

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA –
CAMPUS RIO VERDE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS TECNOLOGIA
DE ALIMENTOS

ISOTERMAS DE DESSORÇÃO, SECAGEM E
CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL DAS AMÊNDOAS
DAS CASTANHA-DO-BRASIL DA REGIÃO AMAZÔNICA

Autora: Maria Aparecida Fogaça Bitencourt
Orientador: Osvaldo Resende
Coorientadora: Priscila Alonso dos Santos

RIO VERDE- GO

MARÇO – 2020

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA –
CAMPUS RIO VERDE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

ISOTERMAS DE DESSORÇÃO, SECAGEM E
CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL DAS AMÊNDOAS
DAS CASTANHA-DO-BRASIL DA REGIÃO AMAZÔNICA

Autora: Maria Aparecida Fogaça Bitencourt
Orientador: Osvaldo Resende
Coorientadora: Priscila Alonso dos Santos

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, ao programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – Área de Concentração em Tecnologia e Processamento de Alimentos.

RIO VERDE – GO

MARÇO – 2020

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

BB624i Bitencourt, Maria Aparecida Fogaça
Isotermas de dessecção, secagem e caracterização
nutricional das amêndoas das castanha-do-brasil da
região amazônica / Maria Aparecida Fogaça
Bitencourt; orientador Osvaldo Resende; co-
orientadora Priscila Alonso dos Santos. -- Rio
Verde, 2020.
81 p.

Dissertação (em Tecnologia de Alimentos) --
Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2020.

1. Secagem. 2. Bertholletia excelsa H. B. K. 3.
Minerais. 4. Atividade de água. I. Resende, Osvaldo,
orient. II. Santos, Priscila Alonso dos , co-orient.
III. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Maria Aparecida Fogaça Bitencourt

Matrícula: 2018102330740080

Título do Trabalho: ISORTERMAS DE DESSORÇÃO, SECAGEM E CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL DAS AMÊNDOAS DAS CASTANHAS-DO-BRASIL DA REGIÃO AMAZÔNICA

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: ___/___/___

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

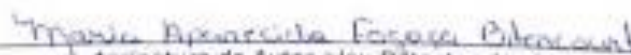
DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

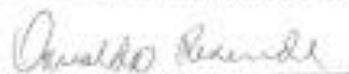
1. O documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
2. Obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
3. Cumprir quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde Goiás
Local

06/05/2020
Data


Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:


Assinatura do(a) orientador(a)

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**


**ISOTERMAS DE DESSORÇÃO, SECAGEM E
CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL DAS AMÊNDOAS
DAS CASTANHAS-DO-BRASIL DA REGIÃO AMAZÔNICA**


Autora: Maria Aparecida Fogaça Bitencourt
Orientador: Osvaldo Resende

TITULAÇÃO: Mestre em Tecnologia de Alimentos – Área de Concentração em
Tecnologia e Processamento de Alimentos.

APROVADA em 11 de março de 2020.


Dr. Marco Antônio Pereira da Silva
Avaliador interno
IF Goiano / Rio Verde


Dr.ª Lúcia Campos de Moura Silva
Avaliadora externa
UniBRAS/Rio Verde


Dr.ª Priscila Alonso dos Santos
Avaliadora interna
IF Goiano/Rio Verde


Dr. Osvaldo Resende
Presidente da banca
IF Goiano/Rio Verde

A minha filha Laura Thais Bitencourt Perdigão

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por me acompanhar sempre e por todos os livramentos, pela existência e por me propiciar momentos de conhecimentos como esse vivenciados nesse período de elaboração deste trabalho.

Ao Orientador, Professor Dr. Osvaldo Resende, pela orientação e confiança ao trabalho desenvolvido.

A todos os professores do programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos.

A todos os colegas de turma pela amizade em especial, Marcela Diogo Piveta Matsushima, Joelma Saures dos Santos, Katyuscya Rodrigues Lima, Pauleane Pereira Chagas, Janice da Costa Miri, Simone Duarte Ramalho da Silva e em especial ao grande amigo Alexandre Xavier Borges, que esteve comigo e que me ajudou em vários momentos. Amizades valiosas que vou levar dentro do coração.

Ao Laboratório de Pós-colheita de Produtos Vegetais e a todos que participaram direta ou indiretamente do trabalho, em especial a Lígia Campos de Moura Silva, que abriu mão de vários finais de semana para ajudar na execução deste trabalho, aos estudantes de iniciação científica Manoel Ricardo Bezerra Santos e Érika Gonçalves Andrade. Ao Weder Nunes Ferreira Júnior, por sua disponibilidade em repassar seus conhecimentos e ajudar nos direcionamentos do trabalho e por seu carinho.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, pela oportunidade de aperfeiçoamento.

Ao Instituto Nacional de pesquisas da Amazônia – INPA, ao Laboratório de Físico-química de Alimentos e Laboratório Temático de Solos e Plantas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

Aos órgãos CAPES e FAPEG, pelo apoio a pesquisa.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Maria Aparecida Fogaça Bitencourt, natural da cidade de Manaus-AM. Filha de Matilde da Silva Fogaça e João de Souza Bitencourt. Graduada em Licenciatura em Química e Especializada em Tecnologia de Alimentos pelo Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM. Servidora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, como técnica de Laboratório de Físico-química de alimentos. Em 2018 ingressou no Mestrado em Tecnologia de Alimentos – Campus Rio Verde/GO, com a linha de pesquisa na área de Concentração em Pós-colheita e Processamento de Grãos e Vegetais, sob orientação do professor Dr. Osvaldo Resende. Em março de 2020, defendeu sua dissertação para obtenção do título de Mestre.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE TABELAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIATURAS E UNIDADES	x
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Revisão de Literatura.....	2
1.1.1 Castanheira do Brasil (<i>Bertholletia excelsa</i> H. B. K).....	2
1.1.2 Fruto da castanheira do Brasil	3
1.1.3 Propriedades nutricionais da castanha-do Brasil.....	5
1.1.4 Processamento das castanhas-do-Brasil	6
1.1.5 Secagem.....	8
1.1.6 Propriedades higroscópicas	9
1.2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	10
OBJETIVO GERAL.....	14
2. CAPÍTULO I. QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA E NUTRICIONAL DAS AMÊNDOAS DAS CASTANHAS-DO-BRASIL SECAS EM DIFERENTES TEMPERATURAS	15
Resumo	15
Abstract	16
2.1 INTRODUÇÃO.....	17
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	18

2.2.1 Coleta e transporte das castanhas-do-Brasil.....	18
2.2.2 Preparo das amêndoas para secagem.....	18
2.2.3 Secagem das amêndoas	19
2.2.4 Composição proximal.....	19
2.2.4.1 Teor de água	19
2.2.4.2 Lipídeos	20
2.2.4.3 Proteína bruta	20
2.2.4.4 Cinzas	21
2.2.4.5 Carboidratos	21
2.2.4.6 Valor energético	22
2.2.4.7 Fibra alimentar	22
2.2.5 Análises físico-química	22
2.2.5.1 Parâmetros instrumentais de cor.....	22
2.2.5.2 Potencial hidrogeniônico (pH)	23
2.2.5.3 Acidez titulável	23
2.2.5.4 Sólidos solúveis totais	23
2.2.5.5 Minerais	24
2.2.6 Análise estatística	24
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
2.3.1 Composição proximal	24
2.3.2 Físico-química das amêndoas	32
2.4 CONCLUSÃO.....	38
2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
3. CAPÍTULO II. ISOTERMAS DE DESSORÇÃO DAS AMÊNDOAS DAS CASTANHAS-DO-BRASIL.....	48
Resumo	48
Abstract	49
3.1 INTRODUÇÃO	50
2 MATERIAL E MÉTODOS	51
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
3.4 CONCLUSÃO	59
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
CONCLUSÃO GERAL	63

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1. Valores médios e desvio padrão dos teores de água, lipídeos e teores de cinzas das amêndoas das castanhas-do-Brasil submetidas a diferentes temperaturas de secagem	255
Tabela 2. Valores médios e desvio padrão dos teores de proteína bruta, carboidratos totais e valor energético das amêndoas das castanhas-do-Brasil submetidas a diferentes temperaturas de secagem	277
Tabela 3. Valores médios e desvio padrão dos teores de fibra alimentar total (FAT), fibra alimentar solúvel (FAS) e fibra alimentar insolúvel (FAI) das amêndoas das castanhas-do-Brasil submetidas a diferentes temperaturas de secagem	300
Tabela 4. Valores médios e desvio padrão dos parâmetros colorimétricos luminosidade, croma e ângulo hue (°Hue) das amêndoas das castanhas-do-Brasil submetidas a diferentes temperaturas de secagem	322
Tabela 5. Valores médios e desvio padrão de pH, acidez e sólidos solúveis (° Brix) das amêndoas das castanhas-do-Brasil submetidas a diferentes temperaturas de secagem ..	34
Tabela 6. Valores médios e desvio padrão referente aos teores de (macrominerais) potássio (K), cálcio (Ca), fósforo (P), magnésio (Mg) das amêndoas das castanhas-do-Brasil submetidas a diferentes temperaturas de secagem	355
Tabela 7. Valores médios e desvio padrão referentes aos teores de (microminerais) em base seca de ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn) e selênio (Se) das amêndoas das castanhas-do-Brasil submetidas a diferentes temperaturas de secagem	377

CAPÍTULO II

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para prever as isotermas de dessecção das amêndoas das castanhas-do-Brasil	52
Tabela 2. Valores de atividade de água (decimal) das amêndoas das castanhas-do-Brasil, em função do teor de água (% b.s.) e da temperatura (°C)	54
Tabela 3. Coeficientes e parâmetros dos ajustes dos modelos matemáticos aos dados experimentais de atividade de água das amêndoas da castanhas-do-Brasil.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Castanheira-do-Brasil (<i>Bertholletia excelsa</i> H. B. K) em região nativa.....	3
Figura 2. Ouriço da castanheira-do-Brasil (<i>Bertholletia excelsa</i> H. B. K). (A) ouriço (B) vestígio do cálice da flor (C) casca (D) diâmetro (E) castanhas.....	3
Figura 3. Constituintes da castanha-do-Brasil (<i>Bertholletia excelsa</i> H. B. K): (a) Castanha (b) endocarpo lenhoso (c) amêndoa (d) película (testae).....	4
Figura 3. Fluxograma da fase exploratória das castanhas-do-Brasil (<i>Bertholletia excelsa</i> H. B. K.)	6
Figura 4. Fluxograma da fase de beneficiamento das castanhas-do-Brasil (<i>Bertholletia excelsa</i> H. B. K)	7
 CAPÍTULO I	
Figura 1. Descascadores manuais adaptados para beneficiamento das castanhas.....	19
 CAPÍTULO II	
Figura 5. Isotermas de desorção das amêndoas quebradas das castanhas-do-Brasil estimadas pelo modelo de Sigma Copace, nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C.....	57

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIATURAS E UNIDADES

%.....	Porcentagem
°C.....	Graus Celsius
µg.....	Micrograma
AIC.....	Critérios de informação de Akaike
A _w	Atividade de água, decimal
BIC.....	Critério de informação bayesiano de Schwarz
B.O.D.....	Biochemical oxygen demand
b.s.....	Base seca, % ou decimal
cm.....	Centímetros
et al.....	E outros, e colaboradores
g.....	Gramas
GLR.....	Graus de liberdade do modelo
kg.....	Quilogramas
mg.....	Miligramas
mL.....	Mililitros
mm.....	Milímetro
N.....	Normalidade
P.....	Erro médio relativo, %
p.....	Número de parâmetros
P.....	Erro médio relativo, %
pH.....	Potencial Hidrogeniônico
R ²	Coefficiente de determinação
SE.....	Erro médio estimado, decimal
UR.....	Umidade relativa

X.....	Teor de água, b.s.
X_i	Teor de água inicial, b.s.
X_e	Teor de água de equilíbrio, b.s.
Y.....	Valores observados
\hat{Y}	Valores experimentais
DTA.....	Doença transmitida por alimento
O_2	Oxigênio

RESUMO

BITENCOURT, M. A. F. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, março de 2020. **Isotermas de dessorção, secagem e caracterização nutricional das amêndoas das castanha-do-Brasil da região amazônica.** Orientador: Dr. Osvaldo Resende.

As amêndoas da castanha-do-Brasil são ricas em nutrientes essenciais e podem ser consumidas *in natura* ou processadas. O principal processo aplicado para manter a qualidade da castanha é a secagem, de forma que possíveis alterações físicas e nutricionais podem ocorrer com o tempo e grau de temperatura aplicados. As castanhas-do-Brasil podem ser comercializadas com ou sem o beneficiamento e as amêndoas processadas necessitam de informações sobre o teor de água seguro de armazenamento em diferentes temperaturas. Assim, objetivou-se neste trabalho avaliar a influência de diferentes temperaturas de secagem nas características físico-química das amêndoas das castanhas-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* H. B. K.), bem como, determinar as isotermas de dessorção do produto. Os frutos foram coletados na cidade de Manaus e o experimento foi realizado no Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. Inicialmente, as amêndoas com teor de água inicial de 19,6 g 100 g⁻¹ foram submetidas ao processo de secagem até o teor de água de 5,0 ± 0,8 g 100 g⁻¹. A secagem das amêndoas foi realizada em estufa de ventilação de ar forçada nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80°C, sendo o processo de secagem acompanhado pelo método gravimétrico. Após a secagem, avaliou-se a composição proximal e a qualidade físico-química das amêndoas em diferentes temperaturas de secagem. As isotermas de dessorção foram obtidas pelo método estático-indireto, nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C, com os teores de água variando entre 13,0 e 1,6 ± 0,08% base seca (b.s.). Foram

utilizadas castanhas-do-Brasil coletadas na região amazônica, sendo extraídas as amêndoas e processadas na espessura entre 0,5 a 2 cm. Aos dados experimentais foram ajustados modelos matemáticos comumente utilizados na literatura. A temperatura de secagem influenciou na qualidade nutricional e físico-química das amêndoas da castanha-do-Brasil. As amêndoas secas na temperatura de 60°C apresentaram melhores parâmetros na composição proximal e físico-química. O teor de macro e microminerais não apresentou influência direta dos tratamentos, com exceção dos teores de fósforo e ferro. A relação da atividade de água com o teor de água das amêndoas das castanhas-do-Brasil e a temperatura de armazenamento, são diretamente proporcionais. Os modelos de Halsey Modificado, Harkins, Sigma Copace, Oswin Modificado e GAB Modificado podem ser utilizados para representar as isotermas das amêndoas das castanhas-do-Brasil. Entretanto, o modelo de Sigma Copace apresentou o melhor ajuste e foi utilizado para descrição das isotermas. Os limites seguros de teor de água para armazenamento das amêndoas das castanhas-do-Brasil são de 5,29; 5,14; 5,00 e 4,87% b.s. para as temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C, respectivamente.

Palavras-chave: Secagem, *Bertholletia excelsa* H. B. K; Minerais; Atividade de água.

ABSTRACT

BITENCOURT, M. A. F. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (Goiano Federal Institute of Education, Science and Technology), March 2020. **Isotherms of desorption, drying and nutritional characterization of Brazil nut almonds in the Amazon region.** Advisor: Dr. Osvaldo Resende.

Brazil nut almonds are rich in essential nutrients and can be consumed fresh or processed. The main process applied to this product is drying, so it is possible that physical and nutritional changes can occur with the time and degree of temperature applied. Brazil nuts can be marketed with or without processing, and processed almonds need information on the safe moisture content for storing it at different temperatures. Thus, the objective was to evaluate the influence of different drying temperatures on Brazil nuts (*Bertholletia excelsa* H. B. K.) physical-chemical characteristic, as well as to determine the product's desorption isotherms. The fruits were collected in the Manaus city and the experiment was carried out in the Vegetable product Post-Harvest Lab of Goiano Federal Institute – Rio Verde Campus. Initially, almonds with an initial moisture content of 19.6% wet basis (w.b.) were subjected to the drying process to a moisture content of $5.0 \pm 0.8\%$ (w.b.). The almonds drying was carried out in an oven with forced air ventilation at temperatures of 40, 50, 60, 70 and 80°C, the drying process was followed by the gravimetric method. After drying, the proximal composition and physical-chemical quality of the almonds processed at different drying temperatures were evaluated. The desorption isotherms were obtained by the static-indirect method, at temperatures of 10, 20, 30 and 40 °C, with moisture contents varying between 13.00 and $1.60 \pm 0.08\%$ dry basis. Brazil nuts collected in the Amazon region were used, the almonds were extracted and processed in the thickness of 0.5 mm to 2.0 cm. The mathematical models commonly used in the literature were adjusted to the experimental data. The drying temperature influenced the nutritional and physical-chemical quality of Brazil nuts. Almonds processed at a temperature of 60°C showed better parameters in proximal and physical-chemical composition. It appears that for macrominerals and microminerals contents there was no direct influence of the treatments, except for the levels of phosphorus and iron. It was observed that the relationship between water activity and moisture content of processed

Brazil nuts and storage temperature are directly proportional. The Modified Halsey, Harkins, Sigma Copace, Modified Oswin and Modified GAB models can be used to represent the isotherms of processed Brazil nut almonds. The Sigma Copace model presents the best fit and was used to describe the isotherms. The safe moisture content limits for storing processed Brazil nuts are 5.29; 5.14; 5.00 and 4.87% (w.b.). for temperatures of 10, 20, 30 and 40°C, respectively.

Key words: Drying; *Bertholletia excelsa* H. B. K; Mineral; Water activity.

1. INTRODUÇÃO

Diante da grande produção e comercialização internacional da castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* H. B. K.) conhecida internacionalmente como *Brazil nuts*, a cadeia produtiva necessita de mais informações quantitativas e qualitativas sobre o processamento pós-colheita adequado deste produto, assim como o valor nutritivo que é de fundamental importância (CASTRO, 2017).

O processo produtivo compreende todas as etapas básicas até a comercialização da castanha, esse produto movimenta a economia, o comércio e emprega milhares de famílias na região Amazônica. A castanha é um alimento comum em toda região amazônica e comercializada em todo território nacional. No mercado interno é comercializada em maior parte com o endocarpo lenhoso, ou seja, como castanha, desidratadas, semidesidratadas ou a granel (sem beneficiamento). Quase toda a produção de castanha-do-Brasil é exportada, principalmente para os Estados Unidos e Inglaterra. Estima-se que a indústria internacional de castanha movimente entre 18 e 65 milhões de reais por ano (MARIA & LUDKI, 2017).

Diante do valor econômico e nutricional desse produto, cuidados são necessários e devem ser iniciados desde a colheita visando controlar a contaminação por microrganismos pela alta umidade relativa e teor de água das castanhas no período de coleta. A produção brasileira de castanha tem sido afetada por crescente contaminação que diminui a possibilidade de exportar o produto. Nesse sentido, faz-se necessário utilizar boas práticas de colheita e processamento para evitar a contaminação (VIEIRA et al., 2010).

A castanha-do-Brasil é fonte de fibras, proteínas, lipídeos, além disso é rica em vitaminas e minerais, como potássio, selênio, magnésio e zinco, é popularmente

conhecida pelo combate ao envelhecimento celular e utilizada no apoio a casos de desnutrição e anemia (MMA, 2017). As amêndoas, que estão no interior das castanhas, são obtidas quebrando manualmente e podem ser comercializadas com ou sem película (polidas). Para exportações são comumente comercializadas as castanhas (produto bruto) (SEBRAE, 2016).

A secagem é o principal processo na cadeia produtiva desse produto e o estudo da influência de alta, média ou baixas temperaturas sobre a secagem pode fornecer informações úteis e contribuir para fornecer um produto de qualidade. Nesse contexto, pode ocorrer interferências microbiológicas durante a colheita, secagem, armazenamento, modificações nos constituintes nutricionais, bem como a atividade de água deste produto durante a armazenagem nas diferentes condições em que as amêndoas das castanhas-do-Brasil são processadas. Dependendo da umidade relativa e da temperatura, o produto pode absorver água do ambiente, que pode comprometer a qualidade de armazenamento. Assim, o fenômeno de dessorção, torna-se necessário para verificar possíveis alterações na composição química, qualidade físico-química, bem como a influência do ambiente no comportamento higroscópico do produto.

1.1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1.1. Castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* H. B. K)

A castanheira-do-Brasil é uma das mais exuberantes árvores da Floresta Amazônica. Pertence à família Lecythidaceae, com cerca de 300 espécies distribuídas em 25 gêneros, dos quais apenas 150 espécies e 10 gêneros ocorrem no Brasil. Quanto o epíteto específico, *excelsa*, significa alta, elevada, em alusão ao porte da planta, o gênero *Bertholletia* é monotipo, ou seja, tem como único representante a espécie *B. excelsa* H. B. K. (NASCIMENTO et al., 2010).

No Brasil esta árvore recebe nomes populares como, castanheira-do-Brasil, castanheira da Amazônia, castanheira e castanheira-do-Pará. Suas Folhas possuem lâminas foliares oblongas medindo de 17 cm a 36 cm de comprimento e 6 cm a 15 cm de largura. As flores são de cor branca e aroma agradável, a frutificação ocorre nos meses de dezembro a maio (CARVALHO, 2014). A castanheira-do-Brasil (Figura 1) é uma árvore de grande porte que ocupa áreas de terra firme e não inundáveis, e está presente em praticamente toda a Amazônia legal e continental (MMA, 2017).

A castanheira-do-Brasil é uma das principais espécies botânicas que faz parte da proteção da sociobiodiversidade brasileira. O alto valor nutricional das amêndoas foi convertido em importante fonte de renda, não apenas para aqueles que se designam castanheiros, e que habitam as Reservas Extrativistas (RESEX) ou Reservas de Desenvolvimento Sustentável (RDS), mas inúmeras outras populações como indígenas e quilombolas da região de produção (RIBEIRO, 2018).



Figura 1. Castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* H. B. K) em região nativa
Fonte: Pessoal (2019)

1.1.2. Fruto da castanheira-do-Brasil

O pericarpo do fruto, é chamado de ouriço (Figura 2), é uma cápsula globosa, quase esférica, sendo visível, na parte superior o vestígio do cálice da flor, sua casca é espessa, lenhosa, dura e de cor castanha e não se abre espontaneamente (SOUZA & WADT, 2016).

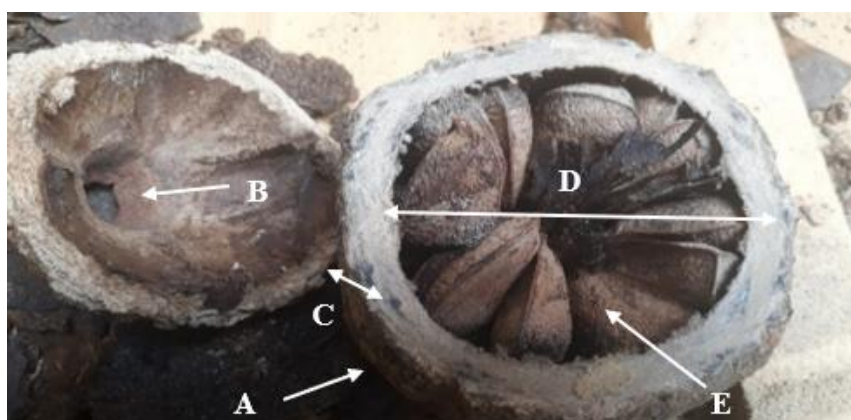


Figura 2. Ouriço da castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* H. B. K). (A) ouriço (B) vestígio do cálice da flor (C) casca (D) diâmetro (E) castanhas.
Fonte: Pessoal (2019).

Melo (2000), descreve o ouriço como um pixídio lenhoso e rígido, cujo diâmetro varia entre 10 e 15 centímetros, pesando de 0,5 a 2,5 quilogramas. Cada ouriço contém de 15 a 25 castanhas (Figura 2) com forma normalmente angulosa, são constituídas por uma casca invólucro e por uma amêndoa. Cada castanha contém uma amêndoa com um tegumento córneo protetor. A forma da castanha é triangular em secção transversal, medindo entre 3,5 a 5 cm de comprimento por 2 cm de largura e pesa entre 4 a 10 g, cada.

A castanha apresenta várias camadas como, a casca (endocarpo lenhoso), película (testae) e a parte comestível, amêndoa (Figura 3) (KLUCZKOVSKI et al., 2015). Quanto a morfologia do fruto, Santos et al. (2006) o descreve como, uma cápsula poricida simples, indeiscente, orbicular, subgloboso e levemente achatada, é ligado a planta por um pedúnculo com retículos transversais. O epicarpo de cor castanho-escuro, lenticelas estouradas, fibroso e com 0,993 cm de espessura; o mesocarpo apresenta cor castanho-claro, mais espesso que o epicarpo, também fibroso e com 2,422 cm; endocarpo castanho-escuro semelhante ao epicarpo, rugoso, cartáceo levemente fibroso e septado com funículo lenhoso. A semente é estenospérmica, triangular angulosa com base, margem e ápice anguloso, constituída por duas camadas de tegumento, a testa, mais externa possui cor castanho claro opaca, rugosa e lígnea; a camada interna, tégmem é membranoso mais escuro que a testa, rafe rígida e saliente.

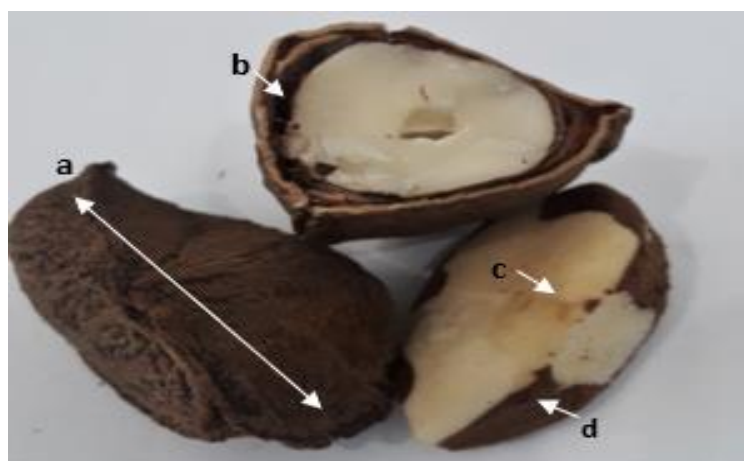


Figura 3. Constituintes da castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* H. B. K): (a) Castanha (b) endocarpo lenhoso (c) amêndoa (d) película (testae).

Fonte: Pessoa (2019)

A amêndoa corresponde a dois cotilédones de folha embrionária e nela os nutrientes estão armazenados, quando *in natura* possui cor que pode variar do branco ao creme claro, sendo a separação dos cotilédones não visível. Após o processo de

desidratação apresenta cor mais escura no centro da amêndoa (KLUCZKOVSKI et al., 2015).

Até a década de 1970, cerca de 80% da castanha-do-Brasil era destinada à exportação. No entanto, a partir do ano de 2001, houve forte pressão do mercado europeu com relação ao controle fitossanitário para aflatoxina. Diante da suspeita de contaminação foram devolvidos cerca de 466.217 kg exportados por cinco países – Alemanha, Itália, França, Holanda e Inglaterra. Esse acontecimento despertou suspeita internacional quanto à sanidade da castanha. E como consequência iniciou o declínio das exportações brasileiras e o fechamento de várias unidades de beneficiamento tradicionais (HOMMA, 2016).

A produção brasileira em 2017 foi de 26.191 toneladas e alcançou 104,1 milhões de reais, IBGE (2019). O município de Humaitá (a 590 quilômetros a sudoeste de Manaus) liderou a produção nacional de castanha-do-Brasil, em 2018, com 4 mil toneladas, equivalente a 11,7% do volume total produzido no País. O estado do Amazonas foi o maior produtor nacional, com 12,1 mil toneladas (IBGE, 2018).

A safra em 2018 alcançou 34.170 toneladas (IBGE 2019). Mesmo com menor preço médio em razão da maior oferta do produto no mercado, o crescimento no valor de produção foi de 35,4%, alcançando 130,9 milhões de reais (PEVS, 2018).

1.1.3. Propriedades nutricionais da castanha-do-Brasil

A castanha-do-Brasil é um fruto rico em lipídeos e proteínas, possui também em sua composição vitaminas, como, Tiamina e Riboflavina e minerais como, o Ca, P e Se, elevado valor energético e teor de antioxidantes com efeito anticancerígeno (EMBRAPA, 2010; SILVA, 2018).

Segundo Lima et al. (2019), o selênio é o principal mineral encontrado na castanha-do-Brasil (28 a 49 mg kg⁻¹), a concentração depende da área de localização do castanhal. O consumo de uma amêndoa de 5 g de uma área com alto teor de Se atende a dose recomendada de 30 µg diária. O limite tolerável de ingestão de Se é de 400 µg e o limite de toxicidade de 1200 µg. Castro (2017) destaca a importância do Se como nutriente essencial na biologia humana. Mais de um bilhão de pessoas em todo mundo podem ter deficiência de selênio e a castanha-do-Brasil pode ser utilizada como suplementação para prevenir a deficiência (LIMA et al., 2019).

Este fruto apresenta alto valor nutricional com alto teor de lipídios, 60 a 70%, cerca de 23% de ácidos graxos monoinsaturados, 21% de ácidos poli-insaturados e 15%

de ácidos graxos saturados, com predominância do ácido graxo linolênico (ômega-6). (SILVA, 2014). É considerada boa fonte de proteínas de 15 a 20% e apresenta teor diferenciado para o aminoácido sulfurado da metionina que é essencial, amins biogênicas e fosfolipídios (SOUZA, 2013).

1.1.4. Processamento das castanhas-do-Brasil

A primeira etapa do processamento das castanhas-do-Brasil descrita por Felix et al. (2018), inicia-se com a coleta e agrupamento dos ouriços. Entretanto, na prática o processamento se inicia muito antes. Os castanhais são longínquos e requerem mão de obra e muitos dias na floresta. Para conseguir rendimento de coleta maior, o castanheiro percorre as áreas onde há maior concentração de castanheiras. Essa coleta é realizada com ferramenta simples de madeira, chamada cambito ou mão de onça, que “abraça” o ouriço que é jogado no paneiro - cesto carregado nas costas dos castanheiros; em seguida é utilizado um facão para a abertura dos ouriços (KOCH, 2017).

A cadeia produtiva da castanha-do-Brasil, é o conjunto constituído por diversas etapas, a primeira é a fase exploratória (Figura 4), que de acordo com a normativa do BRASIL (2010) se inicia na etapa de catação do ouriço, que acontece após a queda até o armazenamento primário, fase em que todos os ouriços são armazenados em um só lugar, ocorrendo na floresta. O armazenamento secundário ocorre na área reservada do extrativista. O terciário, é o armazenamento da castanha, geralmente em área do extrativista ou intermediário próximo a coleta. Após esses processos, inicia-se a transferência para a beneficiadora.

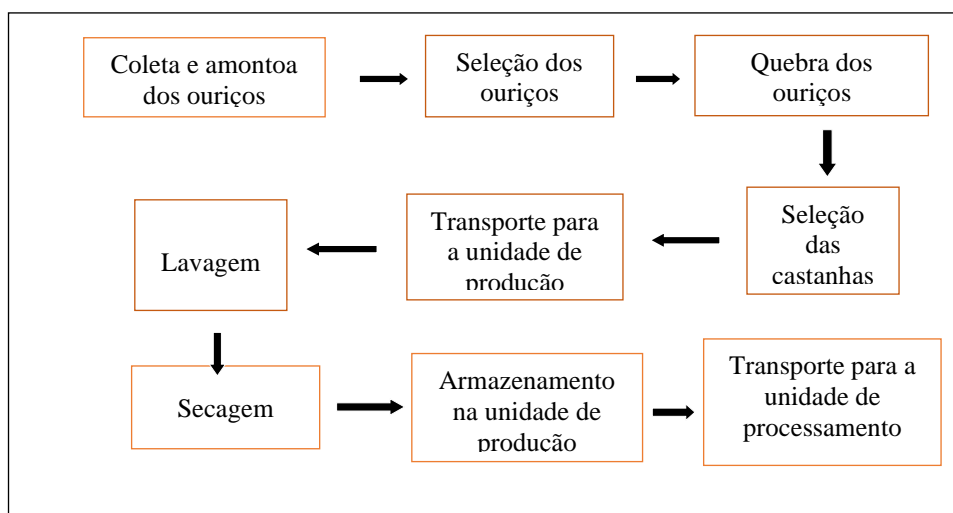


Figura 4. Fluxograma da fase exploratória das castanhas-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* H. B. K).

Fonte: Embrapa (2004).

O período de safra ocorre entre os meses de novembro e maio, entretanto, os castanheiros iniciam a partir do mês de dezembro. A mão de obra envolvida na atividade é familiar, desde a limpeza do castanhal, coleta, amontoa, quebra, lavagem e ensacamento até o transporte. Na realização das boas práticas de manejo a castanha vai para o paiol, que é um compartimento de madeira semelhante a um armazém, para a secagem e armazenamento das mesmas, e depois, a castanha passa para o paiol central, e é comercializada para usina beneficiadora (Figura 5), seguido do beneficiamento e embalagem para comercialização (FERNANDES, 2016).

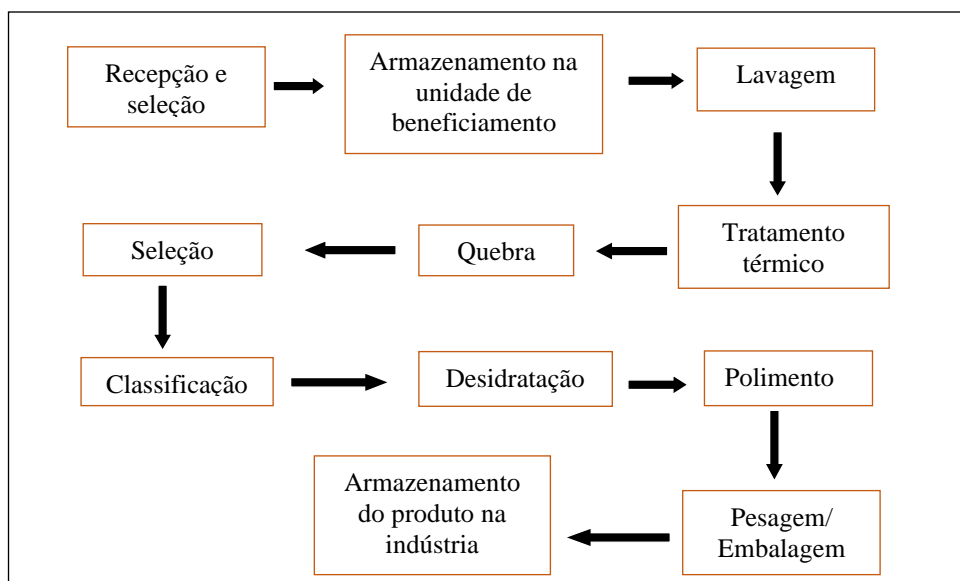


Figura 5. Fluxograma da fase de beneficiamento das castanhas-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* H. B. K).

Fonte: SOUZA & WADT (2013).

Ramos & Lima (2017), descreveram que, uma alimentação saudável não se resume apenas ao consumo de alimentos nutritivos, abrange também cuidados referentes à produção, manutenção, manipulação e preparo desses alimentos. A qualidade dos alimentos é uma das condições essenciais para a promoção e manutenção da saúde, e deve ser assegurada pela adoção de medidas preventivas, desde a origem até o consumo, evitando assim a ocorrência de Doenças Transmitidas por Alimentos (DTA'S).

Segundo Almeida (2015), o pouco desenvolvimento tecnológico na cadeia produtiva da castanha é resultado da divisão científica que ocorre entre o extrativismo e o cultivo da castanheira. Enquanto muitas pesquisas são voltadas a domesticação e desenvolvimento da planta, a cadeia produtiva permanece com recursos técnico restritos, rudimentares no manejo e boas práticas, com utilização de ferramentas arcaicas,

manipulação inadequada na prática de coleta, favorecendo a contaminação microbiológica.

A aflatoxina produzida pelos fungos *Aspergillus flavus* e *Aspergillus parasiticus*, pode contaminar castanhas não processadas, ou processadas inadequadamente. Esses fungos produzem metabólitos tóxicos para a saúde humana e animal, destacando-se quatro tipos de aflatoxinas: B1, B2, G1 e G2. Além disso, esses fungos apresentam propriedades mutagênica e cancerígenas com incidência de carcinoma hepatocelular. O limite de consumo humano de aflatoxinas é de $20 \mu\text{g kg}^{-1}$ (FELIX, 2018).

O teor de água deve ser monitorado possibilitando a atividade de água menor que 0,7, pois a partir desse índice, inicia-se o crescimento de microrganismos patogênicos (BRASIL, 2010). A secagem contribui para redução da atividade de água do produto, pois com a redução do teor de água têm-se o decréscimo dessa variável (BORÉM, 2008).

1.1.5. Secagem

Para reduzir as perdas na fase pós-colheita, principalmente por infestação de microrganismos, são empregados diversos métodos físicos, químicos e/ou biológicos, para aumentar a vida pós-colheita de produtos vegetais. Entre os métodos físicos para conservação pós-colheita, a secagem artificial é amplamente empregada, principalmente em sementes oleaginosas. Este método se baseia no fato de microrganismos, enzimas e todo o mecanismo metabólico necessitarem de alta atividade de água para se desenvolverem (CARVALHO, 2018).

A secagem é um processo que consiste na eliminação de água de um produto por evaporação, com transferência de calor e massa e envolve três meios de transferência de calor: convecção, condução e radiação. A transferência de calor por convecção é o meio mais utilizado na secagem comercial, em que um fluxo de ar aquecido passa através da camada do produto (FIB, 2016).

Alves et al. (2016) afirmaram que a secagem visa, além de diversificar e modificar os produtos já disponíveis, proporciona um alimento com características preservadas por longos períodos, ainda que armazenados em temperatura ambiente. Para alimentos ricos em lipídeos como as castanhas, deve-se conhecer os limites mínimos e máximos de teores de água. Segundo Salinas (2002), em teores de água muito baixo observa-se aumento da oxidação. Por outro lado, teores de água acima do recomendado para armazenamento seguro proporcionam contaminação e deterioração microbiológica parcial ou total do produto (SILVA et al., 2016).

Nesse processo, mediante convecção forçada do ar aquecido, estabelecem dois processos que ocorrem simultaneamente: transferência da água superficial do produto para o ar e movimento de água do interior para a superfície das sementes, decorrente do gradiente hídrico entre essas duas regiões (MORAES, 2000).

Esse sistema demanda existência de gradientes de pressões parciais de vapor de água entre as castanhas e o ar de secagem. De acordo com as propriedades higroscópicas, o fluxo de vapor de água ocorre no sentido da maior para a menor pressão parcial de vapor, ou seja, com o aquecimento do ar de secagem, têm-se a redução da umidade relativa e, conseqüentemente, a água tende a sair do produto por diferencial de pressão (VILLELA, 1991).

1.1.6. Propriedades higroscópicas

A atividade de água (a_w) indica a intensidade das forças que unem a água em associar-se com outros constituintes não aquosos e conseqüentemente, a água disponível para reações oxidativas, enzimáticas e microbiológicas. É definida como o quociente entre a pressão de vapor da água no produto e a pressão de vapor da água pura, ou seja, a umidade relativa do ambiente em que o alimento está armazenado e o teor de água do produto, tendem a entrar em equilíbrio (SILVA et al., 2016; FENNEMA, 2019).

Só a secagem não oferece garantias, pois a redução do teor de água é apenas um dos pilares da segurança alimentar, as condições de armazenamento e transporte, se não forem adequadas, podem promover o reumedecimento do produto (Silva et al., 2017). Quando o produto é armazenado em atmosfera contendo vapor de água, ocorrem trocas de energia e massa (vapor d'água). Segundo Borém (2008), a higroscopicidade é uma propriedade física, em que o produto pode absorver ou perder água para a atmosfera até que se estabeleça um equilíbrio, resultando em alteração no teor de água do produto (LUDWING, 2017).

A umidade relativa do ambiente é denominada umidade relativa de equilíbrio, quando as diferentes pressões de vapor se igualam, para uma dada temperatura, é útil para determinar se o produto ganhará ou perderá água, durante o processo de secagem e armazenamento. Quando não há perda ou ganho de água, o produto está em equilíbrio com a condição ambiente, temperatura e umidade relativa. O teor de água do produto, quando em equilíbrio com o ambiente, é denominada teor de água de equilíbrio, e nessa situação ocorre o equilíbrio higroscópico (BIAGI & BERTOL, 2002).

O equilíbrio higroscópico está relacionado à quantidade de água de um alimento com a_w , ou seja, em função da umidade relativa da atmosfera que circunda o alimento, ocorrendo maiores variações em alimentos secos ou desidratados, quando expostos em ambientes com maiores concentrações de umidade relativa (ORDOÑEZ, 2005).

1.2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. J. Do extrativismo à domesticação: as possibilidades da castanha do Pará. Tese (Doutorado em História Econômica) apresentada a Universidade de São Paulo. 304 p, 2015.

ALVES, T. P.; NICOLETI, J. F. Influência das variáveis de processo sobre a secagem osmo-convectiva de pimentão verde. Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial. 10, n. 1, p. 2022-2037. Ponta Grossa, 2016.

BIAGI, J. D.; BERTOL, R.; Secagem de grãos. UNICAMP - SP, 2002. Disponível em: <<http://www.oleosegorduras.org.br/site/assets/arquivo/d8fdf1d4eeaa93cfc8571dfd1dfc4c94.pdf>> Acesso em: 12 Out, 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Gabinete Do Ministro Instrução Normativa Nº 11. 2010. Disponível em:<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/normativos-dipov/IN11.pdf>. Acesso em: 30 de Out, 2019.

BORÉM, Flávio Meira et al. Pós-colheita do café. ed Ufla, 361 p. Lavras 2008.

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

CARVALHO, P. E. R.; Espécies arbóreas brasileiras: Coleção espécies arbóreas. v.5. 634 p. Embrapa Florestas, 2014.

CASTRO, D. A. Repartição de nutrientes e selênio na castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*). 58 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia e Zootecnia) apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso, 2017.

EMBRAPA – Árvore do conhecimento: Castanha-do-Brasil. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. 2010. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/castanha-do-brasil/Abertura.html>. Acesso em: 21 Out, 2019.

FELIX, A. M. E.; OLIVEIRA, C. R. A.; GUERREIRO, J. R. Contaminação de castanha do Brasil por aflatoxinas: Uma revisão do panorama atual. *Journal of the Health Sciences Institute*, 2018.

FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, S. *Química de alimentos de Fennema*. Atmed, 5 ed. Porto Alegre, 2019.

FERNANDES F.; Potencialidades e limites da cadeia de valor da castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*) no município de Manicoré, sul do Amazonas. 2016. Disponível em: <http://www.fundovale.org/wp-content/uploads/2017/10/6_castanha_manicore.pdf> Acesso em: 05 Out, 2019.

FOOD INGREDIENTS BRASIL. A desidratação na conservação dos alimentos. n. 38 – 2016. Disponível em: <https://revista-fi.com.br/upload_arquivos/201607/2016070041261001469734800.pdf> Acesso em: 11 Out, 2019.

HOMMA, A. K.; Castanha-do-Brasil: Por que o Brasil deixou de ser o maior produtor mundial de castanha-do-Brasil. 2016. Disponível em: <<https://www.todafruta.com.br/por-que-o-brasil-deixou-de-ser-o-maior-produtor-mundial-de-castanha-do-brasil/>> Acesso em: 10 Ago, 2019.

IBGE - PEVS 2018: Produção da silvicultura e da extração vegetal chega a R\$ 20,6 bilhões e cresce 8,0% em relação a 2017. 2019. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/25437-pevs-2018-producao-da-silvicultura-e-da-extracao-vegetal-chega-a-r-20-6-bilhoes-e-cresce-8-0-em-relacao-a-2017>>. Acesso em: 05 Out, 2019.

KLUCZKOVSKI, A. M.; SCUSSEL, V. M.; Gerenciamento de risco da castanha-do-Brasil. *Nova Letra*. 237 p. 2015.

KOCH, Z.; Castanheira do Brasil: Por trás das câmaras. 2017. Disponível em: <<http://conexaoplaneta.com.br/blog/a-castanha-brasileira/>>. Acesso em: 30 Out, 2019.

LIMA, L W.; STONEHOUSE, G. C.; WALTERS, C.; EL MEHDAWI, A F.; FAKRA, S. C.; PILON-SMITS, E. A. H. Selenium accumulation, speciation and localization in Brazil nuts (*Bertholletia excelsa* H.B.K.). *Plants (Basel)*, v.8, n.8, p.289. 2019.

LUDWING, M.P. *Princípios de Pós-colheita de Grãos e Sementes*. IFRS, 191 p. Ibirubá.2017.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. *Castanha-do-Brasil: Boas Práticas Para o Extrativismo sustentável orgânico*, 1ª Edição. Brasília. 2017.

- MARIA, V.; LUDKI, F.; Castanha movimenta a economia da região amazônica. 2017. Disponível em: <<http://radios.ebc.com.br/viva-maria/edicao/2017-02/conheca-o-poder-da-castanha-considerada-a-rainha-da-floresta-amazonica>> Acesso em: 22 Set, 2019.
- MELO, R. Castanha da amazônia estudos de produção e mercado. 1999 - 2000. Coordenação das Organizações Indígenas da Amazônia Brasileira – COIAB, Centro Indígena de Produção e Cultura. Disponível em: <<https://acervo.socioambiental.org/sites/default/files/documents/M6D00044.pdf>> Acesso em: 07 Out, 2019.
- MORAES, M.L. B. Comportamento da pressão estática e da frente de secagem em uma coluna de sementes de arroz. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) apresentada à Universidade Federal de Pelotas. 50 f, 2000.
- NASCIMENTO, W. M. O.; CARVALHO, J. E. U.; MÜLLER, C. H. Castanha-do-Brasil. 41 p. EMBRAPA, 2010.
- ORDÓÑEZ, J.A.; RODRIGUEZ, M. I. C.; ÁLVAREZ, L. F.; SANZ, M. L. G.; MIGUILLÓN, G. D. G. de F.; PERALES, L. de L. H.; CORTECERO, M. D. S. Tecnologia de alimentos: Componentes dos alimentos e processos, 294 p. Porto Alegre, 2005.
- PEVS - Produção da extração vegetal e da silvicultura: Quantidade produzida na extração vegetal. 2018. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pevs/quadros/brasil/2018>> Acesso em: 05 Out, 2019.
- RAMOS, M. P.; LIMA, L. C. Vigilância sanitária: Alimentação segura no ambiente escolar. UNIFEI, 2017.
- RIBEIRO, M. S.; Tecnopolítica em laboratórios da Embrapa e florestas de castanha. Revista de Antropologia da UFSCar, R@U, 10 (1), 80-104. 2018.
- SALINAS, R. D. Alimentos e nutrição: introdução à bromatologia. Artimed, 3 ed. 280 p. Porto Alegre, 2002.
- SANTOS, J. U. M.; BASTOS, M. N. C.; GURGEL, E. S. C.; CARVALHO, A. C. M. *Bertholletia excelsa* Humboldt & Bonpland (Lecythidaceae): aspectos morfológicos do fruto, da semente e da plântula. Boletim do Museu Paraense Emílio Ciências Naturais v.1 n.2, Belém, 2006.
- SEBRAE. O cultivo e o mercado da castanha do Brasil. 2016. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-cultivo-e-o-mer,c0ca9e665b182410VgnVCM100000b272010aRCRD>> Acesso em: 12 Out, 2019.

SILVA, A. F. Efeito das etapas de processamento sobre a qualidade de castanhas-do-brasil (*Bertholletia excelsa*, H.B.K.): avaliação da fração lipídica e contaminação por aflatoxina. 95 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) apresentada à Universidade de São Paulo, 2014.

SILVA, G. B. Efeito do consumo de castanhas-do-Brasil (*Bertholletia Excelsa* H. B. K) sobre os biomarcadores inflamatórios e o estado nutricional relativo ao selênio de mulheres obesas. 96 f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) apresentada à Universidade de São Paulo, 2018.

SILVA, J. S.; LACERDA FILHO, A. F.; RUFFATO, S.; BERBERT, P. A. Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. Cap. 17. p. 417-499, 2017.

SILVA, O. S.; TASSI, E. M. M.; PASCOAL, G. B. Ciência dos alimentos: princípios de bromatologia. 1. ed. 248 p. 2016.

SOUZA, J. M. L.; WADT, L. H. O. Castanha-do-Brasil: Características da planta. Agencia EMBRAPA de Informação Tecnológica, 2016.

SOUZA, J. M. L. Caracterização e efeitos do armazenamento de amêndoas com películas e despelculadas sobre propriedades das frações proteica e lipídica de castanha-do-Brasil. 127 f. Tese (Doutorado em Ciência e tecnologia de alimentos) apresentada a Universidade Federal de Pelotas, 2013.

SOUZA, J. M. L.; WADT, L. H. O.; Beneficiamento manual: Castanha do Brasil. 2013, Ageitec. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/castanha-do-brasil/arvore/CONT000fzgyoyya02wx5ok0cpoo6an8lg4e4.html>> Acesso em: 11 Out, 2019.

VILLELA, F.A.; SILVA, W. R. Efeitos da secagem intermitente sobre a qualidade de sementes de milho. An. Esc. Super. Agric. Luiz de Queiroz. vol.48, pp.185-209, 1991.

VIEIRA, A. H.; SOUZA, V. F.; SILVEIRA, I. D.; ARAÚJO, W. I. F.; LOCATELLI, M. Informação técnica EMBRAPA: Castanha-do-Brasil. 2010. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/47749/1/folder-castanhadobrasil.pdf>>. Acesso em: 12 Out, 2019.

OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência de diferentes temperaturas de secagem nas características físico-química e proximal das amêndoas das castanhas-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* H. B. K.), bem como determinar as isotermas de dessorção do produto.

CAPÍTULO I. QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA E NUTRICIONAL DAS AMÊNDOAS DAS CASTANHAS-DO-BRASIL SECAS EM DIFERENTES TEMPERATURAS

Resumo: As amêndoas da castanha-do-Brasil são ricas em nutrientes essenciais e podem ser consumidas *in natura* ou processadas. O principal processo aplicado a esse produto é a secagem, que pode promover alterações físicas e nutricionais que variam com o tempo e a temperatura aplicada. Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar a secagem das amêndoas da castanha-do-Brasil em cinco temperaturas diferentes, 40, 50, 60, 70 e 80°C, e realizar as análises de composição proximal e físico-química, com a finalidade de avaliar as possíveis alterações dos diferentes tratamentos. Os frutos foram coletados na cidade de Manaus e o experimento foi realizado no Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. Inicialmente as amêndoas com teor de água inicial de 19,6 g 100 g⁻¹ foram submetidas ao processo de secagem até o teor de água de 5,0 g 100 g⁻¹. A secagem das amêndoas foi realizada em estufa de ventilação de ar forçada nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80°C, o processo de secagem foi acompanhado pelo método gravimétrico. Após a secagem, avaliou-se a composição proximal e a qualidade físico-química das amêndoas processadas em diferentes temperaturas de secagem. A temperatura de secagem influenciou na qualidade nutricional e físico-química das amêndoas da castanha-do-Brasil. As amêndoas submetidas a secagem na temperatura de 60°C apresentaram melhores parâmetros na composição proximal e físico-química. Para o teor de macro e microminerais não se observou influência direta dos tratamentos, exceto nos teores de fósforo e ferro.

Palavras-chave: *Bertholletia excelsa* H. B. K; Composição proximal; Minerais.

CHAPTER I. PHYSICAL-CHEMICAL AND NUTRITIONAL QUALITY OF BRAZIL NUTS ALMONDS DRIED AT DIFFERENT TEMPERATURES

Abstract: Brazil nut almonds are rich in essential nutrients and can be consumed fresh or processed. The main process applied to this product is drying, so it is possible that physical and nutritional changes can occur with the time and degree of temperature applied. Thus, the objective of this work was to evaluate the drying of Brazil nut almonds at five different temperatures, 40, 50, 60, 70 and 80°C, and to carry out the analysis of proximal and physical-chemical composition, with the purpose to evaluate the different treatments possible changes. The fruits were collected in the Manaus city and the experiment was carried out in the Vegetable products Post-Harvest Lab of Goiano Federal Institute – Rio Verde Campus. Initially, almonds with an initial moisture content of 19.6 g 100 g⁻¹ were subjected to the drying process to a moisture content of 5.0 ± 0.8% g 100 g⁻¹. The almonds drying was carried out in an oven with forced air ventilation at temperatures of 40, 50, 60, 70 and 80°C, the drying process was followed by the gravimetric method. After drying, the proximal composition and physical-chemical quality of the almonds processed at different drying temperatures were evaluated. The drying temperature influenced the nutritional and physical-chemical quality of Brazil nuts. Almonds processed at a temperature of 60°C showed better parameters in proximal and physical-chemical composition. It appears that for macrominerals and microminerals contents there was no direct influence of treatments, except for phosphorus and iron levels.

Keywords: *Bertholletia excelsa* H. B. K; Proximal composition; Mineral.

2.1. INTRODUÇÃO

Os biomas brasileiros são ricos em espécies nativas e apresentam grande diversidade de alimentos ricos em nutrientes e sabores. Entre essa diversidade encontra-se a castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* H. B. K.), que é uma espécie encontrada em estado nativo na Amazônia e a comercialização das amêndoas representa atividade econômica basicamente extrativista (SILVA JÚNIOR et al., 2017).

A castanheira é a única espécie do gênero *Bertholletia* da família Lecythidaceae, porte arbóreo e os frutos comestíveis fazem dessa espécie uns dos principais ícones vegetais da Floresta Amazônica (SCOLES et al., 2016). Os consumidores priorizam alimentos de alta qualidade fundamentada nas exigências do mercado e com isso o processamento dos alimentos se torna um dos mais importantes procedimentos do beneficiamento, pois assim podem ser estocados e comercializados (OLIVEIRA & SANTOS, 2015).

Para Gonçalves (2015) a transformação e beneficiamento dos alimentos se relacionam com as mudanças ocorridas, seja na fabricação de novos produtos ou mesmo durante a desidratação, ou seja, o processamento altera a composição química e físico-química dos alimentos. Assim, como as particularidades de composição de macronutrientes, representados pelas moléculas de água, carboidratos, proteínas e lipídios; micronutrientes, vitaminas, minerais, pigmentos, aromatizantes e demais compostos bioativos.

Para o processo de secagem de produtos vegetais, o grau de maturação, teor de água e equipamentos disponíveis para o processamento são fatores que influenciam na temperatura e tempo de secagem (MESQUITA et al., 2016). Quanto ao grau de maturação e teor de água das amêndoas das castanhas-do-Brasil estes são fatores dependentes da fisiologia e da época de coleta, pois a coleta é realizada apenas quando o fruto se desprende da árvore, sendo posteriormente coletado (MÜLLER et al., 1995).

A qualidade final dos alimentos, após a secagem, é caracterizada pela aparência, cor, textura, gosto e retenção de nutrientes, fatores que são influenciados pela combinação de tempo e temperatura de secagem (FIB, 2016).

Devido a importância da secagem para reduzir as perdas pós-colheita, objetivou-se com este trabalho avaliar a secagem das amêndoas da castanha-do Brasil em cinco

temperaturas diferentes, 40, 50, 60, 70 e 80°C, e realizar as análises de composição proximal e físico-química para avaliar as possíveis alterações nos diferentes tratamentos.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1. Coleta e transporte das castanhas-do-Brasil

Os frutos foram coletados no mês de abril de 2018 no município de Manaus-AM. Especificamente em propriedades da comunidade “Ramal do Mira”, localizado as margens da BR - 319, entre os municípios de Manaus e Careiro Castanho-AM, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude: 3° 46' 04" sul, longitude: 60° 22' 08" oeste.

O transporte dos frutos se dividiu em duas partes, inicialmente em balsa, via fluvial, até a cidade de Porto Velho – RO, com duração de 4 dias, em seguida as castanhas foram transportadas via terrestre ao Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, GO, com duração de três dias. O período transcorrido entre coleta, transporte e início de secagem das amostras da castanha-do-Brasil foi de 20 dias.

As castanhas foram homogeneizadas para determinação do teor de água, sendo descascadas com a finalidade de retirar o endocarpo lenhoso e determinar apenas o teor de água das amêndoas. A determinação do teor de água seguiu metodologia da AOAC 44-15 A (2006), em estufa com ventilação de ar forçada a 105°C durante 24 horas, em triplicata, contendo 15 gramas de amostra. As amêndoas *in natura* apresentaram teor de água inicial de 19,6 g 100 g⁻¹.

2.2.2. Preparo das amêndoas para a secagem

As castanhas-do-Brasil apresentam endocarpo lenhoso, rígido, necessitando de equipamento de corte para retirada das amêndoas do interior das castanhas. Nesse processo as amêndoas foram extraídas do interior da castanha, retirando o endocarpo lenhoso utilizando descascador manual tipo gilhotina, equipamento comumente utilizado na região amazônica. O equipamento é composto por facão fixado somente na ponta sobre um suporte de madeira (Figura 1). Com a utilização deste instrumento é possível manter a integridade das amêndoas *in natura* evitando a quebra das amêndoas.



Figura 1. Descascadores manuais adaptados para beneficiamento das castanhas.

2.2.3. Secagem das amêndoas

As amêndoas foram distribuídas em camada uniformemente de 3 cm em bandejas de alumínio com quatro repetições para cada temperatura de secagem, com média de 0,350 kg em cada bandeja, totalizando a cerca de 7,0 kg de amostra. As amêndoas foram submetidas à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80°C até o teor de água de $5,0 \pm 0,8 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$.

A secagem foi realizada em estufa com ventilação de ar forçada, o acompanhamento do teor de água ao longo da secagem foi realizado pelo método gravimétrico, conhecendo-se o teor de água inicial das amêndoas ($19,6 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), e pesando as bandejas em intervalos constantes. O tempo gasto de secagem das amêndoas para atingir o teor de água estimado para cada temperatura foi de 106, 58, 38, 26 e 19 horas para as temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80°C.

Após a secagem, 100 g das amêndoas de cada repetição por temperatura foram separadas para obtenção da farinha, para realização das análises de composição proximal, físico-química e teor de nutrientes. Nesse processo foi retirada manualmente a película testae das amêndoas que poderiam influenciar nos resultados das análises. Em seguida as amêndoas foram trituradas em liquidificador semi-industrial e acondicionadas em embalagem de polipropileno.

2.2.4. Composição Proximal

2.2.4.1. Teor de água

O teor de água foi determinado pelo método de secagem em estufa de acordo com método AOAC 44-15 A (2006). Foram pesados aproximadamente 15 gramas de

amêndoas em cápsula de alumínio, e colocados em estufa a 105°C por 24 horas. Em seguida as amostras foram resfriadas em dessecador e pesadas. O teor de água foi expresso em g 100 g⁻¹.

$$\text{Teor de água (g 100 g}^{-1}) = \left(\frac{M_a}{M_a + M_{ms}} \right) \quad (1)$$

Em que,

M_a - Massa de água (g);

M_{ms} - Massa de matéria seca (g).

2.2.4.2. Lipídeos

A determinação de lipídeos foi de acordo com método AOAC 925.38 (2006), extraídos por meio da técnica de Soxhlet, utilizado o extrator (Modelo MARCONI 487-6). Foram pesados 4 g de amostra em papel de filtro, transferidas para o aparelho de Soxhlet. Os balões foram previamente secos em estufa a 105°C, resfriados e pesados. Foi utilizado o solvente hexano.

O processo de extração foi mantido por 8 horas, em seguida o balão foi levado ao aparelho rotaevaporador para destilação e em seguida à capela para completa evaporação do solvente. Após esse processo, o balão foi levado à estufa a 105°C, por cerca de uma hora, resfriado em dessecador por 30 minutos, em seguida pesado. Os valores foram expressos em g 100 g⁻¹ de lipídeos.

$$\text{Lípídeos (g 100 g}^{-1}) = \frac{100 \cdot L}{M} \quad (2)$$

Em que,

L - Lipídeos, g;

M - Massa de amostra (g).

2.2.4.3. Proteína Bruta

A proteína bruta foi determinada pelo método de Kjeldahl, em que é avaliado o teor de nitrogênio orgânico total de acordo com método AACC 46- 12 (2006). Para a digestão, processo em que o nitrogênio é transformado em sal amoniacal, foram pesados 0,5g de amostra em papel para evitar a aderência nas paredes do tubo, acrescentando 5 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) e 1g de mistura catalítica, em seguida os tubos foram levados ao bloco digestor a 350°C por 3 horas, tempo necessário para observação da completa digestão, indicada pela coloração verde translúcida.

Após o processo de digestão, as amostras foram destiladas em destilador de nitrogênio (Modelo TE-0364 com três provas, Marca Tecnal). Nessa etapa, a amônia é liberada do sal amoniacal pela reação com hidróxido de sódio (NaOH), e recebida numa solução de ácido bórico (H_3BO_3) 5 mL a 1M. Em seguida, a solução foi destilada, etapa em que se determina a quantidade de nitrogênio presente na amostra titulando-se com ácido clorídrico 0,1 N (HCl). O fator de conversão utilizado foi o de 5,46 para a castanha-do-Brasil (IAL, 2008). Os resultados foram expressos em % proteína bruta.

$$\text{Proteína bruta (g 100 g}^{-1}\text{)} = \frac{V \cdot 0,14 \cdot f}{M} \quad (3)$$

Em que,

V - Volume de ácido clorídrico 0,1N gasto, mL;

M - Massa de amostra (g);

f - Fator de conversão.

2.2.4.4. Cinzas

As cinzas (resíduo mineral fixo) foram determinadas de acordo com método da AOAC 923.03 (2006) modificado. Foram pesados 5 g de amostra em cadinhos de porcelana previamente secos. As amostras foram colocadas na mufla modelo EDGCON 1P (550 °C) por 8 horas, transferidas para o dessecador e pesadas. Os valores foram expressos em g 100 g⁻¹ de cinzas.

$$\text{Cinzas (g 100 g}^{-1}\text{)} = \frac{C \cdot 100}{M} \quad (4)$$

Em que,

C – Massa de cinzas (g).

M - Massa de amostra (g).

2.2.4.5. Carboidratos

A quantidade de carboidratos, foi determinada pela diferença do teor de água, lipídios, proteína e cinzas (método 926.08, AOAC, 2006). O resultado foi expresso em g 100 g⁻¹ de carboidratos totais.

$$\text{Carboidratos totais (g 100 g}^{-1}\text{)} = 100 - (X + L + PB + C) \quad (5)$$

Em que,

- X - Teor de água, g 100 g⁻¹;
 L - Lipídeos, g 100 g⁻¹;
 PB - Proteína bruta, g 100 g⁻¹;
 C – Cinzas, g 100 g⁻¹.

2.2.4.6. Valor energético

A energia total metabolizável das amêndoas, foi determinado por fatores específicos utilizando dos seguintes fatores de conversão de Atwater; proteínas, 4 kcal g⁻¹; carboidratos, 4 kcal g⁻¹; lipídeos, 9 kcal g⁻¹ (MERRIL et al., 1973).

$$\text{Valor energético (kcal 100 g}^{-1}\text{)} = (\text{PB} \cdot 4) + (\text{CHOt} \cdot 4) + (\text{L} \cdot 9) \quad (5)$$

Em que,

- PB - Proteína bruta, g 100 g⁻¹;
 CHOt - Carboidratos totais, g 100 g⁻¹.
 L - Lipídeos, g 100 g⁻¹.

2.2.4.7. Fibra alimentar

A fibra alimentar foi determinada pelo método enzimático-gravimétrico, através do ensaio enzimático rápido de fibra alimentar solúvel e insolúvel, descrito por Asp et al. (1993) adaptado por EMBRAPA (2011) com as enzimas α -amilase, pepsina e pancreatina, que consiste em tratar o alimento com diversas enzimas fisiológicas, permitindo separar e quantificar o conteúdo total da fração solúvel e insolúvel.

2.2.5. Análises Físico-químicas

2.2.5.1. Parâmetros instrumentais de cor

A cor das amostras foi avaliada instrumentalmente em colorímetro Color Flex EZ/HunterLab[®], obtendo as coordenadas L*, a* e b*. Os valores de L* se referem à luminosidade da amostra, os valores foram expressos de 0 a 100, em que 0 remete ao preto e 100 ao branco.

Os valores da coordenada a* e b* foram utilizados para o cálculo do chroma e ângulo Hue, a coordenada a* variam do verde (- 60) ao vermelho (+60), e os valores de b* variam do azul (- 60) ao amarelo (+ 60). Foram avaliados a saturação e intensidade da cor através do cálculo do Cromo, e do ângulo Hue (AACC 14-22, 2006).

$$Cr = [(a^{*2} + b^{*2})] \quad (6)$$

$$^{\circ}\text{Hue} = \arctang\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (7)$$

Em que,

Cr - Chroma;

$^{\circ}\text{Hue}$ - Ângulo Hue.

2.2.5.2. Potencial Hidrogeniônico (pH)

O potencial Hidrogeniônico (pH), foi realizado de acordo o método da AOAC 943.02 (2006) modificado. Foram pesados em Erlenmeyer 5 g da amostra, adicionando-se 50 mL de água destilada. As amostras foram agitadas em agitador magnético, em seguida ficaram em repouso por 10 minutos e submetido a leitura do pH utilizando um pHmetro digital modelo SP1400 da marca MERSE, devidamente calibrado.

2.2.5.3. Acidez titulável

A análise de acidez titulável foi determinada de acordo com a metodologia de IAL (2008). Utilizou-se 10 g de amostra, solubilizada em água destilada e acrescentou-se 4 gotas do indicador fenolftaleína. Em seguida, titulou-se com solução de NaOH 0,1N até o ponto de viragem. A acidez total é expressa em meq. NaOH 100 g⁻¹.

$$\text{Acidez (\%)} = \left(\frac{V \cdot f \cdot 0,009}{M}\right) \cdot 100 \quad (8)$$

Em que,

V - Volume gasto de NaOH na titulação, mL;

f - Fator da solução de NaOH.

M – Peso da amostra

2.2.5.4. Sólidos solúveis totais

As análises de sólidos solúveis totais foram determinadas de acordo com a metodologia do IAL (2008). As amostras foram pesadas, 10 g de amostra e solubilizada em água destilada, foram submetidas a agitação, e em seguida filtradas. Foi utilizado 1,0 mL de cada amostra para a leitura em refratômetro digital, modelo AR200, marca REICHERT. Os resultados foram expressos em $^{\circ}\text{Brix}$.

2.2.5.5. Minerais

Os minerais (Ca, Fe, K, Mg, P, Mn, Zn e Se) foram caracterizados e analisado por espectrofotometria por absorção atômica (EAA) conforme Embrapa (2009) adaptado. Foram pesadas 0,5 g da amostra e transferidas para os tubos do micro-ondas digestor, modelo Marx Xpress, marca CEM. Depois da digestão, as amostras foram diluídas no balão volumétrico de 50 mL com água Milli-Q, (CRAVOTTO et al. 2017). Amostras em branco foram testadas para eliminar possíveis interferentes. Os valores foram obtidos pelos cálculos em mg 100 g⁻¹:

$$\text{Minerais (mg 100 g}^{-1}\text{)} = \frac{L \cdot V \cdot D}{A} \quad (9)$$

Em que,

M = micro/macro elemento;

L = leitura do branco;

V = volume da amostra;

D = diluição;

A = peso da amostra.

2.2.6. Análise Estatística

Os resultados foram analisados utilizando software estatístico SISVAR® versão 6.0. Para cada temperatura de secagem (40, 50, 60, 70 e 80°C) utilizaram as 4 repetições para as análises, sendo essas realizadas em triplicata. Os dados experimentais foram avaliados por análise de variância (ANOVA) seguida do teste de médias de Tukey a 5% de significância.

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1. Composição proximal

Na Tabela 1, estão descritos os valores de teor de água, lipídeos e cinzas encontrados para as amêndoas das castanhas-do-Brasil submetidas a diferentes temperaturas de secagem. Para o teor de água não houve diferença para as amêndoas secas em diferentes temperaturas de secagem, apresentando a média de teor de água de 5,10 g 100 g⁻¹.

Tabela 1. Valores médios e desvio padrão dos teores de água, lipídeos e cinzas das amêndoas das castanhas-do-Brasil submetidas a diferentes temperaturas de secagem.

Temperaturas (°C)	Teor de água (g 100 g ⁻¹)	Lipídeos (g 100 g ⁻¹)	Cinzas (g 100 g ⁻¹)
40	4,36 ± 0,38 a	66,82 ± 0,63 a	3,71 ± 0,22 a
50	4,96 ± 0,58 a	65,66 ± 0,60 a	3,45 ± 0,57 a
60	5,52 ± 0,51 a	59,42 ± 0,34 c	3,75 ± 0,35 a
70	5,88 ± 0,90 a	62,86 ± 1,25 b	3,50 ± 0,39 a
80	4,84 ± 1,02 a	60,36 ± 2,16 bc	3,26 ± 0,54 a
CV (%)	14,07	1,89	12,48
Média Geral	5,10 ± 0,84	63,03 ± 3,14	3,53 ± 0,43

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, conforme teste de médias Tukey. Coeficiente de variação (CV).

O teor de água para todas amostras se encontra inferior e de acordo com Álvares et al. (2012), que estabeleceram para segurança do armazenamento das amêndoas da castanhas-do-Brasil o teor de água abaixo de 11,0 g 100 g⁻¹. Brasil (2010) descreve que o teor de água deve ser monitorado possibilitando a atividade de água menor que 0,7, assim evitando desenvolvimento de microrganismos patogênicos.

Para que as castanhas e amêndoas sejam estocadas por longos períodos é de fundamental importância o controle do teor de água (LIMA, 2016). De acordo com Kluczkovski (2016), a desidratação prolonga o tempo de prateleira da castanha-do-Brasil e alterações indesejáveis, como a contaminação por fungos. Após a desidratação e, em condições de armazenamento com a umidade relativa controlada, as características sensoriais das castanhas podem ser conservadas por pelo menos oito meses. Silva et al. (2003) em processo de secagem convencional e em micro-ondas, estimaram o teor de água seguro de 3,0 g 100 g⁻¹ para as amêndoas, que apresentaram atividade de água abaixo de 0,60.

Balbi et al. (2014), para determinar a composição nutricional das amêndoas das castanhas-do-Brasil, também utilizaram o teor de água de 4,35 g 100 g⁻¹, sugerindo que nessa condição o produto é pouco perecível pelo baixo teor necessário para a atividade microbiológica da amêndoa.

Em relação aos teores de lipídeos nas amostras, esses diferiram entre as temperaturas, sendo os maiores resultados encontrados nas temperaturas de 40 e 50°C (Tabela 1), que não apresentaram diferença entre si, mas diferiram das três temperaturas mais altas 60, 70 e 80, com os menores valores encontrados nas temperaturas de 60 e

80°C. Estes resultados indicam possível interferência da temperatura e do tempo de secagem no teor de lipídeos.

Elias et al. (2008) relataram que com o aumento da temperatura de secagem o teor de lipídeos sofre redução. Entretanto, ao observar que a amostra seca na temperatura de 70°C difere da temperatura de 60°C, pode-se inferir que o tempo de exposição à temperatura na secagem também influencia na composição lipídica. Nogueira et al. (2014), afirmaram que temperaturas acima de 50°C comprometem as características da castanha, causando rachaduras no tegumento e, conseqüentemente, perda da qualidade final.

Teores de lipídeos entre 59,42 e 65,66 g 100 g⁻¹ foram obtidos, de acordo com Santos et al. (2011), quando descrevem que a castanha-do-Brasil apresenta quantidade significativa de lipídeos entre 60 a 70 g 100 g⁻¹. Por outro lado, Silva (2019) obteve valores de teor de lipídeos entre 62,26 e 65,32 g 100 g⁻¹ e Santos (2015) encontrou concentração de 74,51 g 100 g⁻¹, destacando seu alto valor nutricional.

Para Bobbio (2001) o O₂ é mais solúvel em compostos com baixa polaridade como os lipídeos, pois são relacionadas à ativação do oxigênio singlete (¹O₂) que mesmo em baixa concentração, devido a sua instabilidade reage com átomos de Carbono de um ácido graxo. De acordo com Araújo (2011), este oxigênio não é um radical e sim uma espécie altamente eletrofílica que reage com substâncias de alta densidade de elétrons, como as insaturações presentes nos ácidos graxos. Portanto, estes fatores podem ocorrer em produtos ricos em lipídeos, e podem ter influenciado no rendimento da extração lipídica das amostras secas nas diferentes temperaturas.

Para as amostras de castanha-do-Brasil a análise de cinza necessitou ser adaptada. De acordo com a metodologia, as cinzas das amostras devem se apresentar em tons cinza esbranquiçado, entretanto, foi necessário o dobro de horas para que o resultado fosse alcançado.

Percebe-se que as temperaturas não influenciaram nos valores, apresentando média entre os tratamentos de 3,53 g 100 g⁻¹ (Tabela 1). Medeiros et al. (2010), encontraram valores médios de cinzas para a farinha integral de amêndoa de castanha-do-Brasil de 2,10 g 100 g⁻¹, já para a farinha da amêndoa parcialmente desengordurada foi de 8,85 g 100 g⁻¹. Os valores encontrados para as amêndoas de castanha-do-Brasil submetidas a diferentes temperaturas de secagem assemelham-se aos obtidos por Rocha

& Demczuk Junior (2016) para a castanha de baru (*Dipteryx alata* Vog.), com valor de 3,11 g 100 g⁻¹.

Para Taco (2011) a quantidade de cinzas descrita para a castanha-do-Brasil crua, é de 3,40 g 100 g⁻¹, resultados semelhantes ao encontrado neste trabalho. Já para Souza et al. (2016) os valores de teor de cinzas encontrados em farinha de castanha desengorduradas foram de 4,08 g 100 g⁻¹, sendo para amêndoa de Castanhola (*Terminalia catappa* Linn) o percentual de cinzas obtido foi de 4,6 g 100 g⁻¹ (LUCENA FILHO, 2018).

Na Tabela 2 são apresentados os valores de proteína, carboidratos totais e valor energético das amêndoas da castanha-do-Brasil submetidas a diferentes temperaturas de secagem.

Tabela 2. Valores médios e desvio padrão dos teores de proteína bruta, carboidratos totais e valor energético das amêndoas das castanhas-do-Brasil submetidas a diferentes temperaturas de secagem.

Temperaturas (°C)	Proteína Bruta (g 100 g ⁻¹)	Carboidratos totais (g 100 g ⁻¹)	Valor energético (kcal 100 g ⁻¹)
40	9,83 ± 0,16 c	15,29 ± 0,68 a	701,85 ± 3,64 a
50	10,27 ± 0,78 bc	15,66 ± 0,98 a	694,70 ± 2,63 a
60	15,30 ± 0,72 a	16,01 ± 1,42 a	660,05 ± 1,23 b
70	12,27 ± 1,74 b	15,49 ± 0,27 a	676,77 ± 5,20 b
80	15,48 ± 0,82 a	16,06 ± 0,54 a	669,42 ± 16,00 b
CV (%)	7,81	5,56	1,15
Média Geral	12,63 ± 2,61	15,70 ± 0,83	680,56 ± 17,41

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, conforme teste de médias Tukey. Coeficiente de variação (CV).

As maiores concentrações de proteínas, foram obtidas nas temperaturas de 60 e 80°C, 15,30 e 15,48 (g 100 g⁻¹). Quanto aos teores de proteínas das amêndoas da castanha-do-Brasil secas nas temperaturas de 40, 50 e 70 foram de 9,38, 10,27 e 12,27 g 100 g⁻¹, respectivamente (Tabela 2). Percebe-se que fatores como tempo e temperatura de secagem interferiram nos resultados obtidos.

A amêndoa da castanha-do-Brasil é rica em proteína de alto valor biológico, incluindo a biodisponibilidade dos aminoácidos essenciais como, fenilalanina (95,9 mg g⁻¹) e metionina (71,8 mg g⁻¹), (FREITAS & NAVES, 2010).

Silva et al. (2015) em estudo com a secagem da amêndoa de caju (*Anacardium occidentale*), observaram que a temperatura e tempo de secagem apresentaram efeito

significativo nas análises físico-químicas, indicando que em maiores tempos de secagem a quantidade de proteína obtida foi menor.

Para Fennema (2019), a estrutura proteica é resultado de várias interações atrativas e repulsivas que se originam em forças intramoleculares, assim como da interação com a molécula de água, e qualquer mudança como pH, força iônica, temperatura e agitação afeta a força eletrostática, causando alterações.

Para Tattini Junior et al. (2006) as soluções proteicas são facilmente desnaturadas, mas podem ser estabilizadas pela secagem, entretanto o tempo de exposição e a temperatura podem ocasionar danos aos produtos desidratados como, perda de voláteis, decomposição térmica, ações enzimáticas, assim como a desnaturação de proteínas. No processo de secagem em temperaturas altas, mas abaixo de 100°C, a secagem ocorre de forma mais rápida preservando as características nutricionais. No entanto, o prolongamento de tempo na secagem afeta a qualidade do produto, pois esta depende da cinética de secagem e a quantidade de energia ao longo do tempo (VIEIRA et al., 2012). Os tratamentos de secagem utilizados neste trabalho foram diferenciados em tempo e temperatura, características que podem envolver diferenças expressivas nos resultados finais das análises realizadas.

Santos (2012), descreveu a amêndoa da castanha-do-Brasil como “carne vegetal” pelo alto valor nutritivo e da fração albumina da proteína excelsina que é considerada completa, ou seja, contém todos os aminoácidos indispensáveis, com média de proteína bruta de 18,58 g 100 g⁻¹.

Silva (2019), determinou o teor de proteína da castanha-do-Brasil e obteve o valor de 14,58% e afirma que esse índice é superior a outras castanhas, como a castanha portuguesa (*Castanea sativa* Mill) a cerca de 7,10 g 100 g⁻¹. Para a macadâmia (*Macadamia integrifolia*), Machado (2017) obteve 7,68 g 100 g⁻¹ de proteínas e para a castanha-do-Brasil, encontrou o valor de 11,50 g 100 g⁻¹, assemelhando aos valores obtidos no presente trabalho para as temperaturas menores. Venkatachalam et al. (2006) estabeleceram valores entre 7,50 e 21,5 g 100 g⁻¹ de proteína para castanhas e nozes. De acordo com este percentual, os valores encontrados para as amêndoas da castanha-do-Brasil processadas nas diferentes temperaturas se encaixam nesta faixa.

Para todas as análises assim como a quantificação de proteínas as amêndoas foram despeliculadas e desengorduradas. Entretanto, de acordo com Souza (2013), no processo de extração de lipídeos ocorre a desnaturação das proteínas em farinha de castanha

desengorduradas pelo aquecimento na fração de glutina que é uma proteína de armazenamento; enquanto na porção de albumina a temperatura requerida para desnaturação é maior, possivelmente pela constituição de aminoácidos sulfurados como a cisteína, que em reação promove a formação de dissulfetos. Com esse fato, pode-se inferir que as perdas nos constituintes nutricionais podem ocorrer pelo rompimento da estrutura protetora do fruto.

As temperaturas de secagem não interferiram na quantidade dos teores de carboidratos totais das amêndoas das castanhas (Tabela 2), com média de 15,70 g 100 g⁻¹. Silveira (2015) obteve valores semelhantes de 16,61 e 21,77 g 100 g⁻¹ para as amêndoas e a farinha da castanha-do-Brasil, respectivamente. A diferença pode ser justificada pelo menor teor de água das amêndoas abaixo de 3,0 g 100 g⁻¹ utilizadas pelo autor, que aumenta a concentração das constituintes nutricionais dos alimentos. Enquanto no presente trabalho o teor de água foi a cerca de 5,0 g 100 g⁻¹.

Para a castanha do baru (*Dipteryx alata* Vog.) Alencar (2017) descreveu valor superior, a cerca de 31,42 g 100 g⁻¹. Para a Macadâmia (*Macadamia integrifolia*) o teor de carboidratos encontrados por Fedalto et al. (2018) foi de 7,31 g 100 g⁻¹. Freitas & Naves (2010) encontraram para a castanha-do-Brasil o teor de carboidratos de 6,27 g 100 g⁻¹, que neste caso foi sensivelmente inferior aos dados do presente trabalho. Para os autores existem variações significativas na composição proximal das nozes possivelmente pelas diferentes cultivares, podendo ser explicadas por causa da diferença de clima, solo, práticas agrícolas e características genéticas aliadas a procedências geográficas, condições ambientais e características varietal das amêndoas analisadas.

Outra razão para resultados diferenciados para uma mesma espécie, é descrita por, Souza & Leonel (2010) em que tratamentos térmicos rompem os grânulos de amido causando despolimerização da molécula. Pascoal (2014) em análise termogravimétrica de amido de *S. licocarpum*, observou que em temperatura de 65°C por 10 minutos, os grânulos de amido perderam a cristalinidade e sofreram rompimento.

O valor energético da castanha-do-Brasil não apresentou diferença entre as temperaturas de 40 e 50°C, mas estas foram diferentes das temperaturas de 60, 70 e 80°C, que não diferiram entre si. Observa-se que nas duas temperaturas mais baixas de 40 e 50°C os resultados foram superiores, quando comparadas com as temperaturas mais altas, indicando que menores temperaturas não motivaram alterações. Houve diferença de 7% entre o maior valor em 40°C (680,95 kcal 100 g⁻¹) e para 80°C (649,19 kcal 100 g⁻¹). Isso

se deve aos maiores valores de lipídeos (Tabela 1) para as menores temperaturas, visto que o conteúdo de lipídeos fornece maior teor calórico, conforme descrito na equação 5.

Em noz inglesa (*Juglans regia* L.) o valor energético foi de 650 kcal 100 g⁻¹, que se justifica pelo baixo teor de água e elevada concentração de lipídios nessa classe de alimentos (PERES & GOUVEIA, 2017). Nas nozes Pecã (*Carya illinoensis*), o valor energético foi de 620 kcal 100 g⁻¹ de acordo com Santos (2018) que ainda destaca a heterogeneidade dos compostos nutricionais e funcionais assim como nas castanhas-do-Brasil.

Para outras nozes como a castanhas de Baru (*Dipteryx Alata*) o valor energético foi relatado em 560,30 kcal 100 g⁻¹ (Castro, 2018), 518 kcal 100 g⁻¹ na amêndoa (*Prunus dulcis*), 570 kcal 100 g⁻¹ para a castanha de caju (*Anacardium occidentale* L) e para o coco (*Cocos nucifera*) 407 kcal 100 g⁻¹ (Taco, 2011). Os valores energéticos encontrados para as amêndoas da castanha-do-Brasil neste trabalho estão de acordo com os relatados para diversas espécies de amêndoas.

Na Tabela 3 são apresentados os valores de fibra alimentar total, fibra alimentar solúvel e insolúvel para amêndoas de castanhas-do-Brasil submetidas a diferentes condições de secagem.

Tabela 3. Valores médios e desvio padrão dos teores de fibra alimentar total (FAT), fibra alimentar solúvel (FAS) e fibra alimentar insolúvel (FAI) das amêndoas das castanhas-do-Brasil submetidas a diferentes temperaturas de secagem.

Temperaturas (°C)	FAT (g 100 g ⁻¹)	FAS (g 100 g ⁻¹)	FAI (g 100 g ⁻¹)
40	11,63 ± 0,21 c	3,00 ± 0,07 b	8,63 ± 0,17 c
50	11,91 ± 0,20 c	3,02 ± 0,03 b	8,89 ± 0,19 c
60	13,96 ± 0,61 a	3,81 ± 0,58 a	10,16 ± 0,04 a
70	13,09 ± 0,04 b	3,03 ± 0,03 b	10,06 ± 0,02 a
80	12,84 ± 0,31 b	3,24 ± 0,38 ab	9,60 ± 0,38 b
CV (%)	1,89	9,62	1,46
Média Geral	12,69 ± 0,91	3,22 ± 0,42	9,47 ± 0,64

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, conforme teste de médias Tukey. Coeficiente de variação (CV).

As concentrações de fibra alimentar total (FAT) das amêndoas para os diferentes tratamentos de secagem apresentaram diferença, sendo que a temperatura de 60°C apresentou o maior valor (Tabela 3). Para fibra alimentar solúvel a temperatura de 60°C apresentou valor superior as temperaturas de 40, 50 e 70°C. Enquanto para fibra alimentar

insolúvel os maiores valores foram obtidos para as temperaturas de 60 e 70°C, diferindo dos demais tratamentos.

Observa-se que na temperatura de secagem de 60°C foram obtidos os melhores resultados para o teor de fibras. Para Larrea et al. (2005), longos períodos de secagem e em condições elevadas de temperaturas ocorrem alterações nos valores de fibra pelo rompimento de ligações covalentes e não covalentes entre carboidratos e proteínas associados a fibras, ocasionando a degradação amilácea e, conseqüentemente, alterações nas estruturas das fibras.

O teor de fibra total, expressa a porção do alimento que não é digerido, estão relacionadas ao teor de fibra solúvel e insolúvel, e são representados por resíduo da parede celular dos vegetais que não são hidrolisados pelas enzimas do trato gastrointestinal e podem variar nos diferentes alimentos (grãos, cereais, frutas e leguminosas) da ordem de 3,0 a 11,0 g 100 g⁻¹ (GOMES & OLIVEIRA, 2012). A fibra solúvel é dissolvida pelos fluidos gastrointestinais com liberação de calorías, verificado na Tabela 2, que o aumento do valor energético nas temperaturas de 40 e 50 C podem ser relacionados com a quebra das moléculas de fibra solúvel. Enquanto a fibra insolúvel não é dissolvida e permanece quase inalterada no processo de digestão e não fornece calorías (ANAD, 2017).

Em diferentes tratamentos térmicos com a castanha-do-Brasil, Kluczkovski (2016), encontrou diferentes teores de fibra total: 2,06, 10,56 e 3,66 g 100 g⁻¹ para castanhas *in natura*, desidratada e congelada, respectivamente, sendo justificado devido as diferenças nos valores encontrados nos tratamentos, pela redução do teor de água que afeta o percentual dos demais componentes do alimento.

Souza et al. (2019), em farinha desengordurada do mesocarpo do Pequi (*Caryocar Brasiliense* Cambess) encontraram o valor de fibras totais de 9,65 g 100 g⁻¹. Em castanha Sapucaia (*Lecythis pisonis* Cambess) Demoliner (2018), obteve a quantificação de fibra total de 16,50 g 100 g⁻¹. Em amêndoa de Bocaiuva (*Acrocomia aculeat*) Munhos et al. (2018), obtiveram 15,57 g 100 g⁻¹, demonstrando que castanhas e amêndoas são alimentos com alto teor de fibra. Mas, também são encontrados na literatura, menores valores em outras espécies como a amêndoa da castanha de caju (*Anacardium occidentale*) com 2,58 g 100 g⁻¹ de FAS, e 5,29 g 100 g⁻¹ de FAI (LIMA et al., 2004), e para macadâmia (*Macadamia integrifolia*) descrito por Fedalto et al. (2018) com 0,68 g 100 g⁻¹ de fibra alimentar total.

Nas amêndoas da castanha portuguesa (*Castanea spp*) originárias do norte de Portugal, foi quantificado o teor de fibra total por Moreira (2014) de 16,75 e 10,88 g 100 g⁻¹, respectivamente, para castanha com e sem película. Esse valor é semelhante aos encontrados neste trabalho, com a especificação que as amêndoas de Castanha-do-Brasil utilizadas também foram despeliculadas.

Simões (2015), com utilização da amêndoa de castanha-do-Brasil, obteve os resultados para fibra alimentar total de 8,02 g 100 g⁻¹, fibra alimentar solúvel de 3,12 g 100 g⁻¹ e fibra alimentar insolúvel de 4,89 g 100 g⁻¹. Com a utilização da torta, obteve 15,72 g 100 g⁻¹ para fibra alimentar total, 3,04 g 100 g⁻¹ para fibra alimentar solúvel e 12,67 g 100 g⁻¹ de fibra alimentar insolúvel. Em comparação aos valores descritos na Tabela 3, observa-se que a fibra alimentar solúvel, tanto da amêndoa quanto da torta, foi análoga aos valores encontrados neste trabalho, que variaram de 3,0 a 3,81 g 100 g⁻¹.

Para Silveira (2015), com a utilização da metodologia de digestão da amostra em H₂SO₄ e NaOH diluídos, obteve o teor de fibra alimentar total de 2,31 g 100 g⁻¹, pode-se observar que as variações dos valores de fibra obtidos nas literaturas podem estar relacionadas as diferentes metodologias aplicadas.

2.3.2. Análise físico-química das amêndoas

A Tabela 4 apresenta os valores dos parâmetros instrumentais de cor de amêndoas de castanha-do-Brasil submetidas as diferentes temperaturas de secagem. Na análise de cor da amêndoa da castanha-do-Brasil, a luminosidade não apresentou diferença entre os tratamentos, apresentando média de 75,49.

Tabela 4. Valores médios e desvio padrão dos parâmetros colorimétricos luminosidade, croma e ângulo hue (°Hue) das amêndoas das castanhas-do-Brasil submetidas a diferentes temperaturas de secagem.

Temperaturas (°C)	Luminosidade	Chroma	° Hue
40	73,61 ± 4,31 a	18,98 ± 0,57 a	81,14 ± 1,39 a
50	77,51 ± 0,25 a	18,98 ± 0,53 a	85,05 ± 0,43 a
60	75,92 ± 0,60 a	20,06 ± 0,69 a	85,15 ± 0,64 a
70	76,03 ± 1,90 a	20,99 ± 1,49 a	85,57 ± 1,01 a
80	74,39 ± 1,20 a	24,64 ± 0,86 b	86,87 ± 0,50 b
CV (%)	2,91	4,35	1,03
Média Geral	75,49 ± 2,40	20,73 ± 2,29	84,76 ± 2,12

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, conforme teste de médias Tukey. Coeficiente de variação (CV).

A variável Chroma (Tabela 4), que se refere à vivacidade ou palidez da cor do produto (MORATO, 2017), resultou em valores crescentes de acordo com o aumento da temperatura, mas apresentou diferença apenas na temperatura de 80°C, expressando a redução da luminosidade da cor das amêndoas pelo nível de saturação da cor. Quanto à tonalidade (°Hue), que se refere ao tipo de cor, apenas a temperatura de 80°C diferiu dos demais tratamentos de secagem, indicando tendência para a cor amarelo mais escuro.

Silva (2017) avaliou a cor da farinha de castanha de baru em função da secagem dos frutos em quatro temperaturas, 40, 60, 80 e 100°C, observou-se a redução de L^* , enquanto para a castanha-do-Brasil não houve diferença para este parâmetro, o croma e o °Hue aumentaram conforme ocorreu o aumento da temperatura. Em farinha do mesocarpo do pequi liofilizadas e secas em 40, 50, 60 e 70°C, Souza et al. (2019), relatou a tendência ao escurecimento de acordo com o aumento da temperatura de secagem, o que para as amêndoas da castanha-do-Brasil, avaliadas neste estudo, não interferiu.

Santos (2015) em extrato hidrossolúvel da castanha-do-Brasil com oito tratamentos, obteve os valores consecutivamente para intervalos de L^* , variando de 83,96 a 86,92, sendo os intervalos de L^* próximos aos encontrados neste trabalho. Entretanto, na avaliação de cor após o processo de secagem a literatura é escassa em relação as amêndoas de castanha-do-Brasil. Segundo Francisquini et al. (2017) o escurecimento que ocorre após aquecimento é resultado da reação de Maillard, que é uma reação não enzimática com velocidade lenta em temperaturas mais baixas entre 40 e 70°C, responsável por alterações na qualidade dos alimentos como, cor, sabor e aroma.

Na Tabela 5 estão descritos os resultados das análises de acidez, potencial Hidrogeniônico (pH) e sólidos solúveis. A acidez nas amostras de amêndoas das castanhas-do-Brasil submetidas a diferentes temperaturas de secagem variou de 4,30 a 4,84 meq. NaOH 100 g⁻¹ (Tabela 5), apresentando diferença entre as temperaturas de 60 e 80°C. No entanto, nota-se que a acidez não apresentou tendência clara quanto a influência da temperatura na secagem, já que essa análise indica a qualidade do produto e a degradação dos ácidos graxos médios constituintes dos alimentos (GUIMARÃES & KOBORI, 2016).

Tabela 5. Valores médios e desvio padrão de pH, acidez e sólidos solúveis (° Brix) das amêndoas das castanhas-do-Brasil submetidas a diferentes temperaturas de secagem.

Temperaturas (°C)	Acidez (meq. NaOH 100 g ⁻¹)	pH	Sólidos Solúveis (° Brix)
40	4,75 ± 0,14 ab	6,48 ± 0,03 a	0,25 ± 0,06 b
50	4,57 ± 0,33 ab	6,48 ± 0,04 a	0,17 ± 0,03 b
60	4,30 ± 0,19 b	6,46 ± 0,06 a	0,28 ± 0,10 b
70	4,60 ± 0,24 ab	6,44 ± 0,03 a	0,45 ± 0,06 a
80	4,84 ± 0,82 a	6,24 ± 0,03 b	0,47 ± 0,05 a
CV (%)	4,60	0,62	19,43
Média Geral	4,61 ± 0,27	6,42 ± 0,10	0,32 ± 0,13

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, conforme teste de médias Tukey. Coeficiente de variação (CV).

Em amêndoas de baru (*Dipteryx alata* Vog.) Reis et al. (2019), obtiveram valor de acidez de 1,04 meq NaOH 100 g⁻¹, que indica boa conservação das castanhas e manutenção da qualidade. Cândido et al. (2014) relataram valores de acidez para castanhas-do-Brasil coletadas em diferentes regiões de 3,94; 4,81; 5,20 meq NaOH 100 g⁻¹. Estes valores corroboram com os obtidos no presente trabalho para as amêndoas da castanha-do-Brasil submetidas a secagem em diferentes temperaturas.

Os valores obtidos para a análise de pH, não diferiram para as temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C, apresentando valores próximos a neutralidade. Pinto (2010), descreveu que o pH próximo a neutralidade é uma característica própria de amêndoas. Silva et al. (2016), obtiveram pH entre 5,78 a 6,34 em extrato da castanha-do-Brasil, que assemelham aos valores obtidos neste trabalho que variaram de 6,24 a 6,48.

Entretanto, o valor de pH para as castanhas submetidas a secagem na temperatura de 80°C sofreram acidificação (Tabela 5), demonstrando maior pH entre os demais tratamentos. Segundo Galdino et al. (2016) o valor de pH aumenta em alimentos secos em maiores temperaturas, pois ocorre evaporação mais rápida e aumento da concentração dos ácidos orgânicos.

Em relação ao pH, Cândido et al. (2014) reportaram variação de 6,64; 6,65 e 6,87 para as castanhas submetidas a secagem por 72 horas até o teor de água de 2,8 g 100 g⁻¹, resultados esses ligeiramente superiores aos encontrados neste trabalho (Tabela 5).

As temperaturas de secagem maiores (70 e 80°C) apresentaram maiores teores de sólidos solúveis totais, indicando a transformação de tecidos de reserva em açúcares solúveis. Segundo Reis et al. (2019), após o processamento de farinha de baru, o teor de sólidos solúveis variou possivelmente em decorrência da atividade metabólica em consequência da absorção de água, demonstrando relação direta entre os dois parâmetros.

Fato que pode ter ocorrido durante a manipulação das amêndoas com o término do processo de secagem nas condições de temperaturas mais baixas, ou seja, o tempo decorrido entre a finalização de secagem em todas as temperaturas.

Para Pereira et al. (2005), em pesquisa de avaliação das características físico-químicas do pedúnculo e castanha de caju, o maior grau de sólidos solúveis ocasionou menor grau de doçura e a relação da alteração foi descrita em função de maior acidez entre as amostras. Nota-se o potencial Hidrogeniônico menor para as temperaturas de 70 e 80°C, 6,44 e 6,24, respectivamente, em relação aos demais tratamentos de secagem das amêndoas de castanha-do-Brasil podendo esse fato estar relacionado ao mesmo fator.

O teor de sólidos solúveis está relacionado ao sabor e açúcares, que é um complexo de substâncias voláteis armazenadas durante o desenvolvimento do alimento. E quando tem os valores maiores que os encontrados em diferentes tipos de processamento, indicam a transformação das reservas acumuladas em açúcares solúveis (BORGES FILHO et al., 2016). Para frutos de sabores adocicados os teores de sólidos solúveis são superiores aos encontrados em castanhas, Lobo (2017) descreveu o valor de 13,43 ° Brix para manga da variedade tommy. Em grau de maturação para a uva, Pedro Junior et al. (2014) descreve o teor de 17,4 °Brix.

Para castanhas de caju Soares et al. (2012) descreveram valores de sólidos solúveis entre 0,14 a 0,32° Brix em variedades de cultivo convencional e orgânico. Para o mesocarpo do baru e farinha de amêndoas do baru, Silva (2017) relatou valores entre 6,12 a 2,54; 4,54 a 2,60, respectivamente.

A Tabela 6 apresenta os valores determinados de macrominerais para amêndoas de castanha-do-Brasil submetidas a diferentes condições de secagem.

Tabela 6. Valores médios e desvio padrão referente aos teores de macrominerais potássio (K), cálcio (Ca), fósforo (P), magnésio (Mg) das amêndoas das castanhas-do-Brasil submetidas a diferentes temperaturas de secagem.

Temperaturas (°C)	K (mg 100 g ⁻¹)	Ca (mg 100 g ⁻¹)	P (mg 100 g ⁻¹)	Mg (mg 100 g ⁻¹)
40	682,15 ± 149,40 a	180,90 ± 9,59 a	744,03 ± 61,79 a	825,50 ± 562,76 a
50	954,90 ± 547,34 a	190,40 ± 8,85 a	704,84 ± 29,81 ab	505,50 ± 167,71 a
60	746,40 ± 47,28 a	183,90 ± 22,69 a	729,33 ± 59,89 a	460,00 ± 135,12 a
70	789,40 ± 14,73 a	174,90 ± 9,87 a	621,56 ± 26,73 bc	917,00 ± 711,50 a
80	761,40 ± 66,52 a	181,90 ± 14,33 a	602,78 ± 25,35 c	425,50 ± 210,75 a
CV (%)	32,59	7,71	6,46	68,21
Média Geral	786,85 ± 246,27	182,40 ± 13,50	680,51 ± 70,74	626,70 ± 433,36

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey. Coeficiente de variação (CV).

As temperaturas de secagem não influenciaram nos teores dos minerais K, Ca e Mg (Tabela 6), apresentando média para esses nutrientes de 786,85; 182,40 e 626,70 mg 100 g⁻¹, respectivamente. Essa diferença entre os tratamentos para esses nutrientes demonstra a heterogeneidade das amostras, entretanto, sem apresentar diferença, pelo alto valor expresso no desvio padrão, que indica o quanto as repetições variam a partir das médias obtidas, ou seja, quanto maior o desvio padrão, maior a dispersão em torno da média (FEIJOO, 2010).

Fennema et al. (2019), descreveram que alimentos com teor de Fe, I, Mg e Cu, tendem a maior deterioração oxidativa, que agem como catalizadores inorgânicos. As castanheiras apresentam variações em diversos aspectos desde o tempo de frutificação a quantidade de frutos, assim como nos constituintes nutricionais. Ferreira & Tonini (2009), descreveram esses aspectos existentes entre plantio puro e agroflorestral, com variações de 1 a 33 de frutos produzidos, para árvores com o mesmo tempo de plantio, o número de sementes variando de 10 a 532 por planta.

Para os teores de fósforo (Tabela 6), quanto menor a temperatura de secagem maiores foram as magnitudes deste mineral nas amêndoas. As temperaturas de secagem de 40, 50 e 60°C não diferiram entre si quanto ao conteúdo de P, e as temperaturas de 70 e 80°C apresentaram os menores valores para este mineral. Indicativo de perda desse mineral com influência do aumento de temperatura. Santos et al. (2003) observaram que em diferentes tempos de cozimentos houve perda do teor de fósforo em amostras de brócolis.

De acordo com Fennema et al. (2019) a maioria do fósforo presente nos alimentos encontra-se na forma de fitato, sendo a principal forma de armazenamento de fósforo em sementes. Para Silva & Silva (1999), o fitato é um forte quelante que reage com a disponibilidade de cálcio e proteína podendo formar complexo fitato-proteína solúvel ou cálcio-fitato insolúvel dependendo das condições de pH < 4 e > 6,5, respectivamente. Entretanto, para Lewinski (2009) a quantidade de fitato pode ser reduzido por meio de cocção ou durante fermentação com ativação da enzima fitase.

Em estudo com o extrato da castanha-do-Brasil Santos (2015), obteve as concentrações de K = 850, Ca = 110, P = 1053,25, e Mg = 265 mg 100 g⁻¹ e descreveu que as variações dos teores de minerais podem diferir de acordo com a localização das árvores. No presente trabalho o teor de K (Tabelas 6) se encontra com valores próximos aos citados pelo autor; e os teores de Ca e Mg foram expressivamente superiores.

Resultados distintos e semelhantes ao presente trabalho, foram descritos por Santos (2012), quanto a quantidade de Mg de 325 mg 100 g⁻¹ para a castanha-do-Brasil com teor de água de 3,19 g 100 g⁻¹, para K = 675,0; Ca = 180,0, e P = 610,0 mg 100 g⁻¹. Conforme o pesquisador os níveis dos minerais podem ser variados pelos fatores instrumentais, pontos de amostragem, técnicas de preparo das amostras, metodologia, condições laboratoriais, alterações intrínsecas da matéria-prima, variabilidade genética, riqueza do solo, índice pluviométrico, técnicas de coleta e tipo de plantio.

Dentre os minerais analisados referentes à Tabela 7, Zn e Mn não apresentaram diferença entre os tratamentos. Em relação ao Fe os menores valores ocorreram em 40 e 50°C e os maiores valores nas temperaturas de 70 e 80°C. Esse decréscimo do ferro para as temperaturas menores se deve pela oxidação desse elemento, que ocorre pelo alto tempo de exposição a temperaturas superiores à temperatura ambiente. Segundo Fennema et al. (2019), o elemento ferro, assim como os outros minerais presentes é um composto complexo de íons livres que podem se ligar aos elementos não minerais no alimento gerando equilíbrio térmico ou a formação de quelatos se associando a determinados aminoácidos.

Tabela 7. Valores médios e desvio padrão referentes aos teores de (microminerais) em base seca de ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn) e selênio (Se) das amêndoas das castanhas-do-Brasil submetidas a diferentes temperaturas de secagem.

Temperaturas (°C)	Fe (mg 100 g ⁻¹)	Zn (mg 100 g ⁻¹)	Mn (mg 100 g ⁻¹)	Se (mg 100 g ⁻¹)
40	2,68 ± 0,64 d	4,05 ± 0,44 a	2,80 ± 0,17 a	1,84 ± 0,19 a
50	2,85 ± 0,17 cd	3,75 ± 0,06 a	3,14 ± 0,18 a	1,80 ± 0,22 a
60	3,55 ± 0,24 bc	4,10 ± 0,36 a	3,01 ± 0,65 a	2,10 ± 0,31 a
70	3,90 ± 0,18 ab	3,85 ± 0,17 a	2,84 ± 0,11 a	2,09 ± 0,67 a
80	4,48 ± 0,17 a	3,63 ± 0,13 a	3,00 ± 0,18 a	1,96 ± 0,34 a
CV (%)	9,57	7,04	10,99	19,79
Média Geral	3,49 ± 0,74	3,88 ± 0,30	2,96 ± 0,32	1,96 ± 0,37

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, conforme teste de médias Tukey. Coeficiente de variação (CV).

Lima et al. (2019) quantificaram a composição elementar dos minerais presentes nas amêndoas da castanha-do-Brasil de dois lotes comerciais e obteve variações entre os minerais analisados, justificando as variações substanciais possivelmente, por variações genéticas ou por variação local. Os valores encontrados, 1,17 a 4,70 mg 100 g⁻¹ para Zn, 0,12 a 2,55 mg 100 g⁻¹ para Fe, 0,33 a 1,22 mg 100 g⁻¹ para o Mn.

As castanhas adquiridas para realização deste trabalho, foram coletadas de uma mesma área, e em período de safra definida e mesmo nessas condições as diferenças nutricionais podem ser observadas. Quando são adquiridas comercialmente, a classificação em lotes é caracterizada por tamanho, assim como o tempo de processamento de cada usina beneficiadora das castanhas entre outros aspectos como, estado de origem e tipo de solo, transporte e condições de armazenamento.

Em relação ao teor de selênio das castanhas processadas em diferentes temperaturas de secagem não se observou influência dos tratamentos. Portanto, a temperatura de secagem não influenciou no teor de selênio das amêndoas de castanha-do-Brasil, que apresentou média de 1,96 mg 100 g⁻¹. Silva et al. (2013), em determinação de espécies de selênio na castanha-do Brasil obtiveram o teor de 0,0548 mg 100 g⁻¹ em amostras adquiridas em mercado da cidade de São Paulo. Brito et al. (2014) relataram o teor entre 0,0455 a 0,0917, valores abaixo dos obtidos nos diferentes tratamentos.

Em estudo com castanhas de regiões brasileiras realizado pela EMBRAPA (2016), foi verificado que as concentrações de Se é diferenciada entre regiões produtoras do país. Foi quantificado o teor desse mineral em amêndoas de castanhais nativos dos estados do Mato grosso (variação de 0,05 a 0,2 mg 100 g⁻¹); Acre (0,05 a 0,35); Amapá (2,0 a 8,2) e Amazonas (1,1 a 9,8) demonstrando a variação em até cinco vezes em amêndoas de clones de castanheiras muito próximas, sugerindo que, tanto o solo quanto o genótipo, influenciam na capacidade de absorver o mineral nos teores encontrados. Silva Junior et al. (2017), inclui outros fatores que interferem na concentração como a forma química do Se no solo, potencial redox, mineralogia, fertilizantes minerais e precipitação pluviométrica.

2.4. CONCLUSÃO

A temperatura de secagem influenciou na qualidade nutricional e físico-química das amêndoas da castanha-do-Brasil.

Na secagem, os critérios de tempo e temperatura estiveram relacionados. As amêndoas submetidas a secagem na temperatura de 60°C apresentaram melhores parâmetros na composição proximal e físico-química, bem como mantiveram os constituintes nutricionais.

O teor de macro e microminerais não é influenciado pelas temperaturas de secagem, exceto para os teores de fósforo e ferro.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC. American Association of Cereal Chemists. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. 9 ed. Saint Paul, 2006.

ALENCAR, O. B.GONÇALVES, B. A G. REIS, V. M. Análise físico-química da castanha do baru e análise sensorial do extrato de baru, com e sem torrefação. IFG, Goiás. 2017.

ÁLVARES, V. S.; CASTRO, I. M.; COSTA, D. A.; LIMA, A. C.; MADRUGA, A. L. S. Qualidade da castanha-do-Brasil do comércio de Rio Branco, Acre. ACTA amazônica. V. 42, n. 2, p. 269 – 274. Manaus, 2012.

ANAD. Fibra solúvel e insolúvel: qual é a Diferença. 2017. Disponível em: <https://www.anad.org.br/fibra-soluvel-e-insoluvel-qual-e-a-diferenca/>. Acesso em: 22 Nov, 2019.

AOAC. Association of official agricultural chemists. Official methods of analysis. 18a ed. Washington D.C. 2006.

ARAÚJO, J.M.A. Química de alimentos: Teoria e Prática. UFV, 596 p, 5 ed. Viçosa, 2011.

ASP, N. G.; JOHANSSON, C. G.; HALLMER, H.; SILJESTROEM, M. Rapid enzymatic assay of insoluble and soluble dietary fiber. Journal of Agricultural and Food. v. 31, n. 3, p. 476-482, 1983.

BALBI, M. E.; PENTEADO, P. T. P. S.; CARDOSO, G.; SOBRAL, M. G.; SOUZA, V. R. Castanha-do-Pará (*Bertholletia Excelsa* Bonpl.): Composição química e sua importância para saúde; Visão Acadêmica. v.15, n. 2, p. 51- 63, 2014.

BOBBIO, P. A. Química do processamento de alimentos. 114 p, 3 ed. Varela. São Paulo, 2001.

BORGES FILHO, B.; BARREIROS. L M.; OLIVEIRA. S. L. OLVEIRA, T. A Medida da Doçura da Fruta. Cartilha Técnica. Ceagesp. 17 p. 2016. Disponível em: <https://www.hortibrasil.org.br/images/Brix02022017.pdf>. Acesso em: 24 Set 2019.

BRASIL - Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. Gabinete do Ministro
Instrução Normativa N° 11. 2010. Disponível

em:<<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/normativos-dipov/IN11.pdf>> Acesso em: 30 Out, 2019.

BRITO, R. C.M.; JUNIOR, J. B. P.; DANTAS, K. G. F. Determinação de selênio em castanha-do-Brasil e seus produtos. 37a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química (SBQ). Natal – RN. 2014.

CÂNDIDO, L. D. W.; DURIGAN, M. F. B.; MIRANDA, A.; COSTA, E.; TEIXEIRA, R. Qualidade de Castanhas-do-Brasil *Bertholletia excelsa* H. (Lecythidaceae) Cultivadas em três diferentes áreas de Roraima. IX Semana Nacional de Ciência e Tecnologia, 2014.

CASTRO, M. S. S. KWIATKOWSKI, A. SILVA, A. G. P. ; DANIEL, A. B. R. SOUZA, G. S. Avaliação nutricional de Amêndoas de baru e elaboração de creme das amêndoas. Anais do agroecol. v. 13. Campo Grande/ MS, 2018.

CRAVOTTO, G.; CARNAROGLIO, D.; CINTAS, P. Microwave Chemistry. 551 p. Ed. Gruyter, 2017.

DEMOLINER F.; POLICARPI, P. B.; RAMOS, J. C.; BASCUÑAN, V. L. A. F.; FERRARI, R. A.; JACHMANIÁN, I.; CASAS, A. F.; VASCONCELOS, L. F. L. BLOCK, J. M. Sapucaia nut (*Lecythis pisonis* Cambess) and its by-products: A promising and underutilized source of bioactive compounds. Part I: Nutritional composition and lipid profile. Food Research International. v. 108, p. 27-34, 2018.

EMBRAPA. Agroindústria de Alimentos. Coletânea de métodos analíticos para determinação de fibra. 35 p, Rio de Janeiro, 2011.

EMBRAPA. Food security, nutrition and health. Quantidade de selênio nas castanhas-do-brasil varia de acordo com região. 2016. Disponível em:<<https://www.embrapa.br/en/agrossilvipastoril/busca-de-noticias/-/noticia/11010983/quantidade-de-selenio-nas-castanhas-do-brasil-varia-de-acordo-com-regiao>>. Acesso em: 02 Fev, 2019.

EMBRAPA Informação Tecnológica. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes . 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF, 2009.

ELIAS, M. C. CRUZ, D. B. PASA, E. H. ELIAS, B. B. SILVA, J. G. OLIVEIRA, M. Efeitos da Temperatura de Secagem e do Tempo de Armazenamento na Composição Química de Sorgo Granífero. UFP,RS. 2008. Disponível em: http://eventos.abrapos.org.br/anais/paperfile/910_20181103_02-56-34_859.pdf. Acesso em: 26 Out, 2019.

- FEDALTO, M. B. STOFELLA, N. C. F. GOMES, D. L. MAAS, N. C. MUNOZ, M. M. SILVA, M. S. FLORENTINO, I. BALBI, M. E. Composição centesimal e nutricional da macadâmia (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betch) e análise do seu perfil lipídico relacionado à terapêutica. *Visão Acadêmica*, n. 4. Curitiba, PR. 2018.
- FEIJOO, A. M. L. C. Medidas de dispersão. In: *A pesquisa e a estatística na psicologia e na educação* [online]. Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais, p. 23-27. Available from SciELO Books, 2010.
- FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN. S. Química de alimentos de Fennema. Atmed, 5 ed. Porto Alegre, 2019.
- FERREIRA, L. M. M.; TONINI, H. Comportamento da castanha-do-brasil (*bertholletia excelsa*) e da cupiúba (*goupia glabra*) em sistema agrosilvicultural na região da Confiança, Cantá - Roraima. *Acta Amazônica*, Manaus, v.9, n.4, 2009.
- FOOD INGREDIENTS BRASIL. A Desidratação na conservação dos alimentos. n. 38 – fi.com.br/upload_arquivos/201607/2016070041261001469734800.pdf> Acesso em: 11 Out, 2019.
- FRANCISQUINI, J. d'A.; MARTINS, E.; SILVA, P. H. F.; SCHUCK, P.; PERRONE, Í. T.; CARVALHO, A. F. Reação de maillard: Uma revisão. *Rev. Inst. Laticínios Cândido Tostes*.v. 72, n. 1, p. 48- 57, Juiz de Fora, 2017.
- FREITAS. J. B. NAVES, M. M. V. Composição química de nozes e sementes comestíveis e sua relação com a nutrição e saúde. *Revista de Nutrição*, v.23, p. 269-279, Campinas, SP. 2010.
- GALDINO, P. O.; MELO, B. H. S.; LIMA, J. M.; SANTIAGO, Â. M. Produção de banana-passa obtida por processos combinados de desidratação osmótica e secagem convectiva. XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos – FAURGS. Gramado, 2016.
- GOMES, J. C. OLIVEIRA, G. F. Análises físico-químicas de Alimentos. 303 p. Viçosa, 2012.
- GONÇALVES, E. C. B. A. Análises de alimentos - uma visão química da Nutrição. 4 ed, 338 p. São Paulo, 2015.
- GUIMARÃES, M. C.; KOBORI, C. N. Caracterização físico-química da amêndoa e do óleo extraído do baru provenientes de Minas Gerais. XXV Congresso Brasileiro de Ciências e Tecnologia de Alimentos. FAURGS, 2016.

IAL. Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de Alimentos - São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008 p. 1020, São Paulo.

KLUCZKOVSKI, A.; MARTINS, M.; FRANCISCO, A.; DOMINGUES, E. R.; BARBOSA, H. T. B. Efeito de diferentes tratamentos térmicos em componentes da castanha-Do-Brasil. Gramado, RS. 2016.

LARREA, M. A.; CHANG, Y. K.; BUSTOS, F. M. Effect of some operational extrusion parameters on the constituents of orange pulp. Food Chemistry, v. 89, p. 301-308, 2005.

LEWINSKI, I. W. O que são fitatos? Disponível em: <https://nutritotal.com.br/pro/o-que-sa-o-fitatos/>. Informativo, 2009. Acesso em: 21 Jan 2020.

LEWINSKI, I. W. O que são fitatos? Disponível em: <https://nutritotal.com.br/pro/o-que-sa-o-fitatos/>. Informativo, 2009. Acesso em: 21 Jan 2020.

LIMA, L. W.; STONEHOUSE, G. C.; WALTERS, C.; EL MEHDAWI, A. F.; FAKRA, S. C.; PILON-SMITS, E. A. H. Selenium Accumulation, Speciation and Localization in Brazil Nuts (*Bertholletia excelsa* H.B.K.). Revista Plants (Basel), v.8, n. 8, p. 17, 2019.

LIMA, R. C. Determinação do Teor de Água da Castanha-do-Brasil por Micro-Ondas. TCC (Graduação em engenharia agrícola) apresentado a Universidade Federal de Mato Grosso, 27 f, 2016.

LIMA, A. C.; PEZOA, G. N. H.; LIMA, J. R. Obtenção e Caracterização dos Principais Produtos do Caju. Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos (Impresso), v. 22, p. 133-144. Paraná, 2004.

LOBO, F. A. T. F. Desidratação de polpa de manga da variedade tommyatkins por foammatdrying, visando à retenção de compostos bioativos e à formulação de alimentos com apelo de funcionais. Tese (Doutorado em Farmácia) apresentada a Universidade Federal Fluminense. 155 p, 2017.

LUCENA FILHO, I. V. Elaboração da farinha da amêndoa da castanhola (*Terminalia catappa* Linn) e avaliação da composição centesimal e das propriedades funcionais tecnológicas. 35 p. TCC (Tecnologia em Alimentos) apresentado a Universidade Federal da Paraíba, 2018.

MACHADO, A. L. B. Desenvolvimento de extrato hidrossolúvel à base de castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*) e macadâmia (*Macadamia integrifolia*). Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) apresentado a Universidade Federal de Goiás. 108 f. 2017.

- MEDEIROS, M. J. OLIVEIRA, P. A. A. C. Souza, J. M. L. Silva, R. F. Souza, M. L. Composição química de misturas de farinhas de banana verde com castanha-do-brasil. Revista IAL. v. 69, n.3 São Paulo, 2010.
- MESQUITA, C. M.; REZENDE, J. E.; CARVALHO, J. S.; FABRI JÚNIOR, M. A.; MORAES, N. C.; DIAS, P. T. CARVALHO. R. M.; ARAÚJO, W. G. Manual do café: colheita e preparo (*Coffea arábica* L.). 52 p. il. EMATER-MG. Belo Horizonte, 2016.
- MERRIL, A. L.; WATT, B. K. Energy value of foods: basis and derivation. Washington, DC: US Department of Agriculture, 1973 (Agriculture Handbook, 74).
- MORATO, R. G. MACHADO. R. P. P. Cores. Usp. 2017. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2612831/mod_resource/content/2/7%20Cores2017.pdf. Acesso em: 24 Nov, 2019.
- MOREIRA, A. C. V. Obtenção e caracterização da farinha de castanha (*Castanea* spp.) e seu potencial de aplicação em produtos de panificação. 151 f. Dissertação (mestrado em Tecnologia de Alimentos) apresentada a Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, 2014.
- MUNHOZ, C. L.; GUIMARÃES, R. C. A.; NOZAKI, V. T.; ARGANDOÑA, E. J. S.; MACEDO, M. L. R. Composição Química e de Fatores Antinutricionais de Frutos de Bociuva. *Ambiência Guarapuava* v.14, n. 1, p. 212 – 224. Paraná, 2018.
- MÜLLER, C.H. FIGUEIREDO, F.J.C. KATO, A. K. CARVALHO, J. E. U. STAIN, R. L. B. SILVA, A.B. Coleção plantar: Castanha-do-Brasil. 65 p. Brasília, 1995.
- NOGUEIRA, R. M.; RUFFATO, S.; CARNEIRO, J. S.; PIRES, E. M.; ALVARES, V. S. Avaliação da carbonização do ouriço da castanha-do-brasil em forno tipo tambor. *Scientific Electronic Archives*, v. 6, p. 7-17, 2014.
- OLIVEIRA, E. N. A. SANTOS, C. Tecnologia e processamento de frutos e hortaliças. 234 p. Natal, RN. 2015. Disponível em: <http://portal.ifrn.edu.br/campus/paudosferros/arquivos/livro-tecnologia-e-processamento-de-frutos-e-hortalicas>>Acesso em: 14 Out,2019.
- PASCOAL, A. M. Extração e caracterização de amido de lobeira (*Solanum lycocarpum*). *Semantic Scholar*. 2014. Disponível em:><https://www.semanticscholar.org/paper/Extra%C3%A7%C3%A3o-e-caracteriza%C3%A7%C3%A3o-do-amido-de-lobeira-Pascoal/46df8a19e7677945e7b8b863942894b65cdf8654#related-papers>>Acesso em: 23 Fev, 2020.

- PEDRO JÚNIOR, M. J.; HERNANDE, J. L.; BLAIN, G. C.; CAMPAROTTO, L. B. Curva de maturação e estimativa do teor de sólidos solúveis e acidez total em função de graus-dia: Uva IAC 138-22 'Máximo'. Revista Bragantia, Campinas, v. 73, n. 1, p. 81-85, 2014.
- PEREIRA, M. T.; CORREA, H. C. T.; NIETSCHKE, S.; MOTA, W. F.; MARQUES, S V. Caracterização físico-química de pedúnculos e castanhas de clones de cajueiro-anão precoce nas condições do norte de Minas Gerais. Revista Bragantia vol. 64, n. 2, 2005.
- PERES, M.F.; GOUVEIA, C. Composição química e propriedades bioativas da noz (*Juglans regia* L.). Agroforum: Revista da Escola Superior Agrária de Castelo Branco. ISSN 0872-2617. Ano 25:38, p. 19-24, 2017.
- PINTO, N. A. V. D.; SILVA, V. D.; BATISTA, A. G.; VIEIRA, G.; SOUZA, C. D.; DUMONT, P. V.; SANTOS, G. D. Características físico-químicas da Amêndoa de Macaúba e Seu Aproveitamento na Elaboração de Barras de Cereais. Revista Alimentos e Nutrição, Araraquara v.21, n.1, p. 79-86, jan./mar. 2010.
- ROCHA, F.; DEMCZUK JUNIOR, B. Caracterização química e física da amêndoa do baru (*Dipteryx alata* Vog.). In: VII Simtea e VI EPEA. Campo Mourão, 2016.
- REIS, V. B. S. X. CAMPOS, A. J. ARAUJO, K. K. S.MELO, P. C.REIS, J. L. Avaliação de amêndoas de baru *in natura* armazenadas em diferentes embalagens. Revista de Ciências Agrárias, v. 42, n. 2, p.539-546, 2019.
- SANTOS, L. L. Estudo da composição química e avaliação das atividades biológicas de *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch (Juglandaceae). 87 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) apresentada a Universidade Federal de Alfenas-UNIFAL/ MG. 2018.
- SANTOS, M. A. T.; ABREU, C. M. P.; CARVALHO, V. D. Efeito de diferentes tempos de cozimento nos teores de minerais em folhas de brócolis, couve-flor e couve (*Brassica oleracea* L.). Revista Ciência e Agrotecnologia, v.27, n.3, p.590-596, 2003.
- SANTOS, M. G. Avaliação de estabilidade do extrato hidrossolúvel de castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*). Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) apresentada a Universidade Federal de Goiás. 78 f, 2015.
- SANTOS, O. V. CORRÊA, N. C. F. LANNES, S. C. S. Caracterização Física, Físico-química, Microbiológica e Micotoxicológica da Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* H. B. K.). Revista. Iluminart, n. 7, 2011.

SANTOS, O. V. Estudos das potencialidades da castanha-do-Brasil: Produtos e subprodutos. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) apresentado a Universidade de São Paulo. 214 f, 2012.

SCOLES, R.; CANTO, M. S.; ALMEIDA, R. G.; VIEIRA, D. P. Sobrevivência e frutificação de *Bertholletia excelsa* Bonpl. em áreas desmatadas em Oriximiná, Pará. *Floresta Ambiente*, v.23, n. 4, 2016.

SILVA, B. P. P. C. Avaliação das características físico-químicas das amêndoas da castanha do Brasil (*Bertholletia Excelsa*) e da castanha Portuguesa (*Castanea Sativa* Mill). 43 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Agronomia) apresentado à UFRA - Universidade Federal Rural da Amazônia, 2019.

SILVA, C. M. S.; MARTINS, G. A. S.; ALVES, D. G.; CONTE, C. G.; ADORNO, W. T.; SOUSA, J. P. Otimização do processamento da amêndoa da castanha de caju torrada. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v.17, n.1, p. 65-74, 2015.

SILVA D. V. Propriedades nutricionais, físicas, químicas e tecnológicas funcionais das farinhas de baru (*Dipteryx alata* Vogel) em função de diferentes condições de secagem do fruto. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) apresentada ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde. 113 f, 2017.

SILVA, E. G.; MATAVELI, L. R. V.; ARRUDA, M. A. Z. Speciation analysis of selenium in plankton, Brazil nut and human urine samples by HPLC–ICP-MS. *Talanta: The International Journal of Pure and Applied Analytical Chemistry*. v. 110, p. 53-57, 2013.

SILVA, F. A. MARSAIOLI, Jr. A. Atividade de Água em amêndoas de castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*) secas por microondas e convencionalmente. Departamento de Engenharia de Alimentos FEA/UNICAMP. Campinas, SP. 2003. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, v. 5, n. 1, p 23- 32. 2003.

SILVA JÚNIOR, E. C.; WADT, L. O.; SILVA, K. E.; LIMA, R. M. B.; BATISTA, K. D.; GUEDES, M. C.; CARVALHO, G. S.; CARVALHO, T. S.; REIS, A. R. ; LOPES, G.; GUIMARÃES, G. L. R. Natural variation of selenium in Brazil nuts and soils from the Amazon region. *CHEMOSPHERE* , v. 188, p. 650-658, 2017.

SILVA, M. R.; SILVA, M. A. A. P. Aspectos nutricionais de fitatos e taninos. *Revista de Nutrição*, Campinas, v. 12, p. 5-19, 1999.

- SILVA, P. R.; MIRANDA, B. M.; SILVA, F. A.; SANTOS, M. G.; CARDOSO, C. F. Caracterização química do extrato hidrossolúvel de castanha-do-Brasil. Congresso Brasileiro de Tecnologia de Alimentos. Árvore da vida, 2016.
- SILVEIRA, C. S. Caracterização Físico-química e Avaliação Biológica de Produtos da Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* H. B. K.). 146 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) apresentada a Universidade Federal de Pelotas, 2015.
- SIMÕES, R. H. Desenvolvimento de extrato hidrossolúvel de *Bertholletia excelsa* H. B. K. (castanha-do-Brasil) condensado. 51 f. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) apresentado a Universidade Federal do Amazonas, 2015.
- SOARES, D. J.; CAVALCANTE, C. E. B.; CARDOSO, T. G.; FIGUEIREDO, E. A. T.; MAIA, G. A.; SOUSA, P. H. M.; FIGUEIREDO, R.W. Study of the stability of cashew nuts obtained from conventional and organic cultivation. Semina: Ciências Agrárias, v. 33, n. 5, p. 1855-1868, Londrina, 2012.
- SOUZA, A. L. G. FERREIRA, M. C. R. CORRÊA, N. C. F. SANTOS, O. V. Aproveitamento dos Resíduos de Extração de Óleo da Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*) em produtos alimentícios ricos em proteínas, lipídios e fibras. Revista Pan-Amazônica de Saúde, v.7, n.4. Ananindeua/ Belém, Pa. 2016.
- SOUZA, J. M. L. Caracterização e efeitos do armazenamento de amêndoas com películas e despelculadas sobre propriedades das frações proteica e lipídica de castanha-do-Brasil. 127 f. Tese (Doutorado em Ciência e tecnologia de alimentos) apresentada a Universidade Federal de Pelotas, 2013.
- SOUZA, L. B.; LEONEL, M. Effect of the fiber content and operational extrusion parameters on the pasting characteristics of cassava starch and orange pulp mixture. Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 30, p. 686-692, 2010.
- SOUZA, J. L. F.; OLIVEIRA, D. E. C.; PLACIDO, G. R.; EGEA, M. B.; CALIARI, M.; SILVA, M. A. P. Thermodynamic and nutritional properties and drying kinetics of pequi (*Caryocar brasiliense* Cambess) mesocarp. Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental (impresso). v. 23, p. 655-661, 2019.
- TACO - Tabela brasileira de composição de alimentos -. 4. ed. revisada e ampliada Campinas: UNICAMP/NEPA, 161 p. 2011.
- TATTINI JR., V.; PARRA, D. F.; PITOMBO, R. N. M. Influence of cooling rate on the structural and phase changes during lyophilization of bovine serum albumin. Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences, v. 42, n. 1, 2006.

VENKATACHALAM, M. Sathe, S. K. Chemical Composition of Selected Edible Nut Seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 28; 54 (13), 2006.

VIEIRA, A. P.; NICOLETI, J.F.; TELIS, V.R.N. Liofilização de fatias de abacaxi: avaliação da cinética de secagem e da qualidade do produto. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 15, n.1, p.50 – 58, 2012.

CAPÍTULO II. ISOTERMAS DE DESSORÇÃO DAS AMÊNDOAS DAS CASTANHAS-DO-BRASIL

Resumo: As amêndoas quebradas durante a fase de beneficiamento apresentam alto potencial econômico e nutricional dos produtos da castanheira-do-Brasil. No entanto, faz-se necessário o estudo do teor de água seguro de armazenamento deste produto em diferentes temperaturas. Assim, objetivou-se determinar as isotermas de dessecção das amêndoas das castanhas-do-Brasil quebradas durante o beneficiamento, bem como selecionar o melhor modelo para sua representação. Foram utilizadas castanhas-do-Brasil coletadas na região amazônica, as amêndoas foram extraídas com o auxílio de uma lâmina no formato de guilhotina, sendo utilizadas para determinação das isotermas as amêndoas partidas durante este beneficiamento, que apresentaram espessura de 0,5 a 2,0 cm. As isotermas de dessecção foram obtidas pelo método estático-indireto, nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C, com os teores de água variando entre 13,00 e $1,60 \pm 0,08\%$ base seca. Aos dados experimentais foram ajustados modelos matemáticos comumente utilizados na literatura. Observou-se que a relação da atividade de água com o teor de água das amêndoas das castanhas-do-Brasil quebradas e a temperatura de armazenamento, são diretamente proporcionais. Os modelos de Halsey Modificado, Harkins, Sigma Copace, Oswin Modificado e GAB Modificado podem ser utilizados para representar as isotermas das amêndoas das castanhas-do-Brasil quebradas. O modelo de Sigma Copace apresenta o melhor ajuste e foi utilizado para descrição das isotermas. Os limites seguros de teor de água para armazenamento das amêndoas das castanhas-do-Brasil quebradas são de 5,29; 5,14; 5,00 e 4,87% b.s. para as temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C, respectivamente.

Palavras-chave: *Bertholletia excelsa* H. B. K; Atividade de água; Sigma Copace.

CHAPTER II. DESORPTION ISOTHERMS OF BRAZIL NUTS ALMONDS

Abstract: Brazil nuts can be commercialized with or without beneficiation, and processed almonds need information about the safe storage water content of it at different temperatures. Therefore, this work aimed to determine the desorption isotherms of the processed Brazil nuts, as well as to select the best model for their representation. Brazil nuts collected in the Amazon region were used, the almonds were extracted and processed in a thickness of 0.5 mm to 2 cm. The desorption isotherms were obtained by the static-indirect method at temperatures of 10, 20, 30 and 40°C, with moisture contents varying between 13.00 and $1.60 \pm 0.08\%$ dry base. Mathematical models commonly used in the literature were adjusted to the experimental data. It was observed that the relationship of the water activity with the moisture content of processed Brazil nuts and the storage temperature are directly proportional. Models of Modified Halsey, Harkins, Sigma Copace, Modified Oswin and Modified GAB can be used to represent the isotherms of processed Brazil nut almonds. The Sigma Copace model has the best fit and has been used for isotherms description. The safe moisture content limits for processed Brazil nuts storage are 5.29; 5.14; 5.00 and 4.87% (d.b.) for temperatures of 10, 20, 30 and 40°C, respectively.

Keywords: *Bertholletia excelsa* H. B. K; Water activity; Sigma Copace.

3.1. INTRODUÇÃO

A castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* H. B. K.), é uma espécie nativa da Amazônia de árvores que possuem altura entre 45 e 50 metros, podendo atingir idades entre 361 a 401 anos (SCHÖNGART et al., 2015). Também conhecida como castanha da Amazônia, tem sua distribuição influenciada significativamente pela ação humana, sendo encontrada com maior densidade nas proximidades de ocupações de populações tradicionais na região amazônica (THOMAS et al., 2015).

A coleta dos frutos da castanha é sua forma mais difundida de exploração, com a produção máxima a partir dos 240 anos, em condições naturais (MACHADO et al., 2017). A cadeia produtiva da castanha, contribui gerando grande quantidade de empregos e renda para os trabalhadores envolvidos, além de ser amplamente consumida pelo alto valor nutricional (DIONISIO et al., 2019).

As castanhas podem ser comercializadas com ou sem o beneficiamento, inteiras ou quebradas. Durante as etapas de beneficiamento das castanhas é gerada uma quantidade de amêndoas quebradas que possuem valor econômico e nutricional. As castanhas podem ser vendidas desidratadas, semidesidratadas ou a granel (sem beneficiamento). As amêndoas (castanhas sem casca) são obtidas quebrando manualmente e podem ser comercializadas com ou sem película (SEBRAE, 2016). Parte das amêndoas também são comercializadas partidas ou quebradas, sendo essas oriundas das etapas de beneficiamento, em que ocorre a partição dos cotilédones que compõem a amêndoa. Este produto apresenta menor valor de mercado, sendo que nesta forma processada se apresenta com potencial na utilização em receitas culinárias e consumo *in natura*.

No Brasil, a produção dos frutos de *B. excelsa* H. B. K., demanda a implementação de metodologias aplicáveis nas etapas subsequentes ao cultivo, e o produto obtido necessita de tratamento que possibilite a conservação por tempo suficiente até ser absorvido pelo mercado (BOTELHO et al., 2019). Durante o armazenamento, é importante que se conheça a relação estabelecida entre o produto, a temperatura e a água presente no alimento, pois nos processos envolvidos na pós-colheita de produtos higroscópicos, essa exposição pode influir na qualidade (CORRÊA et al., 2015).

Durante o armazenamento os produtos vegetais têm a capacidade de ceder ou absorver água do ambiente, tendendo a manter constantemente a relação de equilíbrio entre o teor de água e as condições do ar ambiente, e esta relação pode ser descrita a partir das curvas das isotermas de sorção. As curvas de equilíbrio higroscópico são obtidas a

partir de expressões matemáticas, que fornecem a relação entre o teor de água de um produto e a umidade relativa de equilíbrio ou atividade de água, para uma temperatura específica (CORRÊA et al., 2005).

A água presente nos alimentos pode ter grande participação nos processos de degradação, por meio da atividade de água, que define a proliferação de microrganismos e reações hidrolíticas, influenciando a intensidade e a velocidade com que vão ocorrer. Assim, os processos que intuem diminuir o teor de água em um alimento, resultam na diminuição da perecibilidade (FENNEMA et al., 2019). A aplicação de estudos sobre a higroscopicidade e as isotermas de sorção visam suprimir possíveis alterações causadas pela ação microbiana durante o armazenamento (SILVA et al., 2018).

Assim, objetivou-se determinar as isotermas de dessorção das amêndoas das castanhas-do-Brasil quebradas durante o beneficiamento, bem como selecionar o melhor modelo para representação, estimando os teores de água seguros para armazenamento em diferentes condições.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Pós-colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – IF Goiano, localizado no município de Rio Verde, GO, Brasil. Os frutos foram coletados na zona rural da cidade de Manaus-AM, especificamente em propriedades da comunidade “Ramal do Mira”, localizada as margens da BR 319, entre os municípios de Manaus e Careiro Castanho-AM.

O beneficiamento das amêndoas consistiu primeiramente na retirada do tegumento lenhoso com auxílio de lâmina em formato de guilhotina, em seguida procedeu-se a retirada das películas das amêndoas e o corte na espessura entre 0,5 a 2,0 cm.

A determinação dos teores de água do produto seguiu metodologia da AOAC (2006), em estufa com ventilação de ar forçada a 105°C durante 24 horas, em triplicata, contendo 15 gramas de amostra. As amêndoas quebradas *in natura* apresentaram teor de água médio de 19,6% b.s. (base seca).

Para obtenção dos diversos teores de água das amêndoas quebradas foram submetidas ao processo de secagem em estufa, com ventilação de ar forçada com temperatura de 50°C. O monitoramento do teor de água foi realizado pelo método

gravimétrico, conhecendo-se o teor de água inicial do produto, até atingir a faixa de teor de água entre 13,0 e $1,6 \pm 0,08\%$ b.s.

As isotermas de dessecção das amêndoas quebradas foram determinadas utilizando-se o método estático-indireto, sendo a atividade de água (a_w) determinada por meio do equipamento hygropalm model aw1. Foram utilizadas três amostras para cada teor de água, com aproximadamente 40 g por amostra, que foram acondicionadas no equipamento, vedadas e, posteriormente, inseridas em câmara tipo B.O.D. regulada nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C. A variação da faixa de temperatura foi definida em função das diferentes condições de armazenamento deste produto, seja em temperatura ambiente, variando entre 20 e 40°C em diferentes regiões do Brasil, bem como em temperaturas resfriadas de até 10°C em ambientes controlados.

Após a estabilização simultânea da temperatura e da atividade de água, realizou-se a leitura destas variáveis no equipamento e determinou o teor de água final para cada amostra, seguindo a metodologia de AOAC (2006). Aos dados experimentais, foram ajustados os modelos matemáticos frequentemente utilizados para representação da higroscopicidade de produtos vegetais (COSTA et al., 2015, OLIVEIRA et al., 2017a; BOTELHO et al., 2019), conforme equações apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para prever as isotermas de dessecção das amêndoas das castanhas-do-Brasil

Designação do modelo	Modelo	
$X_e = a - b \cdot \ln[-(T + c) \ln(a_w)]$	Chung-Pfost	(1)
$X_e = \exp[a - (b \cdot T) + (c \cdot a_w)]$	Copace	(2)
$X_e = \exp[a - (b \cdot T) / -\ln(a_w)]^{1/c}$	Halsey Modificado	(3)
$X_e = a \cdot (a_w^{b/T^c})$	Sabbah	(4)
$X_e = \exp[a - (b \cdot T) / (c - \ln(a_w))]$	Harkins	(5)
$X_e = \exp\{a - (b \cdot T) + [c \cdot \exp(a_w)]\}$	Sigma Copace	(6)
$X_e = [\ln(1 - a_w) / -a \cdot (T + b)]^{1/c}$	Henderson Modificado	(7)
$X_e = [\ln(1 - a_w) / (-a \cdot (T + 273,15))]^{1/b}$	Henderson	(8)
$X_e = (a + b \cdot T) [a_w / (1 - a_w)]^{1/c}$	Oswin Modificado	(9)
$X_e = (a \cdot b \cdot a_w) \cdot \left[\frac{(c/T)}{(1 - b \cdot a_w + (c/T) \cdot b \cdot a_w) \cdot (1 - b \cdot a_w)} \right]$	GAB Modificado	(10)

Em que: X_e - Teor de água de equilíbrio, % b.s; a_w - Atividade de água, decimal; T - Temperatura, °C; a, b, c - Coeficientes que dependem do produto.

O ajuste dos modelos matemáticos foi realizado utilizando a análise de regressão não linear, pelo método Gauss Newton. Para a seleção do melhor modelo, considerou-se a significância dos coeficientes dos modelos pelo teste t, a magnitude do coeficiente de determinação (R^2), do erro médio estimado (SE), os valores do erro médio relativo (P) e o teste de *Qui*-quadrado (χ^2) ao nível de significância de 0,01 e o intervalo de confiança a 0,99 ($p < 0,01$). O erro médio estimado e relativo, bem como o teste de *Qui*-quadrado para cada um dos modelos, foram calculados conforme as equações 11, 12 e 13, respectivamente:

$$SE = \sqrt{\frac{\sum(Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (11)$$

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (12)$$

$$\chi^2 = \sum \frac{(Y - \hat{Y})^2}{GLR} \quad (13)$$

em que:

Y - Valor experimental;

\hat{Y} - Valor estimado pelo modelo;

n - Número de observações experimentais; e,

GLR - Graus de liberdade do modelo (número de observações menos o número de parâmetros do modelo).

Além disso, foram utilizados os critérios de AIC e BIC para auxiliar na escolha do modelo matemático, assim como Ferreira Junior et al. (2018), utilizaram no ajuste de modelos nas isotermas de *Hymenaea stigonocarpa* Mart. O AIC é usado para comparar modelos não aninhados ou quando estão sendo comparados três ou mais modelos. Menores valores de AIC refletem melhor ajuste (AKAIKE, 1974). O AIC pode ser definido através da seguinte equação.

$$AIC = -2 \log\text{like} + 2p \quad (14)$$

em que:

p - Número de parâmetros; e,

loglike - Valor do logaritmo da função de verossimilhança considerando as estimativas dos parâmetros.

O BIC também considera o grau de parametrização do modelo, e da mesma forma, quanto menor for o valor de BIC (SCHWARZ, 1978), melhor será o ajuste do modelo. O BIC é um critério assintótico, cuja adequação está fortemente relacionada com a magnitude do tamanho de amostra. Em relação a penalização aplicada na quantidade de parâmetros, esta é mais rigorosa que o AIC para amostras pequenas. O BIC pode ser definido através da equação abaixo:

$$\text{BIC} = -2 \log_{\text{like}} + p \cdot \ln(n) \quad (15)$$

em que:

n - Número de observações utilizadas para ajustar a curva.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 estão apresentados os dados experimentais de atividade de água para os diferentes teores de água e temperaturas analisadas. Nota-se que as variações nos valores de teor de água e atividades de água das amostras são justificadas pelo processo de dessorção que ocorre durante as leituras da atividade de água no equipamento, não sendo possível a padronização destes valores.

Tabela 2. Valores de atividade de água (decimal) das amêndoas quebradas das castanhas-do-Brasil, em função do teor de água (% b.s.) e da temperatura (°C).

Teor de água (% b.s.)	Temperatura (°C)			
	10	20	30	40
1,52	-	-	-	0,304
1,60	0,256	-	-	-
1,61	-	0,281	-	-
1,64	-	-	0,290	-
2,05	-	-	-	0,489
2,07	-	-	0,479	-
2,27	0,467	-	-	-
4,65	-	-	0,702	-
4,75	0,688	-	-	-
5,51	-	0,745	-	-
8,89	-	-	0,831	-
12,47	-	-	-	0,921
12,76	-	-	0,915	-
12,92	-	0,914	-	-
12,96	0,909	-	-	-

Os valores de atividade de água das amêndoas das castanhas-do-Brasil são dependentes dos teores de água e da temperatura (Tabela 2). O aumento da atividade de água é resultante da elevação destas variáveis, corroborando com diversos trabalhos realizados sobre o assunto (COSTA et al., 2015; SILVA et al., 2015; FERREIRA JUNIOR et al., 2018). O acréscimo da temperatura provoca, conseqüentemente, aumento no nível de vibração das moléculas de água no interior das amêndoas (GONELI et al., 2014), isto resulta na elevação da atividade de água.

A partir do ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais foram obtidos os valores dos parâmetros analisados para verificação do grau de ajuste (Tabela 3).

Tabela 3. Coeficientes e parâmetros dos ajustes dos modelos matemáticos aos dados experimentais de atividade de água das amêndoas quebradas das castanhas-do-Brasil.

Modelos	Coeficientes	SE	χ^2	P	R ²	AIC	BIC
		decimal		%		Decimal	
Chung-Pfost	a = 27,6929* b = 4,3270** c = 396,066 ^{ns}	1,106	1,222	30,99	95,01	53,30	56,39
Copace	a = -1,2993** b = 0,0024 ^{ns} c = 4,2592**	0,528	0,279	15,79	98,86	29,66	32,75
Halsey Modificado	a = 1,1347** b = 0,0057* c = 1,3308**	0,528	0,278	9,18	98,86	29,63	32,72
Sabbah	a = 19,5789** b = 3,3086** c = 0,0484 ^{ns}	0,908	0,825	30,33	96,63	47,41	50,50
Harkins	a = 0,7921** b = 0,0035* c = 0,0684**	0,359	0,129	5,93	99,47	17,50	20,44
Sigma Copace	a = -2,3699** b = 0,0028* c = 1,9978**	0,306	0,093	8,29	99,62	12,15	15,24
Henderson Modificado	a = 0,0008 ^{ns} b = 413,9348 ^{ns} c = 0,7690**	0,482	0,232	14,01	99,05	26,73	29,82
Henderson	a = 0,0012** b = 0,7684**	0,479	0,229	14,06	98,99	25,69	28,00
Oswin Modificado	a = 2,9971** b = 0,0110* c = 1,5251**	0,436	0,190	7,15	99,22	23,54	26,63
GAB modificado	a = 1,9241** b = 0,9379** c = 73,8509**	0,438	0,192	9,12	99,22	17,35	20,44

** Significativo a 0,01 pelo test t; * Significativo a 0,05 pelo test t; ^{ns}Não significativo pelo test t;

Quanto aos valores dos coeficientes dos modelos ajustados (Tabela 3), estes só podem ser utilizados em ajustes de modelos nas isotermas de amêndoas da castanhas-do-Brasil quebradas, por serem baseados nos dados experimentais deste trabalho. Os modelos de Chung-Pfost, Copace, Sabbah e Henderson Modificado apresentaram pelo menos um coeficiente não significativo pelo teste de t, indicando falha na estimativa do coeficiente, que pode promover erro de ajuste do modelo aos dados experimentais.

Para o erro médio estimado o modelo de Sigma Copace apresentou o menor valor (0,306), indicando menor erro dos valores estimados aos dados experimentais, enquanto o modelo de Chung-Pfost apresentou o maior valor (1,106) (Tabela 3). Valores menores para este parâmetro indicam melhor ajuste ao modelo (DRAPER & SMITH, 1998).

Analisando o teste de *Qui*-quadrado (χ^2) (Tabela 3) nota-se que os ajustes dos modelos analisados, encontram-se no intervalo de confiança de 95%. Além disso, conforme Günhan et al. (2005), quanto menor o valor de *Qui*-quadrado (χ^2) em um intervalo de confiança, melhor o ajuste do modelo na representação do fenômeno estudado. O modelo de Sigma Copace apresenta o menor valor de *Qui*-quadrado (0,093), enquanto o modelo de Chung-Pfost apresenta o maior valor (1,222).

Em relação ao erro médio relativo (P) observa-se que o modelo de Harkins apresentou o menor valor para este parâmetro (5,93) (Tabela 3). Segundo a recomendação de Mohapatra & Rao (2005) modelos com valor de P abaixo de 10% são adequados para descrição do fenômeno. Portanto, os modelos de Halsey Modificado, Harkins, Sigma Copace, Oswin Modificado e GAB Modificado podem ser utilizados para representar as isotermas das amêndoas quebradas das castanhas-do-Brasil. Os modelos anteriormente descritos que apresentaram os coeficientes ajustados não significativos também descreveram valores de erro médio relativo, superior a 10%, confirmando neste caso o erro da estimativa destes coeficientes.

Para o coeficiente de determinação (R^2), os ajustes dos modelos aos dados experimentais apresentaram magnitude superior a 95% (Tabela 3), indicando bom ajuste aos dados experimentais. Dentre estes, o modelo de Sigma Copace apresentou o maior valor (99,62%).

Quanto aos parâmetros de AIC e BIC, observa-se que o modelo ajustado de Sigma Copace apresenta menores valores destes parâmetros (Tabela 3), indicando que este modelo melhor estima o fenômeno em estudo (AKAIKE, 1974; SCHWARZ, 1978). Comparando o resultado destes parâmetros com os valores do erro médio estimado

(Tabela 3), nota-se que o ajuste de Sigma Copace não apresentou o menor valor para P, mas este se manteve dentro do limite de 10%, que de acordo com a metodologia de avaliação proposta por Mohapatra & Rao (2005) é indício de bom ajuste.

Assim, para a escolha do melhor modelo os critérios de AIC e BIC se tornam dois critérios importantes no ajuste de modelos matemáticos. Estes critérios foram utilizados satisfatoriamente por diferentes autores como critério auxiliar na escolha de modelos matemáticos para estimar os processos estudados (FERREIRA JUNIOR et al., 2018; GOMES et al., 2018; QUEQUETO et al., 2019; SOUZA et al., 2019)

Considerando todos os parâmetros estatísticos avaliados em relação ao ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais de atividade de água, utilizou-se o modelo de Sigma Copace para representar as isotermas das amêndoas das castanhas-do-Brasil processadas (Figura 1).

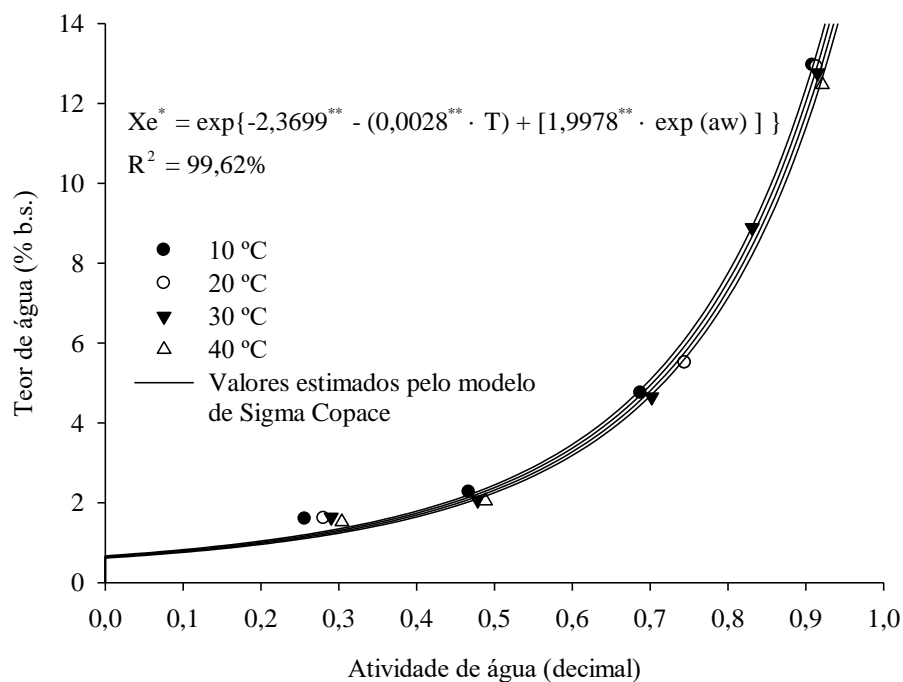


Figura 1. Isotermas de dessorção das amêndoas quebradas das castanhas-do-Brasil estimadas pelo modelo de Sigma Copace, nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C.

O modelo de Sigma Copace também foi utilizado para representar as isotermas de sementes de pinhão manso (CHAVES et al., 2015) nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C, os autores utilizaram a mesma metodologia deste trabalho para coleta de dados de atividade de água. O modelo de Sigma Copace se mostra versátil pela recomendação de utilização na literatura, sendo adequado para representar as isotermas de aquênios de cajuzinho-do-cerrado (BARBOSA et al., 2016), frutos de baru (OLIVEIRA et al., 2017a) e frutos de sucupira branca (OLIVEIRA et al., 2017b).

Na determinação das isotermas de adsorção e dessorção das castanhas-do-Brasil, de acordo com Botelho et al. (2019), o modelo de Sigma Copace não pode ser utilizado na representação, pois apresentou ajuste com tendenciosidade na distribuição dos resíduos, critério este de análise não adotado neste estudo, por apresentar subjetividade na análise e interpretação dos resultados. Para amêndoas de baru o modelo indicado para ajustar as isotermas foi o modelo de Halsey (FURTADO et al., 2014), enquanto para as isotermas das amêndoas de cacau, recomendou-se o modelo de GAB e para as amêndoas de pistache os modelos de GAB e Smith (YANNIOTIS & ZARMBOUTIS, 1996; YAZDAMI et al., 2006). Esta diferença de recomendação de modelos para diferentes amêndoas se justifica pela especificidade do ajuste dos modelos as características do produto, como a permeabilidade do tegumento, composição química, integridade da amêndoa, afinidade dos componentes com a água, que resultam nos dados experimentais.

A relação da atividade de água com o teor de água da amêndoa e a temperatura de armazenamento, são diretamente proporcionais, ou seja, a elevação do teor de água e/ou temperatura culminam no aumento da atividade de água do produto (Figura 1). Resultados estes comumente observados em produtos vegetais, como diásporos de pequi (SOUSA et al., 2016), frutos de acerola (REIS et al., 2017) e pó de folha de *Moringa oleífera* (Lam.) (RÉBUFA et al., 2018). Observa-se que o modelo ajustado apresenta limitação de estimativa de teor de água à medida que a atividade de água se aproxima de zero, comportamento semelhante foi observado por Barbosa et al. (2016) ao ajustar o modelo de Copace para representar as isotermas de dessorção dos aquênios do cajuzinho-do-cerrado.

A atividade de água de produtos alimentícios deve estar abaixo de 0,7 (decimal) durante a armazenagem para limitar o desenvolvimento de indesejáveis reações químicas e de microrganismos (OLIVEIRA et al., 2005; RÉBUFA et al., 2018). Os limites seguros de teor de água para armazenamento nas temperaturas em estudo, que promovam atividade de água das amêndoas quebradas inferior a 0,7 (decimal) é de 5,29; 5,14; 5,00 e 4,87% b.s. para as temperaturas de acondicionamento de 10, 20, 30 e 40°C, respectivamente, de acordo com as estimativas do modelo de Sigma Copace (Figura 1).

Castanhas-do-Brasil podem ser armazenadas com o teor de água abaixo de 8,3% b.s. em ambientes com umidade relativa de equilíbrio inferior a 70% e temperaturas abaixo de 55°C (BOTELHO et al., 2019). A diferença entre os limites de teores de água seguros entre a castanha e amêndoa quebrada da castanha-do-Brasil se deve pela estrutura protetiva da castanha, composta por um tegumento lenhoso que diminui a quantidade de

água disponível para reações, ou seja, mesmo com teor de água maior em comparação a amêndoa, a atividade de água da castanha inteira é menor quando comparada com a amêndoa quebrada.

O interesse nos valores seguros de teor de água e atividade de água das amêndoas das castanhas-do-Brasil se deve pela contaminação por aflatoxinas, que limita a comercialização deste produto (BOTELHO et al., 2019). Destaca-se que o principal fungo produtor de aflatoxinas (*Aspergillus flavus*) necessita de atividade de água na faixa de 0,78 a 0,80 para crescimento, e de 0,83 a 0,87 para produção das aflatoxinas (BEAUCHAT, 1981).

Em relação a temperatura, os limites de crescimento do *Aspergillus flavus* variam de 10 a 43°C e a temperatura considerada ótima é de 33°C. A temperatura para a produção de aflatoxina é de 13 a 37°C, sendo ótimas as temperaturas entre 16 a 31°C (ICMSF, 1996). Considerando estas informações, para o surgimento dos fungos produtores de aflatoxinas nas amêndoas quebradas das castanhas-do-Brasil, o crescimento destes pode iniciar com o teor de água de 7,42; 7,22; 7,02 e 6,83% b.s. para as temperaturas de acondicionamento de 10, 20, 30 e 40°C, respectivamente.

3.4 CONCLUSÃO

A relação da atividade de água com o teor de água das amêndoas quebradas das castanhas-do-Brasil e a temperatura de armazenamento, são diretamente proporcionais.

Os modelos de Halsey Modificado, Harkins, Sigma Copace, Oswin Modificado e GAB Modificado podem ser utilizados para representar as isotermas das amêndoas quebradas das castanhas-do-Brasil. O modelo de Sigma Copace apresenta o melhor ajuste de acordo com os parâmetros de AIC e BIC, portanto foi utilizado para descrição das isotermas.

Os limites seguros de teor de água para armazenamento das amêndoas quebradas das castanhas-do-Brasil são de 5,29; 5,14; 5,00 e 4,87% b.s. para as temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C, respectivamente.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. IEEE Transaction on Automatic Control, v. 19, n. 6, p.716-723, 1974.

- BARBOSA, K. F.; SALES, J. F.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C.; ZUCHI, J. SOUSA, K. A. Desorption isotherms and isosteric heat of 'cajuzinho-do-cerrado' achenes. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 20, n. 5, p. 481-486, 2016
- BEAUCHAT, L. R. Microbial stability as affected by water activity. *Cereal Food World*. v. 26, n. 7, p. 345-349, 1981.
- BOTELHO, F. M.; BOSCHIROLI NETO, N. J.; BOTELHO, S. C. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; HAUTH, M. R. Sorption isotherms of Brazil nuts. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 23, n. 10, p. 776-781, 2019.
- CHAVES, T. H.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C.; SMANIOTTO, T. A. S.; SOUSA, K. A. Isotermas e calor isostérico das sementes de pinhão-mansão. *Engenharia na agricultura*, v. 23, n. 1, p. 9-18, 2015.
- CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; RESENDE, O.; MARTINAZZO, A. P.; Botelho, F. M. Comparação entre os métodos estático e dinâmico na determinação do equilíbrio higroscópico das espigas de milho. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 7, n. 2, p. 153-161, 2005.
- CORRÊA, P. C.; Reis, M. F. T.; OLIVEIRA, G. H. H. D.; OLIVEIRA, A. P. L. R. D.; BOTELHO, F. M. Moisture desorption isotherms of cucumber seeds: Modeling and thermodynamic properties. *Journal of Seed Science*, v.37, n.3, p.218-225, 2015.
- COSTA, L. M.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C.; SOUSA, K. A. Isotermas e calor isostérico de sementes de *Buchenavia capitata* (Vahl) Eichler, *Revista Ciência Agrônômica*, v. 46, n. 3, p. 516-523, 2015.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. *Applied regression analysis*. 3.ed. New York: John Wiley & Sons, 1998. 712 p.
- DIONISIO, L. F. S.; AUCA, E. C.; BARDALES, R. M. L.; SCHWARTZ, G.; RODRIGUES, P. R.; GOMRINGER, C. R. Production of *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.,(Lecythidaceae) seedlings in microenvironments under different substrates. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, v.14, n.3, e5847, 2019.
- FENNEMA, O. R. DAMODARAN, S. PARKIN, K. L. *Química de Alimentos de Fennema*. 900 p,4. ed. Porto Alegre, 2018.
- FERREIRA JUNIOR, W. N.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C.; COSTA, L. M. Isotherms and isosteric heat desorption of *Hymenaea stigonocarpa* Mart. Seeds. *Journal of Agricultural Science*, v. 10, n. 10, p. 504-512, 2018.

- FURTADO, G. F.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; SANTOS, P. Dessorção e calor isotérico de amêndoas de baru. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, v. 8, n. 2, p. 1416-1427, 2014.
- GONELI, A. L. D.; VIEIRA, M. C.; VILHASANTI, H. C. B.; GONÇALVES, A. A. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 44, n. 1, p. 56-64, 2014.
- GOMES, F. P.; RESENDE, O.; SOUSA, E. P.; OLIVEIRA, D. E. C.; ARAÚJO NETO, F. R. Drying kinetics of crushed mass of ‘jambu’: Effective diffusivity and activation energy. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 22, n. 7, p. 499-505, 2018.
- ICMSF – INTERNATIONAL COMMISSION ON MICROBIOLOGICAL SPECIFICATIONS OF FOODS. Microorganismos de los alimentos: características de los patógenos microbianos. Zaragoza: Acribia, 1996. p. 403- 428.
- MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. *Journal of Food Engineering*, v. 66, n. 4, p. 513-518, 2005.
- OLIVEIRA, M. M.; CAMPOS, A. R. N.; GOMES, J. P.; SILVA, F. L. H. Isotermas de sorção do resíduo agroindustrial de casca do abacaxi (*Ananas comosus* L. Mer). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, n. 4, p. 565-569, 2005.
- OLIVEIRA, G. H. H.; CORRÊA, P. C.; SANTOS, E. S.; TRETO, P. C.; DINIZ, M. D. M. S. Evaluation of thermodynamic properties using GAB model to describe the desorption process of cocoa beans. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 46, n. 1, p. 2077-2084, 2011.
- OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O.; COSTA, L. M.; FERREIRA JUNIOR, W. N.; SILVA, I. O. F. Hygroscopicity of baru (*Dipteryx alata* Vogel) fruit. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 21, n. 4, p. 279-284, 2017.
- OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O.; COSTA, L. M.; SILVA, G. P.; SALES, J. F. Hygroscopicity of ‘sucupira-branca’ (*Pterodon emarginatus* Vogel) fruits. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 21, n. 4, p. 285-289, 2017b.
- QUEQUETO, W. D.; RESENDE, O.; SILVA, P. C.; SILVA, F. A. S.; SILVA, L. C. M. Drying kinetics of noni seeds. *Journal of Agricultural Science*, v. 11, n. 5, p. 250-258, 2019.
- RÉBUFA, C.; PANY, I.; BOMBARDA, I. NIR spectroscopy for the quality control of *Moringa oleifera* (Lam.) leaf powders: prediction of minerals, protein and moisture contents. *Food Chemistry*, v. 261, n. 1, p. 311-321, 2018.

- REIS, D. S.; FIGUEIREDO NETO, A.; COSTA, J. D. S.; ALMEIDA, F. A. C.; GOUVÊIA, J. P. G. Desorption isotherms of acerola fruits variety 'Okinawa'. *Científica*, v. 45, n. 2, p. 130–136, 2017.
- SEBRAE. O cultivo e o mercado da castanha do Brasil. 2017. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-cultivo-e-o-mercado-da-castanha-do-brasil,c0ca9e665b182410VgnVCM100000b272010aRCRD>. Acesso em: 10 Dez, 2019.
- SCHÖNGART, J.; GRIBEL, R.; FONSECA-JUNIOR, S. F.; HAUGAASEN, T. Age and growth patterns of Brazil nut trees (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) in Amazonia, Brazil. *Biotropica*, v.47, n.5, p.550-558, 2015.
- SCHWARZ, G. Estimating the dimension of a model. *Annals of Statistics*, v.6, n. 2, p.461-464, 1978.
- SILVA, H. W.; COSTA, L. M.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C.; SOARES, R. S.; VALE, L. S. R. Higroscopicidade das sementes de pimenta (*Capsicum chinense* L.). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 8, p. 780–784, 2015.
- SILVA, D. P.; SANTOS, S. G. F.; RODOVALHO, R. S. Isotermas de sorção dos grãos de café. *Anais da VII conferência Brasileira de pós-colheita*, v1: 261-266, 2018.
- SOUSA, K. A.; RESENDE, O.; CARVALHO, B. S. Determination of desorption isotherms, latent heat and isosteric heat of pequi diaspore. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 20, n. 5, p. 493-498, 2016.
- SOUZA, D. G.; RESENDE, O.; MOURA, L. C.; FERREIRA JUNIOR, W. N.; ANDRADE, J. W. S. Drying kinetics of the sliced pulp of biofortified sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Engenharia Agrícola*, v. 39, n. 2, p. 176-181, 2019.
- THOMAS, E.; ALCAZAR, C.; MCMICHAEL, C. H.; CORVERA, R.; LOO, J. Uncovering spatial patterns in the natural and human history of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) across the Amazon Basin. *Journal of Biogeography*, v.42, n. 8, p.1367-1382, 2015.
- YAZDAMI, M.; SAZANDEHCHI, P.; AZIZI, M.; GHOBADI, P. Moisture sorption isotherms and isosteric heat for pistachio. *European Food Research Technology*, v. 223, n. 5, p. 577-584, 2006.
- YANNIOTIS, S.; ZARMBOUTIS, I. Water sorption isotherms of pistachio nuts. *LWT - Food Science and Technology*, v. 29, n. 4, p. 372-375, 1996.

CONCLUSÃO GERAL

A temperatura de secagem influenciou na qualidade nutricional e físico-química das amêndoas da castanha-do-Brasil.

Na secagem, os critérios de tempo e temperatura estiveram relacionados. As amêndoas submetidas a secagem na temperatura de 60°C apresentaram melhores parâmetros na composição proximal e físico-química, bem como mantiveram os constituintes nutricionais.

O teor de macro e microminerais não é influenciado pelas temperaturas de secagem, exceto para os teores de fósforo e ferro.

A relação da atividade de água com o teor de água das amêndoas quebradas das castanhas-do-Brasil e a temperatura de armazenamento, são diretamente proporcionais.

Os modelos de Halsey Modificado, Harkins, Sigma Copace, Oswin Modificado e GAB Modificado podem ser utilizados para representar as isotermas das amêndoas quebradas das castanhas-do-Brasil. O modelo de Sigma Copace apresenta o melhor ajuste de acordo com os parâmetros de AIC e BIC, portanto foi utilizado para descrição das isotermas.

Os limites seguros de teor de água para armazenamento das amêndoas quebradas das castanhas-do-Brasil são de 5,29; 5,14; 5,00 e 4,87% b.s. para as temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C, respectivamente.