparar a média da temperatura controle com as demais dentro de cada período de armazenamento foi utilizado o teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. Para o fator quantitativo, os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t”, no coeficiente de determinação (R²) e no fenômeno biológico. Independentemente de a interação de maior grau ser ou não significativa, optou-se pelo desdobramento da mesma, devido ao interesse de estudo. Para os valores experimentais que não foi possível a escolha de modelo, utilizou-se estatística descritiva.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Estabilidade oxidativa do óleo da amêndoa (EO)

Os valores médios de estabilidade oxidativa (EO) do óleo da amêndoa de macaúba submetida ao processo de secagem apresentaram diferença significativa

($p < 0,05$) quando comparados ao controle (sem secagem), em todos os períodos de armazenamento (Tabela 1).

A EO do óleo de amêndoa secas na temperatura de 40 °C apresentou valores médios significativamente inferior ($p < 0,05$) quando comparado ao tratamento padrão (sem secagem) em todos os períodos de armazenamento (0, 60, 120, 240 e 360 dias). Os valores médios de estabilidade oxidativa do óleo de amêndoa submetida a secagem na temperatura de 50 °C foi significativamente menor ($p < 0,05$), comparado ao controle apenas nos períodos de armazenamento 60, 120 e 240 dias. Os valores médios de EO do tratamento controle não diferiram ($p > 0,05$) dos valores observados de estabilidade oxidativa do óleo da amêndoa seca na temperatura de 60 °C em todos os períodos de armazenamento, exceto para o período de armazenamento de 240 dias.

Tabela 1. Valores médios de estabilidade oxidativa (h) do óleo da amêndoa de macaúba submetida a secagem (sem secagem, 40 °C, 50 °C e 60 °C), nos diferentes períodos de armazenamento (0, 60, 120, 240 e 360 dias).

Tratamentos	Período de armazenamento (dias)				
	0	60	120	240	360
SS (padrão)	67,15	65,59	64,87	61,09	45,79
40 °C	59,54*	56,86*	55,83*	51,62*	27,60*
50 °C	71,44	57,11*	53,90*	52,69*	50,10
60 °C	63,78	64,61	62,93	55,15*	43,27

Médias com * na coluna diferem do valor do tratamento sem secagem (SS) ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Dunnett.

Os dados de EO do óleo da amêndoa de macaúba secas na temperatura de 40 °C e 60 °C e não seca (controle) em função do período de armazenamento ajustaram-se ao modelo quadrático (Figura 1). Já os dados de EO do óleo da amêndoa de macaúba secas na temperatura de 50 °C ajustou-se ao modelo de raiz quadrada. Verifica-se redução da EO do óleo da amêndoa ao longo do armazenamento em todos os tratamentos. Após 360 dias de armazenamento, verificou-se que essa redução foi mais acentuada no

tratamento com secagem na temperatura de 40 °C (tempo de indução: 27,6 h), já os maiores valores médios de EO foram observados nos tratamentos controle e secagem a 60 °C. Ambos apresentaram valores de EO superiores a 60 h até 120 dias de armazenamento. Os modelos ajustados para representar esta variação encontram-se disposto na Tabela 2.

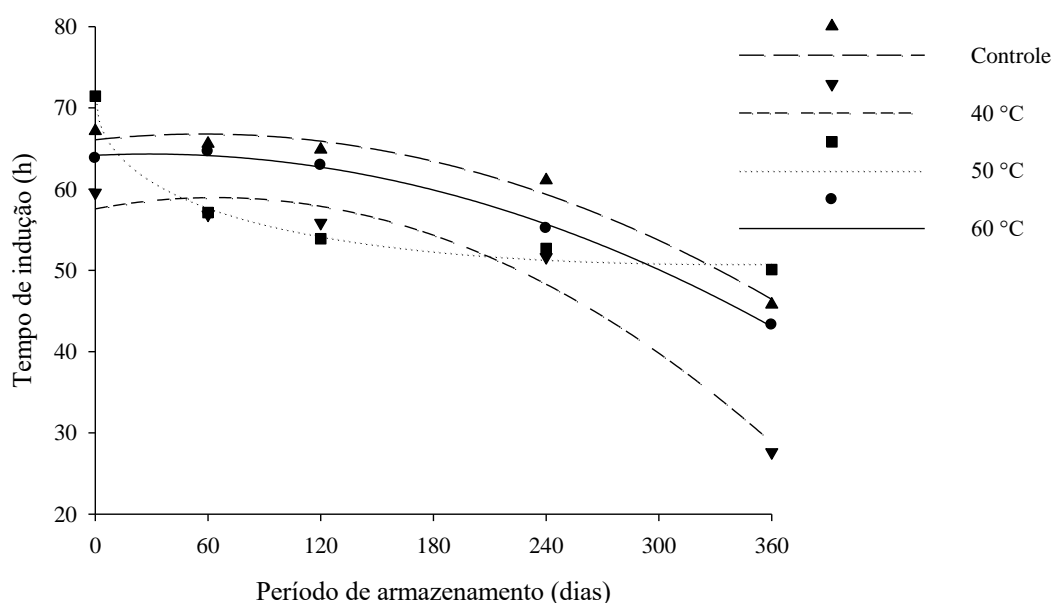


Figura 1. Estabilidade oxidativa do óleo da amêndoa de frutos de macaúba expostos aos diferentes tratamentos com secagem (controle, secagem a 40, 50 e 60 °C) ao longo do armazenamento (0, 60, 120, 240 e 360 dias).

Tabela 2. Equação de regressão ajustada e seu respectivo coeficiente de determinação (R^2), para o índice de acidez e estabilidade oxidativa, em função dos diferentes tratamentos.

Variável	Tratamento	Equações ajustadas	R^2
Índice de acidez	Controle	$\hat{y} = 0,2304 + 0,0015*x$	0,82
	40 °C	$\hat{y} = 0,1556 + 0,0017**x$	0,97
	50 °C	$\hat{y} = 0,2233 + 0,0007^{\circ}x$	0,71
	60 °C	$\hat{y} = 0,2371 + 0,0010**x$	0,98
Estabilidade oxidativa	Controle	$\hat{y} = 66,0731 + 0,0250x - 0,0002*x^2$	0,97
	40 °C	$\hat{y} = 57,5642 + 0,0437x + 0,0003^{\circ}x^2$	0,96
	50 °C	$\hat{y} = 71,2413 + 0,0601*x - 2,2158*x^{1/2}$	0,99
	60 °C	$\hat{y} = 64,1585 + 0,0111x - 0,0002*x^2$	0,99

*Significativo a 5%, ** significativo a 1%, $^{\circ}$ significativo a 10% pelo test t.

A estabilidade oxidativa de um óleo é importante na determinação das condições e do tempo de armazenamento as quais este óleo pode ser submetido, bem como a necessidade ou não do uso de agentes antioxidantes (CORSINI; JORGE, 2006). No processo de deterioração oxidativa, há um período inicial, denominado período de indução (PI), quanto maior o PI, mais estável é o óleo (SILVA et al., 2011). No presente estudo, os maiores PI ao longo do armazenamento, em geral, foram constatados nos tratamentos de secagem a 60 °C e tratamento sem secagem (controle). Tais resultados demonstram que a secagem experimental de amêndoa de macaúba na temperatura de 60 °C pode ser uma alternativa viável para a indústria de processamento de óleo.

Ao longo do armazenamento a EO do óleo oriundo da amêndoa de macaúba reduziram em todos os tratamentos. Comportamento semelhante foi reportado por Martins (2011), que estudando o efeito da secagem de frutos de macaúba na qualidade do óleo da amêndoa, verificou redução na EO para todos os tratamentos (sem secagem, secagem 45°C e 65°C) ao longo do armazenamento. Esse comportamento também foi elucidado por Silva et al. (2011), que estudando a estabilidade oxidativa de amêndoas de noz macadâmia secas por micro-ondas com ar quente, verificaram que ambos os tratamentos apresentaram valores médios de estabilidade reduzindo ao longo do armazenamento de 180 dias. A redução na estabilidade oxidativa ao longo do armazenamento provavelmente ocorreu porque o processo de secagem aumenta a taxa de oxidação e as reações químicas de hidrólise, afetando assim, a estabilidade oxidativa (MORETTO; FETT, 1998).

4.2. Índice de acidez no óleo da amêndoa (IA)

Os valores médios de índice de acidez (IA) no óleo da amêndoa de macaúba submetida ao processo de secagem apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$)

quando comparados ao controle (sem secagem), em todos os períodos de armazenamento, exceto para os períodos de armazenamento de 0 e 120 dias de armazenamento (Tabela 3). Em geral, até 120 dias de armazenamento, os valores médios de IA dos tratamentos com secagem não diferiram ($p>0,05$) do tratamento controle. Nos períodos de armazenamento de 240 e 360 dias, os valores médios de IA no óleo da amêndoa oriundos dos tratamentos com secagem a 50 °C e 60 °C, foram significativamente superiores ($p<0,05$), comparados ao tratamento controle.

Tabela 3. Valores médios do índice de acidez (% ácido láurico) no óleo da amêndoa de macaúba submetida a secagem (controle, 40 °C, 50 °C e 60 °C), nos diferentes períodos de armazenamento (0, 60, 120, 240 e 360 dias).

Tratamentos	Período de armazenamento (dias)				
	0	60	120	240	360
SS (padrão)*	0,16	0,44	0,31	0,67	0,72
40 °C	0,18	0,25*	0,29	0,60	0,75
50 °C	0,18	0,31	0,25	0,47*	0,42*
60 °C	0,23	0,30	0,34	0,42*	0,58*

Médias com * na coluna diferem do valor do tratamento sem secagem (SS) ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Dunnett.

Apresenta-se, na Figura 2, as curvas de regressão que descrevem o comportamento de IA no óleo da amêndoa de frutos de macaúba ao longo do armazenamento expostos a diferentes temperaturas de secagem. Com o aumento no período de armazenamento das amêndoas, notou-se elevação no IA para todos os tratamentos (controle, secagem a 40°C, secagem a 50°C e secagem a 60°C), sendo os maiores incrementos observados no tratamento sem secagem (controle) e secagem a 40°C. Esse incremento na acidez ao longo do armazenamento também foi constatado por Martins (2013) ao avaliar a influência da secagem e seu efeito no óleo da amêndoa. Os modelos ajustados para representar esta variação encontram-se dispostos na Tabela 3.

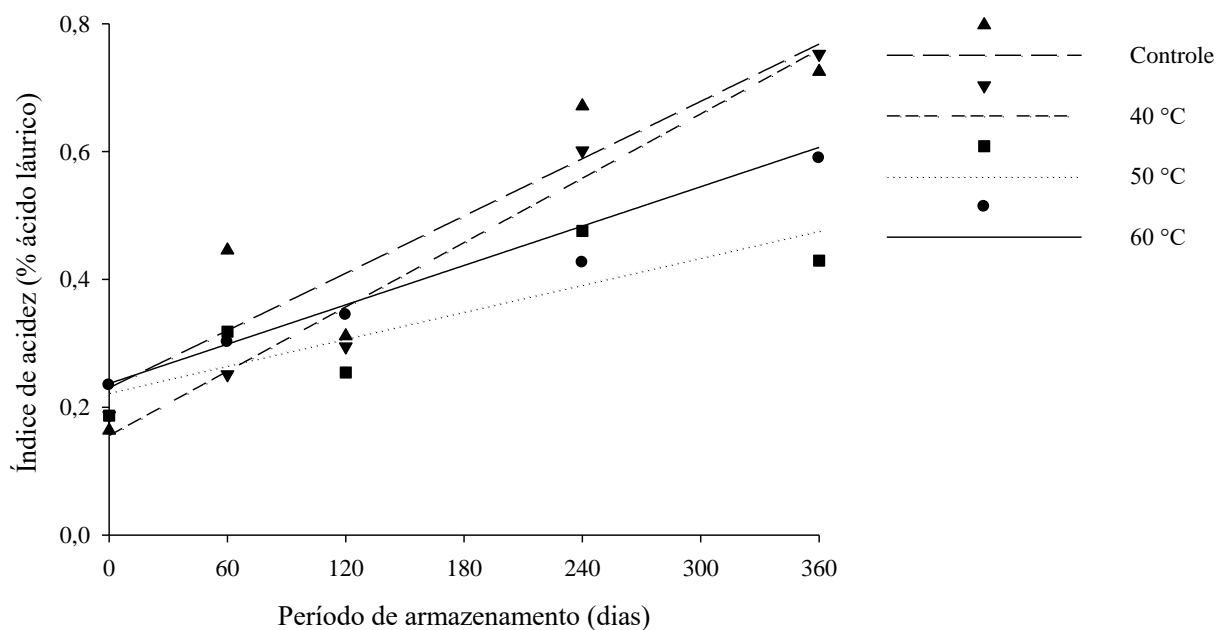


Figura 2. Índice de acidez (% ácido láurico) no óleo da amêndoa de frutos de macaúba expostos aos diferentes tratamentos com secagem (controle, secagem a 40, 50 e 60 °C) ao longo do armazenamento (0, 60, 120, 240 e 360 dias).

O aumento no IA no óleo da amêndoa durante o período de armazenamento observado no tratamento controle pode ser associado ao alto teor de umidade das amêndoas nesse tratamento (Tabela 4). Verificou-se auto teor de água nos tratamentos antes do processo de secagem. Sob tais circunstâncias, ocorre elevada infestação por microrganismos. De acordo com Ali et al. (2014), o ataque microbiano favoreceu a hidrólise do óleo e, assim, aumentou o teor de ácidos graxos livres no óleo de dendê (*Elaeis guineenses*). De acordo com Tan et al. (2014), a atividade da lipase é melhorada na presença de água. Tal fato, possivelmente, explica o incremento no índice de acidez no óleo proveniente da amêndoa ao longo do armazenamento.

Após a desidratação por secagem artificial, até 5,5 % (Tabela 4) a atividade da lipase é reduzida e, portanto, baixos níveis de IA foram observados. Silva et al. (2011) estudando o índice de acidez do óleo de noz macadâmia após processo de secagem,

verificaram também, que provavelmente, a inativação de enzimas responsáveis no processo hidrolítico mantiveram o IA do óleo baixo ao longo do armazenamento.

É importante relatar que apesar do incremento linear na acidez do óleo da amêndoa em todos os tratamentos, esse aumento é relativamente pequeno, pois o teor de acidez foi de 0,2 para 0,8 % de ácido láurico em um ano. Os valores de acidez deste estudo encontram-se dentro do valor máximo preconizado pela legislação brasileira (ANVISA, 2005), os quais variam de 0,8% (para azeite de oliva extra virgem) a 2% (para azeite de oliva virgem). Os resultados demonstram que o óleo da amêndoa de macaúba apresenta excelente qualidade para ser usado na indústria alimentícia.

Tabela 4. Valores médios de teor de água nas amêndoas de macaúba antes da secagem (AS) e depois da secagem (DS)

Temperatura de secagem	Teor de água (%)	
	AS	DS
Sem secagem	13,35 ± 0,03*	-
40 °C	13,79 ± 0,01	5,5
50 °C	13,20 ± 0,03	5,5
60 °C	13,20 ± 0,03	5,5

*média ± EP.

4.3. Teor de óleo na amêndoa (TO)

Os valores médios de teor de óleo da amêndoa de macaúba submetida ao processo de secagem apresentaram, em geral, diferença significativa ($p < 0,05$) quando comparados ao controle (sem secagem), apenas nos períodos de armazenamento de 0 e 60 dias (Tabela 5).

Tabela 5. Valores médios de teor de óleo (% b.s) na amêndoa de macaúba submetida a secagem (sem secagem, 40 °C, 50 °C e 60 °C), nos diferentes períodos de armazenamento (0, 60, 120, 240 e 360 dias).

Tratamentos	Período de armazenamento (dias)				
	0	60	120	240	360
SS (padrão)*	56,20	45,55	53,01	52,28	53,31
40 °C	49,63*	56,61*	52,09	52,99	50,28
50 °C	47,00*	58,85*	53,90	55,79	48,53*
60 °C	50,92*	41,88	54,12	54,97	52,06

Médias com * na coluna diferem do valor do tratamento sem secagem (SS) ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Dunnett.

Os valores médios de TO na amêndoa de frutos de macaúba variaram de 45,55% a 58,85% (b.s.), independentemente do tratamento (controle, secagem a 40 °C, 50 °C e 60 °C) e período de armazenamento (Figura 3). Os valores médios de TO na amêndoa de frutos de macaúba não variaram significativamente durante o armazenamento de 360 dias para todos os tratamentos. Após 120 dias de armazenamento, verificou-se uma tendência de estabilização no TO na amêndoa para todos os tratamentos.

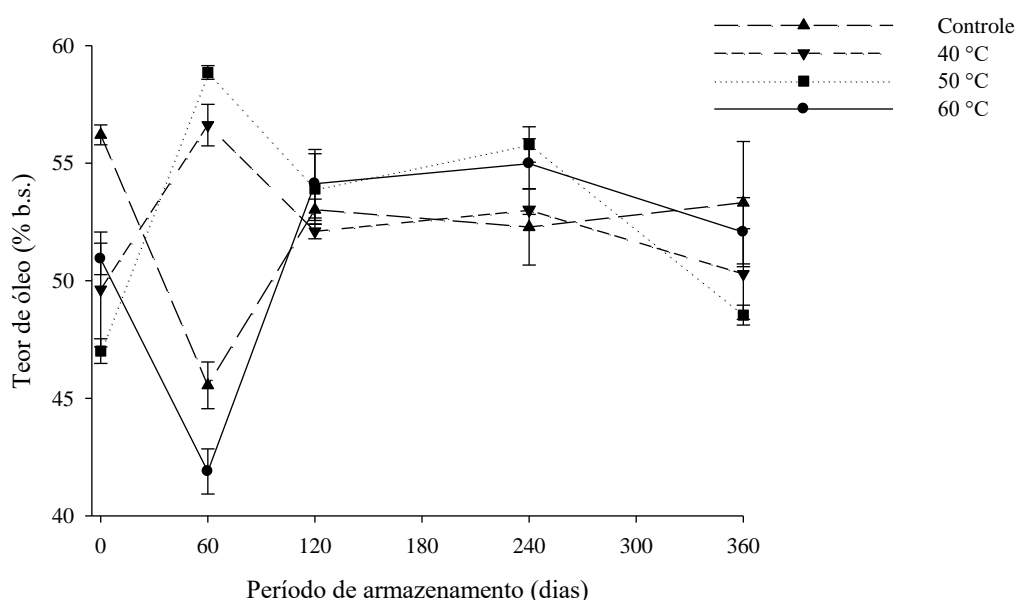


Figura 3. Variação do teor de óleo (% b.s.) na amêndoa de frutos de macaúba expostos aos diferentes tratamentos com secagem (controle, secagem a 40, 50 e 60 °C) ao longo do armazenamento (0, 60, 120, 240 e 360 dias).

Desta forma, a secagem nas diferentes temperaturas, em geral, não interfere no TO na amêndoa durante 360 dias. Amaro (2017) estudando a maturação, secagem e armazenamento na qualidade de sementes de crambe, também verificou que diferentes temperaturas de secagem (30 °C, 45 °C e 60 °C) não influenciaram os resultados de teor de óleo das sementes de crambe.

As amêndoas ficaram armazenadas 20 dias após a colheita em condições ambientais (temperatura de 30 ± 2 °C e umidade relativa $70 \pm 5\%$), apenas após esse processo foi realizada a secagem. Os resultados desse estudo demonstram, em geral, uma tendência de estabilização no incremento no TO na amêndoa após 20 dias de armazenamento em condições ambientais. Estudos realizados por Evaristo et al. (2017) e Goulart (2014) corroboram com esses resultados. Esses autores sugerem que os frutos de macaúba apresentam um comportamento climatérico, acumulando óleo somente nos primeiros 20 dias de armazenamento. Diante do exposto, provavelmente, as amêndoas também acumulam óleo apenas nos primeiros 20 dias.

4.4. Atividade de água no óleo (AA)

Os valores médios de atividade de água (AA) no óleo da amêndoa de macaúba submetida ao processo de secagem (40 °C, 50 °C e 60 °C) não diferiram significativamente do valor médio do controle (sem secagem) pelo teste Dunnett ao nível de probabilidade de 5%, para todos os períodos de armazenamento (Tabela 6).

Tabela 6. Valores médios de atividade de água no óleo (aW) na amêndoa de macaúba submetida a secagem (sem secagem, 40 °C, 50 °C e 60 °C), nos diferentes períodos de armazenamento (0, 60, 120, 240 e 360 dias).

Tratamentos	Período de armazenamento (dias)				
	0	60	120	240	360
SS (padrão)*	0,62	0,66	0,60	0,61	0,66
40 °C	0,60	0,68	0,60	0,66	0,68
50 °C	0,60	0,66	0,59	0,64	0,65
60 °C	0,57	0,66	0,56	0,63	0,64

Médias com * na coluna diferem do valor do tratamento sem secagem (SS) ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Dunnett.

Os valores médios de AA no óleo da amêndoa de frutos de macaúba variaram de 0,56 – 0,68, independentemente do tratamento (controle, secagem a 40 °C, 50 °C e 60 °C) e período de armazenamento (Figura 4). Após 360 dias de armazenamento, verificou-se não haver diferenças significativas na AA entre os tratamentos com secagem e sem secagem. Ao longo do armazenamento das amêndoas verificou-se, em geral, uma tendência de valores médios de AA superiores no tratamento com secagem a 40 °C e tratamento sem secagem.

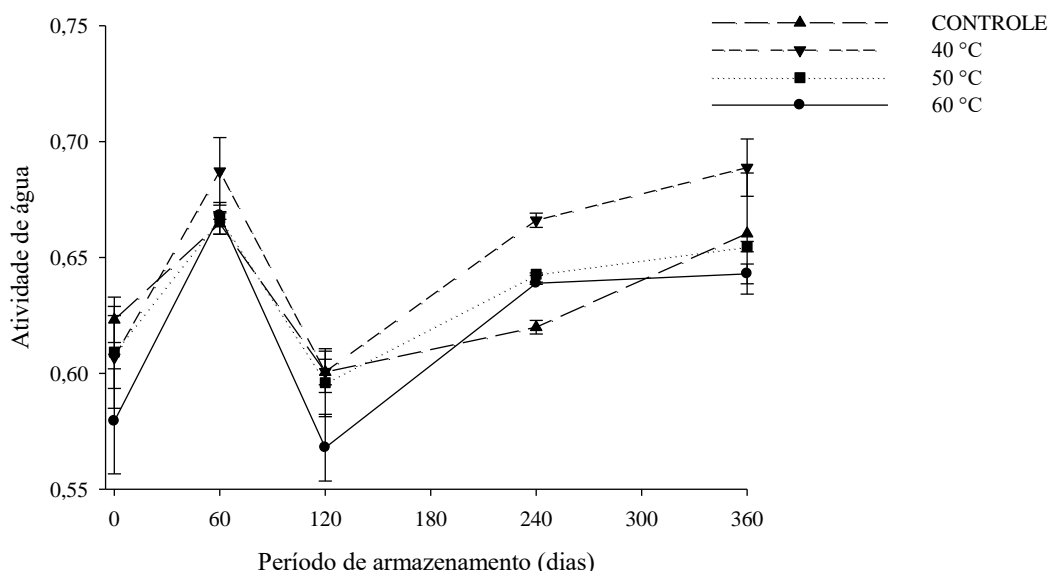


Figura 4. Variação da atividade de água na amêndoa de frutos de macaúba expostos aos diferentes tratamentos com secagem (controle, secagem a 40, 50 e 60 °C) ao longo do armazenamento (0, 60, 120, 240 e 360 dias).

O conhecimento da atividade de água em um produto agrícola armazenado é de suma importância, uma vez que, essa variável é um fator determinante para o

crescimento de fungos (SILVA et al., 2016). A atividade de água representa a disponibilidade de água para o desenvolvimento de microrganismos e também para reações de escurecimento, oxidação e hidrólise (PARK et al., 2007; TORREZAN et al., 1997).

Conforme observado na Tabela 5 e Figura 4, não houve diferença significativa na AA ao longo do armazenamento, entretanto, o uso das temperaturas de secagem de 50 °C e 60 °C, proporcionaram valores médios de AA inferiores aos demais tratamentos. Desta forma, o uso dessas duas temperaturas poderia ser uma alternativa viável para o armazenamento das amêndoas de macaúba para fins de uso na indústria, já que, provavelmente ocorrerá uma baixa infestação por microrganismo nessas condições e conseqüentemente, preservação da qualidade.

Estudos realizados por Borompichaichartkul et al. (2009), estudando a qualidade de macadâmia (*Macadamia integrifolia*) após tratamento de secagem, verificaram valores médios de atividade de água superiores na temperatura de secagem de 70 °C, comparado a temperaturas inferiores (50 °C e 60 °C). De acordo com esses mesmos autores, possivelmente, na temperatura de 70 °C a água do produto é removida rapidamente, resultando em endurecimento superficial e bloqueio do restante da água que encontra-se no núcleo, portanto, a atividade de água permaneceu elevado. Diante do exposto, a secagem de amêndoas de macaúba na temperatura de 60 °C pode tornar uma promissora alternativa para preservação da qualidade desse produto durante o armazenamento.

4.5. Cor do óleo da amêndoa (CO)

Os valores médios das coordenadas L* e b*, não diferiram significativamente ($p > 0,05$) do valor médio do controle, com exceção dos períodos de armazenamento de 0

e 60 dias (Tabela 7). Com relação à coordenada a*, houve diferença estatística entre os processos de secagem (40 °C, 50 °C e 60 °C), quando comparados ao tratamento controle pelo teste Dunnett ao nível de 5% de probabilidade, em todos os períodos de armazenamento.

Tabela 7. Valores médios de L*, a*, b* no óleo da amêndoa de macaúba submetida a secagem (sem secagem, 40 °C, 50 °C e 60 °C), nos diferentes períodos de armazenamento (0, 60, 120, 240 e 360 dias).

Tratamentos	L*				
	0	60	120	240	360
SS (padrão)*	52,26	58,16	59,49	42,82	56,92
40 °C	46,46*	56,34	60,30	43,18	55,32
50 °C	53,92	43,83*	59,63	43,50	53,65
60 °C	52,80	45,70*	59,69	42,65	52,90*
Tratamentos	a*				
	0	60	120	240	360
SS (padrão)*	-0,45	-1,10	-0,90	-0,40	-0,57
40 °C	-0,37	-0,99	-1,07*	-0,11*	-0,74*
50 °C	-0,92*	-0,38*	-1,13*	-0,09*	-0,62
60 °C	-1,06*	-0,42*	-1,01	-0,11*	-0,35*
Tratamentos	b*				
	0	60	120	240	360
SS (padrão)*	3,31	6,45	5,65	2,85	6,12
40 °C	7,57*	8,04	5,82	2,33	6,58
50 °C	6,09*	2,46*	6,69	1,36	5,91
60 °C	9,04*	1,81*	6,00	4,12	5,18

Médias com * na coluna diferem do valor do tratamento sem secagem (SS) ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Dunnett.

Os valores médios da coordenada L* no óleo da amêndoa de frutos de macaúba variaram de 42,65 – 60,30, independentemente do tratamento (controle, secagem a 40 °C, 50 °C e 60 °C) e período de armazenamento (tabela 7). Para a coordenada a*, observa-se que independentemente do tratamento, em geral, os menores valores para essa variável foram observados durante 120 dias de armazenamento e os maiores valores médios no período de armazenamento de 240 dias. Já para a coordenada b*, o valor máximo (9,04) foi verificado no tratamento com ar de secagem de 60 °C, no

período zero de armazenamento. Os menores valores médios da coordenada L* foi constatado, em geral, no período de armazenamento de 240 dias, para todos os tratamentos.

Um atributo importante na análise da qualidade de um determinado produto é a cor, a apreciação visual é o primeiro dos sentidos a ser usado, sendo assim, esse parâmetro é decisivo na aceitação do produto (LIMA et al., 2007). O óleo da amêndoa, obtida nas temperaturas de secagem em estudo, apresentou valores médios, em geral, similares ao observado no tratamento controle (sem secagem) para as coordenadas L*, que numa escala de 0 a 100 varia desde o preto (0) ao branco (100). Já os valores relativos ao termo “b” são mensuráveis em relação às tonalidades, amarela, se positivo, e azul, se negativo.

Ao longo do armazenamento, independentemente do tratamento (secagem e sem secagem), verificasse-se que os valores médios relativos ao termo “b” foram todos positivos. Sendo assim, o óleo manteve-se sua cor característica ao longo do armazenamento em todos os tratamentos, não ocorrendo assim, o escurecimento que é indesejável para indústria. Além disso, os valores médios da coordenada “a” não foram alterados estatisticamente ao longo do tempo, independentemente do tratamento, o termo “a” refere-se à tonalidade vermelha, se positivo, ou verde, se negativo. Todos os valores médios observados para essa coordenada foram negativos.

Durante o armazenamento das amêndoas oriundas dos quatros tratamentos (sem secagem, 40 °C, 50 °C e 60 °C), a temperatura e umidade do ar foram controladas. Provavelmente, em virtude do ambiente de armazenagem não ter sofrido variação durante todo experimento, o óleo da amêndoa manteve-se com sua coloração inalterada estatisticamente ao longo do armazenamento. O ambiente de armazenamento (temperatura e umidade relativa), bem como o tempo possui elevada capacidade em

intervir sobre a qualidade e aparência do produto armazenado (BALEŠEVIĆ-TUBIĆ et al., 2005; ALENCAR et al., 2009; KHATUN et al., 2009; BIABANI et al., 2011; SMANIOTTO et al., 2014).

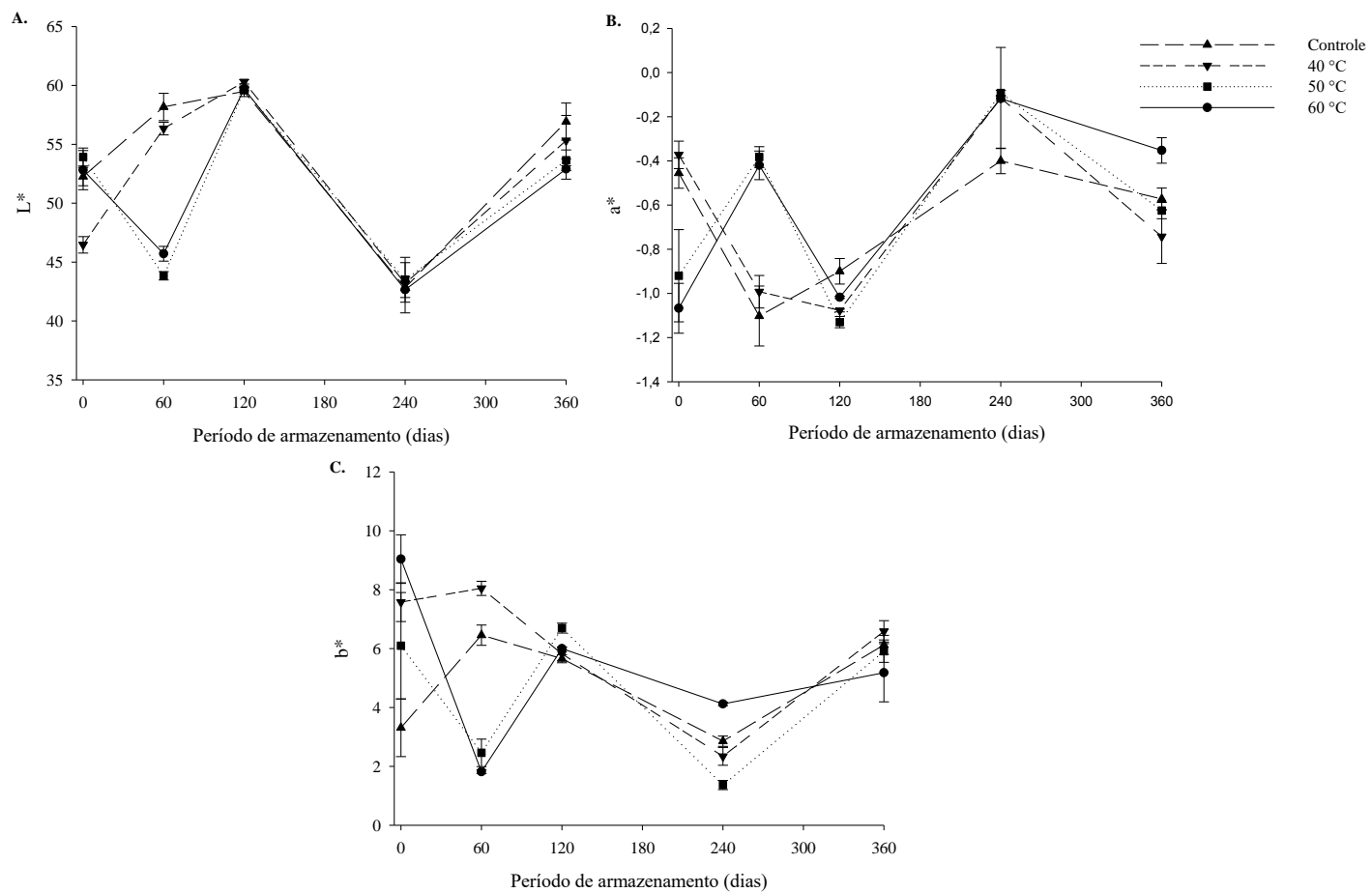


Figura 5. Variação das coordenadas L* (A), a* (B) e b* (C) no da amêndoa de frutos de macaúba expostos aos diferentes tratamentos com secagem (controle, secagem a 40, 50 e 60 °C) ao longo do armazenamento (0, 60, 120, 240 e 360 dias).

5. CONCLUSÃO

Os maiores PI ao longo do armazenamento, em geral, foram constatados nos tratamentos de secagem a 60 °C e tratamento sem secagem (controle). Tais resultados demonstram que a secagem experimental de amêndoa de macaúba na temperatura de 60 °C pode ser uma alternativa viável para a indústria de processamento de óleo.

Com o aumento no período de armazenamento das amêndoas, notou-se elevação no IA para todos os tratamentos, sendo o maior incremento observado no tratamento sem secagem (controle).

Os valores médios de TO na amêndoa de frutos de macaúba não variaram significativamente durante o armazenamento de 360 dias para todos os tratamentos.

Durante os 360 dias de armazenamento, não houve diferenças significativas na AA entre os tratamentos com secagem e sem secagem.

Os valores médios das coordenadas L* e b*, não diferiram do valor médio do controle, com exceção dos períodos de armazenamento de 0 e 60 dias. Com relação à coordenada a*, houve diferença estatística entre os processos de secagem (40 °C, 50 °C e 60 °C), quando comparados ao tratamento controle.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, E.R.; FARONI, L.R.D.; LACERDA FILHO, A.F.; PERTINELLI, L.A.; COSTA, A.R. Qualidade dos grãos de soja armazenados em diferentes condições. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13 n.5, p.606-613, Set.-Out., 2009.
- ALI, F.S., SHAMSUDIN, R., YUNUS, R. The Effect of Storage Time of Chopped Oil Palm Fruit Bunches on the Palm Oil Quality. **Agric. Agric. Sci. Procedia**. 21, 65-172. 2014.

- AMARO, H. T. R. **Maturação, secagem e armazenamento na qualidade de sementes de crambe**. Tese do programa de pós graduação em Fitotecnia a nível de doutorado. Universidade Federal de Viçosa - UFV. Viçosa. Xiv, 67f. 2017.
- AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY (AOCS). **Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society**. Champaign, IL, 1997.
- AOCS. **Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society**. Champaign: 1994.
- ANVISA – **Agência Nacional de Vigilância Sanitária** – Ministério da Saúde. Resolução de Diretoria Colegiada – RDC Nº. 270, de 22 de Setembro de 2005. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>> Acesso em: 10 fev. 2018.
- BALEŠEVIĆ-TUBIĆ, S.; MALENČIĆ, Đ.; TATIĆ, M.; MILADINOVIĆ, J. Influence of aging process on biochemical changes in sunflower seed. **HELIA**, v.28, n.42, p.107- 114, 2005.
- BENATO, E. A. Controle de doenças pós-colheita em frutos tropicais. **Summa phytopathologica**, v. 25, n1, p. 90-93, 1999.
- BIABANI, A.; BOGGS, L.C.; KATOZI, M.; SABOURI, H. Effects of seed deterioration and inoculation with *Mesorhizobium ciceri* on yield and plant performance of chickpea. **Australian Journal of Crop Science**, v.5, n.1, p.66-70, Jan., 2011.
- BIAGI, J. D.; VALENTINI, S. R. T.; QUEIROZ, D. M. Secagem de Produtos Agrícolas. In: CORTEZ, L. A. B.; MAGALHÃES, P. S. G. (Eds.). **Introdução a Engenharia Agrícola**, Campinas: Unicamp, p. 245-265, 1992.
- BOROMPICHAICHARTKUL, C.; LUENGSONE, K.; CHINPRAHAST, N.; DEVAHASTIN, S. Improving quality of macadamia nut (*Macadamia integrifolia*) through the use of hybrid drying process. **Journal of Food Engineering**, 93, 348–353. 2009.
- CHRISTENSEN, C. M.; KAUFMANN, H. H. Microflora. In: CHRISTENSEN, C. M. Storage of cereal grain and their products. St. Paul: **American Association of Cereal Chemists**, p. 158-192, 1974.
- CORSINI, M. S.; JORGE, N. S. Estabilidade oxidativa de óleos vegetais utilizados em frituras de mandioca palito congelada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 1, p. 27-32, 2006.

- GHINI, R.; BETTIOL, W. Diagnose. In: KIMATI, H. (Ed.). Manual de fitopatologia. Controle cultural. 3 ed. São Paulo: **Agronômica Ceres**, v. 1, 39, p. 786-803, 1995.
- GOULART, S. M. **Amadurecimento pós-colheita de frutos de macaúba e qualidade do óleo para a produção de biodiesel**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2014.
- IAL. **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 4.** São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 116-118
- IEA. **Instituto de Economia Agrícola**. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/OUT/verTexto.php?codTexto=9167>>. Acessado em: 18/03/2013. 2008.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL), Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**, 4a edição, São Paulo: IMESP, v. 1, p. 116 – 118, 1985.
- KHATUN, A.; KABIR, G.; BHUIYAN, M.A.H. Effect of harvesting stages on the seed quality of lentil (*Lens culinaris* L.) during storage. **Bangladesh Journal of Agricultural Research**, Bangladesh, v.34, n.4, p.565-576, Dez., 2009.
- KÖPPEN, W. P.; GEIGER, R. **Die Klimate der Erde: Grundriss der Klimakunde**. Berlin, Leipzig: **Waltr de Gruyter**, 1928.
- 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.
- LIMA, J. R.; GONÇALVES, L. A. G. **Avaliação analítica de óleos utilizados em processo de fritura**. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 2, p. 186-192, 1995.
- MARTINS A.D. **Radiação gama e secagem na conservação da qualidade do óleo de frutos de macaúba**. Tese de Doutorado em Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, xviii, 89 p. 2013.
- MORETTO, E.; FETT, R. **Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos**. São Paulo: Varela, 1998.
- NOGUEIRA, R. I. Secagem e desidratação de frutas e hortaliças. In: NOGUEIRA, R. I. (Ed.). **Curso de Processamento de Frutas e Hortaliças**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, p. 117-130, 1992.

- PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. U.; PARK, K. J. B. **Conceitos de processo e equipamentos de secagem.** Disponível em: <<http://www.feagri.unicamp.br/ctea/projpesq.html>>. Acesso em 28 de outubro de 2013. 2007.
- PIMENTEL, L. D.; MANFIO, C. E.; MOTOIKE, S. Y.; PAES, J. M. V.; BRUCKNER, C. H. Coeficientes técnicos e custos de produção do cultivo da macaúba. **Informe Agropecuário**, v. 32, n 265, p. 61-69, 2011.
- PINELI, L. L. O.; MORETI, C. L.; ALMEIDA, G. C.; NASCIMENTO, A. B. G.; ONUKI, A. C. A.; Associação de atmosfera modificada e antioxidantes reduz o escurecimento de batatas ‘Ágata’ minimamente processadas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.4, p.993-999, out./dez., 2005.
- SARICOBAN, C.; YILMAZ, M.T. Modelling the effects of processing factors on the changes in colour parameters of cooked meatballs using response surface methodology. **World Applied Sciences Journal**. v.9, n.1, p.14-22, 2010.
- SILVA, F. A. da; GONÇALVES, L. A. G.; DAMIANI, C.; GONÇALVES, M. A. B.; SOARES-JUNIOR, M. S.; MARSAIOLI-JUNIOR, A. Estabilidade oxidativa de amêndoas de noz Macadâmia secas por micro-ondas com ar quente. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 286-292, abr./jun. 2011.
- SILVA, I. Uso de processos combinados para o aumento do rendimento da extração e da qualidade do óleo de macaúba. **Dissertação de Mestrado**. UFRJ. Rio de Janeiro, 99 p., 2009.
- SMANIOTTO, T.A.S.; RESENDE, O.; MARÇAL, K.A.F.; OLIVEIRA, D.E.C.; SIMON, G.A. Qualidade fisiológica das sementes de soja armazenadas em diferentes condições. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.4, p.446-453, Abr., 2014.
- TORREZAN, R.; JARDINE, J. G.; VITALI, A. A. Preservação de alimentos com o uso dos métodos combinados: uma revisão. **B. SBCTA**, 31 (2): p.214-228. 1997.

CAPITULO 3

Propriedades físicas das amêndoas de macaúba submetidas a diferentes temperaturas de secagem.

1. RESUMO

O conhecimento das propriedades físicas de amêndoas de macaúba (*Acrocomia aculeata*) é de fundamental importância para uma correta conservação e para o dimensionamento e operação de equipamentos para as principais operações pós-colheita deste produto. Diante do exposto, objetivou-se, assim, com este estudo, avaliar a influência do teor de água e temperatura de secagem nas propriedades físicas de amêndoa de macaúba. A secagem das amêndoas de macaúba ocorreu nas seguintes temperaturas: 60 °C, 70 °C, 80 °C e 90 °C e teores de água: 4,3%; 5,3%; 6,0%; 7,0% e 8,9%. Durante o processo de secagem foram avaliados o diâmetro geométrico, esfericidade, circularidade, área projetada e superficial, a massa específica aparente e a porosidade total, analisados em função da temperatura de secagem e teor de água. A redução do teor de água de amêndoa de macaúba proporcionou aumento no diâmetro geométrico, na área projetada e superficial e redução na circularidade. O aumento na temperatura de secagem de amêndoa de macaúba proporcionou redução no diâmetro geométrico, esfericidade, circularidade, área projetada e superficial. O modelo linear representou satisfatoriamente o fenômeno de diâmetro geométrico, circularidade, área projetada e superficial de amêndoa de macaúba, para todas as temperaturas de secagem e teores de água. Já o modelo quadrático representou satisfatoriamente o fenômeno de esfericidade, porosidade total e massa específica aparente e unitária. Conclui-se que

diferentes temperaturas de secagem e teores água afetam as características físicas de amêndoa de macaúba e os dados experimentais poderão subsidiar o dimensionamento de equipamentos para as principais operações pós-colheita de amêndoas de macaúba.

2. INTRODUÇÃO

Plantas oleaginosas se constituem em uma importante fonte de matéria-prima para a obtenção de óleos com aplicação em diversos setores industriais, tais como os de produção de alimentos, cosméticos, fármacos, biocombustíveis, lubrificantes, entre outros (QUEIROZ, 2016).

O Brasil possui uma enorme diversidade de espécies vegetais das quais se podem extrair óleos, sendo que a produção de óleos de palmeiras oleaginosas surge como uma alternativa à produção de óleos a partir de sementes e grãos. Entre as palmeiras potenciais se destaca a Macaúba (*Acrocomia aculeata* (JACQ.) LODD. EX MART), uma palmeira com larga distribuição na América Tropical (PIRES et al., 2013), e com grandes populações no cerrado brasileiro (SILVA; CAÑO-ANDRADE, 2013; MOURA et al, 2010).

Os frutos são do tipo drupa, esféricos, com coloração marrom, com peso médio de 66 g. São constituídos por epicarpo (casca), mesocarpo (polpa), endocarpo e amêndoa, com teor de óleo variando de 55 a 69% na matéria seca da polpa e 55 a 58% na matéria seca da amêndoa (CETEC, 1983).

Tanto os óleos quanto os coprodutos gerados no processamento dos frutos da macaúba podem ser utilizados na indústria alimentícia e de cosméticos, setor de energia, para alimentação animal e outros fins. Entretanto, vale ressaltar a importância da conservação pós-colheita dos frutos da macaúba para garantir a manutenção das suas

propriedades físicas e químicas. A temperatura e a umidade do ar são os fatores do meio mais importante na determinação da extensão da vida pós-colheita (EVARISTO, 2015).

Entre os métodos físicos para conservação pós-colheita, a secagem artificial é amplamente empregada, principalmente em sementes oleaginosas. Este método baseia no fato de microrganismos, enzimas e todo o mecanismo metabólico necessitarem de água para suas atividades (EVARISTO, 2015).

A redução do teor de água é um dos fatores essenciais que influenciam na variação das propriedades físicas dos materiais vegetais durante a secagem, além de provocar o encolhimento dos mesmos (RESENDE et al., 2005). Admitindo a particularidade de que cada produto, não só em relação às suas características físicas, mas também por sua composição química, torna seu comportamento único durante o processo de dessecamento; logo, informações a respeito desta singularidade são de suma importância para auxiliar no processamento pós-colheita além de fornecer um conjunto de dados aos engenheiros e projetistas, que servirão de base na elaboração de máquinas, estruturas, processos de controle e proporcionar melhor eficiência de um equipamento ou operação (ARAÚJO et al., 2014).

Segundo Mayor e Sereno (2004), a perda de água causa danos à estrutura celular do produto, levando à mudança na forma e no decréscimo em suas dimensões. De acordo com Ramos et al. (2003), a redução do conteúdo de água, durante o processo de secagem, origina uma redução no tamanho do tecido celular e para Prado et al. (2000), gera a redução da tensão existente no interior das células promovendo, assim, a sua contração volumétrica.

No início da secagem, aparentemente, o produto permanece com a estrutura intacta e mantém sua forma original. Entretanto, com a retirada de água, acontece o seu

encolhimento que é acompanhado de deformação das partículas, formação de poros e demais mudanças microestruturais (KOÇ et al.,2008).

A difusão líquida é o principal mecanismo de transporte de água e ocorre nos sólidos de estrutura fina, nos capilares, nos poros e nos pequenos orifícios ocupados pelo vapor (BAPTESTINI et al., 2011).

Considerando a necessidade de melhorias tecnológicas no processamento pós-colheita, objetivando produtos de maior qualidade, o conhecimento das propriedades físicas de produtos agrícolas é de fundamental importância para uma correta conservação e pra o dimensionamento e operação de equipamentos para as principais operações pós-colheita de produtos agrícolas (GONELI, 2008).

Segundo Goneli et al. (2011), informações a respeito do tamanho, volume, porosidade e massa específica dos produtos agrícolas, são consideradas de grande importância para estudos que envolvem transferência de calor e massa e movimentação de ar em massas granulares.

Considerando a importância destas propriedades este estudo teve como objetivo determinar e avaliar as propriedades físicas das amêndoas de macaúba em diferentes teores de água.

3. MATERIAL E METODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Propriedades Físicas e Qualidade de Produtos Agrícolas pertencente ao Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (Centreinar) na Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais, MG.

3.1 Matéria-prima

Foram utilizados no experimento frutos de macaúba (*Acrocomia aculeata*), esses frutos foram colhidos manualmente no estágio de maturação fisiológica. Os frutos foram colhidos na fazenda Capela, no município de Acaiáca, Minas Gerais, Brasil, situado a 20.76° de latitude sul, 42.86° de longitude oeste, a 481 m de altitude em relação ao nível do mar e de clima subtropical úmido Cwa (KÖPPEN e GEIGER, 1928)

Para compor as amostras foram selecionadas cerca de algumas plantas adultas. As palmeiras foram previamente identificadas, georreferenciadas e os cachos com frutos maduros foram colhidos no período de produção, época em que os frutos estavam se desprendendo naturalmente dos cachos. Durante a colheita, foi utilizado colchão equipado com redes laterais para amortecer a queda do cacho e minimizar os danos mecânicos nos frutos.

Após a colheita os frutos foram debulhados, e submetidos a uma seleção prévia no campo, eliminando-se frutos com danificações, deformações visíveis e doenças, com a finalidade de obter um produto homogêneo para composição das unidades experimentais, após a seleção, os frutos foram transportados até o laboratório de Propriedades Físicas e Qualidade de Produtos Agrícolas.

Os frutos após a colheita foram armazenados por 20 dias, para total acúmulo do óleo na amêndoa.

3.2 Secagem

Após o período de 20 dias os frutos foram despulpados com auxílio de uma despulpadora, logo em seguida ocorreu o rompimento do endocarpo com auxílio de uma morsa. Logo após as amêndoas foram levadas para a secagem, a secagem das amêndoas dos frutos de macaúba foi realizada em uma unidade condicionadora de atmosfera, de fabricação da empresa Aminco, modelo Aminco-Aire 150/300 CFM, dotada de

dispositivos para o controle da temperatura. O fluxo de ar mantido constante em torno de $4 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$. Bandejas removíveis com fundo telado foram colocadas no interior do equipamento para permitir a passagem do ar por meio da amostra. A secagem das amêndoas dos frutos de macaúba foi realizada em quatro condições de ar de secagem, 60 °C, 70 °C, 80 °C e 90 °C de temperatura, as amostras foram pesadas periodicamente, até atingir teor de água de 4,3%; 5,3%; 6,0%; 7,0% e 8,9% em b.u. A cada teor de umidade obtido foi realizada as análises abaixo.

3.3 Caracterização física da amêndoa da macaúba

3.3.1 Forma e Tamanho

A biometria dos frutos de macaúba foi analisada pela sua circularidade, esfericidade, área projetada e área superficial, calculadas a partir das medidas das dimensões características, como apresentada na Figura 1, para cada teor de água, em dez repetições, obtidas por meio de um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm.

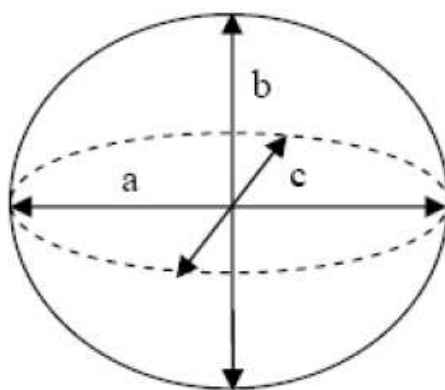


Figura 1. Desenho esquemático do fruto de macaúba com suas dimensões características.

em que:

a: maior dimensão característica do fruto, mm;

b: dimensão característica média do fruto, mm; e

c: menor dimensão característica do fruto, mm.

A circularidade, esfericidade, diâmetro geométrico e a área projetada foram calculados por meio de equações propostas por Mohsenin (1986).

A circularidade, C_i , é a medida da agudeza dos cantos de um sólido, sendo calculada, em porcentagem, por meio da Equação 1.

$$C_i = \left(\frac{b}{a}\right)100 \quad (1)$$

A esfericidade, E , é uma grandeza adimensional que indica uma aproximação da forma esférica. Para calcular a esfericidade, em porcentagem, utilizou-se a Equação 2.

$$E = \left(\frac{D_g}{a}\right)100 \quad (2)$$

O diâmetro geométrico médio, D_g , em mm, foi calculado utilizando-se a Equação 3:

$$D_g = (abc)^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

A área projetada, A_p , em mm^2 , dos frutos de macaúba foi determinada pela seguinte expressão:

$$A_p = \frac{\pi ab}{4} \quad (4)$$

A área superficial, S , em mm^2 , dos frutos de macaúba, foi calculada pela analogia com uma esfera de mesmo diâmetro geométrico médio, D_g , usando a seguinte expressão (SACILIK et al., 2003; TUNDE-AKINTUNDE e AKINTUNDE, 2004; ALTUNTAŞ, et al., 2005; GARNAYAK et al., 2008; GONELI et al., 2008; PRADHAN et al.,2008):

$$S = \pi D_g^2 \quad (5)$$

3.3.2. Massa Específica Aparente (ρ_a) e Unitária (ρ_u)

A massa específica aparente, ρ_a , da massa de frutos de macaúba, expressa em kg m^{-3} , foi determinada utilizando-se um cilindro de policloreto de vinila, PVC, de 24,5 cm de diâmetro e 24,5 cm altura, em quatro repetições (GUPTA e DAS, 1997; GARNAYAK et al., 2008; PRADHAN et al., 2008). Pela relação da massa dos frutos e o volume por ela ocupado, pode-se determinar os valores de massa específica aparente.

A massa específica unitária, ρ_u , expressa em kg m^{-3} , foi determinada pela relação entre a massa e o volume de cada fruto, em dez repetições para cada teor de água. Para a determinação do volume, os frutos de macaúba foram considerados como esferóides triaxiais, sendo medidas suas dimensões características, eixos ortogonais (Figura 1), sendo estas obtidas com um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm.

Após determinadas suas dimensões características, o volume, V , dos frutos foi determinado como proposto por Mohsenin (1986), de acordo com a Equação 6:

$$V = \frac{\pi}{6}(abc) \quad (6)$$

3.3.3. Porosidade Total (ε)

O termo porosidade total refere-se à relação existente entre o volume ocupado pelo ar existente na massa granular e interna de determinado produto e o volume total ocupado por esta massa granular. É uma grandeza adimensional e foi determinada, em porcentagem, indiretamente a partir dos resultados da massa específica unitária e a massa específica aparente, de acordo com a Equação 7, proposta por Mohsenin (1986):

$$\varepsilon = \left[1 - \left(\frac{\rho_a}{\rho_u} \right) \right] 100 \quad (7)$$

3.3.4. Índice de Contração Volumétrica Unitária (Ψ)

O índice de contração volumétrica unitária dos frutos de macaúba com a redução do teor de água foi determinado pela relação entre o volume para cada teor de água, V , e o volume inicial, V_0 , de acordo como a Equação 8.

$$\Psi = \frac{V}{V_0} \quad (8)$$

em que:

Ψ : índice de contração volumétrica unitária, adimensional;

V : volume do fruto com uma dada umidade, mm^3 ; e

V_0 : volume inicial do fruto, mm^3

Para a determinação do volume dos frutos, foi utilizada a Equação 6, de acordo com a Figura 1.

Aos dados experimentais do índice de contração volumétrica unitária foram ajustados os modelos matemáticos descritos pelas expressões listadas na Tabela 1.

Tabela 1. Modelos testados para modelagem do índice de contração volumétrica unitária.

Referência	Modelos	
Bala e Woods (1984) modificado	$\Psi = 1 - A \{ 1 - \exp[-B (M - M_0)] \}$	(9)
Corrêa et al. (2004)	$\Psi = 1 / A + B \exp(M)$	(10)
Exponencial	$\Psi = A \exp(BM)$	(11)
Linear	$\Psi = A + BM$	(12)
Polinomial	$\Psi = A + BM + CM^2$	(13)
Rahman (1995)	$\Psi = 1 + \beta (M - M_0)$	(14)

em que:

M : teor de água, decimal b.s.;

M_0 : teor de água inicial, decimal b.s.;

A, B, C : parâmetros que dependem do produto; e

β : coeficiente de contração volumétrica unitária, adimensional.

3.4 Análise estatística

O experimento foi instalado em esquema de parcela subdividida, tendo nas parcelas as temperaturas de secagem (60 °C, 70 °C, 80 °C e 90 °C) e nas subparcelas os teores de água (4,3%; 5,3%; 6,0%; 7,0% e 8,9% b.u), no delineamento inteiramente casualizado (DIC), com nove repetições para as variáveis (C_i , E , D_g , A_p , S , ρ_u , ε e ψ) e quatro repetições para a variável ρ_a .

Os dados foram analisados em função da temperatura de secagem e teor de água, utilizando-se a metodologia da superfície de resposta. Os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t”, no coeficiente de determinação (R^2) e no fenômeno biológico.

4 RESULTADOS E DISCURSÃO

4.1. Análise da forma das amêndoas de macaúba

4.1.1. Diâmetro geométrico

O gráfico de superfície de resposta tridimensional foi gerado para demonstrar o efeito do teor de água e temperatura no diâmetro geométrico da amêndoa de macaúba (Figura 1). Os valores médios de diâmetro geométrico da amêndoa de macaúba para ambos os efeitos (teor de água e temperatura) apresentaram efeitos lineares significativos, ($P < 0,05$) e ($P < 0,01$), respectivamente.

Observou-se decréscimo no diâmetro geométrico da amêndoa com a redução do teor de água. Com o aumento da temperatura, verificou-se decréscimo no diâmetro geométrico. Obteve-se redução em torno de 2,14% no diâmetro geométrico com a redução do teor de água, na temperatura de 60 °C. Na temperatura de 70 °C, houve uma redução, em torno 1,96% com a redução do teor de água. Em geral, observou-se uma

redução desuniforme do diâmetro geométrico, assim como, uma redução desuniforme com o aumento da temperatura de secagem.

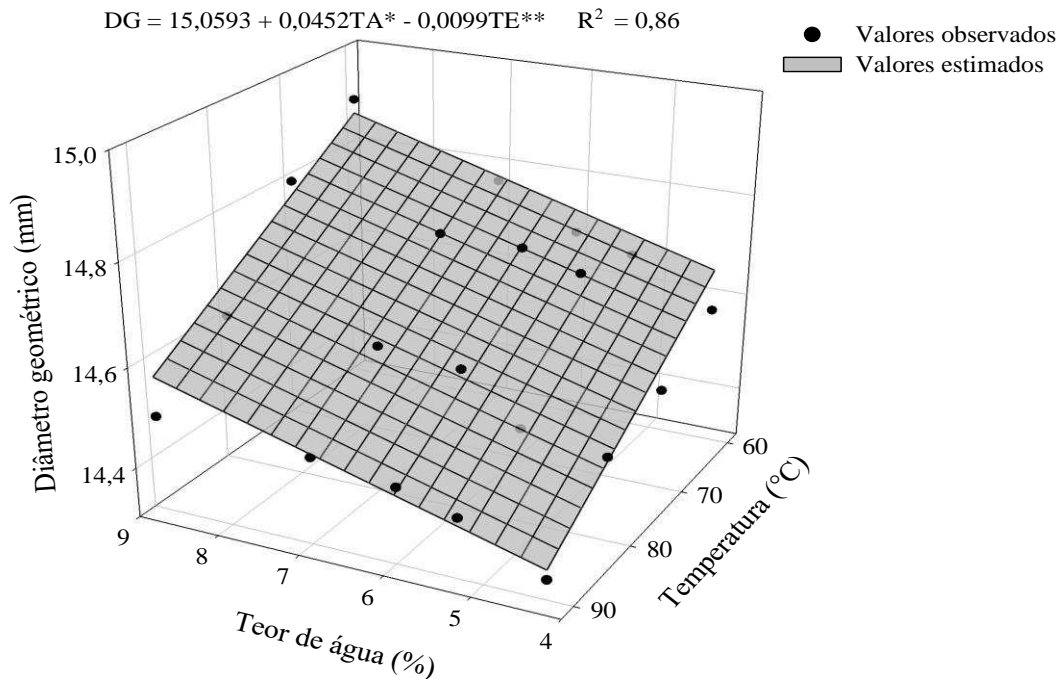


Figura 1. Diâmetro geométrico (mm) de amêndoas de frutos de macaúba, em função do teor de água e temperatura. *Significativo a 5% e ** significativo a 1% pelo test t.

A partir destes resultados, constata-se que as amêndoas de macaúba, assim como a maioria dos produtos agrícolas, possuem encolhimento desuniforme de sua dimensão geométrica durante o processo de secagem, tal como observado por Araujo et al. (2014) trabalhando com grãos de amendoim. De acordo com Goneli et al. (2011), o estudo das dimensões de um produto agrícola permite caracterizar a forma do produto, bem como fornece dados para subsidiar projetos destinados à colheita e pós-colheita e aprimorar equipamentos já existentes.

4.1.2. Esfericidade

A Figura 2 representa a superfície de resposta construída a partir do modelo obtido para esfericidade da amêndoa de macaúba. Verificou-se, conforme a equação, que o teor de água não apresentou efeito tanto linear ($P > 0,1$), quanto quadrático ($P > 0,1$), já o fator temperatura apresentou efeito linear ($P < 0,1$) e quadrático ($P < 0,1$).

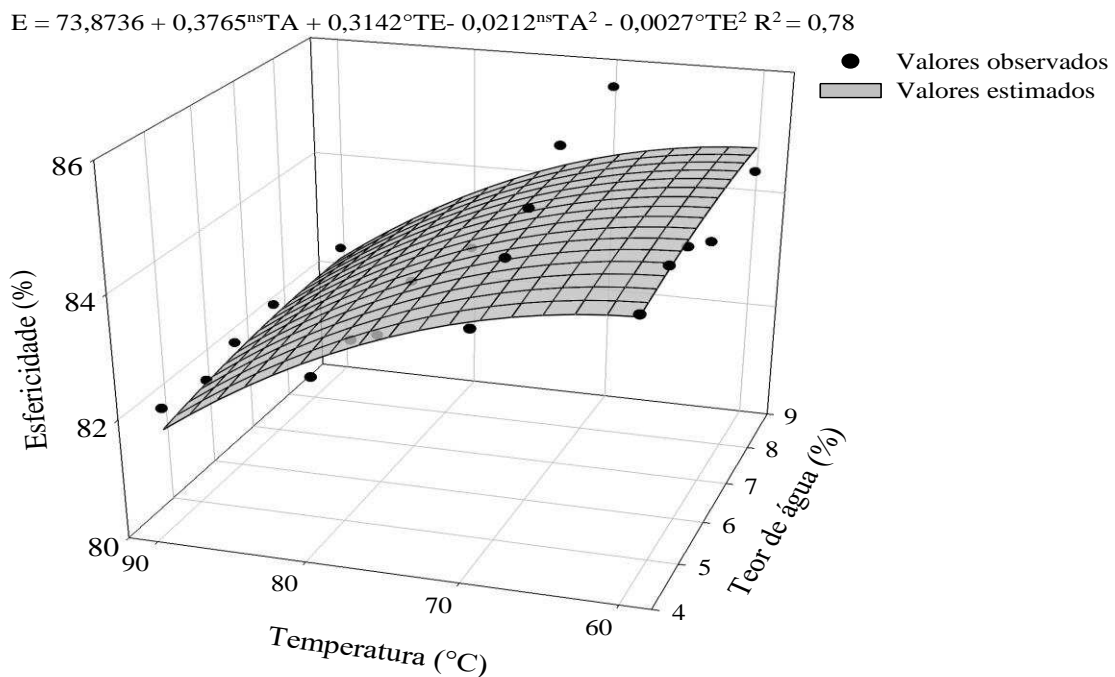


Figura 2. Esfericidade (%) de amêndoas de frutos de macaúba, em função do teor de água e temperatura. °Significativo a 10% e ^{ns} não significativo pelo test t.

A esfericidade da amêndoa de macaúba decresceu com a elevação da temperatura de secagem. Nos teores de água de 6,0 %, 5,5 % e 4,3 % foi verificado as maiores reduções na esfericidade com aumento da temperatura, 2,74, 3,09 e 2,70 pontos percentuais, respectivamente. Os menores valores médios de esfericidade foram elucidados na temperatura de 90 °C, sendo o menor valor experimental de esfericidade

(81,95 %) observado na secagem até o teor de água de 5,3%. Tais resultados evidenciam que a esfericidade de amêndoa de macaúba é mais afetada quando submetida a secagem em temperaturas mais elevadas, tal comportamento pode estar relacionado à elevada taxa de remoção de água nessas condições de secagem. Com a elevação da temperatura, aumenta-se o nível de vibração molecular das moléculas de água, contribuindo assim, para uma difusão mais rápida da água.

Valores de esfericidade abaixo de 80%, evidencia incapacidade de classificação de produtos agrícolas como esféricos (ARAÚJO et al., 2014). Sendo assim, independente da temperatura de secagem e teor de água utilizado neste estudo, todos os valores experimentais de esfericidade foram superiores a 80 %, portanto, o produto apresenta uma tendência de ser classificado como esférico. Durante a secagem a 90 °C verificou-se a presença de trinca nas amêndoas, reduzindo assim, os valores médios de esfericidade. Este comportamento, provavelmente, pode ter facilitado a remoção de água do produto. Oliveira et al. (2013), estudando as alterações morfométricas em grãos de soja durante o processo de secagem, também verificaram trincas nos grãos quando submetidos na temperatura de 90 °C.

4.1.3. Circularidade

Na Figura 3 são apresentados os valores experimentais e estimados de circularidade de amêndoas de macaúba. Verificou-se, conforme a equação, que o teor de água e a temperatura de secagem apresentaram efeitos lineares ($P < 0,01$). Constatou-se, de acordo com a Figura 3, redução nos valores médios de circularidade da amêndoa com o acréscimo na temperatura de secagem. Verificou-se que a circularidade da amêndoa de macaúba apresentou a maior redução (2,87%) da porcentagem inicial, no intervalo de teor de água entre 8,9% a 4,8%, na temperatura de secagem de 60 °C.

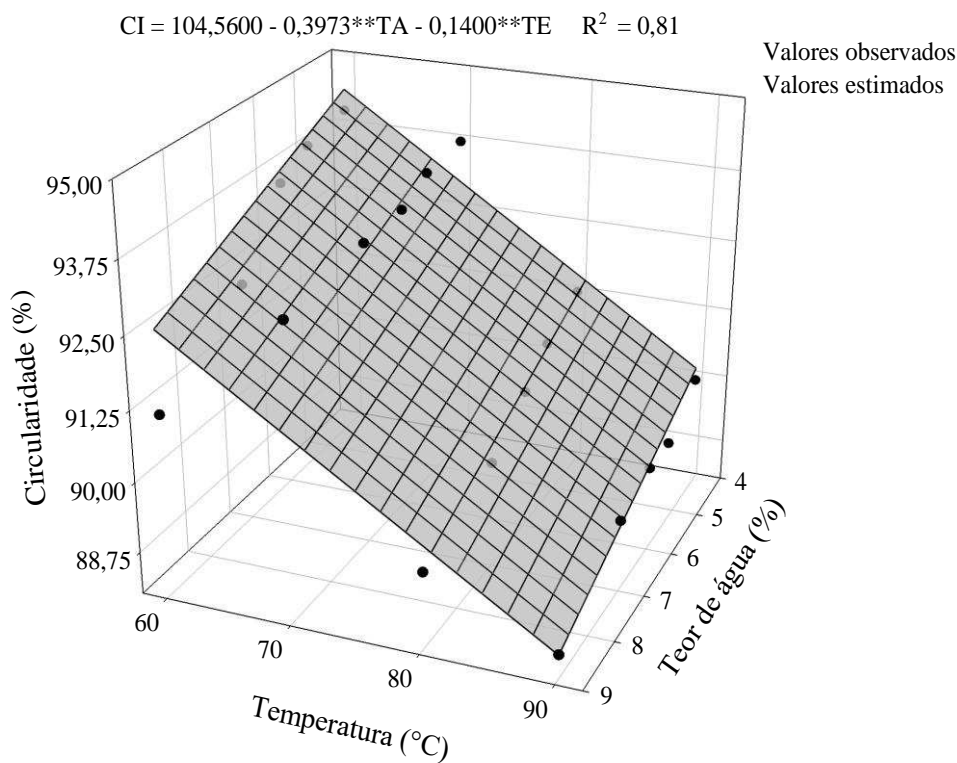


Figura 3. Circularidade (%) de amêndoas de frutos de macaúba, em função do teor de água e temperatura. **Significativo a 1% pelo test t.

Com a redução do teor de água da amêndoa durante a secagem, observou-se uma diminuição na circularidade. Resultados semelhantes foram observados por Siqueira et al. (2012) estudando a forma e tamanho dos frutos de pinhão-manso durante a secagem em cinco condições de ar. Apesar de apresentar reduções significativas na circularidade na amêndoa tanto para o fator temperatura, quanto teor de água verificou-se que essas reduções foram pequenas. Esse comportamento também foi evidenciado por Araujo et al. (2014), estudando as propriedades físicas do amendoim durante a secagem.

4.1.4. Área projetada e área superficial

Os gráficos de superfície de resposta tridimensional foram gerados para demonstrarem o efeito do teor de água e temperatura na área projetada e área superficial

da amêndoa de macaúba (Figura 4). Os valores médios da área projetada e área superficial da amêndoa de macaúba para ambos os efeitos (teor de água e temperatura) apresentaram efeitos lineares significativos.

Constatou-se, na Figura 4, que os valores experimentais da área projetada (Figura 4A) e área superficial (Figura 4B) da amêndoa de macaúba decresceram linearmente com a redução do teor de água e aumento da temperatura de secagem. Este fenômeno ocorre devido à contração volumétrica da amêndoa durante o processo de secagem, ou seja, redução das dimensões características do produto, evidenciando assim, o encolhimento da amêndoa.

Obteve-se maiores reduções na área projetada (em torno de 3,60%) e na área superficial (em torno de 3,35%) com a redução do teor de água de 8,9% para 4,3 %, na temperatura de 60 °C. Verificou-se que tanto a área projetada, quanto a área superficial apresentaram baixa redução em seus valores médios, com a redução do teor de água e aumento da temperatura. Esse comportamento de baixa redução nessas características também fora elucidado por Botelho et al. (2016), estudando as propriedades físicas de café durante o processo de secagem. Essa baixa redução durante a secagem ocorreu, provavelmente, devido à natureza física do produto que dificulta a perda de água durante o processo, conseqüentemente, evitando reduções drásticas na área projetada e superficial.

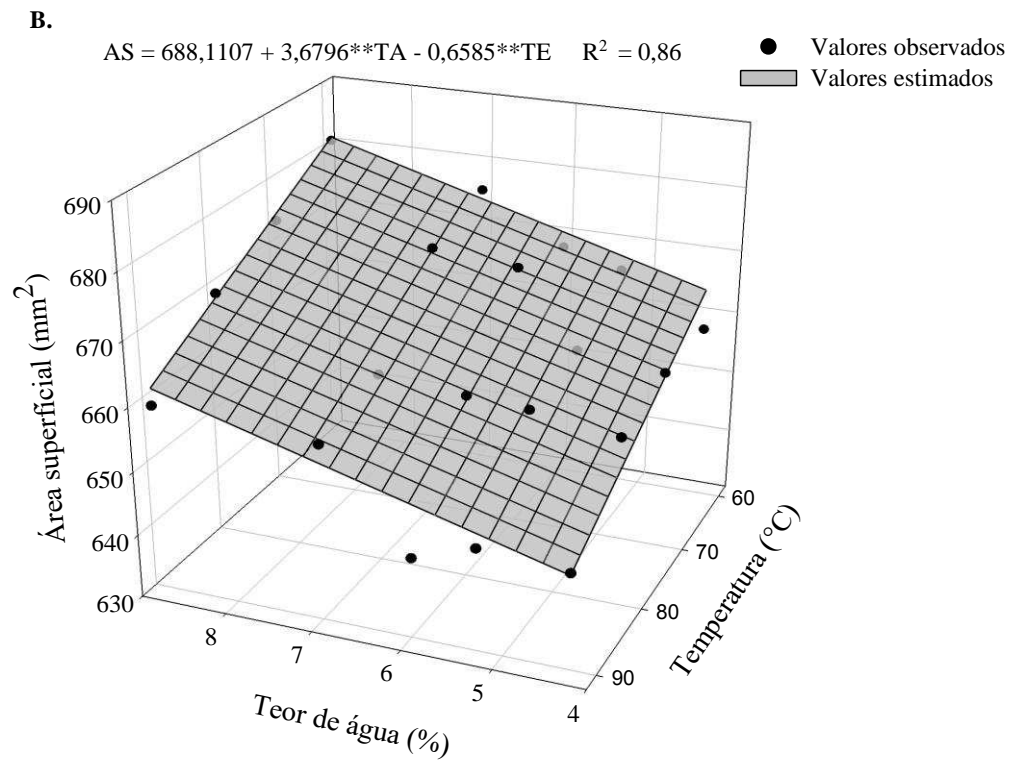
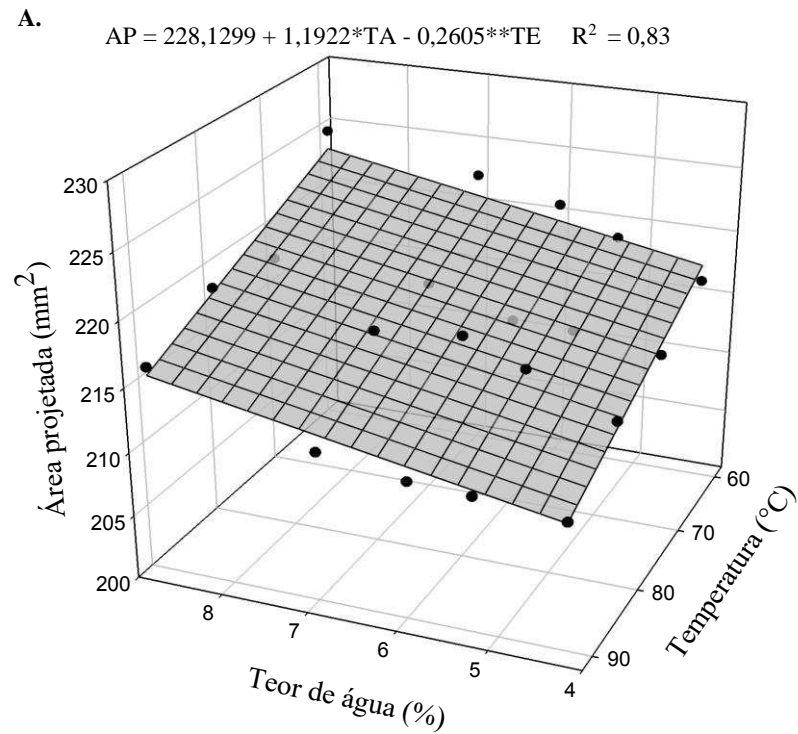


Figura 4. Área projetada (A) e Área superficial (B) de amêndoas de frutos de macaúba, em função do teor de água e temperatura.

**Significativo a 1% e * significativo a 5% pelo test t.

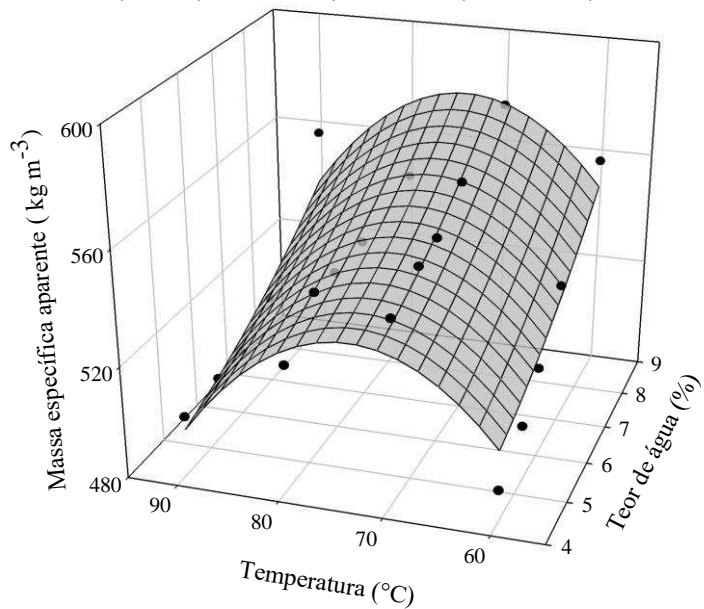
4.2. Análise da massa específica aparente e unitária

A Figura 5, representa as superfícies de respostas construídas a partir de modelos obtidos para massa específica aparente (Figura 5A) e massa específica unitária (Figura 5B) da amêndoa de macaúba. Verificou-se, conforme as equações, que o teor de água não apresentou efeito tanto linear ($P > 0,1$) quanto quadrático ($P > 0,1$) para ambos as variáveis, já o fator temperatura apresentou efeito linear ($P < 0,01$) e quadrático ($P < 0,01$), para a massa específica aparente e unitária.

Verificou-se uma tendência de baixa redução na massa específica aparente e unitária de amêndoas de macaúba com a redução do teor de água. Tais resultados são devidos, provavelmente, aos efeitos combinados entre a presença de espaços vazios entre as amêndoas e a reduzida contração de suas dimensões. Esse comportamento também foi observado por diversos autores: grãos de amendoim por Araujo et al. (2014); sementes de melão por Bande et al. (2012); mamona por Goneli et al. (2008) e pistache por Razavi et al. (2007).

Em relação ao fator temperatura, o maior e menor valor experimental de massa específica aparente das amêndoas de macaúba foi verificado na temperatura de 60 °C (556,89 kg m⁻³ e 491,73 kg m⁻³). Em relação a massa específica unitária de amêndoa de macaúba, observou-se que o maior valor médio (1162,40 kg m⁻³) foi reportado na secagem à 70 °C, já o menor valor médio (1040,12 kg m⁻³) foi observado na secagem à 90 °C. O conhecimento da massa específica aparente e unitária de produtos agrícolas são de grande relevância, já que, as informações fornecidas são capazes de auxiliar no dimensionamento de silos, cálculo de transportadores, separadores e classificadores de produtos agrícolas (ARAÚJO et al., 2014).

A. $MA = -295,5188 - 2,2218^{ns}TA + 22,2907^{**}TE + 0,8528^{ns}TA^2 - 0,1507^{**}TE^2$ $R^2 = 0,79$



B. $MU = 492,7539 + 18,2702^{ns}TA + 17,7048^{**}TE - 0,8063^{ns}TA^2 - 0,1371^{**}TE^2$ $R^2 = 0,95$

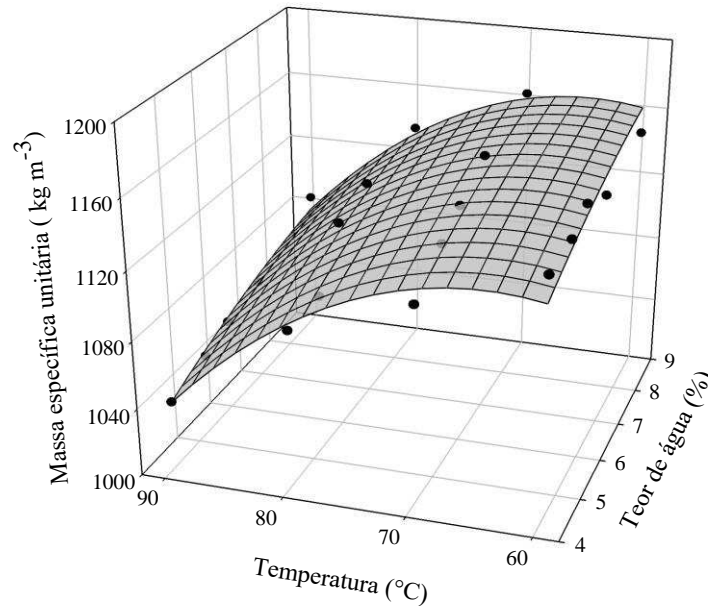


Figura 4. Massa específica aparente (A) e massa específica unitária (B) de amêndoas de frutos de macaúba, em função do teor de água e temperatura. **Significativo a 1% e ^{ns} não significativo pelo test t.

4.3. Análise da porosidade total

Na Figura 5, são apresentados os valores observados e estimados da porosidade de amêndoas de macaúba em função do teor de água e temperatura de secagem. Verificou-se, conforme a equação, que o teor de água não apresentou efeito tanto linear ($P > 0,1$), quanto quadrático ($P > 0,1$), já o fator temperatura apresentou efeito linear ($P < 0,01$) e quadrático ($P < 0,01$).

$$PT = 98,1028 + 1,0079^{ns}TA - 1,1970^{**}TE - 0,1124^{ns}TA^2 - 0,0074^{**}TE^2 \quad R^2 = 0,63$$

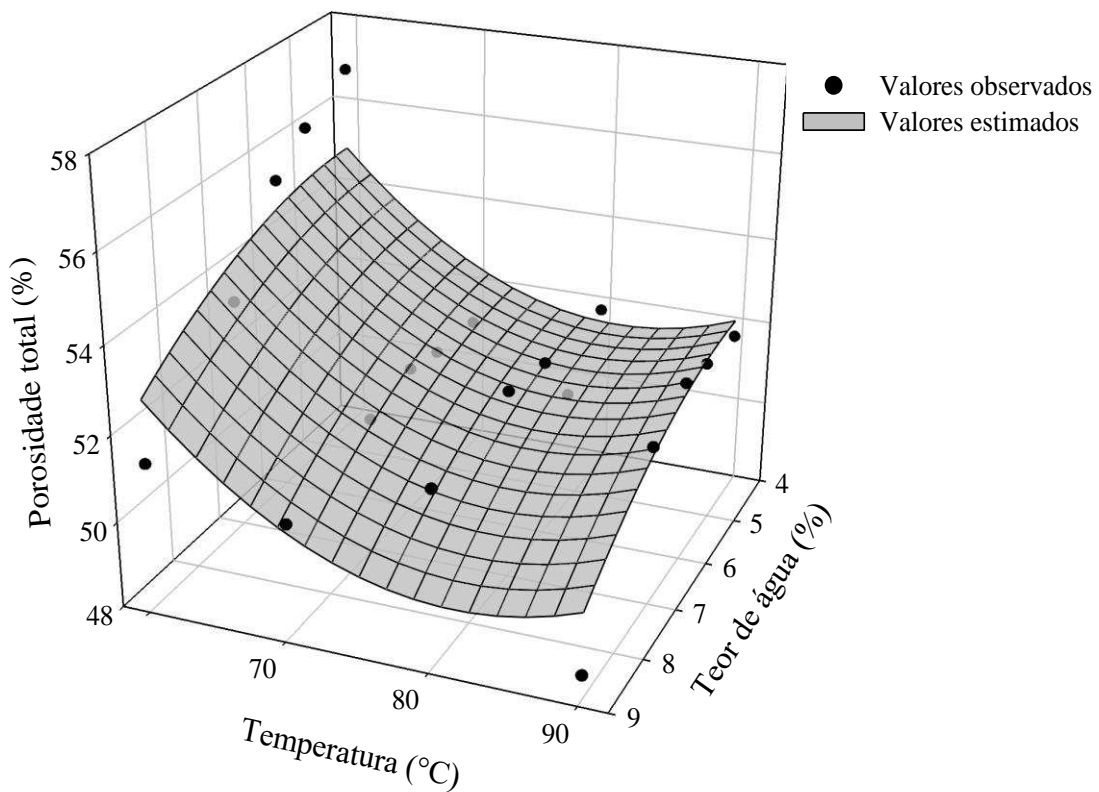


Figura 5. Porosidade total (%) de amêndoas de frutos de macaúba, em função do teor de água e temperatura. **Significativo a 1% e ^{ns} não significativo pelo test t.

Constatou-se, de acordo com a Figura 5, que os valores experimentais de porosidade total das amêndoas variaram de 48,59% a 56,89%, numa faixa de teor de água de teor de água entre 8,9% a 4,8%. Garnayak et al. (2008) estudando as

propriedades físicas de semente de pinhão manso com diferentes teores de água, verificaram que a porosidade variou entre 27,54% a 45,37%.

A porosidade é o principal fator que define a resistência à passagem do ar no processo de secagem e aeração de produtos agrícolas (MATA; DUARTE, 2002), diante do exposto, os resultados obtidos nesses estudos sobre porosidade podem servir de subsídio para melhor escolha da temperatura de secagem, bem como, o teor de água final durante o processo. O conhecimento da porosidade, é de suma importância, pois ela está inserida no dimensionamento de várias estruturas na pós-colheita de produtos agrícolas (silos, containeres, caixas, embalagens, unidades transportadoras) (MATA; DUARTE, 2002). Além disto, o valor de porosidade de produtos agrícolas é muitas vezes necessário para estudo de fluxo de ar e calor (PRADHAN et al., 2008).

Os resultados obtidos neste estudo confirmam que a temperatura de secagem, bem como, os diferentes teores de podem alterar as propriedades físicas de amêndoas de macaúba e, conseqüentemente, afetar todo um projeto de pós-colheita deste produto. É importante salientar que esse estudo pode contribuir para o desenvolvimento de novas pesquisas, que poderão apontar a relação custo/benefício de dimensionamento de equipamentos de secagem e armazenamento deste produto.

5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos neste estudo, pode-se concluir que:

1. A redução do teor de água de amêndoa de macaúba proporcionou aumento no diâmetro geométrico, na área projetada e superficial e redução na circularidade;
2. O aumento na temperatura de secagem de amêndoa de macaúba proporcionou redução no diâmetro geométrico, esfericidade, circularidade, área projetada e superficial;

3. O modelo linear representou satisfatoriamente o fenômeno de diâmetro geométrico, circularidade, área projetada e superficial de amêndoa de macaúba, para todas as temperaturas de secagem e teores de água;
4. O modelo quadrático representou satisfatoriamente o fenômeno de esfericidade, porosidade total e massa específica aparente e unitária.

6. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- ARAÚJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; SOUZA, C. M. A. de; GONÇALVES, A. A.; VILHASANTO, H. C. B. Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. Campina Grande, PB, UAEA/UFCG. V.18, n.3, p.279-286, 2014.
- BANDE, Y. M.; ADAM, N. M.; AZNI, Y.; JAMAREI, O. Moisturedependent physical and compression of bitter melon (*Citrullus colocynthis lanatus*) seeds. **International Journal of Agricultural Research**, v.7, p.243-254, 2012.
- BAPTESTINI, F. M.; CÔRREA, P. C.; VASCONCELLOS, D. de S. L.; REIS, M. F. T.; GUIMARÃES, T. T. Estudo teórico da variação do coeficiente de difusão efetiva com a contração volumétrica dos frutos de café durante a secagem. **VII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**. Agosto de 2011, Araxá – MG. 2011.
- BOTELHO, F. M.; CORREA, P. C.; BOTELHO, S. de C. C.; VARGAS-ELÍAS, G. A.; ALMEIDA M. D. S. D.; OLIVEIRA, G. H. H. de. Propriedades físicas de frutos de café robusta durante a secagem: determinação e modelagem. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 65 - 75, jan./mar. 2016.
- CETEC - FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais: Estudo das oleaginosas nativas de Minas Gerais. **Relatório Final do Convênio STI- MIC/CETEC**, v. 1, 152 p., 1983.
- EVARISTO, A. B. **Conservação pós-colheita e potencial bioenergético de Frutos de macaúba (*Acrocomia aculeata*)**. Tese de doutorado em fitotecnia. Universidade Federal de Viçosa – Viçosa, MG, xix, 120f. 2015.

- GARNAYAK, D. K.; PRADHAN, R. C.; NAIK, S. N.; BHATNAGAR, N. Moisture-dependent physical properties of Jatropha seed (*Jatropha curcas* L.). **Industrial crops and products**. 27, 123–129. 2008.
- GONELI, A. L. D. **Variação das propriedades físico-mecânicas e da qualidade da mamona (*Ricinus communis* L.) durante a secagem e o armazenamento**. Tese de doutorado em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa – Viçosa, MG, xi, 186f. 2008.
- GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; BOTELHO, F. M.; OLIVEIRA, G. H. H.; SANTOS, E. S. **Propriedades físicas dos frutos de mamona durante a secagem**. Revista Brasileira de Armazenamento, v.33, p.148-155, 2008.
- GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; MAGALHÃES, F. E. A.; BAPTESTINI, F. M. Contração volumétrica e forma dos frutos de mamona durante a secagem. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 1-8, 2011.
- KOÇ, B.; EREN, I.; ERTEKIN, F. K. Modelling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: The effect of drying method. **Journal of Food Engineering**, v. 85, n. 3, p. 340-349, 2008.
- MATA, M. E. R. M. C.; DUARTE, M. E. M. Porosidade intergranular de produtos agrícolas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.1, p.79-93, 2002.
- MAYOR, L.; SERENO, A. M. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 3, p. 373-386, 2004.
- MOURA, E. F.; VENTRELLA, M. C.; MOTOIKE, S. Y. Anatomy, histochemistry and ultrastructure of seed and somatic embryo of *Acrocomia aculeata* (Arecaceae). **Scientia Agricola**. v. 67. n. 4, p. 399-407, 2010.
- OLIVEIRA, D. E. C. DE; RESENDE, O.; SMANIOTTO, T. A. DE S.; SIQUEIRA, V. C.; NETO, A. J. C. Alterações morfométricas em grãos de soja durante o processo de secagem. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, Brasil vol. 34, núm. 3, mayo-junio, pp. 975-983. 2013.
- PIRES, T. P.; DOS SANTOS SOUZA, E.; KUKI, K. N.; MOTOIKE, S. Y. Ecophysiological traits of the macaw palm: a contribution towards the domestication of a novel oil crop. **Industrial Crops and Products**, v. 44, p. 200-210, 2013.

- PRADHAN, R. C.; NAIK, S. N.; BHATNAGAR, N.; SWAIN, S. K. Moisture-dependent physical properties of Karanja (*Pongamia pinnata*) kernel. **Industrial crops and products**. 28. 2008.
- PRADO, M. E. T.; ALONSO, L. F. T.; PARK, K. J. Shrinkage of dates (*Phoenix dactylifera* L.) during drying. **Drying Technology**, New York, v. 18, n. 1 e 2, p. 295-310, 2000.
- QUEIROZ, L. A. L. **Análise de procedimentos pós-colheita do fruto da macaúba (*Acrocomia aculeata*) e refino do óleo da polpa**. Tese de doutorado em Engenharia Química. Universidade Federal de Minas Gerais – Belo Horizonte, MG, xix, 203f. 2016.
- RAMOS, I. N.; BRANDÃO, T. R. S.; SILVA, C. L. M. Structural changes during air drying of fruits and vegetables. **Food Science and Technology International**, v. 9, n. 3, p. 201-206, 2003.
- RAZAVI, S. M. A.; EMADZADEH, B.; RAFE, A.; AMINI, A. M. The physical properties of pistachio nut and kernel as a function of moisture content and variety: Part I. Geometrical properties. **Journal of Food Engineering**, v.81, p.209-217, 2007.
- RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; CECON, P. R. Forma, tamanho e contração volumétrica do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) Durante a secagem. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 15-24, 2005.
- SILVA, G. C. R.; CAÑO ANDRADE, M. H.. Development and simulation of a new oil extraction process from fruit of macauba palm tree. **Journal of Food Process Engineering**, v.. 36, p. 134-145, 2013.
- SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Propriedades físicas das sementes de pinhão-mansão ao longo da secagem em diferentes temperaturas. **Semina: Ciências Agrárias**, vol. 33, núm. 1, pp. 2705-2714. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Brasil. 2012.

CONCLUSÃO GERAL

O aumento da temperatura de secagem ocasionou redução no tempo de secagem em todos os tratamentos. O incremento da temperatura de secagem ocasionou redução no tempo de secagem. Indicou-se os modelos Aproximação de Difusão, Midilli, Page e Page Modificado como os mais adequados para descrever o fenômeno de secagem de amêndoas de macaúba e subsidiar o dimensionamento de secadores industriais.

Com o aumento no período de armazenamento das amêndoas, notou-se elevação no IA para todos os tratamentos, sendo o maior incremento observado no tratamento sem secagem (controle). Já os valores de TO e AA na amêndoa de frutos de macaúba não variaram durante o armazenamento de 360 dias para todos os tratamentos.

Os valores médios das coordenadas L^* e b^* , não diferiram do valor médio do controle, com exceção dos períodos de armazenamento de 0 e 60 dias. Com relação à coordenada a^* , houve diferença estatística entre os processos de secagem (40 °C, 50 °C e 60 °C), quando comparados ao tratamento controle.

A colheita dos frutos de macaúba corresponde o período de setembro a janeiro na maior parte do território brasileiro, limitando assim, o processamento dessa fruta ao longo ano, além disso, através dos resultados pioneiros deste estudo, verificou-se um elevado teor água na amêndoa. Tal fato promove o crescimento e o desenvolvimento de microrganismos durante o armazenamento, dificultando a extração do óleo, e conseqüentemente, aumentando o custo de produção. Diante do exposto, os resultados obtidos neste estudo confirmam que o uso da secagem como tratamento pós-colheita de amêndoas de macaúba pode tornar uma alternativa para indústria, já que, em geral, os tratamentos com uso de secagem preservaram por mais tempo a qualidade do óleo da amêndoa.