



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PROCESSAMENTO E ARMAZENAMENTO DE
PRODUTOS AGRÍCOLAS

AMANDA PRISCILA SILVA NASCIMENTO

**Efeitos da combinação de altas temperaturas e altas velocidades do ar de secagem na
qualidade comercial de amêndoas de castanha-de-caju**

CAMPINA GRANDE

2019

AMANDA PRISCILA SILVA NASCIMENTO

**Efeitos da combinação de altas temperaturas e altas velocidades do ar de secagem
sobre na qualidade comercial de amêndoas de castanha-de-caju**

**Dissertação apresentada ao Curso de
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
da Universidade Federal de Campina
Grande, como parte dos requisitos
necessários para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia Agrícola.**

**Orientadoras: Prof^ª. Dr^ª. Josivanda Palmeira Gomes
Prof^ª. Dr^ª. Ana Paula Trindade Rocha**

**CAMPINA GRANDE
2019**

N244e Nascimento, Amanda Priscila Silva.
Efeitos da combinação de altas temperaturas e altas velocidades do ar de secagem na qualidade comercial de amêndoas de castanha-de-caju / Amanda Priscila Silva Nascimento. – Campina Grande, 2019.
74 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2019.
"Orientação: Prof.^a Dr.^a Josivanda Palmeira Gomes, Prof.^a Dr.^a Ana Paula Trindade Rocha".
Referências.

1. Cinética de Secagem. 2. Despeliculamento. 3. Modelos Matemáticos. I. Gomes, Josivanda Palmeira. II. Rocha, Ana Paula Trindade. III. Título.

CDU 631.563.2:634.573(043)

DEDICATÓRIA

A minha mãe (in memoriam)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida e por me permitir realizar tantos sonhos nesta existência, obrigado por me permitir errar, aprender e crescer, por sua eterna compreensão e tolerância e infinito amor, pela Sua voz “invisível” que não me deixou desistir, enfim, obrigado por tudo.

À minha mãe Neide (*in memoriam*) e ao meu pai Claudmir deixo um agradecimento especial, pelas lições de amor, companheirismo, amizade, caridade, dedicação, abnegação, compreensão e perdão que vocês me deram. Meus avós Cecília e Ivaldo, exemplos de vida e amor, dedicação e compaixão. Ao meu esposo Vinicius por todo amor, carinho, compreensão e apoio em tantos momentos difíceis desta caminhada. Obrigado pelo presente de cada dia, seu sorriso e por saber me fazer feliz. À minha princesa Ana Cecília, obrigada por ter me dado ainda mais forças para seguir esta caminhada, a sua existência é o reflexo mais perfeito de Deus e o quanto generoso Ele é na minha vida. Obrigada por terem feito do meu sonho o nosso sonho!

As minhas orientadoras Prof. Josivanda e Prof. Ana Paula, por toda dedicação e paciência para o desenvolvimento e a conclusão deste trabalho, assim como a Prof. Maria Elita e o Prof. Mario Eduardo, por terem me guiado em grande parte da minha caminhada acadêmica e por terem me ensinado tanto. Obrigada à vocês por tamanha generosidade.

Aos meus amigos, com os quais compartilhei minhas alegrias e minhas tristezas ao longo do dia, que tanto me ajudaram e deram forças nos momentos difíceis, em especial à Samela, Newton, Ana Júlia, Renata, Anastácia, Lelinha, Mylena, Virginia, Aline, Jú, Danny e Manoel meu muito obrigada.

Por fim, a todos aqueles que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização desta dissertação, o meu sincero agradecimento.

RESUMO

O Brasil é um dos maiores produtores de frutas do mundo. Uma das culturas em destaque é a amêndoa da castanha-de-caju, que representa uma grande parcela do agronegócio brasileiro, especialmente na região Nordeste. A castanha produzida possui uma grande aceitação, principalmente no que se refere ao mercado internacional, porém, sofre limitações tecnológicas em seu processamento, afetando os padrões de qualidade o que prejudica seu rendimento industrial, conseqüentemente o preço final. Entre os atributos requeridos para exportação, os mais afetados por problemas de processamento são a integridade e a cor resultante do processo de torra. O melhoramento desses parâmetros depende, basicamente, de duas etapas do processamento que são o despêliculamento e a torra. A retirada da película é a grande responsável pelos altos índices de quebra da amêndoa e a torra exerce influência direta na cor do produto. Por esses motivos, faz-se necessário o investimento em pesquisas que visem diminuir os danos causados as amêndoas ao longo do beneficiamento. Diante do exposto, objetivou-se com essa pesquisa avaliar a cinética de secagem da amêndoa da castanha-de-caju em camada fina, por dois métodos distintos de secagem, utilizando o secador convencional com circulação de ar de $1,5 \text{ m s}^{-1}$ nas temperaturas de 60, 70, 80 e 90 °C e aplicar a técnica conhecida como “air fryer”, que utiliza velocidade de secagem de 6 m s^{-1} , nas temperaturas de 80, 120, 160 e 200 °C, para avaliar a influencia destes parâmetros na qualidade final das amêndoas. Verificou-se que ambos os métodos apresentaram parâmetros positivos em relação à qualidade final dos produtos, e dentre os modelos matemáticos empregados na cinética de secagem em secador convencional o de Page foi o que melhor se adequou aos dados experimentais, em relação a secagem com o “air fryer” o modelo de Wang apresentou os melhores ajustes. As cores das amêndoas, resultantes das secagens em todas as temperaturas, foram aceitáveis do ponto de vista comercial e o índice de quebra foi inferior ao observado na indústria.

Palavras-chave: cinética de secagem, despêliculamento, modelos matemáticos

ABSTRACT

Brazil is one of the largest fruit producers in the world. One of the main crops is the cashew nut, which represents a large part of Brazilian agribusiness, especially in the Northeast region. The chestnut produced has a great acceptance, especially in what concerns the international market, however, it suffers technological limitations in its processing, affecting the quality standards which harms its industrial income, consequently the final price. Among the attributes required for export, the most affected by processing problems are the integrity and color resulting from the roasting process. The improvement of these parameters basically depends on two stages of the processing which are the de-roasting and the roasting. The removal of the film is largely responsible for the high cracking rates of the almond and the roast exerts a direct influence on the color of the product. For these reasons, it is necessary to invest in research aimed at reducing the damage caused by almonds during processing. In view of the above, this study aimed to evaluate the drying kinetics of thin-walled cashew nuts by two different drying methods, using the conventional 1.5 m s^{-1} air circulation dryer at temperatures of 60, 70, 80 and 90°C and apply the technique known as "air fryer", which uses a drying rate of 6 m s^{-1} at temperatures of 80, 120, 160 and 200°C , to evaluate the influence parameters in the final quality of the almonds. It was verified that both methods presented positive parameters in relation to the final quality of the products, and among the mathematical models used in the drying kinetics in conventional dryer the Page was the one that was best adapted to the experimental data, in relation to the drying with the "Air fryer" Wang's model presented the best adjustments. The colors of the almonds, resulting from drying at all temperatures, were commercially acceptable and the breaking rate was lower than that observed in industry.

Key words: drying kinetics, de-miculating, mathematical models

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Pseudofruto e fruto verdadeiro do cajueiro | 4 |
| Figura 2. Fluxograma das etapas da pesquisa onde pretende-se otimizar o processo de secagem e despeliculagem de amêndoas de castanha-de-caju..... | 15 |
| Figura 1. Dados experimentais de secagem das amêndoas de castanha-de-caju, nas temperaturas de 60,70, 80 e 90 °C, com ajustes segundo o modelo de Page. | 37 |
| Figura 1. Dados experimentais de secagem das amêndoas de castanha-de-caju, na temperatura de 80 °C, com ajustes segundo o modelo de Fick, para formato cilíndrico, com 5 termos da série | 54 |
| Figura 2. Dados experimentais de secagem das amêndoas de castanha-de-caju, nas temperaturas de 120, 160 e 200 °C, com ajustes segundo o modelo de Fick, para formato cilíndrico com 5 termos da série | 56 |
| Figura 3. Dados experimentais de secagem das amêndoas de castanha-de-caju, na temperatura de 80 °C, com ajustes segundo o modelo de Cavalcanti-Mata..... | 58 |
| Figura 4. Dados experimentais de secagem das amêndoas de castanha-de-caju, nas temperaturas de 120, 160 e 200°C, com ajustes segundo o modelo de Cavalcanti-Mata. | 58 |
| Figura 5. Dados experimentais de secagem das amêndoas de castanha-de-caju, na temperatura de 80 °C, com ajustes segundo o modelo de Page..... | 59 |
| Figura 6. Dados experimentais de secagem das amêndoas de castanha-de-caju, nas temperaturas de 120, 160 e 200 °C, com ajustes segundo o modelo de Page. | 59 |
| Figura 7. Dados experimentais de secagem das amêndoas de castanha-de-caju, na temperatura de 80 °C, com ajustes segundo o modelo de Wang. | 60 |
| Figura 8. Dados experimentais de secagem das amêndoas de castanha-de-caju, nas temperaturas de 120, 160 e 200°C, com ajustes segundo o modelo de Wang..... | 60 |
| Figura 9. Cotilédone da amêndoa de castanha-de-caju antes da secagem, exibindo um /cotilédone liso, sem curvatura (A) e cotilédone da amêndoa de castanha-de-caju após a secagem, exibindo um cotilédone curvo (B)..... | 64 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Composição química centesimal da amêndoa da castanha-de-caju in natura..... | 5 |
| Tabela 2. Modelos empíricos e semiteóricos para descrever o processo de secagem de produtos agrícolas | 13 |
| Tabela 1. Modelos teóricos, empíricos e semiteóricos para descrever o processo de secagem de produtos agrícolas | 30 |
| Tabela 2. Parâmetros de ajuste dos modelos matemáticos utilizados na predição da cinética de secagem da amêndoa da castanha-de-caju, com seus respectivos coeficientes de determinação (R ²) e desvios quadráticos médios (DQM)..... | 32 |
| Tabela 3. Parâmetros de ajustes para o modelo de Fick considerando cinco termos da série. 38 | 38 |
| Tabela 4. Composição fisicoquímica amêndoa de castanha-de-caju..... | 40 |
| Tabela 5. Parâmetros de textura para a amêndoa de castanha-de-caju | 42 |
| Tabela 6. Eficiência do despêliculamento para a amêndoa-de-castanha de caju..... | 43 |
| Tabela 1. Modelos matemáticos empregados na secagem das amêndoas de castanha de caju. | 52 |
| Tabela 2. Coeficientes de difusividade efetiva, de acordo com o modelo de Fick cilindro para 5 termos..... | 57 |
| Tabela 3. Parâmetros dos modelos de Cavalcanti-Mata, Fick cilindro com cinco termos, Page e Wang da secagem das amêndoas de castanha-de-caju..... | 61 |
| Tabela 4. Média das dimensões, seguida de seu respectivo desvio padrão e coeficiente de variação (%), das amêndoas de castanha-de-caju antes e depois do tratamento térmico. | 64 |
| Tabela 5. Características físicas das amêndoas de castanha-de-caju | 65 |
| Tabela 6. Composição fisicoquímica amêndoa de castanha-de-caju..... | 67 |
| Tabela 7. Parâmetros de textura para a amêndoa de castanha-de-caju | 68 |
| Tabela 8. Parâmetros de textura para a amêndoa de castanha-de-caju | 69 |

Sumário

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. Objetivo geral..... | 2 |
| 1.1.1. Objetivos específicos e/ou indicadores de acompanhamento | 2 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 3 |
| 2.1. Características gerais da cultura..... | 3 |
| 2.2. Castanha-de-caju | 4 |
| 2.3. Amêndoa de castanha-de-caju..... | 5 |
| 2.4. Beneficiamentos da castanha-de-caju | 6 |
| 2.5. Características físicas | 7 |
| 2.5.1. Teor de água..... | 7 |
| 2.5.2. Massa específica real e aparente | 8 |
| 2.5.3. Porosidade..... | 9 |
| 2.5.4. Cor..... | 9 |
| 2.5.5. Textura | 10 |
| 2.6. Secagem | 11 |
| 2.6.1. Cinética de secagem..... | 12 |
| 2.7. Despeliculamento | 13 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 14 |
| 3.1. Local de realização..... | 14 |
| 3.2. Matéria-prima..... | 14 |
| 3.3. Procedimento experimental..... | 14 |
| 3.4. Seleção | 15 |
| 3.5. Caracterização | 15 |
| 3.5.1. Teor de água | 15 |
| 3.5.2. Integridade (índice de quebra) | 16 |
| 3.5.3. Tamanho e massa..... | 16 |
| 3.5.4. Volume | 16 |

| | |
|---|-----------|
| 3.5.5. Massa específica real | 16 |
| 3.5.6. Massa específica real e massa específica aparente | 17 |
| 3.5.7. Caracterização físico-química | 17 |
| 3.5.8. Análise da textura (crocância/dureza) | 18 |
| 3.6. Secagem | 18 |
| 3.6.1. Secagem convencional | 18 |
| 3.6.2. Secagem em air-fryer..... | 19 |
| 3.7. Cinética de secagem | 19 |
| 3.8. Despeliculamento | 20 |
| 3.8.1. Eficiência do despeliculamento | 20 |
| 3.9. Classificação de cor..... | 20 |
| 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 20 |
| Artigo 1 - Aplicação de técnicas de secagem para aumentar a vida de prateleira de amêndoas de caju..... | 27 |
| 1. INTRODUÇÃO | 28 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS | 29 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 32 |
| 3.1. Cinética de secagem | 32 |
| 3.2 - Caracterização físico-química..... | 39 |
| 3.3. Perfil de textura das amêndoas..... | 41 |
| 3.4 - Eficiência do processo de despeliculamento e índice de quebra | 43 |
| 4. CONCLUSÕES | 44 |
| Artigo 2 - Cinética de secagem da amêndoa da castanha-de-caju com altas temperaturas e seu efeito no despeliculamento e quebra | 48 |
| 1. INTRODUÇÃO | 49 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS | 50 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 53 |
| 3.1. Cinética de secagem | 53 |
| 3.2. Caracterização física | 62 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 3.2.1. | Teor de água..... | 63 |
| 3.2.2. | Tamanho | 63 |
| 3.2.3. | Massa, Massa específica real e aparente, Volume e Porosidade | 65 |
| 3.2.4. | Cor das amêndoas | 66 |
| 3.2.5. | Caracterização físico-química..... | 67 |
| 3.2.6. | Perfil de textura das amêndoas de castanha-de-caju..... | 68 |
| 3.3. | Eficiência do processo de despêliculamento e índice de quebra..... | 69 |
| 4. | CONCLUSÕES..... | 70 |
| 5. | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 71 |

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor de frutas do mundo, ficando atrás apenas da China e da Índia, com uma produção superior a 40 milhões de toneladas, (SCOGNAMIGLIO, 2017). Entre os frutos brasileiros, a castanha de caju é um dos destaques, principalmente na região Nordeste do país, com produção de 78.213 toneladas e rendimento médio de 140 kg/ha no ano de 2016 (IBGE, 2017).

O cajueiro pertence à família *Anacardiaceae*, é nativo da América tropical e está amplamente disponível em vários países da Ásia, África e América Central como uma cultura agrícola economicamente importante (DARAMOLA, 2013).

A castanha-do-caju é a parte mais importante em termos comerciais desta fruta. Dela aproveita-se a amêndoa, considerada uma rica fonte em proteína de alta qualidade, ácidos graxos poliinsaturados e altamente energéticos, como também em gorduras e carboidratos, apresentando ainda elevado teor de cálcio, ferro e fósforo (SOARES et al., 2012). Sua importância econômica pode ser atribuída a dois fatores principais: a indústria da castanha-de-caju, voltada para exportação e a indústria do pedúnculo, voltado para o mercado interno, sendo a maior parte utilizada *in natura* ou na produção do suco integral (FIGUEIREDO JUNIOR, 2006).

Os padrões internacionais de comercialização da amêndoa valorizam características como a integridade física, tamanho, cor uniforme e sabor. Entretanto, o baixo nível tecnológico no processamento mecanizado de corte da castanha, a tendência de redução dos preços internacionais da amêndoa da castanha e a situação conjuntural de câmbio desfavorável afetam diretamente as exportações brasileiras (FIGUEIREDO JUNIOR, 2002).

O beneficiamento de amêndoas de castanha-de-caju (ACC) consiste das etapas de decorticação, secagem, resfriamento, despeliculagem, seleção, classificação e embalagem (CAVALCANTE, 2010). A perda da qualidade das amêndoas está relacionada principalmente as etapas de secagem e despeculiamento, devido aos processos empregados e equipamentos com elevado índice de quebra, manchas e aderência da película, parâmetros relacionados a integridade física e cor são fundamentais para atender ao exigente mercado internacional de amêndoas. O processamento de castanha-de-caju no Brasil é feito principalmente por pequenos agricultores em áreas rurais, tornando-se necessárias pesquisas e investimentos para melhorar o processamento e a qualidade do produto final.

O processo de secagem é possivelmente um dos mais antigos e utilizados no setor alimentício e vem sendo constantemente estudado por pesquisadores de todo o mundo. Seu principal objetivo é a remoção de água para inibir a atividade microbiana e enzimática dos alimentos, gerando um produto com qualidade e segurança alimentar, aumentando seu tempo de vida útil, contribuindo para reduzir espaço nas embalagens e facilitar o transporte do mesmo (HORUZ et al., 2017).

Os processos de beneficiamento da castanha para a extração da amêndoa são complexos, sendo consideradas três modalidades: manual, mecanizado e semi-mecanizado. Em qualquer desses casos, a intenção é a obtenção da maior quantidade possível de amêndoas inteiras, uma vez que o valor comercial está diretamente relacionado com a sua integridade física, associada também a outros parâmetros como tamanho e cor, de acordo com o sistema de classificação para amêndoas processadas estabelecidas pela FAO (2005), pela CACEX (Carteira de Comercio Exterior do Banco do Brasil) e o Ministério da Agricultura do Brasil (BRASIL, 2017).

O maior índice de quebra da amêndoa da castanha-de-caju, que pode chegar a 25%, ocorre durante a despeliculagem (PAIVA et al., 2013), tornando-se necessário o desenvolvimento de pesquisas viabilizando processos de beneficiamento da amêndoa nas etapas de secagem e despeliculamento para alcançar um produto com a qualidade desejada.

1.1. Objetivo geral

Propor novas metodologias de secagem e avaliar a influência desses métodos sobre as características de qualidade comercial da castanha-de-caju, principalmente cor e integridade física.

1.1.1. Objetivos específicos e/ou indicadores de acompanhamento

- a) Caracterizar a amêndoa crua;
- b) Realizar a cinética de secagem das amêndoas de castanha-de-caju, nas temperaturas de 60, 70, 80 e 90 °C, em secador convencional com velocidade do ar de 1,5 m s⁻¹ e nas temperaturas de 80, 120, 160 e 200 °C, com velocidade do ar de secagem 6 m s⁻¹, em equipamento “air fryer” adaptado para controle do fluxo de ar e ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais.

- c) Caracterizar as amêndoas após cada tratamento de secagem quanto ao teor de água, integridade (índice de quebra), tamanho, massa, crocância (textura), análise físico-química (cinzas, lipídios, proteínas, fibra bruta e carboidratos totais); e,
- d) Realizar o despêliculamento manualmente por atrito e caracterizar quanto à integridade (índice de quebra), índice de amêndoas descascadas e cor.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Características gerais da cultura

O *Anacardium occidentale* L., popularmente conhecido como cajueiro é originário das regiões tropicais da América do Sul e coloniza grande parte dos estados brasileiros, principalmente o Nordeste. Possui grande importância socioeconômica, uma vez que, a maior parte da produção é composta por pequenos produtores, e como a colheita se dá na entressafra de outras culturas, contribui para a permanência de mão-de-obra no campo, além de gerar aproximadamente 55 mil empregos anualmente. Sua importância econômica pode ser atribuída a dois fatores principais: a indústria da castanha-de-caju, voltada para exportação e a indústria do pedúnculo, voltado para o mercado interno, sendo a maior parte utilizada *in natura* ou na produção do suco integral (FIGUEIREDO JUNIOR, 2006).

Os cajueiros têm sido agrupados em dois tipos, o comum e o anão precoce. As plantas do tipo comum têm altura média de 5 a 8 m e diâmetro da copa de 12 e 14 m, com plantas cuja altura chega a atingir 15 m de altura e a copa a 20 m de diâmetro. Por sua vez, as plantas do tipo anão precoce alcançam altura média de 4 m e diâmetro de copa entre 6 e 8 m, sendo possível, no entanto, encontrar plantas fora desse padrão (BARROS et al., 2017).

O pseudofruto do caju apoia o verdadeiro fruto que é a castanha. A Figura 1 ilustra o pseudofruto e fruto verdadeiro do cajueiro, bem como a diferença entre as duas variedades de cajueiro.

Figura 1. Pseudofruto e fruto verdadeiro do cajueiro



2.2. Castanha-de-caju

A amêndoa da castanha-de-caju (ACC) é a terceira entre as nozes consumidas no mundo na forma de fruta seca ou ingrediente de cozinha de diferentes culturas do mundo. A história da industrialização da castanha-de-caju no mundo tem seu início na Índia no século XX, tendo como suporte o corte manual de descasque da castanha-de-caju, processo ainda hoje empregado naquele país. Por mais de 70 anos, a Índia liderou a industrialização da castanha-de-caju no mundo, quando surgiram modelos automatizados empregando equipamentos desenvolvidos na Itália e Inglaterra sendo adotados no Brasil e na África (PAIVA & SILVA NETO, 2013).

O processamento industrial da castanha-de-caju no Brasil iniciou-se com maior importância no início da década de 1970, quando foram implantadas as fábricas mecanizadas por corte com lâminas ou por impacto, proporcionando a expansão da cajucultura e colocou o país como um dos principais produtores de castanha-de-caju do mundo e um importante mercado exportador da amêndoa (PAIVA & SILVA NETO, 2013).

Embora a castanha represente apenas 10% do peso total do caju, é o principal produto explorado. A produção brasileira de castanha-de-caju atingiu 507.252 toneladas em 2016, sendo a região Nordeste responsável por 99,4% da produção (IBGE, 2017).

A castanha é um aquênio reniforme, de 3 a 5 cm de comprimento por 2,5 a 3,5 cm de largura, apresentando coloração castanho-escuro lustrosa, coriácea, liso, com mesocarpo espesso, alveolado, cheio de um líquido viscoso, acre e cáustico, denominado LCC (líquido da casca da castanha). No interior da castanha, encontra-se a amêndoa, de formato rinóide (formato de rim), protegida por uma fina membrana (película) avermelhada, composta de dois cotilédones brancos, carnosos e oleosos, de alto valor

nutritivo, que pode ser consumida tostada e salgada, ou no preparo de bolos, doces, confeitos, farinhas e incorporadas em sobremesas diversas (FIGUEIREDO et al., 2002).

Segundo Silva e Meireles (2010) a maior parte da produção e beneficiamento da castanha-de-caju é realizado rusticamente, ocasionando grandes perdas e quebra das castanhas. No entanto, destaca-se uma forte tendência dos países produtores como também dos países processadores desse produto no intuito de melhorar o nível de processamento da ACC (CHRISÓSTOMO, 2010) objetivando também obter ganhos ainda maiores com essa atividade.

2.3. Amêndoa de castanha-de-caju

A amêndoa, parte comestível da castanha, tem formato de rim, é composta por dois cotilédones brancos, carnosos, oleosos e revestidos por uma película pergaminácea (BARROS et al., 1993), representa em média 30% do peso do caju. A amêndoa da castanha-de-caju torrada e salgada constitui a principal forma de consumo (ARAÚJO & FERRAZ, 2006). A amêndoa da castanha-de-caju é considerada um alimento de sabor agradável e de alto valor nutricional.

O uso de nozes como alimento remonta a tempos pré-históricos. Hoje as nozes formam uma parte importante de cada refeição diária em vários países, sendo, em geral, alimentos ricos em proteína, gordura, carboidratos, minerais e vitaminas essenciais para o bem-estar do ser humano. A composição química centesimal da amêndoa de castanha-de-caju crua está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química centesimal da amêndoa da castanha-de-caju in natura.

| Nutrientes | Quantidade em 100 g | Unidade |
|----------------|---------------------|---------|
| Valor calórico | 553 | Kcal |
| Carboidratos | 30,19 | g |
| Proteínas | 18,22 | g |
| Lipídios | 43,85 | g |
| Fibras | 3,3 | g |
| Água | 5,2 | g |
| Cinzas | 2,54 | g |
| Cálcio (Ca) | 37 | mg |
| Ferro (Fe) | 6,68 | mg |

| | | |
|-----------------|-------|----|
| Magnésio (Mg) | 292 | mg |
| Fósforo (P) | 593 | mg |
| Potássio (K) | 660 | mg |
| Sódio (Na) | 12 | mg |
| Zinco (Zn) | 5,78 | mg |
| Ácido ascórbico | 0,5 | mg |
| Tiamina | 0,423 | mg |
| Riboflavina | 0,058 | mg |
| Niacina | 1,062 | mg |

Fonte: Câmara (2010)

No mercado externo, são transacionados dois tipos de produtos: a castanha não beneficiada ou com casca, é exportada principalmente pelos países africanos (Costa do Marfim, Guiné Bissau, Gana e Tanzânia) e a amêndoa de caju, cujo mercado é dominado pelo Vietnã e a Índia. O Brasil responde por 4,9% do mercado mundial. Em 2013, as exportações mundiais de castanha-de-caju foram da ordem de 1,3 milhões de toneladas e as de amêndoas foram de 429 mil toneladas. Por se tratar de um produto beneficiado, o valor das exportações mundiais de amêndoa de castanha-de-caju é mais que o dobro do valor das exportações de castanha com casca. Esse é um ponto forte do Brasil que exporta predominantemente amêndoa (BNB, 2016).

2.4. Beneficiamentos da castanha-de-caju

Existem três métodos para o sistema de beneficiamento da castanha-de-caju ser realizado: artesanal, semimecanizado e mecanizado. A tecnologia adotada no descasque da castanha é o que difere qual dos três processos será utilizado.

No processo mecanizado as castanhas-de-caju são classificadas e separadas em função do seu tamanho (grande, média e pequena) e agrupadas em um mesmo lote logo após saírem das centrífugas. Após o cozimento, as castanhas são transportadas através de um elevador de caçambas e descarregadas em transportadores vibratórios horizontais, que, por sua vez, descarregam em classificadores de rolos, para se fazer uma nova separação por tamanho. Segundo Cavalcante Neto (2007) essa classificação é feita por meio de um espaçamento entre os rolos, de forma variada ao longo do seu comprimento, isto é, a largura entre os rolos do classificador vai aumentando da entrada do classificador até a

saída. Esses rolos são giratórios e inclinados, obrigando a castanha a deslizar sobre eles, sendo assim selecionadas por tamanho. São quatro os tamanhos das castanhas selecionados no classificador; pequena, média 1, média 2, e graúda. Abaixo dos rolos classificadores, existem funis e calhas, específicos para cada tamanho, que transferem aos silos de resfriamento – referentes também a cada tamanho – cuja finalidade é resfriar a castanha, que chega ainda quente, já que o processo de corte requer que a castanha esteja na temperatura ideal. Existe um grande ventilador, que, por meio de dutos, promove o resfriamento das castanhas dentro dos silos. Após as castanhas serem cozidas, são transferidas por um elevador de caçambas, e descarregadas em transportadores vibratórios horizontais, que, por sua vez, as descarregam em classificadores de rolos, para que seja feita uma nova separação por tamanho (PAIVA & SILVA NETO, 2013).

O processo artesanal de beneficiamento da castanha-de-caju, adotado em pequenas propriedades do interior do Nordeste, consiste basicamente em colocar as castanhas em chapas metálicas com aquecimento direto em fogo intenso até a total queima do LCC, resultando numa castanha escura, cuja quebra individual é feita com pedaços de madeira ou metal, para a abertura e a obtenção da amêndoa. A soltura da película é facilitada devido ao processo inicial de queima da castanha, que chega a assar parcialmente a sua amêndoa. Esse processo, quando realizado empiricamente, apresenta vários inconvenientes, resultantes principalmente das condições precárias de higiene do ambiente utilizado, onde na maioria dos casos são beiras de estradas e locais inadequados nas próprias casas dos produtores ou processadores (PAIVA & SILVA NETO, 2013).

A produção de amêndoas inteiras destina-se tradicionalmente à exportação. As amêndoas fragmentadas, de preço bastante inferior, são vendidas principalmente no mercado interno, mas também no exterior, especialmente os pedaços maiores, os quais vendidos para as indústrias de sorvetes, bolos e chocolates. Desta forma, estabelece-se uma escala de valor comercial, com grande amplitude de valores, compreendida entre inteiras e pedaços, grânulos, xerém e farinha (KROSS, 2008).

2.5. Características físicas

2.5.1. Teor de água

O teor de água é considerado um dos fatores mais importantes para a conservação e armazenamento dos produtos biológicos. Quanto maior o teor de água do produto, maior será sua perecibilidade e menor o tempo de armazenamento. A redução do teor de água

deve apresentar um nível que fique em equilíbrio com o ar do ambiente onde serão armazenados, a fim de manter a qualidade fisiológica da semente ou a aparência e qualidade nutritiva para a alimentação humana e/ou animal dos grãos. O processo de conservação consiste em reduzir a água das sementes e/ou grãos, já que um produto com teor de água elevado favorece os processos microbiológicos, como desenvolvimento de fungos, bactérias e também o de insetos.

De acordo com Duarte et al. (2006), existem duas formas de água contidas nas sementes, a água livre e água combinada: a água livre denominada atividade de água (a_w) funciona como solvente, proporcionando o crescimento de microorganismos e reações de deterioração; a água combinada é que apresenta alta energia de ligação, não disponível como solvente, reduzida mobilidade molecular, propriedades dielétricas diferentes da água livre e tem por principal propriedade não ser congelável.

Na comercialização do produto se faz necessário o conhecimento do teor de água, pois estando acima do teor ideal acarretará prejuízo para o comprador, uma vez que, ele estará pagando pelo excesso de água, além de provocar infestações por microorganismos e a ocorrência de reações enzimáticas preservando-lhe a qualidade, o valor nutritivo e crocância do produto, além de outras características organolépticas.

2.5.2. Massa específica real e aparente

A massa específica é a relação entre determinada massa das sementes e o seu correspondente volume. Quando os espaços vazios existentes na massa das sementes forem considerados, denomina-se massa específica aparente, caso não sejam levados em consideração, denomina-se de massa específica real. No processo de secagem de sementes, geralmente, a massa específica analisada é a aparente.

Na literatura encontram-se diversos trabalhos em que se relaciona o teor de água com a massa específica: Andrade et al. (2004) com grãos de milho; Ribeiro et al. (2005) com grãos de soja; Ribeiro et al. (2007) grãos de trigo; Resende et al. (2008) com grãos de feijão da cultivar Vermelho Coimbra. Pesquisadores observaram que a massa específica aparente aumenta à medida que o teor de água é reduzido, podendo ser explicado pela maior contração do volume da amostra de grãos, em relação à redução de massa, durante a secagem do produto.

2.5.3. Porosidade

A porosidade expressa em porcentagem é definida como a relação entre os espaços vazios existentes dentro de uma massa de sementes. A porosidade influi diretamente na resistência ao fluxo de ar que atravessa a massa de um produto durante o processo de secagem. Cavalcanti Mata e Duarte (2002) concluíram que a porosidade intergranular é a principal característica física que define a resistência à passagem do ar no processo de secagem e aeração de produtos agrícolas.

Park et al. (2007) afirmam que a porosidade em grãos maiores é menor, porém dimensões dos poros são maiores, facilitando o escoamento do ar que atravessa a massa do produto.

2.5.4. Cor

Um dos principais fatores de atração dos alimentos é a cor, capaz de influir até na percepção do aroma, sendo um fator importante na aceitação do produto pelo consumidor. É um atributo na indústria de alimentos, julgando-se a qualidade dos produtos. A cor nos alimentos é resultado da presença de pigmentos naturais, tais como carotenos, antocianinas, clorofila ou da adição de corantes sintéticos, podendo ser influenciada pela absorção da luz. Os pigmentos são instáveis e susceptíveis às reações químicas e bioquímicas que ocorrem durante o processamento ou armazenamento do produto, podendo ser indicadores das transformações ocorridas no alimento (ANDRE, 2015).

Lima et al. (2015) estudando sobre a caracterização físico-química e aceitabilidade de paçoca produzida com amêndoa de castanha-de-caju e sua comparação com produtos comerciais, analisaram a cor e observaram que a paçoca de torta de ACC apresentou-se muito diferente de amostras comerciais de amendoim. A paçoca de ACC ficou mais clara (L^* maior) e menos avermelhada (a^* menor) que as paçocas comerciais de amendoim. Isso era esperado, pois a amêndoa de castanha-de-caju é muito clara e, mesmo torrada, não apresenta a coloração avermelhada do amendoim.

Gurjão (2011) estudando a produção, armazenamento e utilização de farinha de grãos de abóbora em panificação, verificou que durante o armazenamento das farinhas de grãos secos e torrados ocorreu aumento na luminosidade, a intensidade de vermelho ($+a^*$) e a intensidade de amarelo ($+b^*$).

2.5.5. Textura

Existe uma grande dificuldade em definir textura, pois pode apresentar diferentes significados para cada pessoa. Bourne (2002) diz que a textura em alimentos possui as seguintes características:

- É um grupo de propriedades físicas derivadas da estrutura do alimento;
- Pertence às propriedades físicas mecânicas ou reológicas. Propriedades ópticas, elétricas, magnéticas e a temperatura são propriedades físicas que são excluídas da definição de textura;
- Consiste de um grupo de propriedades e não de uma única;
- Textura é sentida principalmente pelo toque (da boca ou da mão);
- Não está relacionada com a química do sabor e odor; e,
- Medições objetivas são feitas pelas funções de massa, distância e tempo apenas.

A textura pode ser avaliada por métodos sensoriais usando provadores treinados. Entretanto, em trabalho de rotina, esses métodos não são os mais vantajosos, existindo outros para obtenção mais rápida de indicadores da textura dos alimentos (SANTOS JÚNIOR et al., 2012). Os métodos instrumentais constituem uma alternativa para a avaliação de textura, fornecendo dados instrumentais que podem estar relacionados com a descrição sensorial (LASSOUED et al., 2008). Dentre os instrumentos de medição de força disponíveis o mais utilizado é o analisador de textura TAXT, que mede as propriedades de textura de produtos alimentícios através da sua deformação em várias maneiras e da medição da força necessária para alcançar a deformação (SCHARMAMM, 2000).

Como os hábitos dos consumidores se tornaram mais sofisticados, a importância da textura como atributo de qualidade vem aumentando significativamente. Para estabelecer técnicas eficientes de preservação com o mínimo dano ao produto, o comportamento da textura de fruta deve ser estudado (MASTRANGELO et al., 2000).

Almeida (2013) realizou testes de tensão de ruptura da fibra e resistência à compressão de bananas desidratadas osmoticamente e secas, e concluiu que em relação à ruptura de fibras, as bananas tratadas osmoticamente obtiveram um aumento da força, de acordo com o aumento do teor de sólidos da solução desidratante na desidratação osmótica. André (2015) verificou em amostras de manga Tommy Atkins durante armazenagem refrigerada, que a firmeza da manga diminuiu com o aumento do período de armazenamento, no entanto, as mangas armazenadas em temperaturas mais baixas, 4 e 10

°C, se mantiveram firmes por mais tempo apresentando um retardo no amadurecimento chegando, aos 10 dias de armazenamento. Amaral (2011) estudando os atributos de textura do coco-da-bahia desidratado observou que as amostras de coco semimaduro ofereceram, na maioria dos tratamentos aplicados, maior resistência à ruptura de fibras, quando comparadas, entre os mesmos tratamentos, com tiras de coco maduro. Silva e Marsaioli Júnior (2006), estudando o perfil de textura de amêndoas de noz macadâmia ao longo do armazenamento em 180 dias, em seus ensaios observaram através dos perfis das curvas obtidas nos testes de textura diferença de comportamento das amêndoas para os tempos inicial e final do armazenamento, porém, esta diferença não é muito evidenciada pela força máxima para fraturar ou perfurar a amêndoa e em relação a energia gasta no processo.

2.6. Secagem

A secagem é uma das etapas mais importantes da etapa pós-colheita, tendo por finalidade reduzir o teor de água da semente, permitindo, desta forma, um maior período de armazenamento sem que haja a deterioração do produto, pois impede as infestações por microorganismos e a ocorrência de reações enzimáticas preservando-lhes a qualidade, o valor nutritivo e ainda assegurando o poder germinativo. O processo de secagem envolve a redução do teor de água da semente até atingir um nível seguro que garanta a preservação da qualidade fisiológica do produto a ser armazenado durante um longo período de tempo (VIANA 2017).

O processo de secagem tem papel significativo nas perdas da qualidade do produto, uma vez que, seu manejo incorreto ocasiona deterioração do produto ao longo do armazenamento. A temperatura do ar de secagem e, conseqüentemente, a taxa de secagem, podem exercer efeito sobre a qualidade final do produto tendo influência diretamente no armazenamento (SILVA, 2016).

A secagem por convecção com ar quente é um dos métodos mais utilizados pela agroindústria, possui diversos benefícios entre os quais se destacam o baixo custo operacional, a capacidade de reduzir o teor de água, prolonga a vida útil e reduz a massa dos produtos biológicos, garantindo sua qualidade e facilitando o armazenamento e transporte (MOREIRA et al., 2018).

O processo de secagem convencional é realizado em estufas, na qual a transferência de calor ocorre por meio da convecção, através da troca de calor entre um fluido e um

sólido. Assim, o ar, aquecido por uma fonte de energia, transfere calor para a superfície sólida do produto a ser seco. O gradiente de temperatura entre esta superfície aquecida e o centro do material provoca, então, a troca de calor entre estas duas regiões, agora por condução térmica (DIAS, 2013).

O transporte da umidade dentro do sólido pode ocorrer através de um ou mais dos seguintes mecanismos de transferência de massa (MUJUMDAR, 2007):

- Difusão do líquido, se o sólido úmido se encontra em uma temperatura abaixo do ponto de ebulição do líquido;
- Difusão do vapor, se o líquido vaporiza-se dentro do material;
- Difusão de Knudsen, se a secagem é realizada em baixas temperaturas e pressões (liofilização);
- Difusão de superfície; e,
- Combinações dos mecanismos acima.

2.6.1. Cinética de secagem

Do ponto de vista da engenharia, é importante ter um melhor entendimento sobre os parâmetros que envolvem o processo de secagem. Modelos matemáticos são usados para projetar novos sistemas de secagem existentes ou melhorar o controle do processo de secagem. Muitos modelos matemáticos propuseram descrever o processo de secagem, em camada fina têm sido amplamente utilizados. Esses modelos podem ser categorizados como teóricos, semi-teóricos e empíricos (DOYMAZ, 2017).

A cinética de secagem é a relação entre o teor de água do material e o tempo. Esta é frequentemente utilizada para descrever os mecanismos macro e microscópicos de transferência de calor e massa envolvidos no processo de secagem (ROSA, 2010). Vários modelos matemáticos são utilizados para modelar o processo de secagem de produtos biológicos, porém, é comum a utilização do modelo difusional. A teoria difusional se apoia exclusivamente sobre a lei de Fick o qual expressa que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água (ALMEIDA, 2013).

Inúmeros trabalhos têm sido realizados com o objetivo de identificar as características de diversos produtos agrícolas durante a secagem, como: pera (LAHSASNI et al., 2004); banana (ALMEIDA, 2013); capim-limão (MARTINAZZO et al., 2007);

castanha (KROSS, 2008); grãos de café (GONELI, 2009); milho (OLIVEIRA et al., 2012), dentre outros.

Na Tabela 2 são apresentados os modelos utilizados para prever o fenômeno de secagem de produtos agrícolas (CORREA et al., 2007).

Tabela 2. Modelos empíricos e semiteóricos para descrever o processo de secagem de produtos agrícolas

| Modelo | Designação do modelo | Equação |
|----------------------------|---|---------|
| Aproximação da Difusão | $RX = a \text{Exp}(-k t) + (1-a) \text{Exp}(-k_2 t)$ | (2.1) |
| Thompson | $T = a \ln RX + b (\ln RX)^2$ | (2.2) |
| Page | $RX = \text{Exp}(-k t^n)$ | (2.3) |
| Midilli | $RX = a \text{Exp}(-k t^n) + b.t$ | (2.4) |
| Logarítmico | $RX = a \text{Exp}(-k t) + c$ | (2.5) |
| Henderson & Pabis | $RX = a \text{Exp}(-k t)$ | (2.6) |
| Exponencial de Dois Termos | $RX = a \text{Exp}(-k_0 t) + b \text{Exp}(-k_1 t)$ | (2.7) |
| Aproximação da Difusão | $RX = a \text{Exp}(-k t) + (1-a) \text{Exp}(-k b t)$ | (2.8) |
| Cavalcanti Mata | $RX = a_1 \text{Exp}(-b t^{a_2}) + a_3 \text{Exp}(-b t^{a_4}) + a_5$ | (2.9) |
| Fick para forma cilíndrica | $RX = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{\lambda_n^2} \exp\left(-\frac{\lambda_n^2 D_{ef} t}{R_e^2}\right)$ | (2.10) |

Em que k , k_0 e k_1 – constantes de secagem (s^{-1}) e a , b , c e n – coeficientes do modelo

2.7. Despeliculamento

O despeliculamento consiste na remoção da película que envolve a amêndoa, sendo essa operação executada manualmente, para as amêndoas de maior tamanho, seguindo as normas de seleção (Tipos 2, 3 e 4) e mecanicamente, para as amêndoas partidas e inteiras do Tipo 1. A maior quebra de amêndoas ocorre durante a despeliculagem, quando são mais frágeis e quebradiças. Nessa etapa, a quebra pode chegar a 25% (EMBRAPA, 2016).

Existem três tipos de sistema de beneficiamento da castanha-de-caju: mecanizado, semimecanizado e artesanal. Cerca de 5 a 10% da produção de castanha-de-caju no Brasil é processada pelo sistema semimecanizado e artesanal com o emprego de máquina manual, geralmente associada a pequenos produtores. Tanto no método semimecânico como no mecânico, pode-se obter até 70% de amêndoas totalmente sem película, sendo o restante

submetido à raspagem manual, com facas de despeliculagem. Em pequenas minifábricas, a despeliculagem é feita sem o auxílio dos equipamentos acima descritos. Nesse caso, os operários, com simples torção de dedos, conseguem separar a película da amêndoa. Em alguns casos, lança-se mão de estiletes de metal, para a retirada das partes mais aderentes da película. Muitas vezes, essa “amêndoa difícil” precisa voltar à estufa, para nova secagem, o que desvaloriza o produto. (PAIVA & SILVA NETO, 2004).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local de realização

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola e no Laboratório de Engenharia de Alimentos, ambos do CTRN/UFCG no município de Campina Grande, PB.

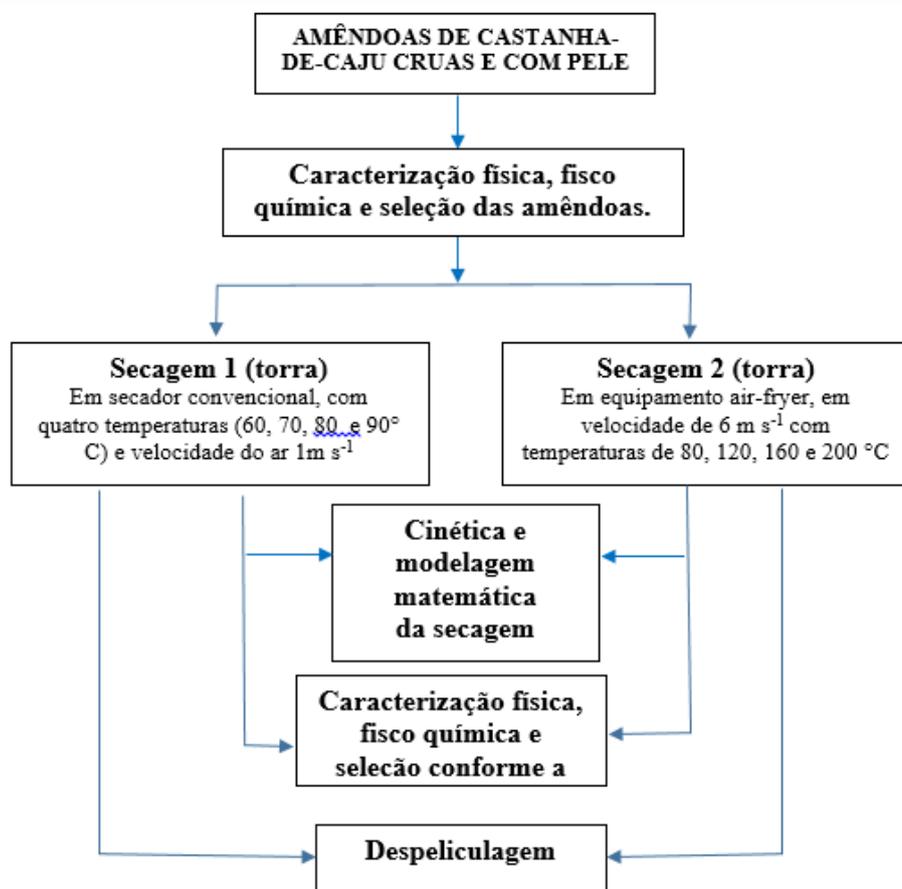
3.2. Matéria-prima

Para esta pesquisa foram utilizadas amêndoas de castanha de caju cruas, com o pergaminho, ou seja, apenas descorticadas, sem o pericarpo. Estas amêndoas foram adquiridas na fábrica de beneficiamento Kleybs Comércio de Castanhas, localizada na cidade de Fortaleza, CE.

3.3. Procedimento experimental

As etapas dessa pesquisa foram executadas conforme fluxograma da Figura 2

Figura 2. Fluxograma das etapas da pesquisa onde pretende-se otimizar o processo de secagem e despeliculagem de amêndoas de castanha-de-caju.



3.4. Seleção

As castanhas foram selecionadas de acordo com seu tamanho e integridade, seguindo as normas da CACEX (2003) posteriormente foram acondicionadas em embalagens de alumínio trifoliadas, sob vácuo e armazenadas à temperatura de 5 °C, até o momento dos ensaios de laboratório.

3.5. Caracterização

3.5.1. Teor de água

A determinação do teor de água foi feita pelo método gravimétrico, usando-se a estufa a 105 ± 3 °C até peso constante (IAL, 2008).

3.5.2. Integridade (índice de quebra)

O índice de quebra foi determinado em termos percentuais de massa, considerando inicialmente 100 g de amostras íntegras. Após cada ensaio foi feita a separação de inteiras e quebradas. As amêndoas quebradas foram classificadas segundo as normas da FAO (2005), CACEX (2003) e o Ministério da Agricultura do Brasil (2008) e resultado obtido para cada categoria de quebrados, em massa, exibido em percentagem do total. Todos os testes foram realizados em triplicatas.

3.5.3. Tamanho e massa

No primeiro momento foi feita medidas apenas do comprimento, visto que no início foram utilizadas apenas amêndoas inteiras. Para isto foi utilizado um paquímetro com precisão de 0,01 mm. A massa foi obtida por pesagem em balança analítica em g. Após cada ensaio de secagem e despêliculagem, foi feitas três medidas em direções mutuamente perpendiculares, para atender a classificação segundo a CACEX (2003).

3.5.4. Volume

O volume das amêndoas foi realizado pelo método do deslocamento de massa (DUARTE et al., 2006), utilizando a água como fluido.

$$V_r = \frac{\text{massa de fluido deslocado (kg)}}{\text{massa específica do fluido (kg m}^{-3}\text{)}} \quad (3.1)$$

em que,

V_r - Volume real.

3.5.5. Massa específica real

A massa específica da castanha foi obtida pela relação entre a massa da amêndoa e o seu volume, conforme Equação 3.2.

$$\rho = \frac{m}{V_r} \quad (3.2)$$

em que,

ρ - massa específica real, kg m^{-3} ;

m - massa dos grãos, kg; e,

V_r - Volume real, sem considerar a porosidade intergranular, m^{-3} .

3.5.6. Massa específica real e massa específica aparente

As determinações de massa específica foi realizada utilizando-se a relação entre a massa de amêndoas contidas em um cilindro e o seu volume (MOHSEIN, 1980).

As amêndoas de castanha-de-caju foram colocadas em um recipiente de formato cilíndrico de dimensões conhecidas, numa quantidade suficiente para preencher todo seu volume. Em seguida, foi feita a medição da massa de amêndoas em balança semi-analítica com precisão de 0,01g e calculado o volume ocupado pelo produto por meio da Equação 3.3.

$$Volume = (\pi r^2 h) \quad (3.3)$$

em que,

r -raio do cilindro, m

h -altura do cilindro, m.

A massa específica aparente das amêndoas foi determinada por meio da relação entre a massa de amêndoas contida no cilindro e volume ocupado por essas (Equação 3.4). Nesse caso, a porosidade também compõe o volume da amostra. Este procedimento foi realizado com três repetições para cada tratamento e após cada etapa do processo.

$$\rho_a = \frac{m}{v} \quad (3.4)$$

em que,

ρ_a - massa específica aparente, kg m^{-3}

m - massa de amêndoas contida no cilindro, kg

3.5.7. Caracterização físico-química

As análises de teor de água, cinzas, lipídeos, proteínas e fibras, foram realizadas de acordo com a metodologia descrita pelo IAL (2008). O percentual de carboidratos totais foi calculado pela diferença, segundo Lima et al. (2017), da seguinte maneira:

$$\% \text{Carboidratos} = 100\% - \% \text{TA} - \% \text{lipídeos} - \% \text{proteínas} - \% \text{cinzas} - \% \text{fibras totais}.$$

3.5.8. Análise da textura (crocância/dureza)

A análise da textura foi realizada através do teste de penetração em um texturômetro TAXT, com corpo de prova tipo agulha (Needle Probe – PART No. P/2N – Batch No. 2491). Foi levado em consideração que as amêndoas não possuíam uma espessura uniforme ao longo do comprimento, desta maneira os testes foram realizados sempre na porção mais espessa da amostra. Nesse teste, mediu-se a resistência que a amêndoa oferecia ao ser penetrada pelo corpo de prova a uma velocidade constante de 2 m s⁻¹ e por uma distância de 8 mm. A penetração do corpo de prova na amêndoa causa sua fratura e/ou deformação, gerando um gráfico de força x tempo. A dureza das amêndoas foi identificada como a força máxima registrada e a área sob a curva como a energia gasta no processo. Os testes foram realizados nas amêndoas inteiras em seis repetições para cada tratamento e utilizando como padrão amêndoas já encontradas no mercado, como forma de comparação, as amêndoas utilizadas foram selecionadas e testadas sempre na mesma posição de repouso.

3.6. Secagem

A secagem/torra foi realizada por dois processos: convencional utilizado nas indústrias de amêndoas de castanha de caju e o método proposto nessa pesquisa, secagem em altas temperaturas e altas velocidades do ar de secagem, utilizando “air-fryer”.

3.6.1. Secagem convencional

O processo de secagem convectiva (torra) das amêndoas em secador convencional foi realizado em camada fina, utilizando quatro temperaturas (60, 70, 80 e 90 °C) e fluxo de ar de 1,5 m s⁻¹. Para este método de secagem foram realizados 3 ensaios com 3 repetições, até o teor de água de aproximadamente 2% b.u.

3.6.2. Secagem em air-fryer

A secagem das amêndoas utilizando combinações de altas temperaturas com altas velocidades do ar de secagem foi realizada utilizando-se um equipamento tipo “air-fryer”, os ensaios foram realizados com velocidade de 6 m.s^{-1} com temperaturas de 80, 120, 160 e 200 °C, com 3 repetições, até aproximadamente 2% b.u.

3.7. Cinética de secagem

Na cinética de secagem, para ambos os processos, convencional e por “air-fryer”, a redução do teor de água foi acompanhada pelo método gravimétrico (perda de água), conhecendo-se o teor de água inicial do produto até atingir o teor de água desejado (2% b.u.), como mencionado anteriormente. Depois da secagem o produto foi colocado em uma estufa à temperatura de 105 ± 1 °C, por um período de 24 h, com a finalidade de determinar o teor de água do produto ao final de cada prática experimental.

O acompanhamento da redução da massa durante a secagem foi realizada com auxílio de uma balança semi analítica com precisão de 0,001 g.

Para os ensaios realizados no secador convencional, foram colocadas aproximadamente 100 g de amêndoas com teor de água conhecido, em uma cesta telada, a qual foi pesada em balança semi analítica nos intervalos pré-fixados, 5, 10, 20, 30 e 60 min.

Para a secagem por air-fryer, a fritadeira foi posicionada sobre a balança, que teve seu peso tarado e em seguida foi colocado aproximadamente 200 g de amêndoas, com teor de água conhecido, na cesta telada do próprio equipamento, facilitando o acompanhamento da sua redução de massa. Realizou-se a secagem até um teor de água de 2%, pois, apenas para ilustrar, a castanha crua possui teor de água entre 6 e 9% e, após torrada, é comercializada com teor de água de 1 a 2%. A coleta de dados foi feita de modo automático, utilizando-se uma câmera, onde o visor da balança foi filmado até o final do experimento, e a partir da análise do filme foram extraídos os dados da cinética de secagem. Depois da secagem o produto foi colocado em uma estufa à temperatura de 105 (± 1 °C), por um período de 24 h, com a finalidade de determinar o teor de água do produto ao final de cada prática experimental (IAL, 2005).

3.8. Despeliculamento

Esta etapa é responsável por um elevado índice de quebra das amêndoas e foi realizada de acordo com os procedimentos adotados pelos pequenos produtores, utilizando simples torsão com o auxílio de escovas. Após o despeliculamento as amêndoas foram novamente submetidas à seleção e caracterização.

3.8.1. Eficiência do despeliculamento

A eficiência do processo foi realizada medindo-se em massa, quantos gramas de amêndoas encontram-se totalmente sem película, em 100 gramas da amostra. Os resultados foram exibidos em percentagem.

3.9. Classificação de cor

A classificação de cor de amêndoas de castanha-de-caju para atender ao mercado interno e externo, não segue a escala CIELAB, usual em trabalhos científicos, e sim, uma escala de cor que vai do branco ao marrom, sendo que este último é totalmente inaceitável, assim as castanhas aceitáveis, de primeira classificação, vão do branco ao amarelo marfim, as mais escuras do que isso irão perdendo valor quanto mais escuras se apresentarem.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, R. D. **Desidratação osmótica com secagem complementar de banana pacovan**. 2013. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2013.
- AMARAL, D. S. **Técnicas para obtenção de coco da bahia desidratado**. 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2011.
- ANDRADE, E. T.; COUTO, A. M.; QUEIROZ, D. M.; Peixoto, A. B. Determinação de propriedades térmicas de grãos de milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 3, p. 488- 498, 2004.

- ANDRE, A. M. M. C. N. **Propriedades termofísicas de manga *Tommy Atkins* durante armazenagem refrigerada**. 2015. 48 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2015.
- ARAÚJO, M. C.; FERRAZ, A. C. O. Efeito da umidificação, tratamento térmico e deformação sobre a decorticação da castanha de caju ‘CCP-76’ por meio de impacto único e direcionado. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 1-10, 2006.
- BARROS, E. M.; CARVALHO, V. M.; RODRIGUES, T. H. S.; ROCHA, M. V. P.; GONÇALVES, L. R. B. Comparison of strategies for the simultaneous saccharification and fermentation of cashew apple bagasse using a thermotolerant *Kluyveromyces marxianus* to enhance cellulosic ethanol production. **Chemical Engineering Journal**, Fortaleza, v. 307, p. 939-947, 2017
- BARROS, L. M.; PIMENTEL, C. R. M.; CORRÊA, M. P. F.; MESQUITA, A. L. M. **Recomendações técnicas para a cultura do cajueiro anão precoce**. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 1993. 65p. (EMBRAPA-CNPAT - Circular Técnica, 1).
- BNB - Banco do Nordeste do Brasil. **Situação da cajucultura nordestina após a seca**. Caderno setorial ETENE. Ano 1, n. 4, dezembro, 2016. Disponível em: <<https://www.bnb.gov.br/documents/80223/1362740/cajucultura.pdf/ab38a224-57d8-3bf7-242b-6666846b0d12>>. Acesso em 30/10/2017.
- BOURNE, M.C. **Food texture and viscosity concept and measurement**. 2.ed. San Diego: Academic Press. Food Sciences and Technology International Series. p. 427, 2002.
- BRASIL - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - **Instrução normativa nº 2**, de 6 de fevereiro de 2017 o ministro de estado da agricultura, pecuária e abastecimento. Acesso 23,01/2018.
- CACEX - Carteira do Comércio Exterior/Banco do Brasil S.A. - **Tipos exportáveis de amêndoas de castanha de caju**. CACEX/BB/Departamento Geral de Exportação. 3p. (s.n), mimeografado, 2003.
- CÂMARA, C. R. S. **Indicadores de qualidade de amêndoas de castanha de caju em pedaços durante o processo industrial**. 2010. 26 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE, 2010.

- CAVALCANTE, C. E. B. **Atividade antioxidante total durante o processamento de amêndoas de castanha de caju (*Anacardium occidentale* L.)**. 75p. Dissertação. Universidade Federal do Ceará. 2010.
- CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M. Porosidade intergranular de produtos agrícolas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 79-93, 2002.
- CAVALCANTE NETO, M. C. **Mudança de metodologia no processo produtivo no beneficiamento da amêndoa da castanha-de-caju**. 63 f. 2007. Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- CHRISÓSTOMO, E. A gestão nas agroindústrias exportadoras de amêndoas de castanha-de-caju no estado do Ceará. **Revista Razão Contábil & Finanças**, v. 1, n. 1, p. 1-14, 2010.
- CORRÊA, J.L.G.; BATISTA, M.B.; COSTA, A.R.S.; BELO, F.A.; FIOREZE, R., Analysis of osmoticdehydration variables influences on tomato (*Lycopersicon esculentum*) drying. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, v. 25, n. 2, p. 315-328, 2007.
- DARAMOLA, D. Avaliação de alguns aspectos dos fito-nutrientes do suco de caju de origem doméstica na Nigéria. **African Journal of Food Science** , n. 7, v. 6 , 2013 .
- DIAS, L. G. **Estudo do processo de secagem em estufa e por microondas de compósitos cerâmicos de argila e resíduos de esteatito**. 2013. 99p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) – Universidade Federal de São João del Rei.
- DOYMAZ, I. Drying kinetics, rehydration and colour characteristics of convective hot-air drying of carrot slices. **Heat and Mass Transfer**, v. 53, p. 25-35, 2017.
- DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; ALMEIDA, F. de A. C. Características físicas das sementes. In: ALMEIDA, F. de A. C.; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. (ed). **Tecnologia de armazenamento em sementes**, 2006. Campina Grande: UFCG, cap.5, p.191-297, 2006.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema de produção do caju**. 2 ed. Julho de 2016. Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_

76293187_sistemaProducaoId=7705&p_r_p_-996514994_topicoId=10308> Acesso em 28/10/2017.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Commodities and trade technical paper. Small Island Developing States Agricultural Production and Trade, Preferences and Policy**. Rome. 70p., 2005.

FIGUEIREDO JUNIOR, H. S. Desafios para a cajucultura no Brasil: O comportamento da oferta e da demanda da castanha de caju. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 37, n. 4, 2006.

FIGUEIREDO, R. W.; LIMA, A. C.; PAIVA, F. F. de A.; BASTOS, M. do S. R.; MELO, Q. M. S.; FREIRE, F. Das C. O.; ALVES, R. E. **Colheita e pós-colheita da castanha**. In: ALVES, R. E. ; FILGUEIRAS, H. A. C. (Ed) Caju: Pós-colheita. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical; Brasília: Informação tecnológica, 2002. p. 30 -36.(Frutas do Brasil,31).

GONELI, A. L. D. Cinética de secagem dos grãos de café descascados em camada delgada. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. Especial Café, n. 11, p. 64-73, 2009.

GURJÃO, F. F. **Produção, armazenamento e utilização de farinha de grãos de abóbora em panificação**. 2011. 80 . Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2011.

HORTIESCOLHA. disponível em: <http://www.hortiescolha.com.br/hortipedia/produto/caju> 02/06/2018 Acesso em: 02 jun. 2018.

HORUZ, E.; BOZKURT, H.; KARATAŞ, H. MASKAN, M. Effects of hybrid (microwave-convectonal) and convectonal drying on drying kinetics, total phenolics, antioxidant capacity, vitamin C, color and rehydration capacity of sour cherries. **Food Chemistry**, v. 230, p. 295-305, 2017.

IAL - Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4ª edição, 1ª Edição Digital, São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático da produção Agrícola: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil**. Rio de Janeiro, v. 30, n. 1, 2017. 81p.

- KROSS, R. K. **Processamento de amêndoas de castanha de caju: secagem, extração e estabilidade do azeite**. 2008. 99 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2008.
- LAHSASNI, S.; KOUHILA, M.; MAHROUZ, M.; JAOUHARI, J.T. Drying kinetics of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*). **Journal of Food Engineering**, London, v. 61, n. 2, p. 173-9, 2004.
- LASSOUED, N.; DELARUE, J.; LAUNAY, B.; MICHON, C. Baked product texture: correlations between instrumental and sensory characterization using Flash Profile. **Journal of Cereal Science**, London, v. 48, n. 1, p. 133-143, 2008.
- LIMA, J. R.; GARRUTI, D. S.; ARAÚJO, I. M. S.; GARCIA, L. G. S. Estudo de caso: Caracterização físico-química e aceitabilidade de paçoca produzida com amêndoa de castanha-de-caju e sua comparação com produtos comerciais. **Brazilian Journal Food Technology**, Fortaleza, v. 18, n. 4, p. 1-5, 2015.
- LIMA, P. C. C.; SOUZA, B. S.; SANTINI, A. T.; OLIVEIRA, D. C. Aproveitamento agroindustrial de resíduos provenientes do abacaxi 'Pérola' minimamente processado. **Holos**, v. 2, p. 122-136, 2017.
- MARTINAZZO, A. P.; CORREA, P. C.; RESENDE, O.; MELO, E. de C. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 301-306, 2007.
- MASTRANGELO, M. M.; ROJAS, A. M.; CASTRO, M. A.; GERSCHENSON, L. N.; ALZAMORA, S. M. Texture and structure of glucose-infused melon. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Chichester, v.80, p.769-776, 2000.
- MOHSENIN, N. N. Thermal properties of foods and agricultural materials. New York: Gordon and Breach Science, 1980. 407 p.
- MOREIRA, I. S.; SILVA, W. P. da; CASTRO, D. S.; SILVA, L. M. M.; GOMES, J. P.; SILVA; C. M. D. P. S. E. Production of kiwi snack slice with different thickness **Drying Kinetics, Sensory and Physicochemical Analysis**, v. 12, p. 778-787, 2018.
- MUJUMDAR, A. (Ed.). **Handbook of industrial drying**. Boca Raton: CRC Press, v. 1, n 3 2007 Disponível em: <https://doi.org/10.1201/9781420017618>> Acesso em 08/01/2019.

- OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O.; SMANIOTTO, T. A. S.; CAMPOS, R. C.; e TARCÍSIO HONÓRIO CHAVES, T. H. Cinética de secagem dos grãos de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Rio Verde, v. 11, n. 2, p. 190-201, 2012.
- PAIVA, F. F. A.; SILVA NETO, R. M. **Processamento industrial da castanha-de-caju**. In: ARAÚJO, J. P. P. de (Ed.). *Agronegócio caju: práticas e inovações*. Brasília, DF: Embrapa, 2013. Parte 6, cap. 3, p. 395-465.
- PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. B. **Conceitos de processos e equipamentos de secagem**. 121p. 2007.
- RESENDE, O.; CORREA, P. C.; GONELI, A. L. D.; RIBEIRO, D. M. Propriedades físicas do feijão durante a secagem: determinação e modelagem. **Ciência e Agroecologia**. Lavras, v. 32, n. 1, p. 225-230, 2008.
- RIBEIRO D. M.; CORREA P. C.; RODRIGUES D. H.; GONELI A. L. D. Análise da Variação das propriedades físicas dos grãos de soja durante o processo de secagem. **Revista Ciências e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 3, p. 611-617, 2005.
- RIBEIRO D. M.; CORREA P. C.; RESENDE O; BOTELHO F. M. Propriedades Térmicas de Grãos de Trigo: Determinação e Modelagem. **Ciência e Agroecologia**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 462-467, 2007.
- ROSA, J. G. **Secagem de cenoura (*Daucus carota* L.) em microondas**. 2010. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2010.
- SANTOS JÚNIOR, H. C. M.; SILVA, W. S.; FOGACA, D. N. L.; RODRIGUES, L. B. Análise do perfil de textura de queijos de coalho condimentado com carne seca durante o tempo de armazenagem sob refrigeração. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 4, n. 13, p. 117-122, 2012.
- SCHARMAMM, G. **A practical approach to rheology and rheometry**. 2 ed. Germany. p. 291, 2000.
- SCOGNAMIGLIO, H. **Brasil é o terceiro maior produtor de frutas do mundo**. Disponível em: < <https://acifaacunesp.com/2017/09/17/brasil-e-o-terceiro-maior-produtor-de-frutas-do-mundo/>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2018.

- SMANIOTTO, T. A. S.; RESENDE, O.; SOUSA, K. A.; OLIVEIRA, D. E. C.; CAMPOS, R. C. Drying kinetics of sunflower grains. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, n. 3, p. 203-208, 2017.
- SILVA F. de A. S. e ; AZEVEDO, C. A. V. de The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal Agricultural Research**, v. 11, p. 3733-3740, 2016.
- SILVA, F. A.; MARSAIOLI JÚNIOR, A. Perfil de textura de amêndoas de noz macadâmia (*Macadamia integrifolia*) secas com aplicação de energia de micro-ondas e ar quente. **Revista de Ciências Exatas e Naturais**, v. 8, n. 1, p. 190-198, 2006.
- SILVA, E. E. da.; MEIRELES, E. C. de.; **Agricultura familiar, competitividade e economia solidária: um estudo de caso na coopercaju e sua dinâmica no mercado internacional**. Observatório – Monografias em Comércio Exterior, v. 1, p. 42-80, 2010.
- SILVA, G. D.; BARROS, Z. M. P.; MEDEIROS, R. A. B.; CARVALHO, C. B. O.; BRANDAO, S. C. R.; AZOUBEL, P. M. Pretreatments for melon drying implementing ultrasound and vacuum **LWT - Food Science and Technology**, v. 74, p. 114-119, 2016.
- SOARES, D. J.; CAVALCANTE, C. E. B.; CARDOSO, T. G.; FIGUEIREDO, E. A. T. de; MAIA, G. A.; SOUSA, P. H. M. de.; FIGUEIREDO, R. W. de. Study of the stability of cashew nuts obtained from conventional and organic cultivation. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 5, p. 1855-1868, 2012.
- VIANA R. V. S. **Secagem em camada fina e espessa de grãos de arroz vermelho em casca: avaliação experimental, modelagem e simulação**. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2017.

Artigo 1 - Aplicação de técnicas de secagem para aumentar a vida de prateleira de amêndoas de caju.

RESUMO: Considerando a elevada importância econômica da amêndoa da castanha-de-caju, visto que as maiores produções estão localizadas na região Nordeste e que as mesmas sofrem perdas na integridade ao longo do processo de beneficiamento, se faz necessário à aplicação de técnicas de conservação para aumentar sua vida de prateleira e minimizar os danos causados a sua integridade e cor. Diante disso neste estudo objetivou-se realizar a secagem (torra) das amêndoas de castanha-de-caju em 4 temperaturas (60, 70, 80 e 90 °C), utilizando secagem convectiva e secador convencional com velocidade de secagem de 1,5 m s⁻¹ e ajustar diferentes modelos matemáticos para descrição do processo de secagem a fim de se determinar parâmetros que confirmem importantes informações a respeito do melhoramento do sistema de beneficiamento da mesma e desta maneira avaliar os requisitos de qualidade. Dentre os modelos analisados, o de Page apresentou os melhores ajustes, foi possível observar que a difusividade efetiva aumentou devido a elevação da temperatura e seus valores foram de 1,47 a 4,17 x 10⁻⁸ (m² s⁻¹), nas temperaturas de 60 a 90 °C, respectivamente. Os parâmetros físico-químicos analisados não apresentaram diferença significativa com o aumento da temperatura, assim como a textura. o índice de quebra das amêndoas foi inferior a 21%.

Palavras-chave: vida de prateleira, cor, modelagem matemática

ABSTRACT: Considering the high economic importance of cashew nut kernels, since the largest productions are located in the Northeast region and that they suffer losses in the integrity throughout the process of processing, it is necessary to apply conservation techniques to increase your shelf life and minimize the damage done to your integrity and color. The objective of this study was to perform the drying (roasting) of cashew nuts in 4 temperatures (60, 70, 80 and 90 ° C) using convective drying and conventional dryer with a drying rate of 1.5 m s⁻¹ and adjust different mathematical models to describe the drying process in order to determine parameters that give important information regarding the improvement of the system of benefit of the same and thus evaluate the quality requirements. Among the analyzed models, Page presented the best adjustments, it was possible to observe that the effective diffusivity increased due to temperature elevation and its values were 1.47 to 4.17 x 10⁻⁸ (m² s⁻¹), in the temperatures from 60 to 90 ° C,

respectively. The physical-chemical parameters analyzed did not present significant difference with the temperature increase, as well as the texture. the breaking rate of almonds was less than 21%.

Keywords: shelf life, color, mathematical modeling.

INTRODUÇÃO

O cajueiro (*Anacardium occidentale*) é uma planta nativa do Nordeste brasileiro com considerável capacidade adaptativa a solos de baixa fertilidade, temperaturas elevadas e ao estresse hídrico. Devido a essas características, o cajueiro tornou-se uma importante fonte de renda para os estados do Nordeste, principalmente para as regiões semiáridas. Ademais, por produzir em pleno período seco, na entressafra das culturas anuais, o cajueiro torna-se importante para a geração de empregos tanto no campo quanto nas indústrias (EMBRAPA, 2016). Devido às várias políticas de incentivo de plantio, tem-se, até os dias atuais, uma expressiva área com cajueiros, sendo essa inferior apenas à área plantada com laranjeiras (IBGE, 2014).

A produção brasileira de castanha-de-caju atingiu 507.252 toneladas em 2016, sendo a região Nordeste responsável por 99,4% da produção, o estado que possui a maior produção de castanha de caju é o Piauí, produzindo mais de 123 mil toneladas, seguido do Ceará com mais de 37 mil e o Rio Grande do Norte com aproximadamente 5,5 mil toneladas, a Paraíba ocupa a 8^o posição, produzindo mais de 336 toneladas, neste ano (IBGE, 2017).

Os processos de beneficiamento da castanha para a extração da amêndoa são complexos, sendo consideradas três modalidades: manual, mecanizado e semimecanizado. Em qualquer caso, a intenção é a obtenção da maior quantidade possível de amêndoas inteiras, uma vez que o valor comercial está diretamente relacionado com a sua integridade física, associada também a outros parâmetros como tamanho e cor, de acordo com o sistema de classificação para amêndoas processadas estabelecido pela FAO (2005), pela CACEX (2003) e o Ministério da Agricultura do Brasil.

Considerando a elevada importância econômica da amêndoa da castanha-de-caju, visto que as maiores produções estão localizadas na região Nordeste e, ainda que, as mesmas sofrem perdas na integridade ao longo do processo de beneficiamento, faz-se necessário a aplicação de técnicas de conservação com o objetivo de aumentar sua vida de prateleira e minimizar os danos causados a sua integridade e cor, já que estes são

parâmetros de qualidade que definem o valor comercial final do produto. A finalidade principal do beneficiamento da castanha-de-caju é obter amêndoas inteiras, totalmente despeliculadas, de cor branco-marfim, sem manchas e de bom tamanho e com corânica que agrade aos consumidores.

Desse modo, as pesquisas que envolvem etapas de secagem e despeliculagem das amêndoas são importantes porque fornecem dados relevantes para o desenvolvimento de produtos com alto valor agregado. Dessa maneira, faz-se necessário o estudo de algumas variáveis que interferem no processo, a fim de determinar o melhor método de secagem e despeliculagem e também a modelagem matemática ideal para o processo. Sendo possível determinar as condições ideais de produção que vai permitir avaliar a eficiência e a qualidade do produto final. Diante deste cenário, nesta pesquisa objetivou-se avaliar a influência da temperatura de secagem nas características físicas, físico-químicas, textura e a eficiência do despeliculamento das amêndoas submetidas ao processo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para esta pesquisa foram utilizadas amêndoas de castanha-de-caju cruas, com o pergaminho, ou seja, apenas descorticadas, sem o pericarpo. Essas amêndoas foram adquiridas na fábrica de beneficiamento Kleybs Comércio de Castanhas, localizada na cidade de Fortaleza – Ce, e foram selecionadas de acordo com seu tamanho e integridade, seguindo as normas da CACEX (2003). Posteriormente, foram acondicionadas em embalagens de alumínio trifoliadas, sob vácuo e armazenadas à temperatura de 5 °C, até o momento dos ensaios de laboratório.

Para os ensaios de secagem, as amêndoas foram colocadas em cestas de aço inoxidável, e uniformemente espalhadas, formando uma camada fina. Em seguida, as bandejas foram colocadas em um secador com circulação de ar com velocidade de ar de $1,5 \text{ m s}^{-1}$, para a realização das cinéticas de secagem nas temperaturas de 60, 70, 80 e 90 °C até atingirem o teor de água de aproximadamente 2% (b.u), baseando-se em análises nas amostras industrializadas.

As cinéticas de secagem foram determinadas pesando-se as cestas com as amostras em intervalos regulares de 5, 10, 20, 30 e 60 min, até atingir o equilíbrio. No final das secagens foram determinadas as massas secas e calculado o teor de água de acordo com IAL (2008).

Os dados experimentais foram expressos em termos de razão de teor de água (RX), dada pela relação entre a diferença de teor de água no tempo (t) e teor de água de equilíbrio ($X - X_e$) e teor de água inicial e de equilíbrio ($X_0 - X_e$) como descrito na Eq. 1.

$$RX = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad (1)$$

em que:

RX - Razão de teor de água, adimensional;

X_e - Teor de água de equilíbrio, base seca;

X - Teor de água, base seca; e,

X_0 - Teor de água inicial, base seca.

Os modelos de Aproximação por Difusão, Cavalcanti Mata, Exponencial de Dois Termos, Henderson & Pabis, Logarítmico, Midilli, Page, Parry, Verma, Newton e Fick para forma cilíndrica, com raio equivalente de 5,9 cm, cujas equações estão descritas na Tabela 1, foram ajustados aos dados experimentais de secagem empregando-se o software Statistica 7.0, utilizando-se a análise de regressão não-linear, pelo método Quasi-Newton. Os modelos foram selecionados tomando-se como parâmetro a magnitude do coeficiente de determinação (R^2) e do desvio quadrático médio (DQM) (Eq. 2).

$$DQM = \sqrt{\frac{(RX_{exp} - RX_{pre})^2}{N}} \quad (2)$$

em que:

RX_{exp} - Razão de teor de água obtida experimentalmente, adimensional;

RX_{pre} - Razão de teor de água predita pelo modelo matemático; e,

N - Número de observações ao longo da cinética de secagem.

Tabela 1. Modelos teóricos, empíricos e semiteóricos para descrever o processo de secagem de produtos agrícolas

| Modelo | Designação do Modelo | Equação |
|------------------------|--|---------|
| Aproximação da Difusão | $RX = a \text{Exp}(-k t) + (1-a) \text{Exp}(-k b t)$ | (3) |

| | | |
|----------------------------|---|------|
| Cavalcanti Mata | $RX = a_1 \text{Exp}(-b t^{a_2}) + a_3 \text{Exp}(-b t^{a_4}) + a_5$ | (4) |
| Exponencial de Dois Termos | $RX = a \text{Exp}(-k_0 t) + b \text{Exp}(-k_1 t)$ | (5) |
| Henderson & Pabis | $RX = a \text{Exp}(-k t)$ | (6) |
| Logarítmico | $RX = a \text{Exp}(-k t) + c$ | (7) |
| Midilli | $RX = a \text{Exp}(-k t^b) + b \cdot t$ | (8) |
| Page | $RX = \exp(-Kt^n)$ | (9) |
| Parry | $RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$ | (10) |
| Verma | $Rx = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \exp(-k_1 \cdot t)$ | (11) |
| Newton | $Rx = \exp(-Kt)$ | (12) |
| Fick para forma cilíndrica | $RX = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{\lambda_n^2} \exp\left(-\frac{\lambda_n^2}{R_e^2} D_{ef} t\right)$ | (13) |

k , k_0 e k_1 – constantes de secagem (s^{-1}) e a , b , c – coeficientes do modelo; n → número de termos, R_e → Raio do cilindro equivalente; λ_n → raízes da equação de Bessel de primeiro tipo e com ordem 0. Fonte: Correa et al. (2007)

As análises de teor de água, cinzas, lipídios, proteínas e fibra foram efetuadas em triplicata utilizando a metodologia descrita pelo IAL (2008). O percentual de carboidrato foi calculado por diferença, segundo Lima et al. (2017).

A análise da textura foi realizada através do teste de penetração em um texturômetro TAXT, com corpo de prova tipo agulha (Needle Probe - PART No. P/2N - Batch No. 2491). Nesse teste, mediu-se a resistência que a amêndoa oferece ao ser penetrada pelo corpo de prova a uma velocidade constante de 2 mm s^{-1} e por uma distância de 8 mm. A penetração do corpo de prova na amêndoa causa sua fratura e/ou deformação, gerando um gráfico de força x tempo. A dureza das amêndoas foi identificada como a força máxima registrada e a área sob a curva como a energia gasta no processo. Os testes foram feitos nas amêndoas inteiras em seis repetições para cada tratamento e utilizando como padrão amêndoas já encontradas no mercado, como forma de comparação, essas amêndoas foram selecionadas e testadas sempre na mesma posição de repouso.

O despeliculamento foi executado de acordo com os procedimentos adotados pelos pequenos produtores, utilizando simples torsão e com o auxílio de escovas. Logo após despeliculamento as amêndoas foram novamente submetidas à seleção e caracterização. A análise da eficiência do processo, foi realizada medindo-se em massa a quantidade de

amêndoas que foram totalmente despeliculada em 100 g da amostra. Os resultados foram exibidos em percentagem.

O índice de quebra foi determinado em termos percentuais de massa, considerando inicialmente 100 g de amostra íntegra. Após cada ensaio, foi feita a separação de inteiras e quebradas. As amêndoas quebradas foram classificadas segundo as normas da FAO (2005), CACEX (2003) e o Ministério da Agricultura do Brasil (BRASIL, 2017) e o resultado obtido para cada categoria de quebrados, em massa, será exibido em percentagem do total.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Cinética de secagem

Os dados experimentais da secagem de amêndoas da castanha-de-caju foram ajustados aos modelos de Newton, Verma, Page, Exponencial de Dois Termos, Henderson & Pabis, Logarítmico, Aproximação por Difusão, Parry, Midilli e Cavalcanti Mata. Os parâmetros obtidos após os ajustes estão expressos na Tabela 2 e os dados referentes ao modelo de Fick para forma cilíndrica, encontram-se expresso na Tabela 3.

Tabela 2. Parâmetros de ajuste dos modelos matemáticos utilizados na predição da cinética de secagem da amêndoa da castanha-de-caju, com seus respectivos coeficientes de determinação (R²) e desvios quadráticos médios (DQM)

| Modelo | Parâmetro | | | | |
|--------|-----------|---------|----------------|---------------------------|---------------------------|
| | T (°C) | K | R ² | DQ M | |
| Newton | 60 | 0,00356 | 98,264 | 1,19 x10 ⁻³ | |
| | 70 | 0,00558 | 94,629 | 1,40 x10 ⁻³ | |
| | 80 | 0,00736 | 97,273 | 1,61 x10 ⁻³ | |
| | 90 | 0,01015 | 98,751 | 8,11 x10 ⁻³ | |
| Verma | T (°C) | a | k | R ² | DQM |
| | 60 | 1,00348 | 0,00366 | 98,288 | 1,40 x10 ⁻³ |

| | | | | | | |
|----------------------------------|-----------|---------|---------|---------|----------------|--------------------------|
| | 70 | 1,00943 | | 0,00601 | 94,943 | 2,24 $\times 10^{-3}$ |
| | 80 | 1,00267 | | 0,00749 | 97,287 | 2,02 $\times 10^{-3}$ |
| | 90 | 1,00361 | | 0,01036 | 98,775 | 2,12 $\times 10^{-3}$ |
| | T (°C) | k | | n | R ² | DQM |
| | 60 | 0,01001 | | 0,81198 | 99,702 | 4,66 $\times 10^{-4}$ |
| Page | 70 | 0,01439 | | 0,70444 | 99,606 | 6,94 $\times 10^{-4}$ |
| | 80 | 0,01983 | | 0,78996 | 99,461 | 9,49 $\times 10^{-4}$ |
| | 90 | 0,02007 | | 0,84571 | 99,807 | 5,72 $\times 10^{-4}$ |
| | T (°C) | a | | K | R ² | DQM |
| | 60 | 0,15440 | | 0,01831 | 99,708 | 6,14 $\times 10^{-4}$ |
| Exponencial de Dois Termos | 70 | 0,15796 | | 0,02747 | 98,181 | 1,23 $\times 10^{-3}$ |
| | 80 | 0,12223 | | 0,04946 | 99,382 | 1,07 $\times 10^{-3}$ |
| | 90 | 0,11391 | | 0,07461 | 99,893 | 3,61 $\times 10^{-4}$ |
| | T (°C) | a | | k | R ² | DQM |
| | 60 | 0,93222 | | 0,00312 | 99,224 | 2,97 $\times 10^{-4}$ |
| Henderson & Pabis | 70 | 0,87203 | | 0,00422 | 98,480 | 5,94 $\times 10^{-4}$ |
| | 80 | 0,90674 | | 0,00617 | 99,308 | 1,55 $\times 10^{-4}$ |
| | 90 | 0,93600 | | 0,00911 | 99,585 | 2,64 $\times 10^{-4}$ |
| | T (°C) | a | k | c | R ² | DQM |
| | 60 | 0,91874 | 0,00331 | 0,01928 | 99,2580 | 8,60 $\times 10^{-7}$ |
| Logaritmo | 70 | 0,84401 | 0,00483 | 0,04163 | 98,6670 | 1,36 $\times 10^{-6}$ |

| | | | | | | | | | |
|---------------------------|--------|----------------|----------------|----------------|------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------|--------------------------|
| | 80 | 0,89819 | 0,00637 | 0,01178 | 99,3210 | 1,23 $\times 10^{-6}$ | | | |
| | 90 | 0,92367 | 0,00955 | 0,01780 | 99,6170 | 2,23 $\times 10^{-6}$ | | | |
| | T (°C) | a | k | b | R ² | DQM | | | |
| Aproximação da Difusão | 60 | 0,17778 | 0,02210 | 0,12028 | 99,8240 | 3,05 $\times 10^{-4}$ | | | |
| | 70 | 0,21725 | 0,05436 | 0,06554 | 99,8400 | 2,05 $\times 10^{-4}$ | | | |
| | 80 | 0,13378 | 0,11345 | 0,04254 | 99,9230 | 1,86 $\times 10^{-4}$ | | | |
| | 90 | 0,10877 | 0,12103 | 0,07003 | 99,9410 | 8,99 $\times 10^{-5}$ | | | |
| | T (°C) | a | k | c | R ² | DQM | | | |
| Parry | 60 | 0,91874 | 0,00331 | 0,01928 | 99,2580 | 8,60 $\times 10^{-7}$ | | | |
| | 70 | 0,84399 | 0,00483 | 0,04164 | 98,6670 | 3,83 $\times 10^{-7}$ | | | |
| | 80 | 0,89821 | 0,00637 | 0,01178 | 99,3210 | 1,03 $\times 10^{-6}$ | | | |
| | 90 | 0,92365 | 0,00955 | 0,01781 | 99,6170 | 4,60 $\times 10^{-14}$ | | | |
| | T (°C) | a | k | n | b | R ² | DQM | | |
| Midilli | 60 | 1,02384 | 0,01701 | 0,70674 | $-6,50 \times 10^{-5}$ | 99,9300 | 6,78 $\times 10^{-6}$ | | |
| | 70 | 1,00427 | 0,01930 | 0,62079 | $-1,06 \times 10^{-4}$ | 99,9760 | 2,09 $\times 10^{-6}$ | | |
| | 80 | 0,97824 | 0,02119 | 0,75506 | $-1,19 \times 10^{-4}$ | 99,7900 | 1,86 $\times 10^{-6}$ | | |
| | 90 | 0,99184 | 0,02209 | 0,81205 | $-1,09 \times 10^{-4}$ | 99,9280 | 7,61 $\times 10^{-6}$ | | |
| | T (°C) | a ₁ | k ₁ | a ₂ | a ₃ | a ₄ | a ₅ | R ² | DQM |
| Cavalcanti- Mata | 60 | 0,5768 | 0,0163 | 0,6889 | 0,5768 | 0,6889 | - | 99,921 | 1,17 $\times 10^{-7}$ |
| | 70 | 1,0407 | 0,0171 | 0,7149 | 0,2336 | 0,0000 | 0,1275 | 99,820 | 4,65 $\times 10^{-4}$ |
| | 80 | 1,0774 | 0,0192 | 0,7498 | 0,8303 | 0,0000 | 0,2995 | 99,832 | 3,11 $\times 10^{-5}$ |
| | 90 | 0,8985 | 0,0217 | 0,8670 | 1,2695 | 0,3140 | - | 99,941 | 1,96 $\times 10^{-7}$ |

Os resultados da tabela 2 mostra o ajuste dos modelos matemáticos, por regressão não linear, aos dados da cinética de secagem das amêndoas da castanha-de-caju em camada fina, considerando-se as diferentes temperaturas do ar de secagem avaliadas, com seus respectivos coeficientes de correlação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM).

Observou-se que o modelo de Verma apresentou, para a temperatura de 70 °C, o menor valor de R^2 , em torno de 94,943%, mas, para a mesma temperatura no modelo de Midilli, foi verificado um melhor coeficiente de correlação 99,976%. Entretanto, levando-se em consideração que os valores de R^2 , por si só, não representam bom critério para a seleção de modelos não lineares, os dados de DQM também foram considerados (MARTINS et al., 2014). Em análise ao DQM, notou-se que o modelo de Cavalcanti Mata apresentou variação R^2 , superiores a 99% em todas as temperaturas estudadas e ainda menores valores de DQM, variando entre $4,65 \times 10^{-4}$ a $1,17 \times 10^{-7}$. É importante observar que os modelos matemáticos de Aproximação por Difusão, Midilli e Page, também podem ser utilizados para os ajustes de dados da cinética de secagem das amêndoas da castanha-de-caju, pois apresentam altos valores do R^2 , acima de 99%, e baixos valores de DQM.

O parâmetro “k” de todos os modelos avaliados aumentaram com a elevação da temperatura de secagem. Comportamento similar foi observado por Martins et al. (2014) na secagem de cascas de mulungu. Corrêa et al. (2010) afirmam que o parâmetro “k” tende a aumentar visto que maiores temperaturas acarretam maiores taxas de secagem chegando ao teor de água de equilíbrio em menor tempo de submissão do produto ao ar de secagem. Essa constante de secagem está relacionada à difusividade efetiva no processo de secagem no período decrescente, sendo a difusão líquida que controla o processo de secagem (ARAÚJO et al., 2017).

Na literatura existem alguns estudos sobre a modelagem matemática de amêndoas, nos quais foram constatados que vários modelos podem ser utilizados para descrever o processo de secagem desses produtos, o que nos faz constatar que dependendo das condições operacionais e das características dessas amêndoas, vários modelos matemáticos podem ser empregados para descrever tais processos, analisando os parâmetros de secagem, bem como os coeficientes estatísticos relacionados. De forma geral, neste estudo, todos os modelos testados se ajustaram bem aos dados experimentais e podem ser utilizados para a estimativa das curvas de cinética de secagem da amêndoa de castanha-de-caju, sendo o de Page o que obteve os melhores resultados. 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 o que melhor descreveu o fenômeno de secagem de castanha-de-caju, o mesmo foi observado neste trabalho para o comportamento das curvas de secagem das amêndoas de castanha-de-caju, submetidas a secagem em camada fina com secador convencional, utilizando temperaturas semelhantes de secagem.

Araújo et al. (2017), estudando a modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim, observaram que entre os modelos testados (Aproximação da Difusão, Dois Termos, Exponencial de Dois Termos, Henderson & Pabis Modificado, Logarítmico, Midilli, Page, Thompson, Verna e Wang e Sing), os modelos de Dois Termos, Henderson & Pabis modificado, Midilli e Page apresentaram os melhores ajustes aos dados experimentais, sendo o modelo de Page selecionado para a representação da cinética de secagem dos frutos de amendoim em camada delgada, assim como nesta pesquisa.

Santos et al. (2017), estudando a modelagem matemática das sementes de romã, verificaram que dentre os modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais da cinética de secagem das sementes de romã, foi selecionado o modelo de Page como o mais adequado para prever o fenômeno estudado, apresentando na maioria dos casos os maiores valores de R^2 , os menores desvios quadráticos médios e distribuição dos resíduos aleatória. Foi constatado ainda que os modelos matemáticos Aproximação da Difusão, Dois Termos, Exponencial de Dois Termos, Henderson & Pabis e Logarítmico, também podem ser utilizados para estimar os dados experimentais da cinética de secagem das sementes de romã, com R^2 superiores a 0,98 e baixos valores de DQM, comportamento semelhante ao deste estudo.

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 & Pabis, Logaritmo, Midilli, Newton, Page e Page Modificado apresentaram valores de R^2 superiores a 0,99 para os valores experimentais de secagem; Carvalho (2018) estudou a cinética de secagem de amêndoas de macaúba e verificou que os modelos Aproximação de Difusão, Midilli, Page e Page Modificado são os mais adequados para descrever o fenômeno de secagem de amêndoas de macaúba.

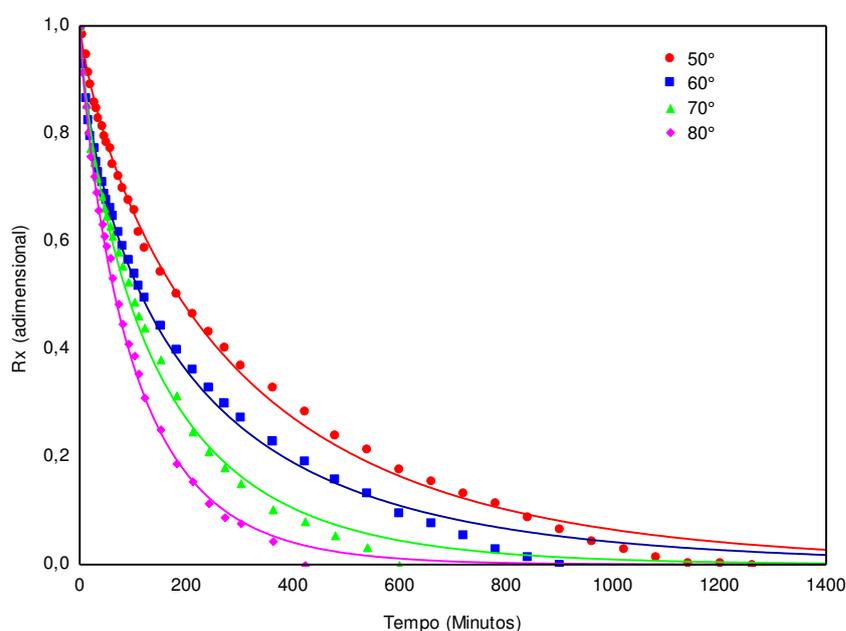
Moscon (2015), em estudo sobre a cinética de secagem e propriedades físicas de quinoa e amaranto, verificou que os modelos de Page, Midilli e Aproximação da Difusão, apresentaram os coeficientes estatísticos mais satisfatórios para descrever as curvas de secagem de grãos de quinoa, em todas as temperaturas estudadas, já com relação ao

amaranto o modelo de Wang e Singh foi o que melhor representou os dados experimentais, nas temperaturas de 30 e 50 °C.

Kross (2008), estudando o processamento de amêndoas de castanha de caju, nos seus ensaios de secagem nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, verificou que dos modelos semi-teóricos, o de Page foi o que melhor representou o fenômeno físico, com valores do coeficiente de determinação entre 99,52 e 99,93%, observando a constante de secagem k constatou que a mesma variou entre 0,032 e $1,331 \times 10^{-5}$, valores estes próximos aos encontrados neste estudo, sendo de 0,01 a 0,02, para este parâmetro. Vale salientar que, nesta pesquisa, foram utilizadas amêndoas de castanha-de-caju inteiras e com pergaminho o que dificulta o processo de secagem, visto que existe uma barreira física entre o produto e a temperatura empregada no processo de secagem.

Analisando a Figura 1, que representam as curvas de secagem nas temperaturas de 60, 70, 80 e 90 °C, no modelo matemático de Page, foi verificado que na temperatura de 60 °C a secagem das amêndoas de castanha-de-caju durou 1260 min, para a cinética de 70 °C foi observado um tempo de 900 min e para as secagens de 80 e 90 °C um tempo de 600 e 420 min, respectivamente, para que as mesmas atingissem o teor de água esperado que era de 2% (b.u). Viu-se-se que nos primeiros 200 min ocorreu uma secagem mais rápida, passando este tempo, a perda de água diminuiu mais lentamente e a resistência interna da saída de água das amêndoas aumentou, tendo como consequência uma diminuição mais lenta da razão do teor de água.

Figura 1. Dados experimentais de secagem das amêndoas de castanha-de-caju, nas temperaturas de 60,70, 80 e 90 °C, com ajustes segundo o modelo de Page.



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), fato comprovado em análise dos dados desta pesquisa. 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 das moléculas de água, contribuindo assim, para uma difusão mais rápida da água.

Sirisomboon (2009) verificou que com a elevação da temperatura de secagem de pinhão manso nas temperaturas de 40, 60 e 80 °C, a taxa de secagem aumentou, reduzindo a relação do teor de água e o tempo necessário para que o produto chegasse ao teor de água de 5% (b.s.).

Dantas (2017) verificou que durante a cinética de secagem de sementes de jaca nas temperaturas de 55, 65 e 75 °C, o tempo de secagem diminuiu de 4.120 para 4.000 min com o aumento da velocidade do ar na temperatura de 55 °C, o mesmo comportamento foi observado nas outras condições de secagem utilizadas, atingindo tempo de secagem de 3460 e 3280 min para 65 °C e de 3160 e 3040 min na temperatura de 75 °C, todas utilizando as velocidades do ar de secagem de 1,0 e 1,3 m s⁻¹.

Muitos estudos podem ser encontrados na literatura com diversos produtos agrícolas que confirmam os resultados observados. Rodovalho et al. (2015), para grãos de pimenta bode; Diógenes et al. (2013), para sementes de abóbora; Sonmete et al. (2016), para cenouras; Horuz et al. (2017), para damasco; Kross (2008), para castanha-de-caju e Araújo et al. (2017) para amendoim.

Os valores da difusividade efetiva (Tabela 3), foram estimados pelo método de Quasi-Newton, obtendo-se valores de coeficientes de determinação satisfatórios entre 97,134 e 99,352%.

Tabela 3. Parâmetros de ajustes para o modelo de Fick considerando cinco termos da série.

| Temperatura (°C) | Difusividade efetiva (m ² s ⁻¹) | R ² (%) | DQM |
|------------------|--|--------------------|------------------------|
| 60 | 1,47x10 ⁻⁸ | 97,659 | 2,07x10 ⁻³ |
| 70 | 2,36x10 ⁻⁸ | 99,352 | 8,13x 10 ⁻⁴ |
| 80 | 3,15x10 ⁻⁸ | 98,098 | 1,55 x10 ⁻³ |
| 90 | 4,17x10 ⁻⁸ | 97,134 | 2,02 x10 ⁻³ |

Analisando os dados obtidos, verificou-se que a partir do quarto termo não existe uma variação acentuada dos valores da difusividade efetiva, desta maneira, como estas diferenças são pequenas e se encontram apenas na terceira casa decimal, tendo o coeficiente de determinação (R^2) para cada temperatura valores semelhantes, entre 97 a 99%, e um valor de DQM baixo, considerou-se os cinco termos da série para a equação de Fick na forma cilíndrica.

Observou-se que a difusividade efetiva aumentou em função do aumento da temperatura, apresentando valores entre $1,47 \times 10^{-8}$ a $4,17 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ para as temperaturas de 60, 70, 80 e 90 °C.

Segundo Goneli et al. (2009), com o aumento da temperatura a viscosidade da água diminui e, sendo a viscosidade uma medida de resistência do fluido ao escoamento, variações dessa propriedade implicam alterações na difusão da água nos interstícios das amostras, favorecendo a movimentação da água no produto. Dessa forma, constatou-se que quanto maior o teor de água e a temperatura no grão maior será a velocidade de remoção da água livre do interior para a superfície do grão, conseqüentemente, maior será a difusividade.

Kros (2008), em seu estudo sobre castanha-de-caju, levando em consideração a forma cilíndrica, encontrou valores de 1,2788; 2,3073; 4,1943 e $4,2894 \times 10^{-13} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ para as temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, respectivamente, confirmando o observado entre a relação do aumento da temperatura com o aumento da difusividade efetiva.

Araújo (2017), analisando a modelagem matemática de amendoim, considerando a forma geométrica do produto como esférica e com aproximação de oito termos verificou valores do coeficiente de difusão efetivo nos frutos de amendoim entre 1,4760 a $4,7062 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, para a faixa de temperatura de 40 a 70 °C.

3.2 - Caracterização físico-química

Na Tabela 4, encontram-se expressos os valores para a análise da composição da amêndoa da castanha-de-caju, submetida a secagem nas temperaturas de 60, 70, 80 e 90 °C. Como forma de analisar a influência da temperatura em tais parâmetros, também foi analisada a amêndoa *in natura*.

Tabela 4. Composição físico-química amêndoa de castanha-de-caju

| Parâmetros | Temperatura (°C) | | | | |
|---------------------|------------------|----------|----------|----------|----------|
| | <i>In natura</i> | 60 | 70 | 80 | 90 |
| Teor de água | 7,917 a | 2,179 bc | 2,466 b | 2,297 bc | 1,977 c |
| Cinzas | 1,825 b | 2,802 a | 2,321 ab | 2,153 ab | 2,204 ab |
| Lipídios | 37,575 a | 37,964 a | 37,217 a | 37,206 a | 36,984 a |
| Proteína | 20,019 a | 22,169 a | 21,828 a | 19,477 a | 20,437 a |
| Fibra bruta | 3,687 ab | 4,997 a | 4,172 ab | 3,571 ab | 2,888 b |
| Carboidratos totais | 28,974 a | 27,889 a | 29,918 a | 33,325 a | 33,568 a |

As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Analisando o teor de água inicial antes do processo de secagem verificou-se um valor de 7,917%, o que é esperado já que a castanha passou pelo processo de descortificação antes das análises, além de que, provavelmente pode ter ocorrido absorção de água durante a estocagem. A legislação brasileira estabelece a tolerância para o teor de água das amêndoas de castanha-de-caju *in natura* na faixa de 8%; contudo, para a comercialização recomenda-se que este parâmetro não ultrapasse os 5% (BRASIL, 2017).

Câmara (2010), estudando os parâmetros de qualidade no beneficiamento de amêndoas de castanha-de-caju, encontrou variação no teor de água das amêndoas antes do processo de torra, com valores de 5,10 a 5,97, dentro das variedades estudadas, já para as amêndoas torras este parâmetro variou entre 2,52 a 2,84, valores estes em consonância aos observados nesta pesquisa.

Como o teor de cinzas presentes nos produtos agrícolas em geral se refere ao conteúdo inorgânico em uma determinada amostra percebeu-se que tal parâmetro é inversamente proporcional ao teor de água, ou seja, à medida que temos uma diminuição no teor de água, percebemos um aumento percentual deste parâmetro, isto pode ser

explicado se analisarmos a unidade que define o processo, dado que a mesma é expressa em g/100g de amostra, fato observado nas amêndoas analisadas. Kross (2008), em sua pesquisa sobre a cinética de secagem de pedaços de castanha-de-caju, encontrou uma média de 2,31% deste parâmetro nas suas amostras *in natura*, valor acima do analisado neste estudo.

Em virtude da sua composição centesimal, a amêndoa de castanha-de-caju, fornece grande quantidade de energia, possuindo uma boa quantidade de carboidratos e lipídios, além de proteínas. Analisando os dados obtidos para lipídios, proteínas, fibra bruta e carboidratos totais, percebeu-se que não ocorreu diferença significativa quando analisadas os tratamentos de secagem em relação aos parâmetros. Câmara (2010) encontrou níveis relacionados ao teor proteico das amêndoas de castanha-de-caju crua (22,11%) e tostada (21,76%), não apresentando diferença significativa entre as médias; o teor de lipídios obtido para a amêndoa crua (46,28%). Kross (2008) e Aremu et al. (2006), encontraram valores para proteínas de 24,3 e 25,3, respectivamente para as amêndoas de castanha de caju.

Rocha (2016), analisando a caracterização química da amêndoa do baru (*Dipteryx alata Vog.*), encontrou teor médio de proteína da amêndoa semelhante ao do amendoim, inferior ao da castanha-de-caju, das amêndoas de pequi e da amêndoa-doce, e superior aoda avelã. O mesmo autor encontrou valores de teor de umidade de 2,83%, 3,11% de cinzas, 38,95% de lipídios, 21,07% de proteínas e 34,04% de carboidratos, nas amostras analisadas.

A diferença entre os valores encontrados da composição centesimal pode ocorrer por diversos fatores, tais como: variações genéticas e ambientais ou ao processo de torra ao qual foi submetida a amêndoa, além das técnicas de armazenamento, embalagens e das metodologias analíticas utilizadas nas determinações.

3.3. Perfil de textura das amêndoas

Para a análise da textura foi levado em consideração que as amêndoas não possuem uma espessura uniforme ao longo do comprimento, desta maneira, os testes foram realizados sempre na porção mais espessa da amostra. Com o objetivo de determinar uma comparação entre as amêndoas que foram submetidas ao processo de secagem, foi feito a mesma análise em amêndoas *in natura* e já comercializadas. Os testes foram efetuados em

seis repetições. Os dados referentes aos parâmetros de Dureza (N) e Energia (N/S), encontra-se representados na Tabela 5.

Tabela 5. Parâmetros de textura para a amêndoa de castanha-de-caju

| | Parâmetros | |
|-----------|------------|---------------|
| | Dureza (N) | Energia (N/S) |
| Crua | 7,252 b | 13,299 b |
| Comercial | 17,225 a | 28,677 ab |
| 60 °C | 15,618 a | 53,660 a |
| 70 °C | 16,749 a | 51,805 a |
| 80 °C | 15,588 a | 53,620 a |
| 90 °C | 15,777 a | 56,318 a |
| DMS | 7,159 | 30,615 |
| CV | 28,39% | 40,66% |

As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Analisando os dados obtidos para as amêndoas cruas, verificou-se que o teste de Tukey mostrou que as castanhas submetidas ao processo de secagem apresentaram diferença significativa em relação ao parâmetro de dureza, mas não diferiu das amêndoas comerciais, utilizadas neste estudo como parâmetro de análise, em um nível de 5% de probabilidade. Tal comportamento já era esperado, em virtude de todos os ensaios de secagem terem sido realizados até que as amêndoas atingissem um teor de água em torno de 2% (b.u), o que proporcionou uma padronização entre as amostras.

Examinando a energia gasta no processo para fraturar as amêndoas, percebeu-se que as mesmas analisadas nesse estudo não apresentam diferença significativa, entre os ensaios de secagem nas quatro temperaturas empregadas, e acordo com o teste de Tukey, com valores próximos a 50 (N/s). A diferença encontrada em relação a amêndoa comercial, pode ser explicada pelo processamento da mesma, o que produz características distintas com as analisadas neste estudo, bem como as características geométricas das amêndoas.

Silva e Marsaioli Júnior (2006), estudando o perfil de textura de amêndoas de noz macadâmia ao longo do armazenamento em 180 dias, em seus ensaios observaram através dos perfis das curvas obtidas nos testes de textura, uma diferença de comportamento das amêndoas para os tempos inicial e final do armazenamento, porém, esta diferença não é muito evidenciada pela força máxima para fraturar ou perfurar a amêndoa e em relação a energia gasta no processo.

3.4 - Eficiência do processo de despêliculamento e índice de quebra

Na Tabela 6, encontram-se os dados referentes aos ensaios de despêliculamento das amêndoas de castanha de caju, submetidas ao processo de secagem.

Tabela 6. Eficiência do despêliculamento para a amêndoa-de-castanha de caju

| Parâmetros (g por 100 g de amêndoas) | Temperatura (°C) | | | |
|---|------------------|---------|---------|------------|
| | 60 | 70 | 80 | 90 |
| Amêndoas inteiras sem película | 66,847 | 62,475 | 58,9316 | 58,113 |
| Amêndoas com películas | 11,042 | 10,2592 | 11,8082 | 11,291 |
| Amêndoas quebradas | 12,485 | 16,980 | 18,05 | 20,938 |
| Índice de quebra (%) | 12,48% | 16,98% | 18,05% | 20,93 % |

O índice de quebra das amêndoas está bastante relacionado ao sistema de beneficiamento utilizado, se mecanizado (40 - 45%) ou semimecanizado (20 - 25%). Dependente também das características da matéria-prima, a exemplo do tamanho e geometria (formato) das castanhas e amêndoas, espaço entre a casca e a amêndoa, forma (abertura) e nível de aderência dos cotilédones (PAIVA et al., 2000).

A quebra das amêndoas é um importante parâmetro industrial, porque, além de aumentar os custos de produção, interfere na receita da comercialização, mediante redução do preço do produto. Desta maneira, analisando a Tabela 14, verificou-se que em todos os experimentos realizados as amêndoas apresentaram um índice de quebra inferior a 21%, provando que a metodologia de secagem foi viável em termos industriais para favorecer a sua integridade.

A fim de se obter uma padronização nos experimentos, foram utilizadas amêndoas inteiras especiais, designadas de LW2 (Inteira Especial de 2° Qualidade). No fim dos experimentos as amêndoas foram classificadas seguindo as normas estabelecidas pela FAO (2005), CACEX (2003) e o Ministério da Agricultura do Brasil. Analisando as amostras obtidas no fim dos ensaios de secagem, verificou-se que as amêndoas podem ser classificadas em Bandas de 1° qualidade, já que possui metade da castanha partida longitudinalmente, no máximo 1/8 deste cotilédone foi separado, SP2 - Pedacos Pequenos de 2ª Qualidade e as castanhas inteiras LW2, inteiras de 2° qualidade.

4. CONCLUSÕES

1. Entre os modelos estudados o que melhor se ajusta aos dados experimentais de secagem de amêndoas de castanha-de-caju sem casca, foi o modelo de Page.
2. A difusividade efetiva aumenta com o aumento da temperatura.
3. Não ocorre diferença significativa em relação a textura e as análises físico-químicas nas amêndoas submetidas as secagens.
4. O processo de secagem favoreceu o despêliculamento das amêndoas.
5. O índice de quebra das amêndoas é inferior a 21%.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, C. S.; MACEDO, L. L.; VIMERCATI, W. C.; OLIVEIRA, A. N. O.; TEIXEIRA, L. J. Q. Cinética de secagem de acerola em leito de espuma e ajuste de modelos matemáticos. **Brazilian Journal Food Technology**, v. 20, n. 2, p. 1-9, 2017.

ARAUJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; FILHO, C. P. H.; MARTINS, E. A. S. Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim em camada delgada. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 3, p. 448-457, 2017.

AREMU, M. O.; OLONISAKIN, D. A.; BAKO, D. A.; MADU, P. C. Compositional studies and physicochemical characteristics of cashew nut flour. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 5, n. 4, p. 328-333, 2006.

BRASIL - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento- **Instrução normativa nº 2**, de 6 de fevereiro de 2017 o ministro de estado da agricultura, pecuária e abastecimento. Acesso 23/01/2018.

CÂMARA C. R. S. **Indicadores de qualidade de amêndoas de castanha de caju em pedaços durante o processo industrial** / Cristiane Rodrigues Silva Câmara. -- Fortaleza, 2010. 116 f. ; il. color. enc.

CARVALHO, S. M. **Cinética de secagem, conservação e propriedades físico-químicas de amêndoas de macaúba**. 2018. 74p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2018.

CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M.; GONELI, A. L. D.; CARVALHO, F. M. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Revista Ceres**, v. 57, n. 5, p. 595-601, 2010.

DHANUSHKODI, S.; WILSON, V. H.; SUDHAKAR, K. Mathematical modeling of drying behavior of cashew in a solar biomass hybrid dryer. **Resource-Efficient Technologies**, v. 3, p. 359-364, 2017.

DIÓGENES, A. M. G.; QUEIROZ, A. J. de M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de; SANTOS, D. da C. Cinética de secagem de grãos de abóbora. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 1, p. 71-80, 2013.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Aspectos Econômicos da cultura do cajueiro** – Sistemas de Produção Embrapa. Embrapa Agroindústria Tropical/SEBRAE. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília. 2016.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Commodities and trade technical paper. Small Island Developing States Agricultural Production and Trade, Preferences and Policy**. Rome. p. 70, 2005.

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**, v. 11, p. 64-73, 2009.

HORUZ, E.; BOZKURT, H.; MASKAN, M. Drying kinetics of apricot halves in a microwave-hot air hybrid oven. **Heat Mass Transfer**, v. 53, n. 5 p. 2117-2127, 2017.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Banco de Dados Agregados 2014**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#resultado>> Acesso em: 30 de outubro de 2017.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2019.

KROSS, K. R. **Processamento de amêndoas de castanha de caju: secagem, extração e estabilidade do azeite**. 2008. 99f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2008.

LIMA, P. C. C.; SOUZA, B. S.; SANTINI, A. T.; OLIVEIRA, D. C. Aproveitamento Agroindustrial de Resíduos Provenientes do Abacaxi 'Pérola' Minimamente Processado. **Holos**, v. 2, n. 33. 2017.

LUIKOV, A. V. Analytical heat diffusion theory, **Academic Press**, Inc. Ltd, London, 1968, 685 p.

MARTINS, J. J. A.; MARQUES, J. I.; SANTOS, D. C.; ROCHA, A. P. T. Modelagem matemática da secagem de cascas de mulungu. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 6, p. 1652-1660, 2014.

MOREIRA, I. S.; SILVA, W. P.; CASTRO, D. S.; SILVA, L. M. M.; GOMES, J. P.; SILVA, C. M. D. P. S. E. Production of kiwi snack slice with different thickness: **Drying Kinetics, Sensory and Physicochemical Analysis**, v. 12, p.778-787, 2018.

MOSCON, E. S. **Cinética de secagem e propriedades físicas de quinoa e amaranto e qualidade de sementes de quinoa**. 2015. 85p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília. 2015.

OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O.; SMANIOTTO, T. A. S.; CAMPOS, R. C.; CHAVES, T. H. Cinética de secagem dos grãos de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, n. 2, p. 190-201, 2012.

PAIVA, F. F. A.; SILVA NETO, R. M.; PESSOA, P. F. A. P. **Minifábrica de processamento de castanha-de-caju**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2000. 22p. (Circular Técnica, 7).

ROCHA, F. **Caracterização química, física e termofísica da amêndoa do baru (*Dipteryx alata* Vog.)**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná. 2016.

RODOVALHO, R. S.; SILVA, H. W.; SILVA, I. L.; ROSSETTO, C. A. V. Cinética de secagem dos grãos de pimenta bode. **Global Science Technology**, v. 8, n. 2, p. 128-142, 2015.

SANTOS, F. S.; LEITE, D. D. F.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de; QUEIROZ, A. J. de M. Modelagem matemática da cinética de secagem da romã. **Revista Espacios**, v. 38, p. 49-52, 2017.

SILVA, F. A.; MARSAIOLI JÚNIOR, A. Perfil de textura de amêndoas de noz macadâmia (*Macadamia integrifolia*) secas com aplicação de energia de micro-ondas e ar quente. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 8, n. 1, p. 190-198, 2006.

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**, v. 38, n. 5, p. 3019-3030, 2017.

SILVA, W. P.; SILVA, C. M. D. P. S. **Convectivo Adsorção e Dessorção, Versão 3.2** (2008-2018), online, disponível em: <<http://zeus.df.ufcg.edu.br/labfit/Convective.html>>, Acesso: 09 de janeiro de 2019.

SILVA, W. P.; SILVA, C. M. D. P. S.; JUNIOR, A. F. S.; QUEIROZ, A. J. M.; A numerical approach to determine some properties of cylindrical pieces of bananas during drying. **International Journal Food Engineering**. v. 11, n. 3, p. 335-347, 2015.

SMANIOTTO, T. A. S.; RESENDE, O.; SOUSA, K. A.; OLIVEIRA, D. E. C.; CAMPOS, R. C. Drying kinetics of sunflower grains. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola ambiental**, v. 21, n. 3, p. 203-208, 2017.

SONMETE, M. H.; MENGES, H. O.; ERTEKIN, C.; ÖZCAN, M. M. Mathematical modeling of thin layer drying of carrot slices by forced convection. **Food Measure**, v. 11, n. 3, p. 629-638, 2017.

VIEIRA, A. P.; NICOLETI, J. F.; TELIS, V. R. N. Freeze drying of pineapple slices: evaluation of drying kinetics and product quality. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, n. 1, 2012.

Artigo 2 - Cinética de secagem da amêndoa da castanha-de-caju com altas temperaturas e seu efeito no despêliculamento e quebra

Resumo: Neste trabalho objetivou-se substituir a fritura da amêndoa feita com óleo vegetal, pela fritura sem óleo, que se resume às técnicas de secagem que combinam alta temperatura com alta velocidade do ar de secagem. Assim, as amêndoas foram secas utilizando-se 4 temperaturas 80, 120, 160 e 200 °C, com velocidade do ar de 6 m s⁻¹. Para entendimento do processo de secagem foram feitos os seguintes estudos: caracterização das amêndoas *in natura* e após cada tratamento térmico de secagem, quanto ao teor de água, tamanho, massa, massa específica real e aparente e porosidade, a cinética de secagem e modelagem segundo os modelos de Page, Cavalcanti Mata, Wang e Fick, considerando a amêndoa como um cilindro. Concluiu-se que a massa específica real, aparente e a porosidade apresentaram redução significativa com o aumento da temperatura; a difusividade efetiva aumenta com o aumento da temperatura e seus valores foram de 3,05 x 10⁻¹²; 5,98 x 10⁻¹¹; 1,11 x 10⁻¹⁰ e 1,36 x 10⁻¹⁰ para as temperaturas de 80, 120, 160 e 200 °C, respectivamente. Entre os modelos estudados o que melhor se ajustou aos dados experimentais de secagem de amêndoas de castanha-de-caju sem casca, foi o de Wang; as cores das amêndoas, resultantes das frituras em todas as temperaturas, foram aceitáveis do ponto de vista comercial, porém, a que teria melhor classificação comercial seria as amêndoas frias a 80 °C, com coloração branca, a 120 °C, com coloração bege clara e a 160 °C, amarelo marfim, o índice de quebra das amêndoas foi inferior a 17%.

Palavras-chave: *Anacardium occidentale* L., tratamento térmico, propriedades físicas

Abstract: The objective of this work was to substitute the frying of the almond made with vegetable oil by the frying without oil, which is summarized to the drying techniques that combine high temperature with high speed of drying air. Thus, the almonds were dried using 4 temperatures 80, 120, 160 and 200 ° C, with air velocity of 6 m s⁻¹. In order to understand the drying process, the following studies were carried out: characterization of the kernels *in natura* and after each drying heat treatment, in relation to water content, size, mass, actual and apparent specific mass and porosity, drying kinetics and following the models of Page, Cavalcanti Mata, Wang and Fick, considering the almond as a cylinder. It was concluded that the actual, apparent specific mass and the porosity presented a significant reduction with the temperature increase; the effective diffusivity increases with increasing temperature and its values were 3.05 x 10⁻¹²; 5.98 x 10⁻¹¹; 1.11 x 10⁻¹⁰ and

1.36 x 10⁻¹⁰ for temperatures of 80, 120, 160 and 200°C, respectively. Among the models studied, the one that best fit the experimental data of drying cashew nut nuts was Wang; the colors of the almonds resulting from the fryings at all temperatures were commercially acceptable, but the best commercial classification would be the cold almonds at 80 ° C, white in color at 120 ° C, beige clear and at 160 ° C, ivory yellow, the breaking rate of the almonds was less than 17%

Key words: *Anacardium occidentale* L., heat treatment, physical properties

1. INTRODUÇÃO

O cajueiro é uma planta nativa da região Nordeste do Brasil, cujos principais estados produtores são Ceará, Rio Grande do Norte e Piauí. É uma planta que possui alta capacidade de adaptação à regiões com solos pouco férteis e semiáridas. Por essa razão, a produção de caju é uma atividade rentável, sendo uma das principais fontes de renda do Nordeste, principalmente por sua capacidade de se produzir em plena seca, na entressafra das culturas anuais (SERRANO, 2016).

A castanha-de-caju *in natura* é a matéria-prima utilizada pela indústria de processamento, que dela se obtém a amêndoa de castanha-de-caju (ACC), e se extrai o líquido da casca da castanha (LCC), produtos destinados à exportação. Na região Nordeste, encontram-se grandes fábricas e dezenas de minifábricas processadoras de castanha, cuja capacidade atual de beneficiamento gira em torno de 300 mil toneladas de castanhas (EMBRAPA, 2016).

Segundo dados do Censo Agro de 2017, a produção de castanha-de-caju destinada a industrialização no Brasil se concentra principalmente em três estados, Piauí onde produz mais de 123 mil toneladas, seguido do Ceará e Rio Grande do Norte os quais produzem respectivamente em torno de 37 e 5,4 mil toneladas de castanha-de-caju. Estes dados, no entanto, sofrem grandes variações, pois são altamente dependentes das condições climáticas bem como de investimentos no setor produtivo, e nem sempre tem recebido incentivo adequado (IBGE, 2017).

A extração da amêndoa é uma operação complexa, uma vez que, a casca, em razão de sua estrutura, é resistente ao corte e a ruptura. Além disso, o LCC pode se incorporar e inutilizar a amêndoa para o consumo (KROSS, 2008). Ainda, de acordo com Pessoa et al. (2003) o processamento da castanha-de-caju consiste em cinco operações, a primeira

operação seria tornar as cascas susceptíveis ao corte, seguindo-se o corte, a despeliculagem, a seleção, torra e embalagem.

A fritura e ou secagem, em panela elétrica “air fryer” é um processamento que surgiu como estratégia para produzir alimentos de modo saudável, ou seja, sem a utilização de óleo, e tem atraído muita atenção nos últimos anos (TIAN et al., 2016). Neste processo, a secagem ocorre por contato direto entre o produto e a emulsão externa de gotículas de óleo no ar aquecido, que está em movimento constante na câmara de secagem, promovendo contato homogêneo entre o alimento e a emulsão (TIAN et al., 2017). É possível encontrar equipamentos projetados a partir deste princípio de obter produtos fritos com baixo teor de gordura. Contudo, não há referências ou publicações científicas que descrevem os mecanismos e a cinética da massa, a fenômenos de transferência e mudanças de volume ocorridas durante o processo. Portanto, um melhor conhecimento científico para a compreensão desta técnica é necessária para entender sua aplicação nas indústrias (ANDRES, 2013).

Tem-se verificado uma grande carência de equipamentos e tecnologias que melhorem as etapas de beneficiamento da castanha-de-caju, principalmente a das amêndoas, voltadas para o pequeno produtor, onde o negócio da castanha é a base da sustentação familiar e da sua permanência no campo, sabendo ainda que a integridade e a cor da amêndoa são fatores que afetam diretamente o valor final do produto faz-se necessário o estudo de alternativas que venham a melhorar este sistema produtivo. Diante do exposto este trabalho objetivou-se avaliar a eficiência da secagem utilizando a fritadeira tipo “air fryer”, como alternativa para a produção de amêndoas de castanha-de-caju, visando a melhoria do processo produtivo e qualidade final das mesmas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para esta pesquisa foram utilizadas amêndoas de castanha-de-caju cruas, com o pergaminho, ou seja, apenas descorticadas, sem o pericarpo, essas amêndoas foram adquiridas na fábrica de beneficiamento Kleybs Comércio de Castanhas, localizada na cidade de Fortaleza, CE. As castanhas foram selecionadas de acordo com seu tamanho e integridade, seguindo as normas da CACEX (2003), posteriormente foram acondicionadas em embalagens de alumínio trifoliadas, sob vácuo e armazenadas à temperatura de 5 °C,

até o momento dos experimentos. O teor de água inicial e final do produto foi determinado de acordo com a metodologia proposta pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008), foram feitas análises das suas propriedades físicas (Dimensão, massa individual, massa específica real e aparente, volume por deslocamento e porosidade), todas realizadas antes e depois da secagem seguindo a metodologia proposta por (DUARTE, 2006).

A secagem das amêndoas foi realizada utilizando altas temperaturas, 80, 120, 160 e 200 °C, e velocidade do ar de secagem de 6 m s⁻¹ em um equipamento do tipo “Air Fryer”. Para estudo da cinética de secagem, a redução do teor de água foi acompanhada pelo método gravimétrico (perda de água), conhecendo-se o teor de água inicial do produto até atingir o teor de água desejado (2% b.u.). O acompanhamento da redução da massa durante a secagem foi realizada com auxílio de uma balança semi-analítica com precisão de 0,01 g. A fritadeira foi posicionada sobre a balança, que teve seu peso tarado e em seguida foi colocado aproximadamente 200 g de amêndoas, com teor de água conhecido, na cesta telada do próprio equipamento, facilitando o acompanhamento da sua redução de massa. Realizou-se a secagem até um teor de água de 2%, uma vez que, apenas para ilustrar, a castanha crua possui teor de água entre 6 e 9% e, após torrada, é comercializada com teor de água de 1 a 2%. A coleta de dados foi feita de modo automático, utilizando-se uma câmera, onde o visor da balança foi filmado até o final do experimento, e a partir da análise do filme foram extraídos os dados da cinética de secagem. No final das secagens foram determinadas as massas secas e calculados o teor de água de acordo com IAL (2008) e determinada as propriedades físicas das amêndoas seguindo a metodologia já descrita.

Os dados experimentais foram expressos em termos de razão de teor de água (RX), dada pela relação entre as diferenças de teores de água no tempo, t, e teor de água de equilíbrio (X – Xe) e teor de água inicial e de equilíbrio (X₀ – Xe). Como descrito na Eq. 1.

$$RX = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad (1)$$

em que,

- RX - Razão de teor de água, adimensional;
- Xe - Teor de água de equilíbrio (base seca);
- X - Teor de água (base seca); e,
- Xo - Teor de água inicial (base seca).

Os dados da cinética de secagem foram ajustados a os modelos de Fick com cinco termos, considerando-se a castanha como cilíndrica, e ainda, os modelos de Cavalcanti Mata, Page e Wang, utilizando software Statistica 7.0, empregando a análise de regressão não-linear, pelo método Quasi-Newton. Os modelos foram selecionados tomando-se como parâmetro a magnitude do coeficiente de determinação (R^2) e do desvio quadrático médio (DQM) (Equação 2).

$$DQM = \sqrt{\frac{(RX_{exp} - RX_{pre})^2}{N}} \quad (2)$$

em que:

RX_{exp} - Razão de teor de água obtida experimentalmente;

RX_{pre} - Razão de teor de água predita pelo modelo matemático; e

N - número de observações ao longo da cinética de secagem.

Na Tabela 1, encontram-se as equações utilizadas para o ajuste matemático dos dados experimentais.

Tabela 1. Modelos matemáticos empregados na secagem das amêndoas de castanha de caju.

| Modelo | Designação do modelo | Equação |
|-----------------|---|---------|
| Fick (cilindro) | $RX = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{\lambda_n^2} \exp\left(-\frac{\lambda_n^2}{R_e^2} D_{ef} t\right)$ | (3) |
| Cavalcanti Mata | $RX = a \exp(-Kt^b) + c \exp(-Kt^d) + e$ | (4) |
| Page | $RX = \exp(-Kt^n)$ | (5) |
| Wang | $RX3 = 1 + at + bt^2$ | (6) |

k , k_0 e k_1 são constantes de secagem (s^{-1}); a , b , c são coeficientes do modelo; n é o número de termos, R_e , raio do cilindro equivalente; D_{ef} é difusividade efetiva, $m^2.s^{-1}$; λ_n são as raízes da equação de Bessel de primeiro tipo e com ordem 0.

As análises de teor de água, cinzas, lipídios, proteínas e fibra foram realizadas em triplicata utilizando a metodologia descrita pelo IAL (2008). O percentual de carboidrato foi calculado por diferença, segundo Lima et al. (2017).

A análise da textura foi realizada através do teste de penetração em um texturômetro TAXT, com corpo de prova tipo agulha (Needle Probe - PART No. P/2N - Batch No. 2491). Nesse teste, mediu-se a resistência que a amêndoa oferece ao ser penetrada pelo corpo de prova a uma velocidade constante de 2 mm/seg e por uma distância de 8 mm. A penetração do corpo de prova na amêndoa causa sua fratura e/ou deformação, gerando um gráfico de força x tempo. A dureza das amêndoas foi identificada como a força máxima registrada e a área sob a curva como a energia gasta no processo. Os testes foram realizados nas amêndoas inteiras em seis repetições para cada tratamento e utilizando como padrão amêndoas já encontradas no mercado, como forma de comparação, as amêndoas utilizadas foram selecionadas e testadas sempre na mesma posição de repouso.

O despêliculamento foi realizado de acordo com os procedimentos adotados pelos pequenos produtores, utilizando simples torsão e com o auxílio de escovas. Logo após o despêliculamento as amêndoas foram novamente submetidas à seleção e caracterização. A análise da eficiência do processo foi realizada medindo-se em massa, quantos gramas de amêndoas encontram-se totalmente sem película, em 100 gramas da amostra. Os resultados foram exibidos em porcentagem.

O índice de quebra foi determinado em termos percentuais de massa, considerando inicialmente 100 g de amostra íntegra. Após cada ensaio, foi feita a separação de inteiras e quebradas. As amêndoas quebradas foram classificadas segundo as normas da FAO (2005), CACEX (2003) e o Ministério da Agricultura do Brasil e o resultado obtido para cada categoria de quebrados, em massa, será exibido em porcentagem do total. Todos os testes foram realizados em triplicatas.

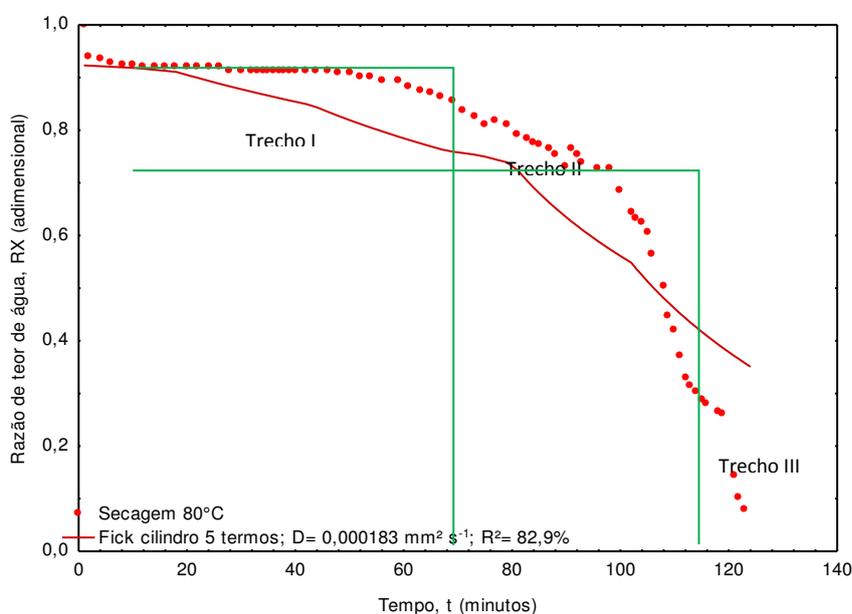
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Cinética de secagem

As secagens da maioria dos produtos agrícolas ocorrem em temperaturas que não excedem os 80 °C e velocidades do ar que não excedem os 2 m s⁻¹, para que não ocorra queima ou perda nutricional, porém no caso da amêndoa de castanha de caju o que se pretende mesmo é fazer uma fritura, pois na indústria ela recebe uma fritura em óleo e em temperaturas que chegam a 170 °C, para simular essa fritura, porém, sem uso de óleo,

trabalhou-se com altas temperaturas do ar de secagem, combinando-as com uma alta velocidade do ar de secagem. A amêndoa de castanha-de-caju é uma oleaginosa, ou seja, o seu maior constituinte é o óleo e não água. Inicialmente as amêndoas possuem no máximo 9% de água, desta maneira pretendeu-se baixar esse teor para 3 a 2%, sendo o valor ideal para promover a crocância desejada. A pouca quantidade de água da amêndoa encontra-se muito presa e bem protegida pelo alto teor lipídico da amêndoa e também pela película que a reveste, e conferindo-lhe uma proteção adicional, porém, todos esses fatos precisam ser investigados mais profundamente. Quanto mais alta a temperatura de secagem mais rápido ocorrerá essa perda de água, de forma que a cinética de secagem a 80 °C é muito mais lenta do que a cinética a 200 °C, tornando difícil a apresentação das 3 curvas em um único gráfico, portanto, para efeito de análise e melhor visualização, separou-se a curva de secagem a 80 °C das demais curvas. Assim, na Figura 1 encontra-se os dados experimentais de secagem de amêndoas de castanha-de-caju a 80 °C e a curva estimada pelo modelo de Fick, com 5 termos da série, considerando a forma cilíndrica.

Figura 1. Dados experimentais de secagem das amêndoas de castanha-de-caju, na temperatura de 80 °C, com ajustes segundo o modelo de Fick, para formato cilíndrico, com 5 termos da série



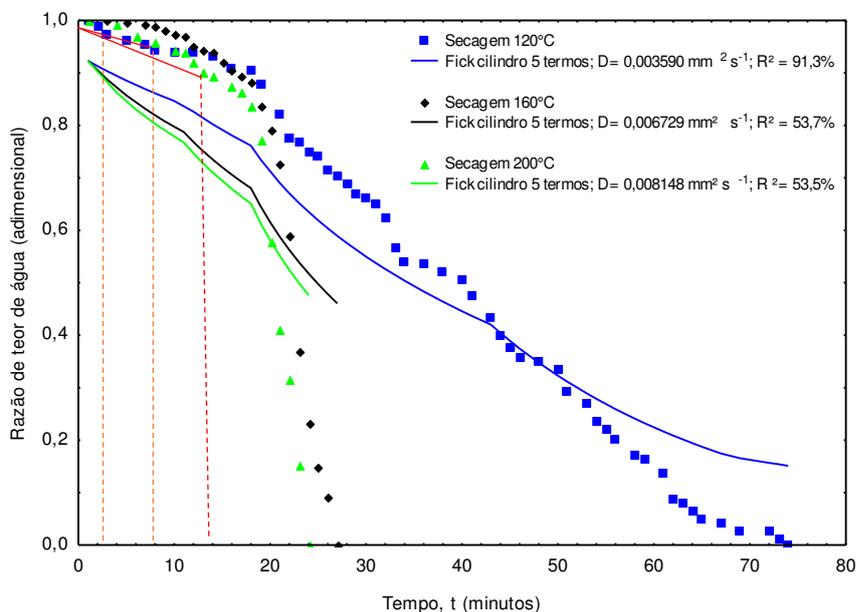
Analisando a Figura 1 percebe-se que demora, aproximadamente, 1 h para se retirar 10% da água que deve ser perdida em toda a secagem, e aproximadamente 1:10 min para que seja retirado os 90% restante. Numa análise mais acurada, é possível perceber 3

seguimentos bem distintos, que daria margem a três modelagem, ou seja, a aplicação da Equação de Fick em três trechos da curva, fornecendo 3 coeficientes médios de difusão de massa bem diferentes: no Trecho I, retirou-se 10% do conteúdo de água, pretendido em 55 min; no Trecho II retirou-se mais 20 % da água em 40 min, o que representa um coeficiente de difusão duas vezes maior que o primeiro; no Trecho III, percebeu-se que todo o restante da água, 70%, foi perdido em apenas 25 min. O fato de ter separado a curva de 80 °C das demais curvas de secagem, foi exatamente por esse comportamento atípico, ou seja, diferente das curvas de secagem observadas para maioria dos produtos agrícolas. Esse comportamento pode ser atribuído, principalmente a três fatores: o pouco teor de água da amêndoa que implica em uma certa dificuldade para removê-la em baixas temperaturas; ao alto teor lipídico da amêndoa que funciona como uma barreira a passagem da água; pela existência da película de recobrimento da amêndoa, que só é rompida a uma certa pressão de vapor de água, isto deve ocorrer no início do terceiro trecho, quando acelerou-se a perda de água, tanto é, que nas temperaturas maiores ou igual a 120 °C, as curvas de secagem apresentam comportamento semelhantes a uma curva de secagem clássica.

Quanto ao modelo de Fick aplicado aos dados experimentais da secagem a 80 °C, considerando a amêndoa cilíndrica com $R_e = 5,9$ mm, percebeu-se que o ajuste feito, com 5 termos da série, não foi satisfatório, pois obteve-se um coeficiente de determinação de 82,9% apenas. A difusividade efetiva média, Def , para este processo de secagem foi $1,83 \times 10^{-4} \text{ mm}^2 \text{ min}^{-1}$ ou $3,05 \times 10^{-6} \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$, no entanto, analisando a curva dos dados observados em relação ao preditos, pode-se dizer que esta difusividade está superestimada, ela deve ser um pouco mais lenta, dado ao fato da curva estimada ser colocada abaixo dos pontos experimentais, ou seja, simula uma secagem mais rápida. Uma forma de se obter maior precisão no ajuste, com o modelo difusional, seria aplicar um ajuste por trecho e tentar ajustar com maior número de termos.

Na Figura 2 encontram-se plotados os dados experimentais e ajustados segundo modelo de Fick, considerando a forma cilíndrica, para secagem de amêndoas de castanha de caju nas temperaturas de 120, 160 e 200 °C.

Figura 2. Dados experimentais de secagem das amêndoas de castanha-de-caju, nas temperaturas de 120, 160 e 200 °C, com ajustes segundo o modelo de Fick, para formato cilíndrico com 5 termos da série



Observando os dados experimentais de secagem de amêndoas de castanha-de-caju, na Figura 2, que são para temperaturas bem mais elevadas, 120 a 200 °C, percebeu-se que elas se assemelharam mais a uma curva de secagem clássica, isso vem a contribuir com o entendimento anterior, quando da análise da curva a 80 °C. Nas temperaturas de 120, 160 e 200 °C, a pressão de vapor é bem maior do que na temperatura de 80 °C, e o rompimento da película, bem como a barreira devido à presença de gordura são vencidas mais rapidamente com o aumento da temperatura, e então o processo de secagem segue como esperado. Analisando a mudança brusca de comportamento nas curvas (ver traçado na Figura 2) observou-se que a mudança de comportamento da curva, para uma queda mais brusca, indicando alterações na velocidade de secagem ocorre, aproximadamente, aos 20, 10 e 2 min, respectivamente, para as temperaturas de 120, 160 e 200 °C. Uma investigação maior necessita ser feita para saber sobre que fatores a temperatura exerce essa influência, se no rompimento da barreira física, a película, se vencendo a resistência oferecida pelo teor lipídico, ou ambos.

Quanto a modelagem feita pelo modelo de Fick para as temperaturas de 120, 160 e 200 °C prevê o comportamento da secagem da amêndoa, porém superestima a velocidade de secagem, talvez seja necessário trabalhar com mais termos da série para uma melhor

aproximação, percebeu-se ainda, que a forma cilíndrica utilizada está adequada para simular a secagem sendo melhor e a forma esférica, que quando utilizada em testes prévios, nem chegou a apresentar convergência. Os coeficientes de difusividade efetiva estimados para esta temperatura, Tabela 2, foram $5,98 \times 10^{-5}$, $1,11 \times 10^{-4}$ e $1,36 \times 10^{-4} \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$, respectivamente, para as temperaturas de 120, 140 e 180 °C, como esperado, a difusividade de massa aumenta com o aumento da temperatura.

Tabela 2. Coeficientes de difusividade efetiva, de acordo com o modelo de Fick cilindro para 5 termos

| | Modelo de Fick cilindro com 5 termos | | | |
|---|---|------------------------|------------------------|------------------------|
| | 80 °C | 120 °C | 160 °C | 200 °C |
| Def (mm ² min ⁻¹) | 0,000183 | 0,003590 | 0,006729 | 0,008148 |
| Def (mm ² s ⁻¹) | $3,05 \times 10^{-6}$ | $5,98 \times 10^{-5}$ | $1,11 \times 10^{-4}$ | $1,36 \times 10^{-4}$ |
| Def (m ² s ⁻¹) | $3,05 \times 10^{-12}$ | $5,98 \times 10^{-11}$ | $1,11 \times 10^{-10}$ | $1,36 \times 10^{-10}$ |

Nas Figuras 3 à 8 encontram-se os dados experimentais de secagem de amêndoas de castanha de caju e curvas estimadas pelos modelos de Cavalcanti Mata, Page e Wang, percebeu-se que, exatamente pelo modelo atípico dessa secagem, os modelos que costumam se ajustar muito bem aos dados de secagem de grãos, não se adequam bem aos dados obtidos para o produto em estudo, os quais são os modelos de Cavalcanti Mata e Page, os quais apresentaram um bom coeficiente de determinação apenas para a curva de secagem a 120 °C, porém, o modelo de Wang ajustou-se bem em todas as temperaturas de secagem, com coeficiente de determinação maior que 95%, em todas as temperaturas. Assim, entre todos os modelos estudados, o único que representa bem as curvas de secagem de amêndoas de castanha-de-caju, para temperaturas entre 80 e 200 °C foi o modelo de Wang.

Figura 3. Dados experimentais de secagem das amêndoas de castanha-de-caju, na temperatura de 80 °C, com ajustes segundo o modelo de Cavalcanti-Mata

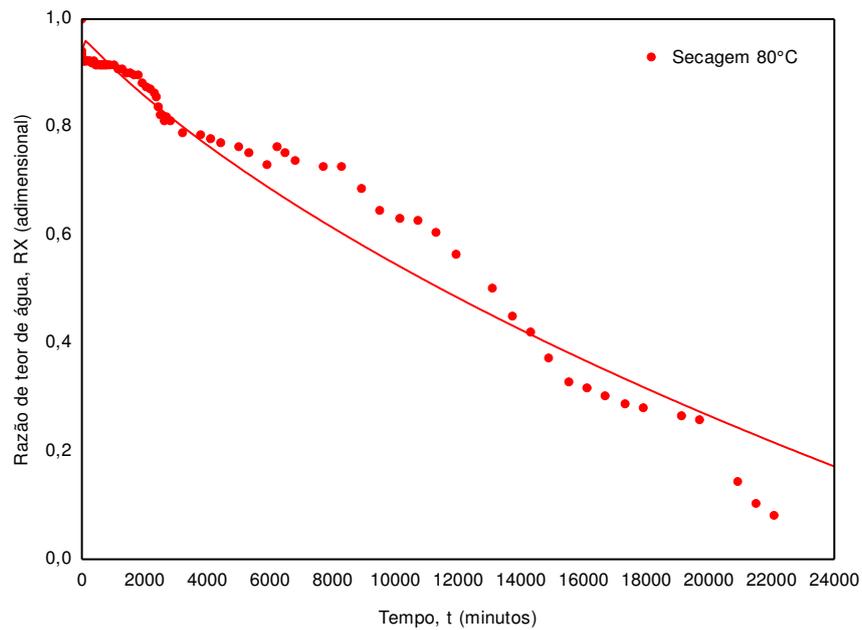


Figura 4. Dados experimentais de secagem das amêndoas de castanha-de-caju, nas temperaturas de 120, 160 e 200°C, com ajustes segundo o modelo de Cavalcanti-Mata.

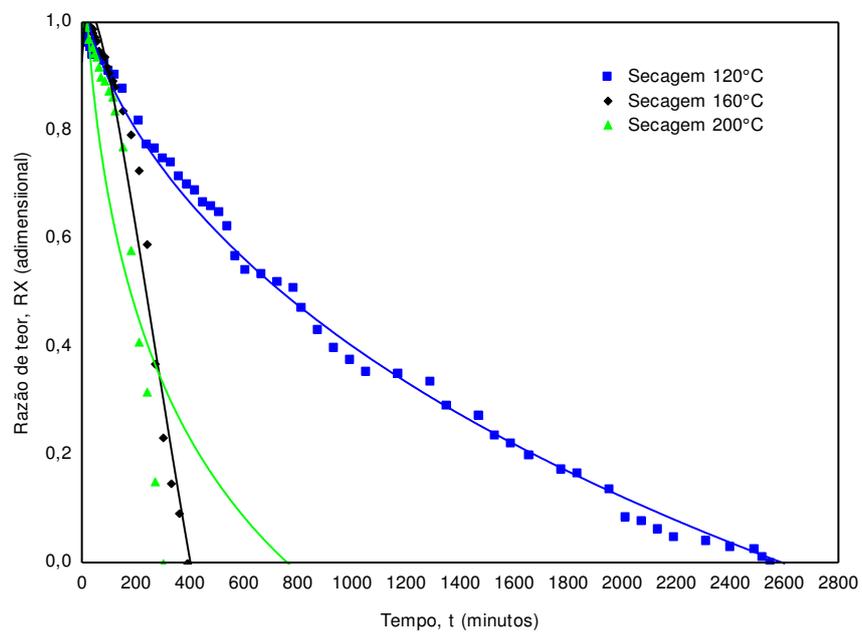


Figura 5. Dados experimentais de secagem das amêndoas de castanha-de-caju, na temperatura de 80 °C, com ajustes segundo o modelo de Page.

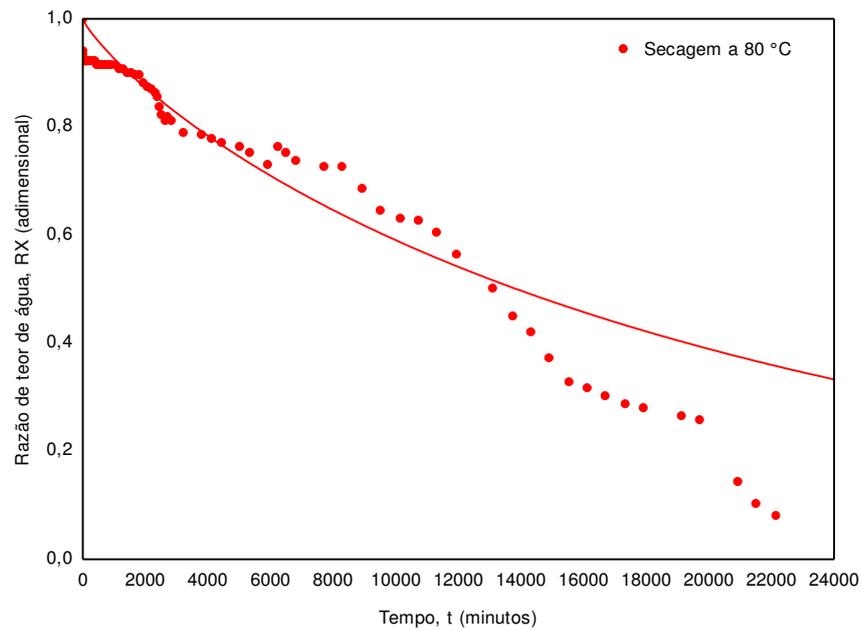


Figura 6. Dados experimentais de secagem das amêndoas de castanha-de-caju, nas temperaturas de 120, 160 e 200 °C, com ajustes segundo o modelo de Page.

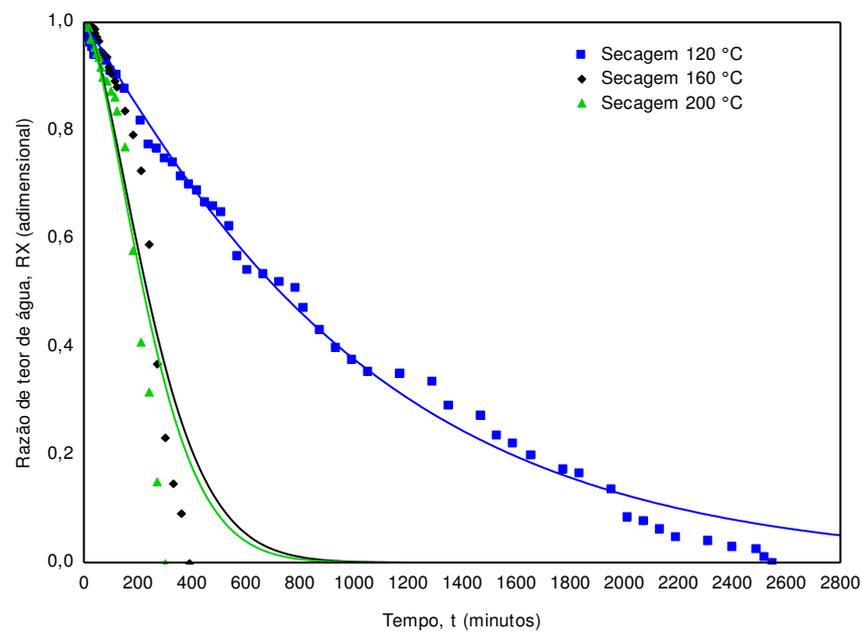


Figura 7. Dados experimentais de secagem das amêndoas de castanha-de-caju, na temperatura de 80 °C, com ajustes segundo o modelo de Wang.

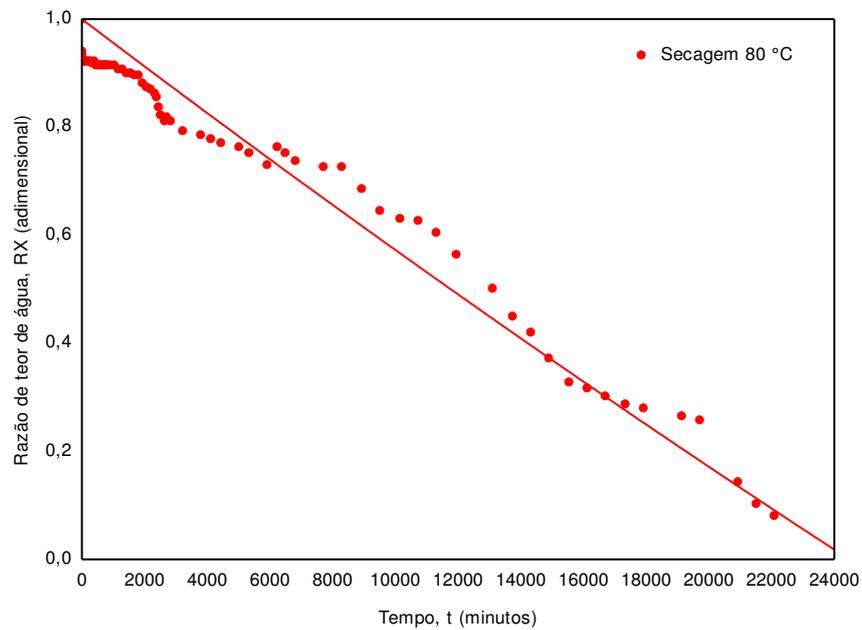
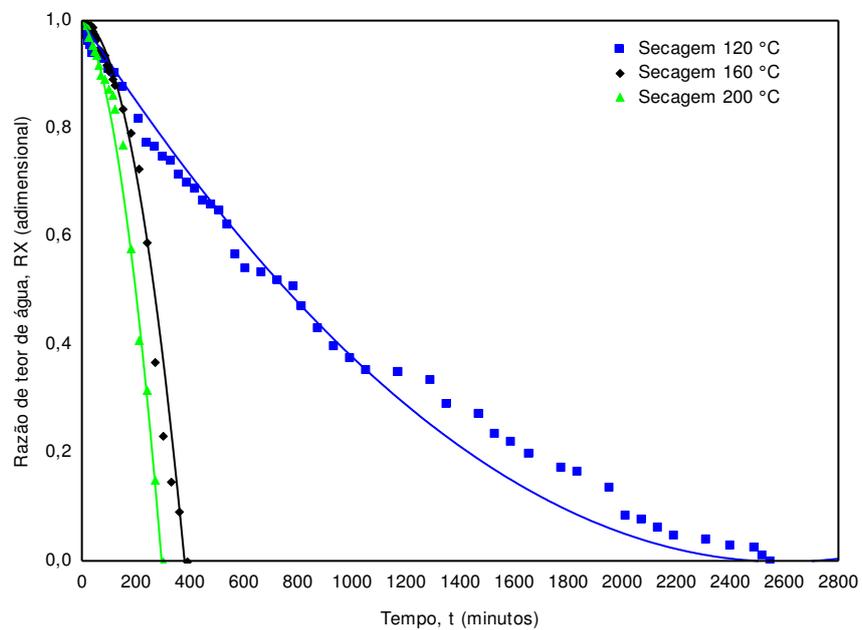


Figura 8. Dados experimentais de secagem das amêndoas de castanha-de-caju, nas temperaturas de 120, 160 e 200 °C, com ajustes segundo o modelo de Wang.



Na Tabela 3 encontram-se os dados dos parâmetros de ajuste encontrados para os modelos estudados, com respectivo coeficiente de ajuste.

Tabela 3. Parâmetros dos modelos de Cavalcanti-Mata, Fick cilindro com cinco termos, Page e Wang da secagem das amêndoas de castanha-de-caju

| Parâmetros | Modelo de Fick cilindro com 5 termos | | | |
|----------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | 80 °C | 120 °C | 160 °C | 200 °C |
| R² | 82,9% | 91,3% | 53,7% | 53,5% |
| | Modelo de Cavalcanti-Mata | | | |
| | 80 °C | 120 °C | 160 °C | 200 °C |
| a1 | 3,0341 | 2,4132 | 5,6181 | 5,0662 |
| k1 | 1,61 x 10 ⁻⁴ | 4,75 x 10 ³ | 2,38 x 10 ⁻³ | 2,50 x 10 ⁻⁴ |
| N | 0,7640 | -0,0810 | 0,8660 | 1,2788 |
| a2 | 0,5516 | -0,0815 | 1,6301 | 0,0014 |
| k2 | -0,0201 | 2,6520 | -0,0729 | -3,1172 |
| n2 | 0,2412 | 2,9020 | 0,3314 | 0,1193 |
| a3 | -2,6437 | -1,3315 | -6,3508 | -4,1095 |
| R² | 95,2% | 99,4% | 93,1% | 97,3% |
| | Modelo de Page | | | |
| | 80 °C | 120 °C | 160 °C | 200 °C |
| N | 2,28 x 10 ⁻⁴ | 5,41 x 10 ⁻⁴ | 1,57 x 10 ⁻⁴ | 1,61 x 10 ⁻³ |
| K | 0,8409 | 1,0854 | 1,5372 | 1,5490 |
| R² | 87,8 | 99,3% | 90,0% | 86,6% |
| | Modelo de Wang | | | |
| | 80 °C | 120 °C | 160 °C | 200 °C |
| A | -0,000042 | -0,000771 | 0,000000 | 0,000000 |
| B | 8,23x10 ⁻¹¹ | 1,48x10 ⁻⁷ | 0,000000 | 0,000000 |
| R² | 95,7% | 98,6% | 98,4% | 99,25% |

k , k_0 e k_1 são constantes de secagem (s^{-1}); a , b , c são coeficientes do modelo; n é o número de termos, R_e , raio do cilindro equivalente; Def é difusividade efetiva, $m^2 s^{-1}$; λ_n são as raízes da equação de Bessel de primeiro tipo e com ordem 0

Observando os parâmetros de ajuste dos modelos na Tabela 3, verificou-se que, apesar do ajuste não satisfatório do modelo de Fick, a difusividade efetiva média aumentou com a elevação da temperatura de secagem, mantendo a coerência física do fenômeno de secagem, visto que a difusividade de massa, Def , representa a velocidade com que a água é

perdida durante o processo. Percebeu-se também que a difusão de massa variou de $3,05 \times 10^{-12}$ a $1,36 \times 10^{-10}$ e consultando a literatura, verificou-se que Kross (2008), em seu estudo com secagem de amêndoas de castanha de caju em pedaços, encontrou valores de $1,28 \times 10^{-13}$, $2,30 \times 10^{-13}$, $4,1 \times 10^{-13}$ e $4,28 \times 10^{-13}$, para temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C e velocidade do ar de secagem de 1 m s^{-1} , enquanto nesta pesquisa foi 6 m.s^{-1} , seis vezes maior. Assim poder-se-ia comparar apenas a difusividade a 80 °C porém, existe uma enorme diferença da velocidade do ar de secagem e, também, que o produto estava quebrado e sem película. Por esses motivos pode-se dizer que o valor de difusividade efetiva obtida por Kross (2008), a 80 °C não pode ser comparado ao dessa pesquisa, porém o fato do valor da difusividade encontrado nesta pesquisa ser maior do que o valor encontrado por Kross (2008) é condizente, ou seja, está coerente porque a velocidade do ar acelera o processo de secagem, e certamente a difusividade teria que ser maior.

Nenhum outro trabalho foi encontrado na literatura que possa servir de parâmetro comparativo para esta pesquisa, uma vez que não existem trabalhos feitos para secagem da amêndoa de castanha-de-caju com película e, principalmente, utilizando esta faixa de temperatura e nem com essa velocidade do ar de secagem. Geralmente, a temperatura de secagem para produtos alimentícios não ultrapassa os 80 °C. Nesta pesquisa trabalhou-se com temperaturas de fritura, que também não deixa de ser uma secagem, porem por forma de comparação foi feita uma busca de forma a relacionar velocidade de secagem em outros tipos de amêndoas.

Teixeira et al. (2015), estudando a modelagem matemática para a cinética de secagem da amêndoa do baru, verificaram que o modelo matemático Dois Termos, para a velocidade de $1,7 \text{ m s}^{-2}$, em uma temperatura de 60 °C, foi o que melhor descreveu os dados experimentais, escolhido para caracterizar a secagem, sendo o mais adequado para representar o processo de secagem, já para a velocidade de $2,3 \text{ m s}^{-2}$ e temperatura de 70 °C o modelo de Logarítmico foi mais favorável aos dados experimentais, da amêndoa do baru, ajustando-se satisfatoriamente aos dados experimentais.

O modelo de Page, pode-se perceber que o K, que tem relação com a difusão de massa, também aumentou com o aumento da temperatura, os demais modelos, que são empíricos ou semi-empíricos, não apresentaram um comportamento lógico dos seus parâmetros de ajuste.

3.2. Caracterização física

3.2.1. Teor de água

Considerando que as amêndoas são comumente comercializadas com um teor de água variando entre 1 à 3% b.u., ao realizar a secagem objetivou-se atingir um teor de água de 2% b.u., entretanto quando submetidas ao teste gravimétrico de volatilização, foi observado que apenas as amêndoas secas a 120 e 160 °C apresentaram valores dentro da faixa de comercialização, 2,29 e 1,07% b.u. respectivamente. Para amostras secas à 80 °C obteve-se um valor acima do desejado, 3,05% b.u. e para as amostras secas a 200 °C o teor de água encontrado foi de 0,97% b.u.

O fato de não ter ocorrido a padronização do teor de água (2% b.u.), pode está relacionado à energia interna presente dentro da fritadeira “air fryer”, de modo que ao ser desligada, em alguns dos tratamentos térmicos de secagem, foi observado que a massa continuava a decair, estabilizando em um valor menor que o indicado pelo cálculo feito previamente, influenciando assim, no teor de água final das amostras, porém, estes fatos precisam ser melhor investigados para tornar-se uma afirmativa.

3.2.2. Tamanho

A média das dimensões a (comprimento), b (largura) e c (espessura) das amêndoas de castanha-de-caju, antes e após os tratamentos térmicos de secagem estão dispostas na Tabela 4.

Constatou-se que não houve diferença significativa nas médias referentes ao comprimento e largura das amêndoas, o que era de se esperar pois o conteúdo de água perdido na secagem foi muito pequeno, para causar encolhimento significativo em suas dimensões, assim como pode ser facilmente explicado o aumento ocorrido na dimensão de espessura, c.

Este aumento foi devido ao aumento do espaço existente entre os cotilédones, que se curvam durante a secagem (Figura 9), abrindo espaço entre eles e exibindo um falso aumento em sua espessura, ou seja, aumenta o espaço vazio entre estes cotilédones, o que resulta em um “falso” aumento da espessura.

Figura 9. Cotilédone da amêndoa de castanha-de-caju antes da secagem, exibindo um /cotilédone liso, sem curvatura (A) e cotilédone da amêndoa de castanha-de-caju após a secagem, exibindo um cotilédone curvo (B)



Tabela 4. Média das dimensões, seguida de seu respectivo desvio padrão e coeficiente de variação (%), das amêndoas de castanha-de-caju antes e depois do tratamento térmico.

| | Comprimento (mm) | Largura (mm) | Espessura (mm) |
|----------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------|
| In natura | 30,19 a ± 1,18 | 20,00 a ± 1,49 | 12,92 ab ± 1,14 |
| 80 °C | 29,32 a ± 0,94 | 19,33 a ± 1,59 | 12,35 b ± 1,13 |
| 120 °C | 29,63 a ± 1,44 | 19,05 a ± 1,28 | 14,27 a ± 1,65 |
| 160 °C | 29,60 a ± 0,81 | 18,95 a ± 1,41 | 12,63 ab ± 1,95 |
| 200 °C | 29,99 a ± 0,77 | 18,80 a ± 0,93 | 13,99 ab ± 1,09 |
| CV% | 3,87 | 7,08 | 10,85 |
| P | 0,483 ns | 0,3163 ns | 0,014* |

CV - Coeficiente de variação; Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; *, **Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente

3.2.3. Massa, Massa específica real e aparente, Volume e Porosidade

Os valores obtidos para massa, massa específica real e aparente, volume por deslocamento e porosidade estão dispostos na Tabela 5.

Tabela 5. Características físicas das amêndoas de castanha-de-caju

| | Massa individual (g) | Massa específica real (gcm ⁻³) | Massa específica aparente (gcm ⁻³) | Volume por deslocamento de fluido (cm ³) | Porosidade (%) |
|------------------|----------------------|--|--|--|----------------|
| In natura | 3.1455 ab | 1.1731 a | 1.7044 a | 2.7817 b | 54,55 |
| 80 °C | 2.9926 ab | 0.9485 b | 1.6910 b | 3.1545 b | 44,62 |
| 120 °C | 2.7861 b | 0.9076 b | 1.6479 c | 3.6499 a | 44,99 |
| 160 °C | 2.8295 b | 0.8826 b | 1.6358 d | 3.1768 b | 44,25 |
| 200 °C | 2.8295 b | 0.9249 b | 1.6076 e | 3.0890 b | 44,68 |
| CV% | 11.6 | 11.85 | 0.26 | 10.59 | - |
| P | 0.0101* | 0,0001** | 0.0001** | 0.0001** | - |

CV - Coeficiente de variação; Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; *, **Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente

As médias referentes à massa individual para as amêndoas *in natura* e secas a 80 °C não diferiram entre si, porém as amêndoas expostas às temperaturas mais altas (120, 160 e 200 °C) apresentaram uma maior redução nesse parâmetro, gerando uma diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade.

A massa específica real medida para as amêndoas secas sob as quatro temperaturas de secagem diferiram estatisticamente da média obtida para as amêndoas *in natura*. Entretanto os valores obtidos para as amêndoas secas foram próximos aos valores encontrados para outras amêndoas. Gharibzahedi et al. (2010) encontraram valores de 1,071 g cm⁻³ para o pinhão e Nogueira et al. (2014) relataram 0,947 g cm⁻³ para a amêndoa da castanha-do-brasil, Kross (2008)

Assim como a massa específica real, a massa específica aparente também teve uma redução de acordo com o aumento da temperatura de secagem, ocasionando uma diferença significativa estatisticamente entre as médias ao nível de 1% de probabilidade. Como a massa específica real é dada pela relação entre massa e volume, como houve um “falso” aumento de volume e esse foi em maior percentual que o de massa, as reduções ocorridas na massa específica real e na porosidade são esperadas.

Os dados deixam evidente que houve um aumento no volume das amêndoas secas ao serem comparados com o valor obtido para as amêndoas *in natura*. Conferindo uma diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade. Podendo ser justificado pelo mesmo fato do aumento da dimensão *c* (espessura), pois como na maioria das amêndoas ocorreu uma curvatura, aumentou o espaço vazio entre os cotilédones sem, no entanto, ocorrer a separação, portanto ao realizar o volume por deslocamento de fluido, essa característica pode ter gerado um falso volume.

Quanto à porosidade, houve uma diminuição ao comparar as amêndoas *in natura* com as que passaram pelos tratamentos térmicos, porém, os valores encontrados para as amêndoas secas a diferentes temperaturas não sofreram uma variação relevante, considerando que a menor porosidade obtida foi de 44,25% e a maior de 44,99% para as amêndoas secas a 160 e 120 °C respectivamente, ambos são valores superiores ao relatado por Costa et al. (2013), de 35,7% para a amêndoa do baru e Nogueira et al. (2014) que relataram, para a castanha da amêndoa-do-brasil, uma porosidade de 37,6%. As diferenças nos valores encontrados podem estar relacionadas principalmente à metodologia utilizada ou aspectos ambientais e genéticos das amêndoas da castanha-de-caju.

3.2.4. Cor das amêndoas

A classificação de cor das amêndoas de castanha-de-caju para atender ao mercado interno e externo, não segue a escala CIELAB, usual em trabalhos científicos, e sim uma escala de cor que vai do branco ao marrom, sendo que este último é totalmente inaceitável, assim, as castanhas aceitáveis de primeira classificação, vão do branco ao amarelo marfim, as mais escuras do que isso irão perdendo valor quanto mais escuras se apresentarem. Nesta pesquisa, as amêndoas fritas à 80 °C se apresentaram brancas; a 120 °C, cor marfim; 160 °C, bege escuro; a 200 °C, douradas com pontos marrons. Todas, exceto as fritas a 200 °C, apresentaram cores uniformes.

3.2.5. Caracterização físico-química

Na Tabela 6, encontram-se expressos os valores para a análise da composição da amêndoa da castanha-de-caju, submetida a secagem nas temperaturas de 60, 70, 80 e 90 °C. Como forma de analisar a influência da temperatura em tais parâmetros, também foi analisada a amêndoa *in natura*.

Tabela 6. Composição físico-química amêndoa de castanha-de-caju.

| Parâmetros (g/100 g) | Temperatura (°C) | | | | |
|-------------------------|------------------|----------|-------------|-------------|-------------|
| | <i>In natura</i> | 80 | 120 | 160 | 200 |
| Teor de água | 7,917 a | 3,050 b | 1,956 bc | 1,070 c | 0,970 bc |
| Cinzas | 1,825 a | 2,280 a | 2,194 a | 2,3705 a | 3,369 a |
| Lipídios | 37,57 5 a | 39,655 a | 34,771 a | 35,098 a | 37,181 a |
| Proteína | 20,01 9 a | 21,072a | 21,682 a | 21,947 a | 23,268 a |
| Fibra bruta | 3,687 a | 3,088 a | 3,887 a | 3,743 a | 3,472 a |
| *Carboidratos totais | 28,97 4 a | 32,704 a | 35,843 a | 35,771 a | 31,739 a |

As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade; *Carboidratos totais foram estimados por diferença

Analisando a Tabela 6, verificou-se que apenas o parâmetro de teor de água diferiu dentre os experimentos, objetivou-se ainda que os outros parâmetros analisados, não tiveram diferença significativa no teste de Tukey, a 5% de probabilidade, evidenciando que apesar da utilização de altas temperaturas de secagem não ocasionou em degradação destes componentes.

Geralmente as amêndoas são ricas em proteínas, lipídios e fibras, possuem tiamina, riboflavina, niacina e vitaminas B1 e B2, além de teor considerável de fósforo, potássio, cálcio e magnésio, são pobres em sódio e não possuem colesterol (SOUZA et al., 2008).

Na literatura não foram encontrados estudos com a utilização de temperaturas de secagem elevadas relacionadas com a caracterização de produtos agrícolas, desta forma afim de comparação foram utilizados alguns estudos como paramentos comparativos.

Castro (2018), realizando análises nutricionais nas amêndoas de baru, verificou, teor de água de 3,94 g/100 g, cinzas de 2,70 g/100 g, lipídios de 37,38 g/100g , proteínas de 21,58 g/100g , em seus ensaios. Lima et al. (2010), estudando a composição centesimal da amêndoa e da poupa de baru, constataram que a amêndoa de baru torrada apresentou baixo teor de umidade 3,23 g/100 g, cinzas entre 2,63 e 2,85 g/100 g, alto teor de lipídios 40,98 g/100 g , proteínas 26,97 g/100 g e carboidratos 11,53 g/100 g.

A amêndoa de baru tem composição centesimal similar à do amendoim, castanha-de-caju e castanha-do-pará, mas cada um desses alimentos apresenta variabilidade com relação ao perfil de aminoácidos, ácidos graxos e teor de minerais (PINHEIRO, 2013).

3.2.6. Perfil de textura das amêndoas de castanha-de-caju

Para a análise da textura foi levado em consideração que as amêndoas não possuem uma espessura uniforme ao longo do comprimento, desta maneira, os testes foram realizados sempre na porção mais espessa da amostra. Objetivando de determinar uma comparação entre as amêndoas que foram submetidas ao processo de secagem, foi realizado a mesma análise em amêndoas *in natura* e já comercializadas. Os testes foram realizados em seis repetições. Os dados referentes aos parâmetros de Dureza (N) e Energia (N/S) encontra-se na Tabela 7.

Tabela 7. Parâmetros de textura para a amêndoa de castanha-de-caju

| | Parâmetros | |
|-----------|------------|---------------|
| | Dureza (N) | Energia (N/S) |
| Crua | 7,885 b | 13,366 b |
| Comercial | 17,225 a | 28,677 ab |
| 80 °C | 19,433 a | 38,889 a |
| 120 °C | 21,639 a | 43,354 a |
| 160 °C | 16,156 a | 27,451 ab |
| 200 °C | 18,096 a | 30,293 ab |

CV %

21,10

34,67

CV - Coeficiente de variação; As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Analisando os dados obtidos para a dureza (N), percebeu-se que as amêndoas estudadas diferiram apenas em relação as cruas, não apresentando diferença significativa no teste de Tukey em relação as amêndoas comerciais, em um nível de 5% de probabilidade. Os dados nos mostram que mesmo utilizando altas temperaturas de secagem no processo, foi possível obter amêndoas com padrões comerciais.

Considerando-se a energia gasta no processo para fraturar as amêndoas, percebeu-se que as mesmas analisadas neste estudo apresentaram diferença significativa, entre os ensaios de secagem de acordo com o teste de Tukey. As diferenças encontradas em relação às amêndoas pode ser explicada pelo fato de não ter ocorrido uma padronização no teor de água (2% b.u.), que está diretamente relacionado com a energia interna presente dentro da fritadeira “air fryer”, de modo que ao ser desligada, em alguns dos tratamentos térmicos de secagem, foi observado que a massa continuava a decair, estabilizando em um valor menor que o indicado pelo cálculo feito previamente, influenciando assim, no teor de água final das amostras.

Silva e Marsaioli Júnior (2006), estudando o perfil de textura de amêndoas de noz macadâmia ao longo do armazenamento em 180 dias, em seus ensaios viu-se através dos perfis das curvas obtidas nos testes de textura uma diferença de comportamento das amêndoas para os tempos inicial e final do armazenamento, porém, essa diferença não é muito evidenciada pela força máxima para fraturar ou perfurar a amêndoa e em relação a energia gasta no processo.

3.3. Eficiência do processo de despêliculamento e índice de quebra

Na Tabela 8, encontram-se os dados referentes aos ensaios de despêliculamento das amêndoas de castanha-de-caju, submetidas ao processo de secagem.

Tabela 8. Parâmetros de textura para a amêndoa de castanha-de-caju

| Parâmetros (g por 100g de amêndoas) | Temperatura (°C) | | | |
|--|------------------|-----|-----|-----|
| | 80 | 120 | 160 | 200 |
| | | | | |

| | | | | |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Amêndoas inteiras sem película | 71,187 | 60,849 | 72,645 | 65,860 |
| Amêndoas com películas | 8,978 | 15,623 | 6,193 | 8,977 |
| Amêndoas quebradas | 10,550 | 10,864 | 12,661 | 16,989 |
| Índice de quebra (%) | 10,55% | 10,86% | 12,66% | 16,98% |

O índice de quebra das amêndoas está bastante relacionado ao sistema de beneficiamento utilizado, se mecanizado (40 - 45%) ou semimecanizado (20 - 25%). Dependente também das características da matéria-prima, a exemplo do tamanho e geometria (formato) das castanhas e amêndoas, espaço entre a casca e a amêndoa, forma (abertura) e nível de aderência dos cotilédones (PAIVA et al., 2000). A quebra das amêndoas é um importante parâmetro industrial, porque, além de aumentar os custos de produção, interfere na receita da comercialização, mediante redução do preço do produto. Analisando este parâmetro, verificou-se que nesta pesquisa as amêndoas possuíram um índice de quebra inferior a 17%, provando que a metodologia de secagem é viável em termos industriais para favorecer a sua integridade.

A fim de se obter uma padronização nos experimentos, foram utilizadas amêndoas inteiras especiais, designadas de LW2 (Inteira Especial de 2º Qualidade). No fim dos experimentos as mesmas foram classificadas seguindo as normas estabelecidas pela FAO (2005), CACEX (2003) e o Ministério da Agricultura do Brasil (BRASIL, 2017), analisando as amostras obtidas no fim dos ensaios de secagem, verificou-se que segundo a classificação mencionadas as amêndoas podem ser classificadas em BANDAS de 1º qualidade, já que possui metade da castanha partida longitudinalmente, no máximo 1/8 deste cotilédone foi separado, SP2 - Pedacos Pequenos de 2ª Qualidade e as castanhas inteiras LW2, inteiras de 2º qualidade.

4. CONCLUSÕES

1. Entre os modelos estudados o que melhor se ajusta aos dados experimentais de secagem de amêndoas de castanha-de-caju sem casca, é o modelo de Wang;

2. A redução do teor de água com a fritura nas temperaturas de 80 a 200 °C, não é suficiente para causar encolhimento em suas dimensões de comprimento e largura, porém a dimensão de espessura apresenta um “falso” aumento devido à curvatura dos cotilédones ocorrida durante a fritura;

3. A massa específica real, aparente e a porosidade apresentaram redução significativa com o aumento da temperatura;

4. A difusividade efetiva aumenta com o aumento da temperatura e seus valores foram de $3,05 \times 10^{-12}$; $5,98 \times 10^{-11}$; $1,11 \times 10^{-10}$ e $1,36 \times 10^{-10} \text{ m.s}^{-2}$ para as temperaturas de 80, 120, 160 e 200 °C, respectivamente;

5. As cores das amêndoas, resultantes das frituras em todas as temperaturas, foram aceitáveis do ponto de vista comercial, porém a que tem melhor classificação comercial são as amêndoas frias a 80 °C, com coloração branca, a 120 °C, com coloração bege clara e a 160, amarelo marfim;

6. As altas temperaturas de secagem não influenciam nos parâmetros físico-químicas;

7. As altas temperaturas de secagem favorece o processo de despelculamento das amêndoas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, T. P.; NICOLETI, J. F. Influência das variáveis de processo sobre a secagem osmo-convectiva de pimentão verde. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v.10, n. 1, 2016.

ANDRES, A.; ARGUELLES, A.; CASTELLO, M. L.; HEREDIA, A. Mass transfer and volume changes in French fries during air frying. **Food Bioprocess Technology**, v. 6, p. 1917-1924. 2013.

BRASIL - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento- **Instrução normativa nº 2**, de 6 de fevereiro de 2017 o ministro de estado da agricultura, pecuária e abastecimento. Acesso 23,01/2018.

CACEX - Carteira do Comércio Exterior/Banco do Brasil S.A. - **Tipos exportáveis de amêndoas de castanha de caju**. CACEX/BB/Departamento Geral de Exportação. 3p. (s.n), mimeografado, 2003.

- COSTA, E.; OLIVEIRA, L. C. de.; OLIVEIRA, L. C. de.; OLIVEIRA, A. D. de.; JORGE, M. H. A. **Propriedades físicas de sementes de baru em função da secagem**. Anais II Congresso Brasileiro de Engenharia de Agrícola. 2013.
- CASTRO, M. S. S; KWIATKOWSK, A.; SILVA A, G, P, S.; DANIEL A. B. R.; SOUZA G. S. **Avaliação nutricional de amêndoas de baru e elaboração de creme das amêndoas**. Anais do AGROECOL; v. 13 n. 2, 2018.
- DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M., ALMEIDA, F. A. C. **Características físicas das sementes**. In: ALMEIDA, F. A. C.; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. (ed). Tecnologia de armazenamento em sementes, 2006. Campina Grande: UFCG, cap.5, p.191-297, 2006.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária –**Aspectos econômicos da cultura do cajueiro** – Sistemas de Produção Embrapa. Embrapa Agroindústria Tropical/SEBRAE. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília. 2016.
- GHARIBZAHEDI,.; ETEMAD, V.; MIRARAB-RAZI, J.; FOS'HAT, M. Study on some engineering attributes of pine nut (*Pinus pinea*) to the design of processing equipment. **Research in Agricultural Engineering**, v. 56, n. 3, 2010.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agro 2017**. Disponível em: <<https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/sobre-censo-agro-2017.html>>. Acesso em 10 de Janeiro de 2019.
- IAL - Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4ª edição, 1ª Edição Digital, São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.
- KROSS, R. K. **Processamento de amêndoas de castanha de caju: secagem, extração e estabilidade do azeite**. 2008. 99 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos)- Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2008.
- LIMA, J. C. R.; FREITAS, J. B.; CZEDER, L. P.; FERNANDES, D. C.; NAVES, M. M. V. **Qualidade microbiológica, aceitabilidade e valor nutricional de barras de cereais formuladas com polpa e amêndoa de baru**. Boletim do CEPPA, v. 28, n. 2, p. 331-343, 2010.
- LIMA, P. C. C.; SOUZA, B. S.; SANTINI, A. T.; OLIVEIRA, D. C. Aproveitamento agroindustrial de resíduos provenientes do abacaxi 'pérola' minimamente processado. **Holos**, Ano 33, v.2, 2017.
- NOGUEIRA, R. M.; ÁLVARES, V. S.; RUFFATO, S.; LOPES, R. P.; SILVA, J. S. E. Propriedades físicas da amêndoa da castanha-do-Brasil. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 5, 2014.

- PAIVA, F. F. A.; SILVA NETO, R. M. **Processamento industrial da castanha-de-caju**. In: ARAÚJO, J. P. P. de (Ed.). Agronegócio caju: práticas e inovações. Brasília, DF: Embrapa, 2013. parte 6, cap. 3, p. 395-465.
- PESSOA, P. F. A. P.; LIMA, A. C.; LEITE, L. A. de S. **Classificação e seleção de matéria-prima: atividades vitais para alavancar a competitividade da cadeia produtiva da amêndoa de castanha de caju brasileira**. Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, 2003. 20p.
- PINHEIRO, R. C. **Avaliação do potencial das amêndoas de frutos Amazônicos para fins alimentícios**. 99 f. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Pará. Belém, 2013.
- SERRANO, L. A. L.; PESSOA, P. F. A. de P. **Aspectos econômicos da cultura do cajueiro**. Sistema de Produção do CAJU. 2ed. Brasília, DF: Embrapa, 2016. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdepro Acesso em 20 novembro 2018.
- SILVA, F. A.; MARSAIOLI JÚNIOR, A. Perfil de textura de amêndoas de noz macadâmia (*Macadamia integrifolia*) secas com aplicação de energia de micro-ondas e ar quente. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 8, n. 1, p. 190-198, 2006.
- SOUZA, V. A. B.; CARVALHO, M. G.; SANTOS, K. S.; FERREIRA, C. S. Características físicas de frutos e amêndoas e características químico-nutricionais de amêndoas de acessos de sapucaia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 4, p. 946-952, 2008.
- TEIXEIRA, P. C. M; ZUNIGA, A. D. G.; RIBEIRO L. Modelagem matemática e cinética da secagem da amêndoa do baru. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics**, v.3, n.1, 2015.
- TIAN, J.; CHEN, J.; LV, F.; CHEN, S.; CHEN, J.; LIU, D.; YE, X. Domestic cooking methods affect the phytochemical composition and antioxidant activity of purplefleshed potatoes. **Food Chemistry**, v. 197, p. 1264-1270, 2016.
- TIAN, J.; CHEN, S.; SHI, J.; CHEN, J.; LIU, D.; CAI, Y.; OGAWA, Y.; YE, X. Microstructure and digestibility of potato strips produced by conventional frying and air-frying: An in vitro study. **Food Structure**, v. 14, p. 30-35, 2017.

SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

8. Analisar, durante a fritura, o comportamento da película por microscopia eletrônica de varredura;
9. Medir a concavidade ou curvatura, formada no interior da amêndoa durante a secagem e estudar a influência nas características físicas da amêndoa;
10. Estudar as propriedades reológicas do óleo da amêndoa de castanha-de-caju em altas temperaturas para entender a influência dessas alterações na difusividade efetiva durante a secagem em altas temperaturas;
11. Verificar por microscopia a migração de água dentro da amêndoa, no processo de secagem.