

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

**CINÉTICA DE SECAGEM DOS FRUTOS DE CAJÁ  
(*SPONDIAS MOMBIN* L.) E AVALIAÇÃO DA  
QUALIDADE DAS FARINHAS PRODUZIDAS**

Autora: Gleyce Kelle Ilidio Pinheiro

Orientador: Dr. Daniel Emanuel Cabral de Oliveira

Rio Verde – GO  
Agosto – 2018

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

**CINÉTICA DE SECAGEM DOS FRUTOS DE CAJÁ  
(*SPONDIAS MOMBIN* L.) E AVALIAÇÃO DA  
QUALIDADE DAS FARINHAS PRODUZIDAS**

Autora: Gleyce Kelle Ilidio Pinheiro

Orientador: Dr. Daniel Emanuel Cabral de Oliveira

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, no Programa de Pós-graduação *stricto sensu* em Tecnologia de Alimentos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – Área de concentração Tecnologia e Processamento de Alimentos.

Rio Verde – GO  
Agosto – 2018



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

PP654c Pinheiro, Gleyce Kelle Ildio  
Cinética de secagem dos frutos de cajá (Spondias mombin L.) e avaliação da qualidade das farinhas produzidas / Gleyce Kelle Ildio Pinheiro; orientador Daniel Emanuel Cabral de Oliveira; co-orientador Osvaldo Resende. -- Rio Verde, 2018.  
88 p.

Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) -  
- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2018.

1. Fruto do cerrado. 2. Liofilização. 3. Resíduo.  
4. Modelagem. I. Oliveira, Daniel Emanuel Cabral de,  
orient. II. Resende, Osvaldo, co-orient. III. Título.

Responsável: Johnathan Pereira Alves Diniz - Bibliotecário-Documentalista CRB-1 n°2376

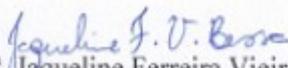
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

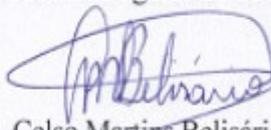
**CINÉTICA DE SECAGEM DOS FRUTOS DE CAJÁ  
(*Spondias mombin* L.) E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS  
FARINHAS PRODUZIDAS**

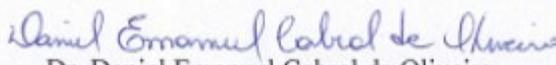
Autora: Gleyce Kelle Ilídio Pinheiro  
Orientador: Daniel Emanuel Cabral de Oliveira

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

APROVADA em 31 de agosto de 2018.

  
Dr<sup>a</sup> Jaqueline Ferreira Vieira Bessa  
Avaliadora externa  
Doutora em Ciências Agrárias-  
Agronomia

  
Dr. Celso Martins Belisário  
Avaliador interno  
IF Goiano/Rio Verde

  
Dr. Daniel Emanuel Cabral de Oliveira  
Presidente da banca  
IF Goiano/Iporá

A minha mãe Sueli Ilidio de Jesus, como forma  
de retribuição ao seu apoio

DEDICO

## **AGRADECIMENTOS**

**A Deus, pelo dom da vida, por estar sempre guiando meu caminho e iluminando minha mente para a execução de cada etapa deste trabalho, e me dar força para caminhar em meio aos obstáculos e dificuldades encontradas.**

**Ao meu orientador Dr. Daniel Emanuel Cabral de Oliveira, por seu tempo de orientação e todos os ensinamentos transferidos a mim. Pela paciência, dedicação ao meu trabalho e pela confiança empregada a mim.**

**Ao meu coorientador Osvaldo Resende, por me permitir utilizar o seu Laboratório de Pós-colheita de Produtos Vegetais durante todo o período do mestrado e por sua disponibilidade em transferir seu conhecimento.**

**Aos Doutores Celso Martins Belisário e Jaqueline Ferreira Vieira Bessa, pelo aceite em compor minha banca, com suas correções e contribuições para a melhoria do trabalho.**

**Aos meus amigos Weder Nunes Ferreira Junior e Ligia Campos Moura Silva, pela grande ajuda tanto na execução de análise quanto em inúmeros momentos de troca de conhecimentos, os quais foram muito importantes para a execução deste projeto, e é claro por todos as conversas e risadas. A colega Diene, pela brincadeiras e ajuda durante o curso.**

**Aos colegas do Laboratório de Pós-colheita de Produtos Vegetais, em especial a Jennifer Cristhine Oliveira Cabral, pela ajuda na execução das análises e a Daiana Vieira Silva, pela ajuda intelectual.**

**A colega Bheatriz Silva Morais de Freitas, por apresentar a fazenda com potencial de coleta dos frutos. A todos da Fazenda Gameleira, principalmente ao Senhor João Adalberto Rodrigues por ajudar em todas as coletas realizadas e a Senhora Dircely de Lourdes (Lurdinha), por nos receber em sua casa nos dias de coleta.**

Aos Laboratórios de Frutas e Hortaliças, Panificação, Fertilidades do Solo, Nutrição Animal, Biotecnologia de Alimentos, Física dos Solos e Tecnologia de Produtos de Origem Animal, pela utilização dos mesmos durante as análises realizadas.

Ao Adriano colaborador do Laboratório de Fertilidade dos Solos, pela grande ajuda durante a realização das análises de minerais.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, pelo auxílio e contribuições para a minha formação acadêmica e profissional.

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

A minha mãe Sueli, pelo seu amor, carinho, compreensão, amizade, palavras de consolo, e por todo seu esforço, fazendo tudo que estivesse ao seu alcance para me ajudar nesta caminhada tão difícil para nós, sem a sua ajuda não teria conseguido.

Agradeço a minha irmã Thays Michelle, pelo carinho e amizade, e por me dar de presente dois sobrinhos que amo tanto.

Agradeço aos meus sobrinhos Gustavo Henrique e Izabelly Vitória, pelo amor, carinho e tantos momentos de alegria, que com a inocência de serem crianças me serviram de inspiração em querer sempre o melhor.

Agradeço ao meu namorado Junior por todo amor, carinho, companheirismo e paciência comigo durante a realização deste projeto, e por estar comigo em todos os momentos, participando dos meus sonhos.

A todos meus familiares que estão sempre torcendo por mim.

MUITO OBRIGADA!

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

**Gleyce Kelle Ilidio Pinheiro, filha de Sueli Ilidio de Jesus, nascida em 17 de fevereiro de 1992, na cidade de Iporá, Goiás. Graduada em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal de Mato Grosso – Campus Universitário do Araguaia em maio de 2016. Em setembro de 2016 ingressou no Mestrado em Tecnologia de Alimentos – Campus de Rio Verde-Go, com a linha de pesquisa em Pós-colheita e processamento de grãos e vegetais, sob a orientação do professor Dr. Daniel Emanuel Cabral de Oliveira e coorientação do professor Osvaldo Resende.**

## ÍNDICE

ÍNDICE DE TABELAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	xiii
RESUMO GERAL.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
1.INTRODUÇÃO.....	1
1.1 REVISÃO DA LITERATURA.....	2
1.1.1 Cajá do cerrado ( <i>Spondias mombin</i> L.).....	2
1.1.2 Secagem.....	3
1.1.3 Liofilização.....	4
1.1.4 Processamento de alimentos.....	5
1.3 REFERÊNCIAS.....	5
2. OBJETIVOS.....	8
2.1. Objetivo Geral.....	8
2.2. Objetivos Específicos.....	8
<b>CAPÍTULO I. CINÉTICA DE SECAGEM DO EPICARPO DOS FRUTOS DE CAJÁ (<i>Spondias mombin</i> L.).....</b>	<b>9</b>
3.1 INTRODUÇÃO.....	10
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	16
3.4 CONCLUSÕES.....	24

<b>CAPÍTULO II. PROPRIEDADES FÍSICAS, FÍSICO-QUÍMICAS E FUNCIONAIS TECNOLÓGICAS DAS FARINHAS PRODUZIDAS A PARTIR DO EPICARPO DE CAJÁ.....</b>	<b>27</b>
4.1 INTRODUÇÃO.....	28
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	30
4.2.1 Elaboração da farinha.....	30
4.2.2 Determinação de cor.....	31
4.2.3 Potencial Hidrogeniônico (pH).....	32
4.2.4 Acidez titulável.....	32
4.2.5 Sólidos solúveis totais.....	33
4.2.6 Massa específica aparente.....	33
4.2.7 Granulometria.....	33
4.2.8 Índices de absorção (IA) e Índices de solubilidade (IS).....	34
4.2.9 Formação de emulsão.....	35
4.2.10 Formação de espuma.....	36
4.2.11 Análise estatística.....	36
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
4.4 CONCLUSÃO.....	46
4.5. REFERÊNCIAS.....	47
<b>CAPÍTULO III. PROPRIEDADES NUTRICIONAIS DAS FARINHAS DO EPICARPO DE CAJÁ (<i>Spondias mombin</i> L.).....</b>	<b>51</b>
5.1. INTRODUÇÃO.....	52
5.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	53
5.2.1 Teor de água.....	55
5.2.3 Proteína bruta.....	56
5.2.4 Lipídeos.....	57
5.2.5 Carboidratos.....	57
5.2.6 Valor energético.....	58
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
5.4 CONCLUSÃO.....	65
5.5 REFERÊNCIAS.....	66
CONCLUSÃO GERAL.....	70

## ÍNDICE DE TABELAS

### **CAPÍTULO I. CINÉTICA DE SECAGEM DO EPICARPO DOS FRUTOS DE CAJÁ (*Spondias mombin* L.)**

**Tabela 1** - Modelos matemáticos utilizados para prever a secagem de produtos agrícolas..... 13

**Tabela 2.** Parâmetros estatísticos para os modelos de secagem do epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.) .....17

**Tabela 3.** Valores para o teste de *Qui*-quadrado ( $\chi^2$ , decimal) durante a secagem do epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.) em diferentes temperaturas..... 19

**Tabela 4.** Critério de Informação de Akaike (AIC) e Critério de Informação Bayesiano de Schwarz (BIC) para os modelos que melhor se ajustaram aos dados da secagem do epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.) em diferentes temperaturas.....20

**Tabela 5** - Parâmetros do modelo Midilli ajustados para as diferentes condições de secagem do epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.) em diferentes temperaturas..... 20

### **CAPÍTULO II. PROPRIEDADES FÍSICAS, FÍSICO-QUÍMICAS E FUNCIONAIS TECNOLÓGICAS DAS FARINHAS PRODUZIDAS A PARTIR DO EPICARPO DE CAJÁ**

**Tabela 6.** Informações sobre os tratamentos para a produção das farinhas do epicarpo do cajá (*Spondias mombin* L.) desidratado sobre diferentes condições..... 31

<b>Tabela 7.</b> Médias dos valores encontrados para as coordenadas de L, a* e b*, ângulo hue, croma e $\Delta E$ da farinha do epicarpo dos frutos de cajá ( <i>Spondias mombin</i> L.).....	37
<b>Tabela 8.</b> Potencial Hidrogeniônico (pH), acidez titulável, sólidos solúveis (SS) e massa específica aparente (MEA) da farinha do epicarpo dos frutos de cajá ( <i>Spondias mombin</i> L.).....	40
<b>Tabela 9.</b> Índice de absorção em água (IAA), índice de absorção em leite (IAL), índice de absorção em óleo (IAO), índice de solubilidade em água (ISA), e índice de solubilidade em leite (ISL) da farinha de epicarpo dos frutos de cajá ( <i>Spondias mombin</i> L.).....	43
<b>Tabela 10.</b> Atividade emulsificante (AE), estabilidade da emulsão (EE), capacidade espumante (CE), estabilidade da espuma (EEsp) das farinhas do epicarpo do cajá ( <i>Spondias mombin</i> L.).....	45
<b>CAPÍTULO III. PROPRIEDADES NUTRICIONAIS DAS FARINHAS DO EPICARPO DE CAJÁ (<i>Spondias mombin</i> L.)</b>	
<b>Tabela 11.</b> Informações sobre os tratamentos para a produção das farinhas do epicarpo do cajá desidratado sobre diferentes condições.....	55
<b>Tabela 12.</b> Umidade, cinzas e lipídios da farinha de epicarpo dos frutos de cajá ( <i>Spondias mombin</i> L.), expressos em ( $\text{g } 100\text{g}^{-1}$ ).....	59
<b>Tabela 13.</b> Proteínas e carboidratos, expressos em ( $\text{g } 100\text{g}^{-1}$ ) e valor energético (VE), expresso em ( $\text{kcal } 100\text{g}^{-1}$ ) das farinhas de epicarpo dos frutos de cajá ( <i>Spondias mombin</i> L.).....	61
<b>Tabela 14.</b> Valores médios referente aos teores de (macrominerais) potássio (K), cálcio (Ca), fósforo (P), magnésio (Mg) das farinhas de cajá ( <i>Spondias mombin</i> L.).....	62
<b>Tabela 15.</b> Valores médios referentes aos teores de (microminerais) em base seca de ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn) das farinhas de cajá ( <i>Spondias mombin</i> L.).....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

### **CAPÍTULO I. CINÉTICA DE SECAGEM DO EPICARPO DOS FRUTOS DE CAJÁ (*Spondias mombin* L.)**

**Figura 1** – Teor de água do epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.) durante o período de secagem em diferentes temperaturas.....16

**Figura 2** – Valores dos teores de água experimentais e estimados pelo modelo do Midilli para a secagem do epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.) durante o período de secagem em diferentes temperaturas.....21

**Figura 3** Coeficiente de difusão efetivo obtido para a secagem do epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.) nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C.....22

**Figura 4** Representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão efetivo em função da temperatura do ar de secagem, obtido durante a secagem do epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.).....23

### **CAPÍTULO II. PROPRIEDADES FÍSICAS, FÍSICO-QUÍMICAS E FUNCIONAIS TECNOLÓGICAS DAS FARINHAS PRODUZIDAS A PARTIR DO EPICARPO DE CAJÁ**

**Figura 5.** Imagem das farinhas de epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.) produzidas por secagem em diferentes temperaturas de secagem (40,50,60 e 70°C) e por liofilização. ....38

**Figura 6.** Valores médios da distribuição granulométrica em diferentes aberturas de malhas (mm).....42

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

<b>Símbolo</b>	<b>Sigla</b>
AACC	AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS
a*	Cromaticidade verde-vermelho
a, b, c, n	Coefficientes dos modelos
AIC	Critério de Informação de Akaike
AOAC	ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS
A	Massa do cadinho vazio;
B	Massa do cadinho com amostra após secagem
BIC	Critério de Informação Bayesiano de Schwarz
BI	Índice de escurecimento
b*	Cromaticidade azul-amarelo
b'	Volume do balão
b.s.	Base seca
C'	Concentração dos elementos
C	Cinzas
CER	Camada emulsificada remanescente
CEi	Camada emulsificada inicial
C*	Chroma
c	Correção para solução de NaOH
CIELAB	<i>Comissão Internacional de Iluminação</i>
D	Coefficiente de difusão efetivo
Do	Fator pré-exponencial
$\Delta E$	Varição total de cores
Ea	Energia de ativação
E	Espessura da casca
F	Fator de solução
d'	Fator de diluição da amostra
FEC40	Farinha do epicarpo do cajá seco a 40°C
FEC50	Farinha do epicarpo do cajá seco a 50°C
FEC60	Farinha do epicarpo do cajá seco a 60°C

FEC70	Farinha do epicarpo do cajá seco a 70°C
FECL	Farinha do epicarpo do cajá liofilizado
GLR	Graus de liberdade do modelo
GPS	Global Position System
k, k <sub>0</sub> , k <sub>1</sub>	Constantes de secagem
°h	Ângulo hue
IA	Índices de absorção
IS	Índices de solubilidade
L	Lipídeos
L*	Luminosidade
L'	Leitura da amostra
log <sub>like</sub>	Valor do logaritmo da função de verossimilhança
M	Massa da amostra
M <sub>1</sub>	Massa da peneira, mais a fração retida;
M <sub>2</sub>	Massa da peneira;
MRC	Massa do resíduo da centrífuga
MRE	Massa do resíduo da evaporação
N	Número de termos
N <sub>0</sub>	Número de observações experimentais
N	Normalidade do titulante
p	Número de parâmetros do modelo
P	Erro médio estimado
PB	Proteína Bruta
pH	Potencial Hidrogeniônico
PR	Porcentagem retida em cada peneira
R	Constante universal dos gases
R <sub>m</sub>	Classificação da matrix X
R <sup>2</sup>	Coefficiente de determinação
RX	Razão de teor de água, adimensional
S	Área da superfície da casca
SE	Erro médio estimado
V	Volume
V <sub>e</sub>	Volume da camada de emulsão;
V <sub>i</sub>	Volume total da suspensão no tubo
V <sub>i</sub>	Volume inicial;
V <sub>f</sub>	Volume final.
V <sub>B</sub>	Volume gastos do titulante na amostra branco;
V <sub>L</sub>	Volume gastos do titulante
X	Teor de água do produto
X <sub>i</sub>	Teor de água inicial do produto
X <sub>e</sub>	Teor de água de equilíbrio do produto
χ <sup>2</sup>	<i>Qui</i> -quadrado
Y	Valor observado experimentalmente
Ŷ	Valor estimado pelo modelo
T	Tempo de secagem
T <sub>ab</sub>	Temperatura absoluta

## RESUMO GERAL

GLEYCE KELLE ILIDIO PINHEIRO Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, agosto de 2018. **Cinética de secagem dos frutos de cajá (*Spondias mombin* L.) e avaliação da qualidade das farinhas produzidas**. Orientador: Daniel Emanuel Cabral de Oliveira. Coorientador: Osvaldo Resende.

A cajazeira é uma planta que ocorre principalmente nas regiões Norte e Nordeste e em alguns pontos isolados do Centro-Oeste, seus frutos são muito apreciados por possuir aroma agradável e sabor levemente ácido. É muito consumido na forma *in natura* e principalmente na forma de geleias, sorvetes e bebidas não alcoólicas. A polpa tem cor amarela, sendo rica em açúcar e possui características nutricionais como a presença de vitaminas. É um produto regional e sazonal e para ser consumido em outras regiões e períodos do ano é necessário o emprego de técnicas de conservação que permitam sua conservação por mais tempo. A industrialização dos frutos permite que isso seja possível, porém em contrapartida acaba gerando resíduos por utilizarem quase sempre apenas a polpa. Assim, objetivou-se estudar a secagem em diferentes temperaturas do epicarpo dos frutos de cajá (*Spondias mombin* L.) e avaliar qualidade da farinha produzida. O experimento foi desenvolvido no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, o epicarpo dos frutos de cajá com teor de água inicial 2,89 (base seca, bs) foram submetidos a secagem em temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C até teor de água final de 0,11; 0,10; 0,09 e 0,08 (bs), respectivamente. O modelo de Midilli

apresentou o melhor ajuste aos dados experimentais obtidos. A escolha do modelo foi confirmada pelos critérios de AIC e BIC. O aumento da temperatura de secagem promoveu aumento do coeficiente de difusão efetivo, a energia de ativação do processo foi de 21,50 kJ mol<sup>-1</sup>. A farinha produzida a partir da liofilização do epicarpo de cajá apresentou coloração mais clara e maior tendência ao amarelo, maior quantidade de sólidos solúveis, menor densidade, maior índice de absorção em água e menor solubilidade em leite, menor atividade emulsificante e maior atividade espumante. As partículas da FECL apresentaram-se menores, ou seja, farinha mais fina. Todas as farinhas apresentaram valores baixos de pH, entre 2,65 e 2,83. O teor de umidade ficou abaixo de 8,87%, estando dentro do limite aceitável. As farinhas apresentaram altos teores de cinzas, lipídeos e proteínas, com valores acima de 5,61; 7,76 e 11,90%, respectivamente. Os teores de Fe, Zn e Mn ficaram acima da recomendação de ingestão diária. As temperaturas utilizadas para a desidratação do epicarpo do cajá não provocaram alteração nutricional das farinhas comparadas com a farinha do epicarpo liofilizado.

**Palavras-chave:** fruto do cerrado, liofilização, resíduos, modelagem.

## ABSTRACT

GLEYCE KELLE ILIDIO PINHEIRO Goiano Federal Institute - Rio Verde Campus -GO, August 2018. **Epicarp kinetics drying of cajá fruits (*Spondias mombin* L.) and evaluation of the quality of the flour produced.** Advisor: Daniel Emanuel Cabral de Oliveira. Co-advisor: Osvaldo Resende.

The cajazeira is a plant that occurs mainly in the North and Northeast regions and in some isolated points of the Midwest, its fruits are very appreciated by having pleasant aroma and slightly acidic flavor. It is very consumed *in natura* form and mainly as jellies, ice creams and non-alcoholic drinks. The pulp is yellow in color, rich in sugar and has nutritional characteristics such as the presence of vitamins. It is a regional and seasonal product and to be consumed in other regions and periods of the year is necessary the use of conservation techniques that allow its conservation for longer. The fruits industrialization allows this to be possible, but in counterpart it ends up generating residues because they always use only the pulp. The experiment was carried out at the Goiano Federal Institute of Education, Science and Technology of Goiania where the epicarp of the cajá fruits with initial water content of 2.89 (dry basis, db) were dried at temperatures of 40, 50, 60 and 70° C until final water content of 0.11; 0.10; 0.09 and

0.08 (db), respectively. The Midilli model presented the best fit to the experimental data obtained. The choice of the model was confirmed by the AIC and BIC criteria. The drying temperature increase of the effective diffusion coefficient and the activation energy of the process was  $21.50 \text{ kJ mol}^{-1}$ . The flour produced from the freeze drying of the cajá epicarp showed a clearer color and a tendency to yellow, a higher quantity of soluble solids, a lower density, a higher water absorption index and a lower milk solubility, lower emulsifying activity and a higher foaming activity. The FECL particles were smaller, that is to say, flour finer. All the flours had low values of pH, between 2.65 and 2.83. The moisture content was below 8.87%, being within the acceptable limit. Flours presented high levels of ash, lipids and proteins, with values above 5.61; 7.76 and 11.90%, respectively. The levels of Fe, Zn and Mn were above the daily intake recommendation. The temperatures used for caja epicarp dehydration of the epicarp did not cause nutritional alteration of the flour compared to the one from lyophilized epicarp.

**Key words:** fruit of the cerrado, freeze-drying, waste, modeling.

## 1. INTRODUÇÃO

A produção frutífera no Brasil em 2008 passou de 43 milhões de toneladas, ou seja, 5% da produção no mundo. Isso torna o Brasil o terceiro maior país produtor mundial de frutas, sendo ultrapassado apenas pela China e pela Índia. A área utilizada para o cultivo de frutas é de aproximadamente 2,2 milhões de hectares (FACHINELLO e NACHTUIGAL, 2010).

A conscientização do potencial econômico gerado pela fruticultura brasileira, pela sua qualidade e diversidade vem expandindo a comercialização principalmente externa de frutas na forma *in natura* e sucos e possibilitando novas pesquisas para industrialização desses frutos (ASSIS et al., 2007).

Um fruto bastante apreciado principalmente na Região Nordeste é o fruto da cajazeira (*Spondias mombin* L.), conhecido como cajá, taperebá, cajá-mirim ou cajá verdadeiro, é caracterizado por um mesocarpo polposo, amarelo, rico em açúcares, vitaminas A e C e carotenoides. O fruto é consumido *in natura*, na forma de polpas, sorvetes, geleias, sucos e bebidas alcoólicas. O cajá apresenta características relevantes para industrialização e possuem aroma agradável e sabor ácido-adocicado, fato que gera interesse na própria região e também em outras regiões do país onde não ocorrem a produção do fruto (ANSELMO et al., 2006).

Frutos como o cajá são sazonais e perecíveis, tornando necessário o desenvolvimento de alternativas industriais para que possam ser consumidos em diferentes regiões e períodos do ano. Porém, a partir da industrialização surge o problema da geração de resíduos sólidos, e gera a necessidade do aproveitamento dos

resíduos das indústrias de frutas, agregando valor nutricional e econômico aos produtos (SILVA, 2008).

A indústria de alimentos visa encontrar formas que permitam a utilização de resíduos, transformando-os em produtos capazes de gerar rendimento financeiro e reduzir impactos ambientais (RUGGIERO, 1996). Tendo como objetivo também o emprego de técnicas de conservação dos alimentos, segundo Ribas (2000) uma das operações mais utilizadas é a secagem, pois possibilita maior durabilidade e diminuição do volume do alimento, podendo ser transportados e armazenados com maior simplicidade (PARCK et al., 2001).

Outra técnica eficiente para conservação de alimentos é a liofilização, que segundo Garcia (2009) se destaca dentre os métodos de desidratação por minimizar as perdas nutricionais do alimento, como perda de compostos voláteis, desnaturação de proteínas e degradação de vitaminas.

Sabendo-se da necessidade da utilização de técnicas de conservação de frutos do cerrado como o cajá (*Spondias mombin* L.) e do aproveitamento de resíduos de frutos, objetiva-se a utilização da liofilização e da secagem as diferentes temperaturas (40, 50, 60 e 70°C) do epicarpo do cajá para produção de farinha, realizando posteriormente análise dessas farinhas a fim de comparar e verificar qual o melhor método para tal processamento.

## **1.1 REVISÃO DA LITERATURA**

### **1.1.1 Cajá do cerrado (*Spondias mombin* L.)**

A cajazeira é uma planta originária da América tropical e no Brasil ocorrem em diversos estados, mas principalmente nos estados do Norte e Nordeste. Seu fruto é conhecido por diversos nomes dependendo da localidade, sendo na região amazônica conhecido por taperebá, em São Paulo e Minas Gerais por cajá pequeno, nos estados do Sul por cajá mirim e na região Nordeste conhecido apenas por cajá (BOSCO et al., 2000).

Apesar de ter uma participação crescente no agronegócio da região Nordeste a cajazeira é considerada ainda uma planta em fase de domesticação, não possuindo cultivo em escala industrial, tendo seus frutos comercializados para consumo do fruto fresco e da polpa (SACRAMENTO e SOUZA, 2000).

Villachica (1996) descreve o fruto da cajazeira como uma drupa ovoide, de tamanho pequeno, com aproximadamente 3 cm de comprimento e 2 cm de diâmetro,

possui uma casca amarela, mesocarpo escasso, com polpa de cor creme bastante aromática e sabor agridoce.

Para a indústria de sucos são preferíveis os que apresentam rendimento alto, boa consistência e alto teor de açúcar e acidez, ainda não têm relatos de tecnologias de produção de cajá a exploração industrial e comercial se torna mais difícil (PINTO et al., 2003).

Os frutos da cajazeira possuem aroma e sabor muito apreciados e são utilizados principalmente na produção de geleias, doces, picolés, sorvetes, polpas, sucos e néctares. Diferentes autores descrevem a boa qualidade do cajá na utilização industrial, Gomes (1985) relata que o fruto possui sabor agradável e refrescância, demonstrando ser matéria-prima ideal para produção de sorvetes, geleias, compotas e sucos e dos sucos podem originar aguardente e licor.

Rodriguez-Amaya e Kimura (1989) descrevem quantidades relevantes de vitamina A e carotenoides no cajá, sendo maiores as quantidades quando utilizada a casca juntamente com a polpa. A quantidade de carotenoides identificada na polpa foi de 17 mg g<sup>-1</sup> e quando utilizada a casca juntamente com a polpa esse valor subiu para 25,8 mg g<sup>-1</sup>. Quando retiradas as cascas do fruto o valor de vitamina A foi 30% menor. Para Silva et al. (1997) a casca também é conhecida pelo nome de película comestível.

### **1.1.2 Secagem**

A secagem ou desidratação de alimentos consiste na remoção parcial da água por evaporação, utilizando condições controladas de calor. O principal objetivo desse processo é aumentar a vida de prateleira de produtos alimentícios com a diminuição de sua atividade de água (FELLOWS, 2006). Com a diminuição da atividade de água do alimento é reduzido também o crescimento dos microrganismos e a atividade enzimática, explicando o fato da secagem ser utilizada como processo de conservação (MARTINAZZO et al., 2007).

A degradação e oxidação de nutrientes são alterações comuns que acontecem durante a secagem por expor o alimento a altas temperaturas (TONON, 2006). Estudos envolvendo o processo de secagem em diferentes equipamentos têm objetivado o conhecimento de condições que provoquem menor alteração ao alimento (FELLOWS, 2006).

Segundo Celestino (2010) a secagem apesar de permitir algumas perdas nutricionais dos alimentos ainda apresenta muitas vantagens, tais como, redução das

perdas pós-colheita, aumento da vida de prateleira, baixo custo de processamento e de armazenamento, facilidade no transporte e concentração dos nutrientes termo tolerantes por conta da redução ou eliminação do teor de água.

Na indústria de alimentos o processo de secagem demonstra grande viabilidade por ser de baixo custo e gerar um produto final de qualidade, além de ser relativamente rápido. A secagem tem sido utilizada para diversos produtos, inclusive alimentos pastosos (BAG et al., 2011).

### **1.1.3 Liofilização**

A liofilização é uma técnica de desidratação que consiste na remoção da água com a sublimação, inicialmente o alimento é congelado e submetido as condições de pressão extremamente baixas. No interior de câmaras herméticas são utilizadas bombas a vácuo para retirada do ar, possibilitando a sublimação da água presente no produto. O fato de a água presente no alimento passar do estado sólido para o gasoso em baixas temperaturas e com ausência de oxigênio permite que sejam preservadas com mais facilidade as características nutricionais originais do alimento (TERRONI et al., 2013).

O processo de liofilização permite uma estabilidade do produto, evitando as reações químicas e biológicas que o degradam, isso porque a matéria é congelada e posteriormente a água presente é reduzida, ocorrendo a sublimação e em seguida a dessorção (MARQUES, 2008).

O processo de liofilização é aplicável na indústria de alimentos por preservar características nutricionais do produto e permitir que seja facilmente reidratado com aspectos semelhantes ao natural, pelo fato de utilizar baixas temperaturas. Dentre os métodos de desidratação de alimentos é o considerado melhor, porém é uma técnica de alto custo (CELESTINO et al. 2010; VIEIRA et al., 2012).

Terroni et al. (2013) relatam que a liofilização é empregada principalmente em alimentos com elevada qualidade e principalmente para frutos do Cerrado que são utilizados principalmente no preparo de sucos naturais, saborizadores e aromatizantes naturais de bebidas, em cápsulas ou barras vegetais, em iogurtes, bolos e sorvetes.

### **1.1.4 Processamento de alimentos**

A industrialização de alimentos vem permitindo que produtos sofram transformações para facilitar seu consumo, existindo a preocupação com a qualidade

sensorial e nutricional. Para tanto são estudadas e utilizadas operações adequadas para a preparação da matéria-prima, dentre elas a redução de tamanho (PAREDA et al., 2005).

Os resíduos de frutos como o epicarpo e sementes, podem apresentar maior valor nutricional do que as suas respectivas polpas. O processamento de resíduos de frutos em forma de farinha reduz o volume, pela retirada de água livre pelo processo de secagem ou de liofilização, provocando redução das reações químicas e microbiológica, produzindo desta forma um alimento seguro para consumo humano (SOQUETTA et al., 2016).

De acordo com a Legislação Brasileira, farinha é o produto obtido da moagem da parte comestível de vegetais, podendo sofrer processos tecnológicos adequados, devendo o produto deve ser denominado de farinha seguido do nome do vegetal de origem (BRASIL, 2003).

A preocupação em desenvolver produtos alimentícios com elevado valor nutricional, custo acessível e práticos para o consumo tem permitido que a população consuma mais vitaminas, fibras e minerais (FASOLIN et al., 2007).

As farinhas de resíduos são ótimas fontes de nutrientes, apresentando quantidades importantes de proteínas e facilmente inseridas na alimentação da população em geral, principalmente para pessoas mais carentes (STORCK et al., 2015).

Aydin e Gocmen (2015) compararam a utilização dos métodos de secagem em estufa (ar quente) e de liofilização sobre as propriedades funcionais, conteúdos ácidos fenólicos e biodisponibilidade utilizados para produzir farinha de abóbora. Os compostos fenólicos, a biodisponibilidade dos compostos fenólicos, concentrações de ácido fenólico e a atividades antioxidantes apresentaram valores maiores nas amostras submetidas à secagem em estufa a temperatura de 60°C comparativamente amostras de farinha de abóbora liofilizadas.

### 1.3 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DA VIGILÂNCIA SANITÁRIA - ANVISA. **Farinhas**. Resolução CNNPA n. 12. Diário Oficial da União, 1978. Disponível em:< [http://www.anvisa.gov.br/anvisalegis/resol/12\\_78\\_farinhas.htm](http://www.anvisa.gov.br/anvisalegis/resol/12_78_farinhas.htm)>. Acesso em: 15/10/2017.

ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F.; GRIFFIN JUNIOR, L. Gelatinization of Corn Grits by Roll-and Extrusion-Cooking. **Cereal Science Today**, St. Paul, v. 14, n. 1, p. 4-12, 1969.

ANSELMO G. C. S., CAVALCANTI-MATA M.E.R.M., ARRUDA P.C., SOUSA M.C., Determinação da higroscopicidade do cajá em pó por meio da secagem por atomização. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, v. 6, n. 2, p. 58-65, 2006.

- ASSIS M. M. M., MAIA G. A., FIGUEIREDO E. A. T., FIGUEIREDO R.W., MONTEIRO J.C.S. Processamento e estabilidade de geléia de caju. **Revista de Ciência e Agronomia**, v. 38, n. 1, p. 46-51, 2007.
- AYDIN, E; GOCMEN, D. The influences of drying method and metabisulfite pre-treatment on the color, functional properties and phenolic acids contents and bioaccessibility of pumpkin flour. **LWT - Food Science and Technology**, n. 60, p. 385-392, 2015.
- BAG, S. K.; SRIVASTAV, P. P.; MISHIRA, H.N. Optimization of process parameters for foaming of bael (*Aegle marmelos* L.) fruit pulp. **Food Bioprocess Technology**, v. 4, n. 1, p. 1450- 1458, 2011.
- BOSCO, J.; SOARES, K. T; FILHO, S. P. A.; BARROS, R. V. A cultura da cajazeira. João Pessoa: EMEPA-PB. Documentos, 28, 2000.
- BRASIL, Ministério da saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), Diário Oficial da União Resolução RDC nº 360. **Regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados Brasília**, DF. Dezembro de 2003.
- CELESTINO, S. M. C. Princípios de Secagem de Alimentos. 1ª ed. Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**, 2010.
- COFFMANN, C. W; GARCIA, V. V. Functional properties and amino acid content of a protein isolate from mung bean flour. **Journal of Food Technology**, v. 12, n. 5, p. 473-484, 1977.
- FACHINELLO, J. C.; NACHTIGAL, J. C. Situação da fruticultura no Brasil. In: **Introdução a Fruticultura**, cap.1. Embrapa, 2010.
- FASOLIN, L. H; ALMEIDA, G. C; CASTANHO, P. S; OLIVEIRA NETTO, E. R. Biscoitos produzidos com farinha de banana: avaliações química, física e sensorial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 3, p. 524-525, 2007.
- FELLOWS, P.J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos: princípios e prática**. 2ª ed. Porto Alegre. Artmed, 2006.
- GOMES, R.P. **Fruticultura brasileira**. 11ª ed. São Paulo: Nobel, 1985. 446 p.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos Físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo, 2008, 4ª ed. 1002p.
- MARTINAZZO, A. P.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MELO, E. C. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 3, p. 301-306, 2007.
- PARCK, K. J.; MORENO, M. K.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pêra Barlett. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 3, p. 288-292, 2001.
- PEREDA, J. A. O; RODRÍGUEZ, M. I. C; ÁLVAREZ, L. F; SANZ, M. L. G; MINGUILLÓN, G. D. G. F; PERALES, L. H. CORTECERO, M. D. S. **Tecnologia de Alimentos: Componentes dos alimentos e Processos**. São Paulo: Artmed. cap. 7. p. 106-107, 2005.
- PINTO, W. S.; DANTAS, A. C. V. L.; FONSECA, A. A. O.; LEDO, C. A. S. L.; JESUS, S. C. de; CALAFRENTE, P. L. P.; ANDRADE, E.M. Caracterização física, físico-química e química de frutos de genótipos de cajazeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 9, p. 1059-1066, set. 2003.
- RIBAS, A. I.; CÁNOVAS, G. V. B.; GARZA, S. G.; AÑÓ, V. G. **Métodos experimentales en la ingeniería alimentaria**. Zaragoza (Espanha); Acribia, 2000. 292 p.

- RODIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M. Carotenóides e valor nutritivo de vitamina A em cajá (*Spondias lutea* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 9, n. 2, p. 148-162, 1989.
- RUGGIERO, C. Maracujá para exportação: aspectos técnicos. Brasília: **EMBRAPA-SPI**, p.11-29, 1996.
- SACRAMENTO, C. K. do; SOUZA, F. X. **Cajá (*Spondias mombin* L.)**, Série Frutas Nativa, 4, 42 p, Jaboticabal – Funep, 2000.
- SILVA, A. S. **Avaliação da secagem do bagaço de cajá usando planejamento fatorial composto central**. 2008. 70f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.
- TERRONI, H. C.; DE JESUS, J. M.; ARTUZO, L. T.; VENTURA, L. V.; SANTOS, R. F.; DAMY-BENEDETTI, P. C. Liofilização. **Revista Científica Unilago**, 2013.
- TONON, R. V.; BARONI, A. F.; HUBINGER, M.D. Study of osmotic dehydration of tomato in ternary solutions through response surface methodology. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 3, 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.
- VILLACHICA, H. **Frutales y hortalizas promissoras de la Amazonia**. Lima: Secretaria Pro-Tempore/Tratado de Cooperación Amazonica, 1996, p. 270-274.
- STROCK, C. R.; BASSO, C.; FAVARIN, F. R.; RODRIGUES, A. C. Qualidade microbiológica e composição de farinhas de resíduos da produção de suco de frutas em diferentes granulometrias. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 4, p. 277-284, 2015.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo Geral

Avaliar a cinética de secagem e produzir farinhas do epicarpo dos frutos de cajá (*Spondias mombin* L.) a partir do epicarpo seco e realizar a sua caracterização nutricional.

### 2.2. Objetivos Específicos

- Estudar a cinética de secagem e as propriedades termodinâmicas do epicarpo de cajá em diferentes temperaturas (40, 50, 60 e 70°C);
- Produzir farinhas do epicarpo de cajá submetido a liofilização e a secagem em temperatura de 40, 50, 60 e 70°C;
- Caracterizar as farinhas segundo sua composição centesimal (teor de água, cinzas, proteínas, lipídios e carboidratos) e valor energético;
- Determinar as características físico-químicas (pH, acidez titulável, sólidos solúveis totais, granulometria e massa específica aparente) das farinhas;
- Realizar análises para estabelecer os índices absorção em água e leite e os índices de solubilidade em água, leite e óleo e a capacidade de formação de emulsão e espuma;
- Avaliar a cor das farinhas por reflectometria a partir das leituras de L\* (luminosidade), a\* e b\* (parâmetros de Hunter), e calcular o ângulo de cor hue (°h), croma (Cr) e a diferença total de cor ( $\Delta E$ );
- Determinar as características das farinhas quantificando os minerais.

## CAPÍTULO I. CINÉTICA DE SECAGEM DO EPICARPO DOS FRUTOS DE CAJÁ (*Spondias mombin L.*)

### RESUMO

O fruto da cajazeira (*Spondias mombin L.*), apresenta características relevantes para industrialização e possuem aroma agradável e sabor ácido-adocicado, possui quantidades relevantes de vitamina A e carotenoides no epicarpo do cajá. Objetivou-se, ajustar dados experimentais aos diferentes modelos matemáticos, utilizando alguns critérios para selecionar o melhor modelo e endossando esta decisão a partir do AIC e BIC, bem como avaliar o coeficiente de difusão efetivo e determinar a energia de ativação para o epicarpo de cajá (*Spondias mombin L.*) submetido as diferentes condições de secagem. O experimento foi desenvolvido no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, o epicarpo dos frutos de cajá com teor de água inicial 2,89 (base seca, b.s.) foram submetidos a secagem em temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C até teor de água final de 0,11; 0,10; 0,09 e 0,08 (b.s.), respectivamente. O modelo de Midilli apresentou o melhor ajuste aos dados experimentais obtidos. A escolha do modelo foi confirmada pelos critérios de AIC e BIC. O aumento da temperatura de secagem promoveu aumento do coeficiente de difusão efetivo, a energia de ativação do processo foi de 21,50 kJ mol<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** modelagem matemática, AIC, BIC, Midilli

## DRYING KINETICS OF THE EPICARP OF THE FRUITS OF CAJÁ (*Spondias mombin* L.)

**Abstract:** The cajazeira (*Spondias mombin* L.) fruit, presents characteristics relevant to industrialization and have a pleasant aroma and acid-sweet taste, has relevant amounts of vitamin A and carotenoids in its epicarp. The objective of this study was to adjust experimental data to different mathematical models, using some criterios to select the best model and endorsing this decision from the AIC and BIC, as well as to evaluate the effective diffusion coefficient and to determine the activation energy for cajá (*Spondias mombin* L.) epicarp submitted to different drying conditions. The experiment was carried out at the Goiano Federal Institute of Education, Science and Technology, the cajá fruits epicarp with initial moisture content 2.89 (dry base, db) were submitted to drying at temperatures of 40, 50, 60 and 70°C until final moisture content of 0.11; 0.10; 0.09 and 0.08 (db), respectively. The Midilli model presented the best fit to the experimental data obtained. The choice of the model was intensified by the AIC and BIC criteria. The drying temperature increase promoted the effective diffusion coefficient and the activation energy of the process was 21.50 kJ mol<sup>-1</sup>.

**Key words:** mathematical modeling, AIC, BIC, Midilli

### 3.1 INTRODUÇÃO

O fruto da cajazeira (*Spondias mombin* L.), é conhecido como cajá, taperebá, cajá-mirim ou cajá verdadeiro, apresenta características relevantes para industrialização e possuem aroma agradável e sabor ácido adocicado, fato que gera interesse na própria região e também em outras regiões do país onde não ocorrem a produção do fruto (ANSELMO et al., 2006).

Rodriguez-Amaya e Kimura (1989) descrevem quantidades relevantes de vitamina A e carotenoides no cajá, sendo maiores as quantidades quando utilizada também o epicarpo. A quantidade de carotenoides identificada na polpa foi de 17 mg g<sup>-1</sup> e quando utilizada a casca juntamente com a polpa esse valor subiu para 25,8 mg g<sup>-1</sup>. Quando retiradas as cascas do fruto o valor de vitamina A foi 30% menor. Para Silva et al. (1997) a casca também é conhecida pelo nome de película comestível.

A indústria de alimentos visa encontrar formas que permitam a utilização de resíduos, transformando-os em produtos que capazes de gerar rendimento financeiro e reduzir impactos ambientais (RUGGIERO, 1996).

O processo de secagem é de suma importância na tecnologia que permite a produção de produtos alimentícios de alta qualidade, sendo que permite a preservação das propriedades físicas e químicas e reduz o teor de água a níveis seguros de armazenamento, que desta forma o produto pode ser utilizado em épocas que não têm a produção do fruto (RESENDE et al., 2018).

Para o dimensionamento e otimização de equipamentos de secagem é importante o uso de modelos matemáticos, sendo necessário a escolha dos modelos que melhor se ajustem a perda de água de cada material, com base nos dados experimentais obtidos (COSTA et al., 2015), justificando a importância de informações teóricas sobre a secagem do epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.) em diferentes temperaturas.

Diversos autores como ALVES e RODOVALHO, 2016 (polpa de abacate); ARAÚJO et al., 2017 (frutos de amendoim); SILVA et al., 2015 (folhas de jenipapo); CORADI et al., 2016 (grãos de soja); GONELI et al., 2017 (amendoim) têm utilizado como critérios para seleção de modelos matemáticos que melhor ajustem a secagem de produtos agrícolas, como as magnitudes de coeficiente de determinação, erro relativo médio e erro médio estimado, teste qui-quadrado e distribuição residual.

Porém, para garantir a tomada de decisão na escolha de modelos matemáticos que melhor se ajustem ao processo de secagem de epicarpas de frutos podem ser adotados parâmetros mais criteriosos, como os Critérios de Informação Akaike (AIC) e Critérios de Informação Bayesiano de Schwarz (BIC).

Embasado no quão importante é o estudo do processo de secagem de produtos vegetais, objetivou-se ajustar dados experimentais a diferentes modelos matemáticos, utilizando alguns critérios para selecionar o melhor modelo e endossando esta decisão a partir do AIC e BIC, bem como avaliar o coeficiente de difusão efetivo e determinar a energia de ativação para o epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.) submetido a diferentes condições de secagem.

### **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 - Campus Rio Verde (IF Goiano - Campus Rio Verde), com frutos de cajá (*Spondias mombin* L.) procedentes da zona rural do município de Montes Claros de Goiás - GO, com teor de água inicial 2,89 (base seca, b.s.). Os epicarpas foram submetidos à secagem em estufa

com ventilação de ar forçada em quatro condições de temperatura, 40, 50, 60 e 70°C, que promoveram teor de água final de 0,11; 0,10; 0,09 e 0,08 (b.s.), respectivamente.

Para a determinação das curvas de secagem e ajustes dos modelos, a secagem dos epicarpos seguiu até que apresentasse massa constante. Os teores de água do produto foram determinados em estufa a  $105 \pm 3^\circ\text{C}$ , até massa constante.

Para a obtenção do equilíbrio higroscópico do epicarpo foram utilizadas três repetições contendo 5 g, mantidas nas condições de secagem apontadas anteriormente e pesadas, periodicamente, até a massa permanecer constante. As razões de teor de água do produto foram determinadas pela expressão:

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

Em que:

RX: razão de teor de água, adimensional;

X: teor de água do produto (b.s.);

$X_i$ : teor de água inicial do produto (b.s.);

$X_e$ : teor de água de equilíbrio do produto (b.s.).

Para representação da secagem dos epicarpos foram utilizados os modelos matemáticos conforme descritos na Tabela 1, comumente utilizados para produtos agrícolas.

**Tabela 1** - Modelos matemáticos utilizados para prever a secagem de produtos agrícolas.

Designação do modelo	Modelo	
$RX = 1 + a t + b t^2$	Wang e Singh	(2)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a) \exp(-k_1 \cdot t)$	Verma	(3)
	Thompson	(4)
$RX = \exp(-k \cdot t^n)$	Page	(5)
$RX = \exp(-k \cdot t)$	Newton	(6)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$	Midilli	(7)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$	Logarítmico	(8)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t)$	Henderson e Pabis	(9)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a) \exp(-k \cdot a \cdot t)$	Exponencial de Dois Termos	(10)
$RX = a \cdot \exp(-k_o \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$	Dois Termos	(11)
	Aproximação da Difusão	(12)

Em que:

t: tempo de secagem, h;

k, k<sub>o</sub>, k<sub>1</sub>: constantes de secagem, h<sup>-1</sup>;

a, b, c, n: coeficientes dos modelos;

RX: razão de teor de água, adimensional.

Para o ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais de secagem, foi realizado análise de regressão não linear, pelo método Gauss-Newton. Sendo adotado como critério para as aproximações iniciais dos coeficientes dos modelos os valores relatados na literatura para a modelagem de outros produtos agrícolas. Para determinar o grau de ajuste para cada temperatura de secagem, inicialmente foi considerada a significância dos coeficientes de regressão pelo teste t, adotando o nível de 5% de significância, a magnitude do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), os valores do erro médio relativo (P) e do erro médio estimado (SE), o teste de *Qui*-quadrado ( $\chi^2$ ) ao nível de significância de 5% e o intervalo de confiança a 95 % (p<0,05).

(13)

(14)

(15)

Em que:

Y: valor observado experimentalmente;

$\hat{Y}$ : valor estimado pelo modelo;

N: número de observações experimentais; e

GLR: graus de liberdade do modelo (número de observações experimentais menos o número de parâmetros do modelo).

Para selecionar um único modelo que melhor descreve o processo de secagem do epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.), os modelos que obtiveram melhor ajuste segundo os critérios acima, foram submetidos ao Critério de Informação de Akaike (AIC) e Critério de Informação Bayesiano de Schwarz (BIC). Os critérios de informação foram obtidos pelas seguintes equações:

$$AIC = -2 \log \text{like} + 2p \quad (16)$$

$$BIC = -2 \log \text{like} + p \ln(N - r) \quad (17)$$

Em que,

p: número de parâmetros do modelo;

N: número total de observações;

R: classificação da matrix X (incidência matriz do efeito fixo)

$\log \text{like}$ : valor do logaritmo da função de verossimilhança considerando as estimativas dos parâmetros.

Para determinar a difusão líquida, utilizou-se o modelo da difusão líquida utilizado da forma geométrica de placa plana (Brooker et al., 1992) por se tratar de cascas do fruto, com aproximação de oito termos (Afonso Júnior e Corrêa, 1999) (Equação 18), sendo ajustado aos dados experimentais de secagem do epicarpo do cajá, de acordo com a seguinte expressão:

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} = \left( \frac{8}{\pi^2} \right) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[ \frac{-(2n+1)^2 \cdot \pi^2 \cdot D \cdot t}{4} \left( \frac{D^2}{V} \right) \right] \quad (18)$$

Em que,

RX: razão de teor de água do produto (adimensional);

n: número de termos;

S: área da superfície da casca ( $m^2$ );

V: volume da casca, ( $m^3$ ).

Para a determinação da área superficial do epicarpo foram feitas imagens de quinze cascas diferentes e submetidas ao programa computacional ImageJ®. Foram feitas também medições da espessura de quinze epicarpo em cinco regiões distintas utilizando paquímetro digital com resolução de 0,01mm, com posse dos dados médios da espessura e da área superficial da casca foi possível realizar o cálculo do volume, conforme a equação a seguir:

$$V = S \cdot e \quad (19)$$

Em que,

e: espessura da casca (m);

A relação entre o coeficiente de difusão efetivo e a elevação da temperatura do ar de secagem foi descrita por meio da equação de Arrhenius.

$$D = D_0 \cdot \exp\left(\frac{-E_a}{R \cdot T_{ab}}\right) \quad (20)$$

Em que,

$D_0$ : fator pré-exponencial;

$E_a$ : energia de ativação;

R: constante universal dos gases, 8,134 kJ kmol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>;

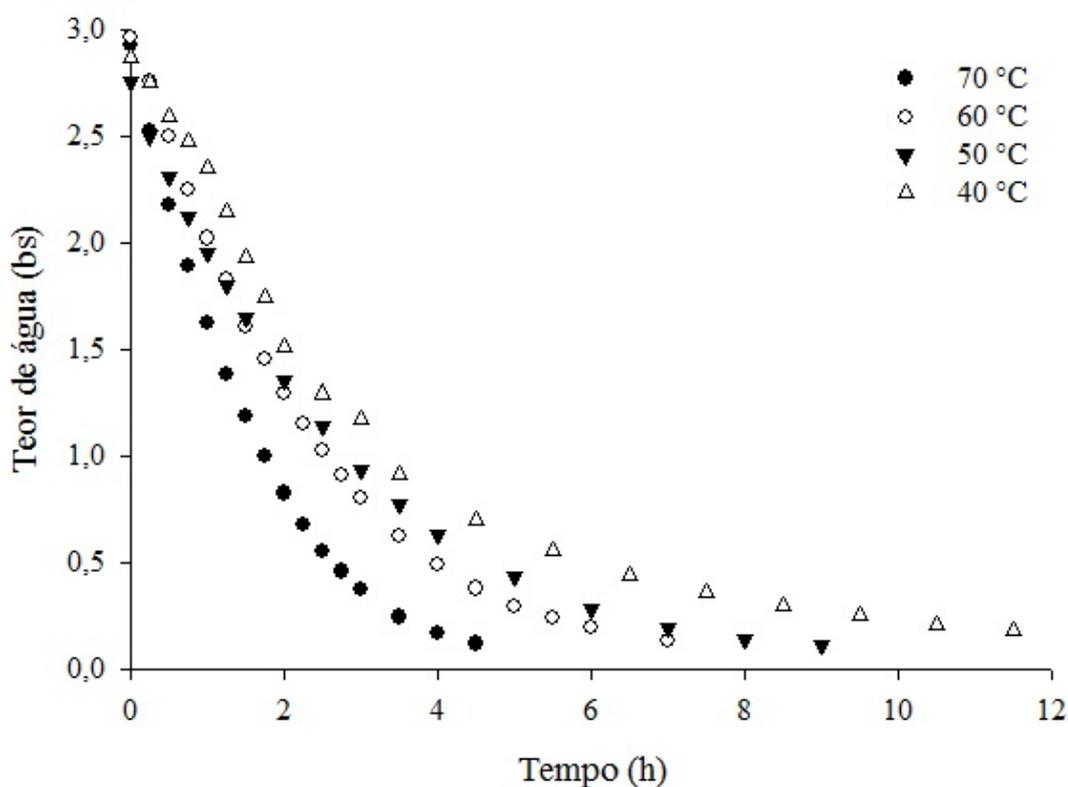
$T_{ab}$ : temperatura absoluta, K.

Com a aplicação do logaritmo ocorreu a linearização dos coeficientes da equação de Arrhenius, da seguinte forma:

$$\ln D = \ln D_0 - \left(\frac{E_a}{R \cdot T_{ab}}\right) \quad (21)$$

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O epicarpo do cajá (*Spondias mombin* L.) foi submetido a secagem em diferentes temperaturas, 40; 50; 60 e 70°C até teores de água final de 0,11; 0,10; 0,09 e 0,08 (bs) (Figura 1), respectivamente. Para atingir tais teores de água final foram necessários o tempo de 11,5; 9,0; 7,0 e 4,5 h, respectivamente para as temperaturas de 40; 50; 60 e 70°C. Percebe-se que o tempo gasto é inversamente proporcional a temperatura de secagem, ou seja, quanto maior a temperatura menor é o tempo que o produto é submetido a secagem, fato constado por diversos pesquisadores: casca de maracujá (BEZERRA et al., 2015); frutos de amendoim (ARAUJO et al., 2017) e fatias de abacaxi (BAPTESTINI et al., 2016), pois maior temperatura faz com que a água do interior do produto migre para o exterior com velocidade maior.



**Figura 1.** Teor de água do epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.) durante o período de secagem em diferentes temperaturas.

A Tabela 2 estão apresentados os coeficientes de determinação ( $R^2$ ), o erro médio relativo (P) e o erro médio estimado obtidos para os diferentes modelos ajustados às curvas de secagem do epicarpo de cajá.

**Tabela 2.** Parâmetros estatísticos para os modelos de secagem do epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.).

Modelos	40°C			50°C		
	SE (decimal)	P (%)	R <sup>2</sup> (%)	SE (decimal)	P (%)	R <sup>2</sup> (%)
Wang e Sing	0,0498	30,464	97,98	0,0351	27,931	98,93
Verma	0,0357	11,016	99,02	0,0059	4,520	99,97
Thompson	0,0355	7,476	98,98	0,0138	11,122	99,83
Page	0,0280	14,835	99,37	0,0071	3,696	99,96
Newton	0,0346	7,481	98,98	0,0134	11,115	99,83
Midilli	0,0213	8,794	99,67	0,0057	3,073	99,98
Logarítmico	0,0283	5,723	99,39	0,0075	5,822	99,95
Henderson e Pabis	0,0278	9,034	99,37	0,0126	9,729	99,86
Exponencial de Dois Termos	0,0355	7,481	98,98	0,0138	11,115	99,83
Aproximação da Difusão	0,0295	9,034	99,37	0,0135	9,728	99,86
Modelo	60°C			70°C		
	SE (decimal)	P (%)	R <sup>2</sup> (%)	SE (decimal)	P (%)	R <sup>2</sup> (%)
Wang e Sing	0,0226	16,305	99,48	0,0200	12,150	99,59
Verma	0,0129	6,371	99,84	0,0070	5,165	99,95
Thompson	0,0224	11,632	99,49	0,0209	14,485	99,55
Page	0,0029	1,279	99,99	0,0095	4,959	99,91
Newton	0,0218	11,630	99,49	0,0202	14,481	99,55
Midilli	0,0030	1,019	99,99	0,0072	3,869	99,95
Logarítmico	0,0110	5,471	99,89	0,0087	6,209	99,93
Henderson e Pabis	0,0162	8,154	99,73	0,0188	12,672	99,64
Exponencial de Dois Termos	0,0224	11,631	99,49	0,0209	14,481	99,55
Aproximação da Difusão	0,0172	8,154	99,73	0,0203	12,672	99,64
Aproximação da Difusão	0,0129	6,371	99,84	0,0070	5,165	99,95

Observa-se na Tabela 2 que todos os modelos para ambas as condições de secagem apresentaram valores do erro médio estimado (SE) muito baixos, próximos de zero, e representa bom ajuste do modelo. Segundo Draper e Smith (1981), quanto mais próximo de zero for o valor de SE, melhor é a sua capacidade de representar adequadamente o processo físico, como é o caso da secagem.

Verifica-se também que para todos os modelos, com exceção do modelo de Wang e Singh, foram encontrados valores do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) maiores que 99,16%, fato que Madamba et al. (1996) relata como representação satisfatória do processo de secagem, sendo que quanto mais próximo de 100% for o valor de (R<sup>2</sup>) melhor será a representação do modelo.

Ainda na Tabela 2, pode ser notado que em relação ao erro médio relativo (P), apenas os modelos de Midilli e Logarítmico apresentaram valores menores que 10% para todas as condições de secagem, de acordo com Mohapatra e Rao (2005) esta é uma condição que determina bom ajuste do modelo as condições de secagem.

A Tabela 3 apresenta os valores do teste de qui-quadrado ( $\chi^2$ ) obtidos para os diferentes modelos ajustados às curvas de secagem do epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.), percebe-se que todos os modelos apresentaram valores muito baixos, sendo que quanto menor este valor melhor o ajuste do modelo as condições, relatado por Günhan et al. (2005).

**Tabela 3.** Valores para o teste de *Qui*-quadrado ( $\chi^2$ , decimal) durante a secagem do epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.) em diferentes temperaturas.

Modelos	40°C	50°C	60°C	70°C
Wang e Singh	0,002484	0,001233	0,000509	0,000400
Verma	0,001273	0,000035	0,000167	0,000049
Thompson	0,001263	0,000190	0,000503	0,000436
Page	0,000782	0,000050	0,000009	0,000090
Newton	0,001196	0,000178	0,000476	0,000407
Midilli	0,000454	0,000032	0,000009	0,000052
Logarítmico	0,000799	0,000057	0,000120	0,000076
Henderson e Pabis	0,000774	0,000159	0,000263	0,000352
Exponencial de dois termos	0,001263	0,000190	0,000503	0,000436
Dois termos	0,000871	0,000183	0,000296	0,000411
Aproximação da difusão	0,001273	0,000035	0,000167	0,000049

Visto que os modelos de Midilli e Logarítmico obtiveram melhor ajuste as condições de secagem, ambos foram submetidos aos Critério de Informação de Akaike (AIC) e Critério de Informação Bayesiano de Schwarz (BIC) a fim de escolher um dos modelos para prever a curva de secagem do epicarpo de cajá, em diferentes condições.

Observa-se na Tabela 4 que os dois modelos apresentaram valores muito baixos para (AIC) e (BIC), segundo Wolfnger (1993), os menores valores para esses critérios indicam o melhor ajuste do modelo aos dados do processo. Sendo que o modelo de Midilli apresentou menores valores tanto para AIC e BIC para ambas as condições de secagem, este foi o modelo escolhido para representar a secagem do epicarpo de cajá. Gomes et al. (2018) trabalhando com secagem da massa de folha de jambu também utilizou os critérios de AIC e BIC para selecionar o melhor modelo.

**Tabela 4.** Critério de Informação de Akaike (AIC) e Critério de Informação Bayesiano de Schwarz (BIC) para os modelos que melhor se ajustaram aos dados da secagem do epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.) em diferentes temperaturas.

Modelo	40°C		50°C		60°C		70°C	
	AIC	BIC	AIC	BIC	AIC	BIC	AIC	BIC
Midilli	91,66	-86,68	-122,03	-117,87	-119,03	-115,04	-107,09	-103,23
Logarítmico	81,12	-77,14	-113,33	-110,00	-119,03	-115,04	-101,64	-98,55

Na Tabela 5 estão apresentados os valores dos parâmetros do modelo de Midilli, ajustados aos dados experimentais da cinética de secagem do epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.) em diferentes temperaturas.

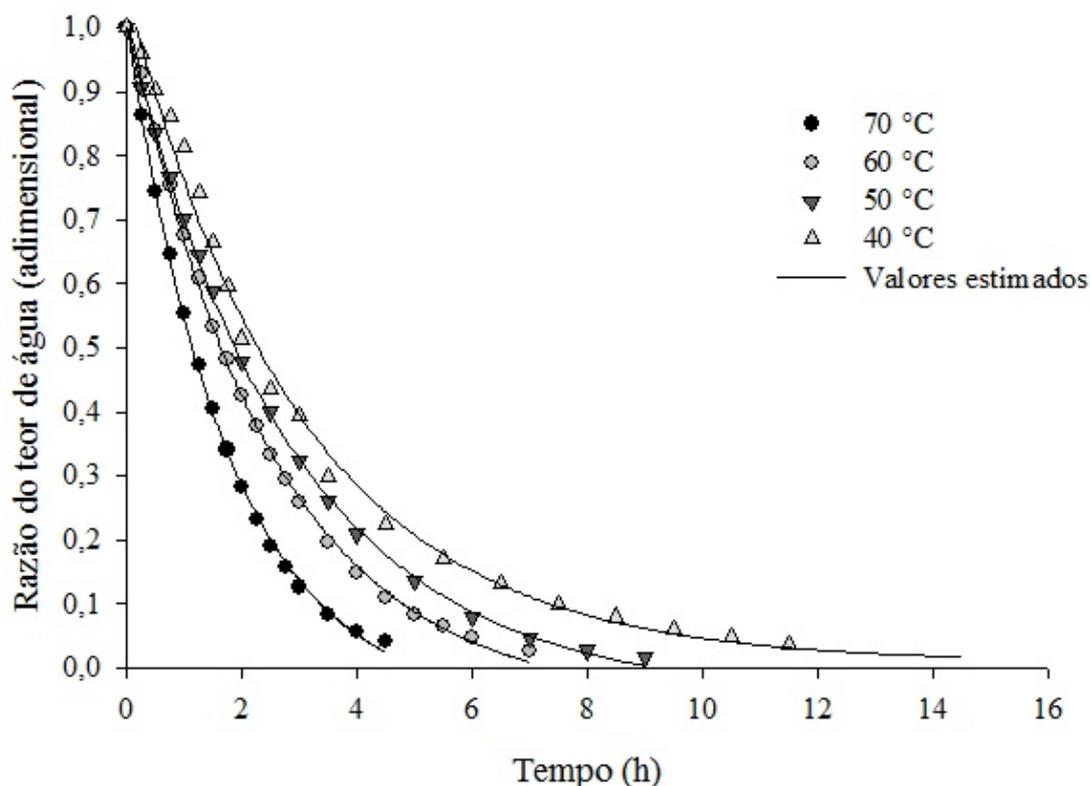
Verifica-se na Tabela 5, que a magnitude da constante de secagem  $k$  para o modelo de Midilli aumentou com a elevação da temperatura do ar de secagem, observado também por Gasparin et al. (2017) quando realizou a secagem de *Mentha piperita* em diferentes temperaturas. Já os parâmetros “ $a$ ”, “ $n$ ” e “ $b$ ” não obtiveram tendência clara com o aumento da temperatura fato observado por Rodovalho et al. (2015) para diferentes modelos matemáticos, quando realizou a secagem dos grãos de pimenta de pimenta bode.

**Tabela 5 -** Parâmetros do modelo Midilli ajustados para as diferentes condições de secagem do epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.) em diferentes temperaturas.

Parâmetros	Temperatura (°C)			
	40	50	60	70
$a$	1,017383**	0,990888**	1,002234**	0,993248**
$k$	0,272054**	0,339025**	0,387136**	0,585729**
$n$	1,190162**	1,067557**	1,134399**	1,085014**
$b$	0,004595**	-0,001192 <sup>ns</sup>	0,000223 <sup>ns</sup>	-0,005656*

\*\*Significativo a 1% pelo teste t. \*Significativo a 5% pelo teste t. <sup>ns</sup>Não significativo pelo teste t.

A Figura 2 apresenta as curvas de secagem do epicarpo de cajá estimadas pelo modelo de Midilli. Verifica-se pela correspondência entre os valores experimentais e os estimados pelo modelo, que houve ajuste satisfatório do modelo aos dados obtidos ao longo da secagem do epicarpo de cajá em ambas as condições.

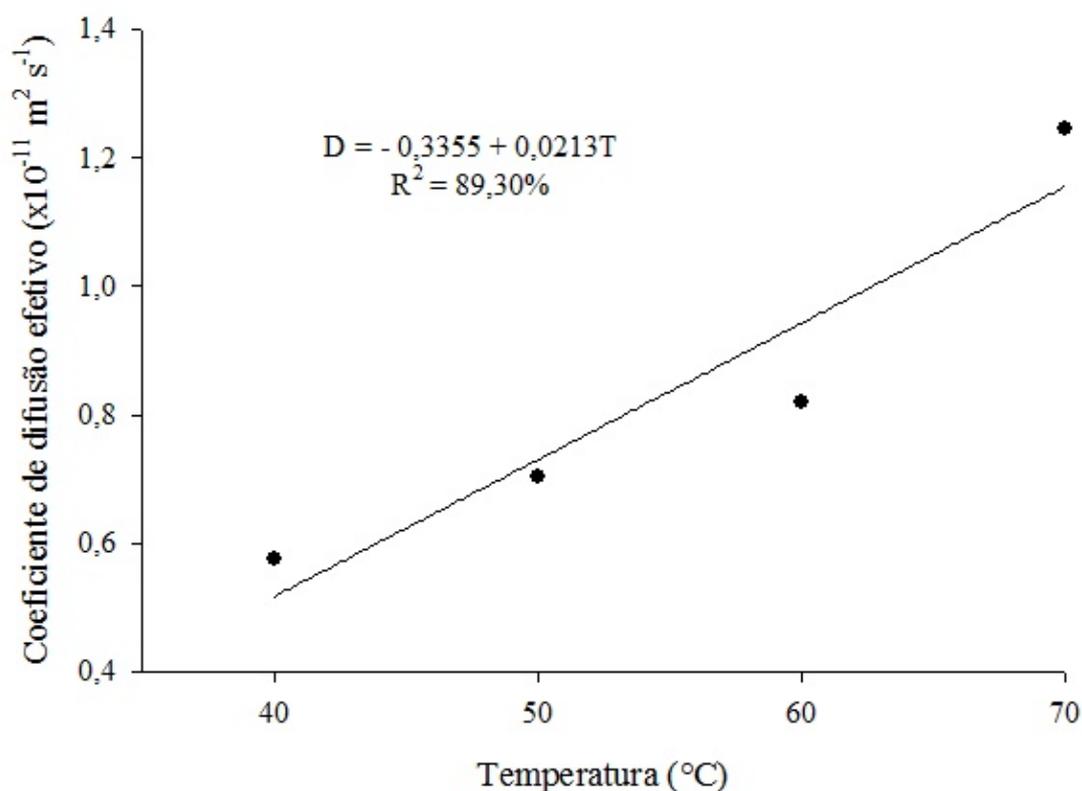


**Figura 2** – Valores dos teores de água experimentais e estimados pelo modelo do Midilli para a secagem do epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.) durante o período de secagem em diferentes temperaturas.

O modelo de Midilli foi selecionado para descrever a curva de secagem de casca de jaboticaba em temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C por Costa et al. (2016). Freitas et al. (2018) trabalhando com secagem, em diferentes temperaturas, de polpa de cajá (*Spondias mombin* L.) em camada de espuma também selecionou o modelo de Midilli. Para o trabalho de Silva et al. (2017) com secagem de cenouras em temperaturas entre 50 e 80°C, foi constatado que os modelos de Midilli e Page foram bem ajustados aos dados experimentais obtidos. Do mesmo modo Silva et al. (2016) selecionou o modelo de Midilli para prever a curva de secagem de frutos de pimenta Cabacinha nas temperaturas entre 60 e 100°C.

O coeficiente de difusão efetivo do epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.) aumenta de forma linear com o incremento da temperatura do ar de secagem, demonstrado na Figura 3, corroborando com resultados obtidos por outros pesquisadores como Freitas et al., 2018 trabalhando com secagem de polpa de cajá em camada de espuma; Araújo et al., 2017 em seu trabalho com frutos de amendoim;

Gomes et al., 2017 trabalhando com folhas de *Cymbopogon citratos* e Oliveira et al., 2013 em seu trabalho com grãos de soja.



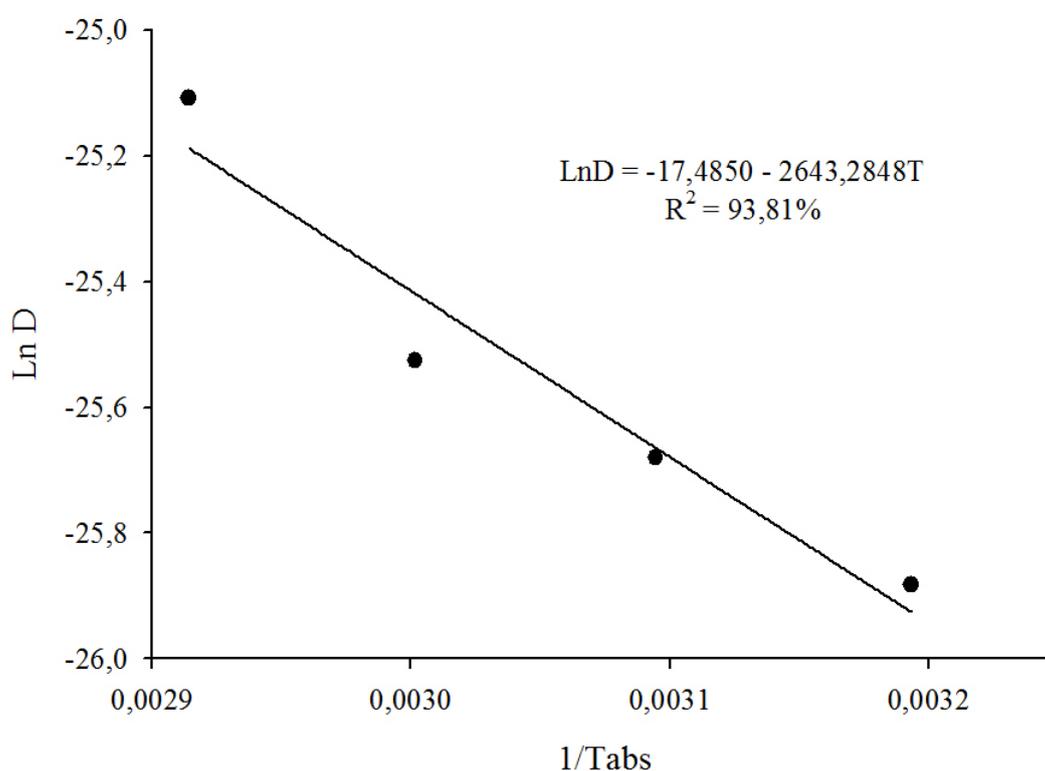
**Figura 3.** Coeficiente de difusão efetivo obtido para a secagem do epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.) nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C.

Quanto maior o valor da difusividade menor é a resistência do epicarpo de cajá a retirada de água. A difusividade da água é dependente da temperatura do ar de secagem, ou seja, quanto menor a temperatura do ar de secagem, maior a resistência do epicarpo à remoção de água (MULITERNO et al., 2017).

Os coeficientes de difusão efetivos (Figura 3) do epicarpo de cajá apresentaram magnitudes entre  $0,57 \times 10^{-11}$  a  $1,24 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  para as temperaturas de 40 a 70°C, os valores corroboram com os encontrados por Oliveira et al. (2014) em seu trabalho com secagem de grãos de soja em temperaturas entre 40 e 100°C, quando encontrou os coeficientes de difusão efetivo entre 0,84 e  $3,46 \times 10^{-11}$ . Porém os valores apresentam-se abaixo dos encontrados por Silva et al. (2017), secando sementes de niger em temperaturas entre 40 e 80°C os valores do coeficiente de difusão efetivo ficaram na faixa de  $2,32$  a  $15,69 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ . Bezerra et al. (2015) encontrou resultados superiores para os coeficientes de difusão efetivos ( $0,3199$  a  $1,994 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ) para secagem de casca de maracujá nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.

Foi utilizada a expressão de Arrhenius (Figura 4) para representar a dependência do coeficiente de difusão efetivo do epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.) em relação à temperatura de secagem.

A energia de ativação encontrada para o fenômeno de secagem foi de 21,50 kJ mol<sup>-1</sup>, resultado que corrobora com Baptestini et al. (2017) quando realizaram secagem de fatias de banana por infravermelho e encontraram valores para energia de ativação na faixa entre 16,39 e 25,20 kJ mol<sup>-1</sup>. Oliveira et al., 2013 trabalhando com grãos de soja encontrou o valor de energia de ativação de 22,77 kJ mol<sup>-1</sup>, valor próximo ao encontrado no presente trabalho.



**Figura 4.** Representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão efetivo em função da temperatura do ar de secagem, obtido durante a secagem do epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.).

Segundo Zogzas et al. (1996), a energia de ativação para produtos vegetais encontra-se entre 12,7 e 110 kJ mol<sup>-1</sup>, sendo assim o valor encontrado neste trabalho está dentro desta faixa. A energia de ativação representa o grau de dificuldade que as moléculas de água encontram para superar a barreira de energia no processo de

migração no interior do produto (CORRÊA et al., 2007). Quanto maior a energia de ativação encontrada maior é a dificuldade em retirar a água do produto, sendo assim pode-se dizer que o epicarpo de cajá apresenta relativa facilidade em migrar a água do interior para o exterior do produto.

### 3.4 CONCLUSÕES

O aumento da temperatura de secagem provoca redução do tempo de secagem, tendo sido gasto 11,5 h para temperatura de 40°C e 4,5 h para temperatura de 70°C.

O modelo de Midilli apresentou melhor ajuste aos dados experimentais da secagem do epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.) nas diferentes condições de secagem. A escolha do modelo foi confirmada utilizando o Critério de Informação Akaike (AIC) e Critério de Informação Bayesiano de Schwarz (BIC).

A equação de Arrhenius confirmou a dependência do coeficiente de difusão efetivo em relação a temperatura de secagem.

Quanto maior a temperatura utilizada para secagem do epicarpo do cajá menor o valor da difusividade, ou seja, menor a resistência a retirada de água. E, a baixa energia de ativação demonstra certa facilidade de migração da água para o exterior do produto.

### 3.5 REFERÊNCIAS

ALVES, J. J. L.; RODOVALHO, R. S. Cinética de secagem em camada de espuma da polpa de abacate cv 'Quintal' (*Persea Americana Mill*). **Revista Agrotecnologia**, v. 6, n. 1, p. 86-99, 2016.

ANSELMO, G. C. S.; CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M.; ARRUDA, P. C.; SOUSA M. C. Determinação da higroscopicidade do cajá em pó por meio da secagem por atomização. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, v. 6, n. 2, p. 58-65, 2006.

ARAÚJO, W. D., GONELI, A. L. D., CORRÊA, P. C., HARTMANN FILHO, C. P. Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim em camada delgada<sup>1</sup>. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 3, p. 448-457, 2017.

BAPTESTINI, F. M.; CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M.; OLIVEIRA, A. P. L. R. Heat and mass transfer coefficients and modeling of infrared drying of banana slices. **Revista Ceres**, v. 64, n. 5, p. 457-464, 2017.

BAPTESTINI, F. M.; CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; ALMEIDA, L. F. J.; VARGAS-ELIAS, G. A. Constant and decreasing periods of pineapple slices dried by infrared. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 11, n. 1, p. 53-59, 2016.

BEZERRA, C. V. B.; SILVA, L. H. M.; CORRÊA, D. F.; RODRIGUES, A. M. C. A modeling study for moisture diffusivities and moisture transfer

coefficients in drying of passion fruit peel. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 85, p. 750-755, 2015.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. Drying and storage of grains and oilseeds. Westport: Te Avi Publishing Company, 1992. 450p.

CORADI, P. C.; FERNANDES, C. H. P.; HELMICH, J. C. Adjustment of mathematical models and quality of soybean grains in the drying with high temperatures. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 4, p. 385-392, 2016.

CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MARTINAZZO, A. P.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 501-510, 2007.

COSTA, C. F.; CORRÊA, P. C.; VANEGAS, J. D. B.; BAPTESTINI, F. M.; COMPOS, R. C.; FERNANDES, L.S. Mathematical modeling and determination of thermodynamic properties of jabuticaba peel during the drying process. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 6, p. 576-580, 2016.

COSTA, L. M.; RESENDE, O.; GONÇALVES, D. N.; OLIVEIRA, D. E. C. Modelagem matemática da secagem de frutos de crambe em camada delgada. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 2, p. 392-403, 2015.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. Applied regression analysis. John Wiley & Sons, 1998.

FREITAS, B. S. M.; CAVALCANTE, M. D.; CAGNIN, C.; SILVA, R. M. da; PLÁCIDO, G. R.; OLIVEIRA, D. E. C. Physical-chemical characterization of yellow mombin (*Spondias mombin* L.) foam-mat drying at diferente temperatures. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 430-435, 2018.

GASPARIN, P. P.; CHRIST, D.; COELHO, S. R. M. Secagem de folhas *Mentha piperita* em leito fixo utilizando diferentes temperaturas e velocidades de ar. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 242-250, 2017.

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.

GOMES, N. H. F.; SILVA NETO, H. C. da, ALVES, J. J. L.; RODOVALHO, R. S.; SOUSA, C. M. Cinética de secagem de folhas de *Cymbopogon citratus*. **EVANGELISTA**, v. 19, n. 2, p. 328-338, 2017.

GONELI, A. L. D.; ARAÚJO, W. D.; HARTMANN FILHO, C. P.; MARTINS, E. A. S.; OBA, G. C. Drying kinetics of peanut kernels in thin layers. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, v. 37, n. 5, p. 994-1003, 2017.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. Thin-layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, v. 29, n. 1, p. 75-97, 1996.

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.

- MULTITERNO, M. M.; RODRIGUES, D.; LIMA, F. S.; IDA, E. I.; KUROZAWA, L. E. Conversion/degradation of isoflavones and color alterations during the drying of okara. **LWT - Food Science and Technology**, v. 75, p. 512-519, 2017.
- OLIVEIRA, D. E. C. DE; RESENDE, O.; CHAVES, T. H.; SOUSA, K. A.; SMANIOTTO, T. A. DE S. Mathematical modeling and thermodynamic properties for drying soybean grains. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 1. p. 31-38, 2014.
- OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O.; BESSA, J. F. V.; KESTER, A. N. Kinetic and thermodynamic properties of soybean grains during the drying process. **Journal of Agricultural Engineering**, v. 44, p. 331-337, 2013.
- RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C.; COSTA, L. M.; FERREIRA JUNIOR, W. N. Drying kinetics of baru fruits (*Dipteryx alata* Vogel). **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 1, p. 103-109, 2018.
- RODOVALHO, R. S.; SILVA, H. W.; SILVA, I. L.; ROSSETTO, C. A. V. Cinética de secagem dos grãos de pimenta bode. **Global Science and Technology**, v. 8, n. 2, p. 128-142, 2015.
- RODIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M. Carotenóides e valor nutritivo de vitamina A em cajá (*Spondias lutea* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 9, n. 2, p. 148-162, 1989.
- RUGGIERO, C. Maracujá para exportação: aspectos técnicos. Brasília: **EMBRAPA-SPI**, p. 11-29, 1996.
- SILVA, F. P.; SIQUEIRA, V. C.; QUINZANI, G. A.; MARTINS, E. A. S.; GONELI, A. L. D. Drying kinetics of niger seeds. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 4, p. 727-738, 2017.
- SILVA, H. R. P.; CUCO, R. P.; PORCIUNCULA, B. D. A.; SILVA, C. Avaliação dos parâmetros termodinâmicos e cinéticos de cenouras submetidas a secagem convectiva. **E-xata**, v. 10, n. 2, p. 73-80, 2017.
- SILVA, H. W.; RODOVALHO, R. S.; VELASCO, M. F.; SILVA, C. F.; VALE, L. S. R. Kinetics and thermodynamic properties related to the drying of 'Cabacinha' pepper fruits. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 2, p. 174-180, 2016.
- SILVA, L. A.; RESENDE, O.; VIRGOLINO, Z. Z.; BESSA, J. F. V.; MORAIS, W. A.; VIDAL, V. M. Cinética de secagem e difusividade efetiva em folhas de jenipapo (*Genipa americana* L.). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, n. 4, p. 953-963, 2015.
- SILVA, A. P. V.; MAIA, G. A.; OLIVEIRA, G. S. F.; FIGUEIREDO, R. W.; BRASIL, I. M. Características de qualidade de suco polposo de cajá (*Spondias lutea* L.) obtido por extração mecânico-enzimático. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 17, n. 3, p. 233-236, 1997.
- WOLFNGER, R. D. Covariance structure selection in general mixed models. **Communications in Statistics**, v. 22, p. 1079-1106, 1993.
- ZOGZAS, N. P.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. **Drying Technology**, v. 14, n. 10, p. 2225-2253, 1996.

## CAPÍTULO II. PROPRIEDADES FÍSICAS, FÍSICO-QUÍMICAS E FUNCIONAIS TECNOLÓGICAS DAS FARINHAS PRODUZIDAS A PARTIR DO EPICARPO DE CAJÁ

### RESUMO

A cajazeira é uma planta originária da América tropical e no Brasil ocorrem em diversos estados. Seu fruto é o cajá (*Spondias mombin* L.), possui características desejáveis para a industrialização, porém o epicarpo (casca) que possui boas características nutricionais é descartado. A farinha obtida por processos de desidratação é uma alternativa na indústria de alimentos para o aproveitamento de subprodutos. O objetivo neste trabalho foi desenvolver um produto a partir de um resíduo industrial e analisar as características físicas, físico-químicas e funcionais tecnológicas das farinhas de epicarpo de cajá produzidas por secagem em estufa em diferentes temperaturas (40, 50, 60 e 70°C) e a partir da liofilização. A farinha produzida a partir da liofilização do epicarpo de cajá apresentou coloração mais clara e maior tendência ao amarelo, maior quantidade de sólidos solúveis, menor densidade, maior índice de absorção em água e menor solubilidade em leite, menor atividade emulsificante e maior atividade espumante. As partículas da FECL apresentaram-se menores, ou seja, farinha mais fina. Todas as farinhas apresentaram valores baixos de pH, entre 2,65 e 2,83.

**Palavras-chave:** *Spondias mombin* L., desidratação, processamento, fruto, resíduo.

## PHYSICAL-CHEMICAL AND TECHNOLOGIES FUNCTIONAL PROPERTIES OF THE FLOUR PRODUCED FROM CAJÁ EPICARPO DE

### ABSTRACT

Cajazeira is a plant native to tropical America and in Brazil it occurs in several states. Its fruit is the cajá (*Spondias mombin* L.), that has characteristics desirable for industrialization, but the epicarp (bark) that has good nutritional characteristics is discarded. The flour obtained by dehydration processes is an alternative in the food industry for the use of by-products. The objective of this work was to develop a product from an industrial waste and to analyze the physical, physicochemical and functional technological characteristics of the cajá epicarp flours produced by oven drying at different temperatures (40, 50, 60 and 70°C ) and from lyophilization. The flour produced from the freeze drying of the cajá epicarp showed a clearer color and a tendency to yellow, higher quantity of soluble solids, lower density, higher water absorption index and a lower milk solubility, lower emulsifying activity and a higher foaming activity. The FECL particles were smaller, that is to say, flour finer. All the flours had low values of pH, between 2.65 and 2.83.

**Key words:** *Spondias mombin* L., dehydration, processing, fruit, residue.

### 4.1 INTRODUÇÃO

A cajazeira é uma planta originária da América tropical e no Brasil ocorrem em diversos Estados. Seu fruto é conhecido por diversos nomes dependendo da localidade, sendo na região amazônica conhecido por taperebá, em São Paulo e Minas Gerais por cajá pequeno, nos Estados do Sul por cajá mirim e na região Nordeste conhecido apenas por cajá (BOSCO et al., 2000).

Para a indústria de sucos são preferíveis os que apresentam rendimento alto, boa consistência e alto teor de açúcar e acidez, ainda não têm relatos de tecnologias de produção de cajá para exploração industrial e a comercial se torna mais difícil (PINTO et al., 2003).

Os frutos da cajazeira possuem aroma e sabor muito apreciados e são utilizados principalmente na produção de geleias, doces, picolés, sorvetes, polpas, sucos e néctares. Diferentes autores descrevem a boa qualidade do cajá na utilização industrial, Gomes (1985) relata que o fruto possui sabor agradável e refrescante, demonstrando ser

matéria-prima ideal para produção de sorvetes, geleias, compotas e sucos e dos sucos podem originar aguardente e licor.

O epicarpo (casca) das frutas é considerado resíduo industriais, porém pesquisadores têm enfatizado sobre a importância da inserção destes subprodutos como ingredientes para a alimentação humana (FAVA et al., 2013).

Houve aumento considerável do consumo de frutas nos últimos anos, fato relacionado a busca por melhoria na qualidade de vida, sendo que os consumidores estão procurando consumir frutos *in natura* ou processados com maior valor nutricional. Relacionando a importância do desenvolvimento de processados de frutas estuda-se a farinha como alternativa, podendo ser facilmente inserida na dieta humana devido ao custo benefício, visto que são fontes principalmente de nutrientes, fibras (BRITO et al., 2017).

A farinha obtida a partir da desidratação de frutos tem recebido atenção por parte de pesquisadores e da indústria de alimentos, podendo ser produzida também a partir de subprodutos, como o epicarpo dos frutos (ALVES & PERRONE, 2015; QUEIROZ et al., 2015).

A desidratação tem como finalidade reduzir a quantidade de água dos alimentos a níveis seguros para minimizar ou até impedir as reações que causam deterioração dos alimentos, sendo o processo de secagem um dos principais processos utilizados para a conservação de frutas e legumes (JIHÉNE et al, 2013)

Em contrapartida a secagem de alimentos podem causar alterações sensoriais, físicas, químicas e nutricionais que podem afetar os parâmetros de qualidade do produto e a aceitabilidade por parte do consumidor (CHEN et al., 2016; JIHÉNE et al, 2013).

Outra alternativa para a desidratação de alimentos é a liofilização que permite maior manutenção da qualidade dos alimentos, porém tem custo mais elevado, necessita de mão de obra qualificada, fato que limita a utilização deste método por parte da indústria (CORRÊA et al., 2011). No processo de liofilização o alimento é primeiramente submetido ao congelamento e a água é retirada por sublimação, com o objetivo de reduzir e/ou impedir o crescimento de microrganismos (RAMÍREZ-NAVAS, 2006)

É importante conhecer as alterações na composição química, dos nutrientes e das características de aplicação dos alimentos, que podem ser causadas pelos processos de desidratação, assim é possível escolher o melhor método para determinados produtos (MICHALSKA et al., 2017).

Diante do exposto objetivou-se produzir farinhas do epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.), como forma de aproveitamento de subproduto industrial a partir de secagem convencional em estufa nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C e também a partir da liofilização e realizar as análises físico-químicas e funcionais tecnológicas das farinhas produzidas.

## **4.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.2.1 Elaboração da farinha**

Os frutos de cajá, provenientes de vegetação natural, foram coletados na região de Montes Claros de Goiás (16°06'20" S e 51°17'11" W). Em cada ponto de coleta foi coletado a coordenadas geográficas pelo sistema de GPS (Global Position System). Colhidos manualmente, para a colheita dos frutos foi realizado o balanço dos galhos, para a caída dos frutos maduros, sendo estes recolhido em uma lona esticada sobre o solo, evitando que os frutos sofressem degradações. Após a coleta, os frutos foram separados de acordo com o grau de maturação, seguiram para o Laboratório de Frutas e Hortaliças do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde.

Conforme os frutos atingiram grau de maturação adequados foram selecionados, retirados os pedúnculos, lavados em água corrente e sanitizados por imersão em hipoclorito de sódio 150 ppm L<sup>-1</sup> durante dez minutos, em seguida foram enxaguados para remoção do cloro residual e secos em papel toalha. Os frutos foram submetidos ao processo de despulpamento em despulpadeira elétrica (Tortugan/Processador ker Mod 1.5) para a separação do endocarpo, polpas e epicarpo.

O epicarpo de cajá foram encaminhados para o Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, para iniciar o processo de secagem.

Para a produção das farinhas foram separadas porções de aproximadamente 700 g do epicarpo de cajá para cada temperatura de secagem, as quais foram dispostas em bandejas de aço inox sem perfurações e submetidas à secagem a 40, 50, 60 e 70°C em estufa de circulação de ar. A secagem ocorreu até que as massas das amostras contidas nas bandejas permanecessem constantes. E outra porção de 700 g de epicarpo de cajá foi submetido a liofilização, sendo que o material foi primeiramente congelado e posteriormente dispostos na câmara de secagem do liofilizador permanecendo por um período de 24 horas.

Após serem secas as amostras foram submetidas ao processo de moagem em moinho de facas do tipo willye (marca Fortinox), com peneira com malha de 1 mm de diâmetro, dando origem as farinhas do epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.), as farinhas foram acondicionadas em embalagens plásticas de polipropileno, e armazenadas em B.O.D. a -4°C, e permaneceram até a realização das análises. Para facilitar a identificação dos tratamentos, as farinhas foram nomeadas conforme a Tabela 6.

**Tabela 6.** Informações sobre os tratamentos para a produção das farinhas do epicarpo do cajá (*Spondias mombin* L.) desidratado sobre diferentes condições.

Tratamento	Farinha produzida	Abreviação
Secagem a 40°C	Farinha do epicarpo do cajá seco a 40°C	FEC40
Secagem a 50°C	Farinha do epicarpo do cajá seco a 50°C	FEC50
Secagem a 60°C	Farinha do epicarpo do cajá seco a 60°C	FEC60
Secagem a 70°C	Farinha do epicarpo do cajá seco a 70°C	FEC70
Liofilização	Farinha do epicarpo do cajá liofilizado	FECL

#### 4.2.2 Determinação de cor

A determinação da cor das farinhas do epicarpo de cajá foi realizada segundo o método AACC 14-22 com leitura direta de refletância das coordenadas L\* (define a luminosidade), a\* (mede a intensidade da cor entre o verde e o vermelho) e b\* (mede a intensidade da cor entre azul e amarelo), empregando o colorímetro ColorFlex EZ, o qual avalia os atributos da cor pelo sistema da *Comissão Internacional de Iluminação* (CIELAB) (AACC, 2000).

As leituras para as diferentes amostras foram realizadas em triplicata. Foi avaliado também a saturação da cor Chroma (Equação 1) e a diferença existente entre as cores ( $\Delta E$ ) das farinhas produzidas (Equação 2). Para o cálculo do  $\Delta E$  foi realizada a leitura em triplicata do epicarpo *in natura*, o  $\Delta E$  representa a diferença de cor total, no qual um valor baixo para  $\Delta E$  (menor que 2) representa uma diferença imperceptível e valor alto de  $\Delta E$  (maior que 10) demonstra maior diferença entre as cores (ABNT, 1992). O índice de escurecimento foi calculado segundo as equações 4 e 5 (Bai et al., 2013).

$$Cr = \left[ (a^2 + b^2)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (1)$$

$$^{\circ}h = \left[ \arctang\left(\frac{b}{a}\right) \right] \quad (2)$$

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (3)$$

$$BI = 100 * \left( \frac{X - 0,31}{0,17} \right) \quad (4)$$

$$X = \frac{(a^* + 1,75 L^*)}{(6,645 L^* + a - 3,012 b^*)} \quad (5)$$

Em que:

L\*: luminosidade ;

a\*: Cromaticidade verde-vermelho;

b\*: Cromaticidade azul-amarelo;

C\*: Chroma;

$^{\circ}h$ : ângulo hue;

$\Delta E$ : Variação total da cor;

BI: índice de escurecimento.

#### 4.2.3 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Para a determinação do pH foi utilizado o método AOAC 943.02. Foram adicionados 3 g da farinha da casca de cajá em um erlenmeyer de 250 mL, e diluídas com 30 mL de água destilada. A mistura foi agitada até que as partículas ficaram homogêneas. A solução permaneceu em repouso por 10 minutos e o líquido sobrenadante foi transferido para um béquer seco em que foi realizada a leitura do pH utilizando um pHmetro digital devidamente calibrado (AOAC, 2000).

#### 4.2.4 Acidez titulável

Para a análise da acidez titulável presente na amostra, foi utilizada a metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (2008). Sendo pesadas 2 g de amostra e transferidas para um frasco de erlenmeyer de 125 mL, diluindo com 50 mL de água destilada. Logo após, foram adicionadas 3 gotas de fenolftaleína e a titulação ocorreu com solução de hidróxido de sódio 0,1 M, até a obtenção de coloração rósea.

Para o cálculo da acidez titulável foi utilizada a seguinte equação:

(6)

$$\text{Acidez em solução (\%)} = \frac{V \cdot f \cdot 100}{M \cdot c}$$

Em que:

V = n° de mL da solução de hidróxido de sódio 0,1 M gasto na titulação;

f = fator da solução de hidróxido de sódio 0,1 M;

M = massa em gramas da amostra usada na titulação;

c = correção para solução de NaOH, 10 para solução NaOH 0,1 M.

#### 4.2.5 Sólidos solúveis totais

A análise de sólidos solúveis foi realizada diluindo 10 g de farinha da casca do cajá em 100 mL de água destilada no interior de erlenmeyer, a solução foi agitada com o auxílio de um agitador magnético por 10 min, filtrando logo em seguida, posteriormente foi feita leitura do material filtrado em refratômetro digital sob temperatura de 20°C. O resultado é expresso em °Brix (IAL, 2008).

#### 4.2.6 Massa específica aparente

Para a determinação da massa específica aparente foi utilizada a relação entre a massa de farinha de epicarpo de cajá e a leitura direta do volume ocupado por essa massa, com o auxílio de uma proveta, sendo essa relação expressa em g mL<sup>-1</sup> (AACC, 2000).

#### 4.2.7 Granulometria

Para a determinação da granulometria foi utilizado um equipamento vibrador de peneiras e conjunto de peneiras correspondendo as seguintes aberturas de malhas: 1 mm; 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 mm e o fundo sem perfuração. O conjunto de peneiras foi sobreposto em ordem crescente de abertura das malhas sobre o equipamento vibrador, em seguida foi colocado no topo do conjunto de peneiras 100 g da amostra de farinha, o equipamento vibrador foi acionado, e as amostras de cada tratamento submetidas a vibração por 15 min. Em seguida as peneiras que apresentaram amostra retida foram pesadas, para determinar as frações retidas (PERRY & CHILTON, 1973; ZANOTTO & BELLAVER, 1996). A fração retida foi expressa em porcentagem de acordo com a Equação 7.

$$PR (\%) = \frac{(M_1 - M_2)}{P} \cdot 100 \quad (7)$$

Em que:

PR % = porcentagem retida em cada peneira;

M<sub>1</sub> = massa da peneira, mais a fração retida;

M<sub>2</sub> = massa da peneira;

M = massa da amostra;

#### 4.2.8 Índices de absorção (IA) e Índices de solubilidade (IS)

Foram realizadas as análises para determinação dos índices de absorção em água, leite, e óleo, e índices de solubilidade em água e em leite, de acordo com Anderson et al. (1969), sendo necessárias algumas adaptações.

Em tubo de ensaio foram inseridas 1,0 g de farinha da casca de cajá, e posteriormente 10 mL do solvente. O tubo contendo a amostra com o solvente foi submetido a agitação e a solução foi transferida para um tubo de centrífuga logo em seguida, sendo esse tubo centrifugado a 3000 rpm durante 40 min. Posteriormente foi retirado o líquido sobrenadante e colocado em cadinhos de alumínio e colocados em banho-maria a 100°C por 2 horas e logo após, foram levados para estufa a 105°C por 3 horas para que ocorra a evaporação. O gel excedente no tubo da centrífuga foi pesado. O índice de absorção foi determinado a partir do resíduo da evaporação e do sobrenadante conforme Equação 8.

$$IA = \frac{MRC}{M} \cdot MRE \cdot 100 \quad (8)$$

Em que:

IA= Índices de absorção;

MRC= Massa do resíduo da centrífuga (g);

M= Massa da amostra (g);

MRE= Massa do resíduo da evaporação (g).

Os índices de solubilidade em água e leite foram determinados pela relação entre a massa do resíduo da evaporação e a massa seca da amostra segundo a Equação 9:

$$IS (\%) = \frac{MRE}{MA} \cdot 100 \quad (9)$$

Em que:

IS = Índice de solubilidade (%);

MA= Massa da amostra (g);

MRE= Massa do resíduo da evaporação (g).

#### 4.2.9 Formação de emulsão

A capacidade de formação de emulsão das farinhas de epicarpo de cajá foi determinada segundo a metodologia descrita por Yasumatsu et al. (1972). Sendo preparada uma suspensão com 7 g de amostra em 100 mL de água destilada e 100 mL de óleo de soja. A suspensão foi agitada em agitador de haste durante 1 min em velocidade moderada, posteriormente foi dividida em tubos graduados e centrifugados por 5 min a 3000 rpm. Para a capacidade de formação de espuma será usada a seguinte equação:

$$\text{Formação de emulsão (\%)} = \frac{VEi}{Vi} \times 100 \quad (10)$$

Em que:

VEi = volume da camada de emulsão;

Vi = volume total da suspensão no tubo.

Para determinar a estabilidade da emulsão (EE), foram utilizados os mesmos tubos com as emulsões da determinação da atividade emulsificante, inicialmente foram anotados os valores da camada emulsificada, em seguida os tubos foram aquecidos em banho-maria a 80°C por 30 min e posteriormente resfriados por 20 min em água corrente, e seguiu-se com centrifugação dos tubos com a amostra a 3000 rpm por 5 min.

Anotou-se o volume da camada de emulsão final, ou seja, a camada emulsificada remanescente). A equação 6 foi utilizada para calcular EE:

$$\text{Estabilidade da emulsão (\%)} = \frac{CER}{CEi} \times 100 \quad (11)$$

Em que:

CER = camada emulsificada remanescente, expressa em mL;

CEi = camada emulsificada inicial, expressa em mL;

#### 4.2.10 Formação de espuma

Para a determinação da capacidade de formação de espuma foi utilizado o método descrito por Coffmann e Garcia (1977) e adaptado. Sendo preparada uma suspensão com 1 g de amostra e 30 mL de água destilada em um béquer de 100 mL, agitada por 5 min com agitador de haste, posteriormente foi transferido para uma proveta graduada. O cálculo foi feito considerando o volume antes e após a formação da espuma, de acordo com a equação seguinte:

$$\text{Formação de espuma (\%)} = \frac{\text{VF} - \text{VI}}{\text{VI}} \times 100 \quad (12)$$

Em que:

VI = volume inicial;

VF = volume final.

A estabilidade da espuma foi medida deixando a proveta a temperatura ambiente (25 °C) e observada nos intervalos de 30 minutos, até completar 120 minutos (SHEVKANI et al, 2015; PRIA et al, 2014; COFFMANN E GARCIA, 1977).

#### 4.2.11 Análise estatística

Os resultados foram analisados utilizando software estatístico SISVAR® versão 6.0. Os resultados foram expressos como média ± desvios-padrão em tabelas. As análises

foram realizadas em triplicata e os valores médios avaliados por análise de variância (ANOVA) seguida do teste de médias de Tukey a 5% de significância, com delineamento inteiramente ao acaso (DIC).

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Seguem apresentados na Tabela 7 as médias encontradas para análise de luminosidade, estando dispostos os valores encontrados para as coordenadas L, a\*, b\*, ângulo hue, croma e para a diferença total de cor ( $\Delta E$ ).

**Tabela 7.** Médias dos valores encontrados para as coordenadas de L, a\* e b\*, ângulo hue (°h), chroma, diferença total de cor ( $\Delta E$ ) e índice de escurecimento (BI) da farinha do epicarpo dos frutos de cajá (*Spondias mombin* L.).

Tratamen tos	L	a*	b*	°h	Chroma	$\Delta E$	BI
FEC40	57,68±0,2	5,34±0,	22,63±0,	1,34±0,0	23,25±0,	62,19±0,	19,84±1,

	5 <sup>b</sup>	24 <sup>a</sup>	34 <sup>a</sup>	1 <sup>b</sup>	38 <sup>a</sup>	17 <sup>c</sup>	14 <sup>a</sup>
FEC50	56,78±0,6	5,45±0,	23,040,7	1,34±0,0	23,67±0,	61,53±0,	21,65±2,
	1 <sup>c</sup>	29 <sup>a</sup>	0 <sup>ab</sup>	1 <sup>b</sup>	75 <sup>a</sup>	28 <sup>b</sup>	39 <sup>b</sup>
FEC60	57,30±0,2	5,44±0,	22,44±0,	1,33±0,0	23,09±0,	61,78±0,	19,92±0,
	3 <sup>bc</sup>	07 <sup>a</sup>	18 <sup>a</sup>	1 <sup>b</sup>	19 <sup>a</sup>	22 <sup>b</sup>	50 <sup>a</sup>
FEC70	55,05±0,8	5,46±0,	23,58±0,	1,30±0,0	24,44±0,	60,24±0,	25,82±2,
	0 <sup>d</sup>	24 <sup>a</sup>	37 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	43 <sup>b</sup>	56 <sup>a</sup>	01 <sup>c</sup>
FECL	66,36±0,8	6,44±0,	28,06±1,	1,37±0,0	28,59±1,	72,27±0,	22,68±3,
	0 <sup>a</sup>	38 <sup>b</sup>	10 <sup>c</sup>	1 <sup>d</sup>	16 <sup>c</sup>	35 <sup>d</sup>	16 <sup>b</sup>

Médias com letras iguais na mesma coluna não tiveram diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se na Tabela 7, que a farinha do epicarpo do cajá produzida a partir da liofilização apresentou maior luminosidade (L), ou seja, tendendo mais ao branco, enquanto a farinha produzida por secagem a 70°C demonstrou maior escurecimento em relação as demais temperaturas de secagem. Com base nos resultados obtidos para a análise do parâmetro L constata-se que o aumento da temperatura de secagem do epicarpo de cajá promoveu escurecimento do produto, e a farinha produzida a partir do produto liofilizado obteve uma coloração mais clara, fato que discorda de Aydin e Gocmen (2015) que relataram que a farinha de abóbora produzida por secagem convencional a 60°C apresentou menor valor L\* comparado a farinha produzida por liofilização.

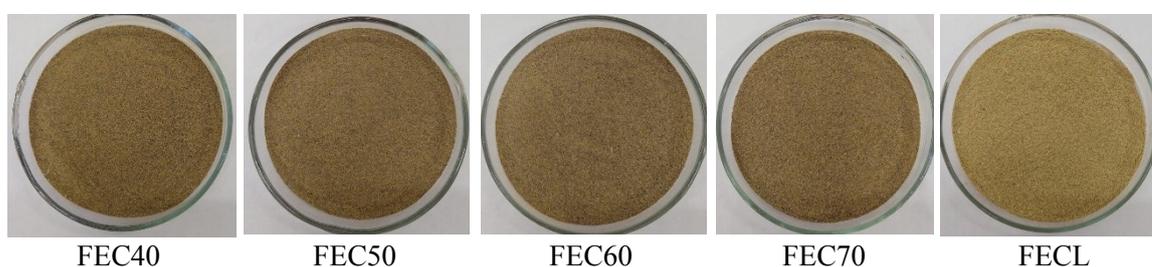
O fato das farinhas submetidas a secagem convencional apresentarem coloração mais escura pode estar relacionado a ocorrência da reação de Maillard, que provoca o surgimento de pigmentos com tonalidade escura quando o alimento é submetido a altas temperaturas (BATISTA et al. 2014).

Em relação a coordenada a\* observa-se (Tabela 7) que as farinhas do epicarpo de cajá desidratado nas quatro temperaturas (40, 50, 60 e 70°C) apresentaram maior tendência ao verde e não diferiram entre si, apresentando diferença da farinha do epicarpo de cajá liofilizado.

A coordenada a\* (Tabela 7) representa a coloração do verde ao vermelho, sendo que valores positivos e maiores significam maior tendência ao vermelho, e valores negativos e quanto menores indicam maior tendência ao verde. No caso das farinhas do epicarpo do cajá pôde verificar que as farinhas obtidas por secagem convencional apresentaram valores menores que para essa a coordenada a\* do que para a farinha obtida por liofilização, indicando que a farinha do produto liofilizado apresentou maior tendência ao vermelho.

Freitas et al (2017) trabalhando com secagem em camada de espuma da polpa do cajá (*Spondias mombin* L.) em diferentes temperaturas relatou que o aumento da temperatura ocasionou o escurecimento do produto e tendência ao vermelho.

A coordenada  $b^*$  indica a coloração do amarelo ao azul, sendo que valores maiores de  $b^*$  indicam maior tendência ao azul e quanto menor o valor maior a tendência ao amarelo, essa escala de coloração apresenta valores de negativo a positivo. Na análise colorimétrica das farinhas do epicarpo de cajá obtidas por diferentes temperaturas de secagem e por liofilização, sendo os valores expostos na Tabela 7, verifica-se que a farinha do epicarpo liofilizado apresentou diferença das demais farinhas, sendo que a mesma obteve maior valor, ou seja, tendeu mais ao amarelo. As farinhas das temperaturas de 40, 50 e 60°C não apresentaram diferença entre si e a farinha da temperatura de 70°C apresentou semelhança em relação a de 60°C (Figura 5).



**Figura 5.** Imagem das farinhas de epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.) produzidas por secagem em diferentes temperaturas de secagem (40,50,60 e 70 °C) e por liofilização.

Lunard e Rosa (2015) avaliou o efeito da liofilização sobre os parâmetros de cor de frutos tropicais constatando que esse processo permite maior estabilidade desses parâmetros, sendo que a luminosidade e a intensidade da coloração amarelo não diferiu do fruto *in natura*.

Segundo Martinazzo (2006) o croma (Cr) é a representação da expressividade, nitidez, intensidade da cor do produto analisado, ou também definido como a quantidade de cor que diferencia a cor mais forte da cor mais fraca.

Observa-se na Tabela 7, que as farinhas FEC40, FEC50 e FEC60 não apresentaram diferença para o croma, apresentando valores de 23,25, 23,67 e 23,09, respectivamente, para a farinha FEC70 (24,44) houve aumento desse valor diferindo dos demais. E a FECL apresentou o maior valor (28,59) para o croma, também diferindo de as outras farinhas, podendo afirmar que houve maior nitidez e intensidade na coloração desta farinha, com maior claridade.

Em seu trabalho com farinha de acerola obtidas por temperaturas de 60, 70 e 80°C, Reis et al. (2017) constatou que para a farinha com semente obtida a 60°C apresentou menor valor de luminosidade (L), relata também que o armazenamento provocou redução no valor de croma para todas as farinhas de acerola sem sementes, produzidas pelas diferentes temperaturas.

O ângulo hue é expressão em graus da intensidade da cor, começando em 0° que indica a +a (vermelho), 90° indica a +b (amarelo), 180° indica -b (verde) e 270° indica -b (azul) (TIBOLA et al., 2005).

O ângulo hue encontrados para a coloração das farinhas de epicarpo de cajá foram relativamente pequenos, indicando que estão muito próximos ao eixo. A farinha FEC70 apresentou o menor valor diferindo das demais, e a FECL apresentou o maior valor também diferindo de todas as outras. Oliveira et al. (2016) quando estudaram o efeito da secagem na coloração de frutos de baru (*Dipteryx alata* Vogel) não encontraram efeito da temperatura de secagem e do teor de água do produto no ângulo hue (°h).

Para a diferença total de cor ( $\Delta E$ ), com os valores representados na Tabela 2 a farinha FEC70 apresentou o menor valor (60,24) diferindo das demais, as FEC50 e FEC60 não apresentaram diferença entre si para esse valor, na FEC40 foi observado leve aumento desse valor (62,19). A FECL apresentou a maior diferença total de cor, apresentando-se diferente das demais, o valor encontrado para esta foi de 62,19.

A cor é um atributo de análise sensorial de fácil percepção que exerce influência direta na decisão de compra por parte do consumidor, associando a qualidade da farinha a coloração mais clara, a qual permitirá um produto final com aspecto almejado. As farinhas mais claras são geralmente preferíveis pelo consumidor, porém nem sempre apresentam a melhor qualidade (MIRANDA et al., 2009).

O índice de escurecimento (BI) é utilizado para medir a tendência a cor marrom que é causada por reações enzimáticas e não enzimáticas que ocorrem durante o processamento de alimentos (Mohapatra et al., 2010; Maskan, 2001). O BI encontrado para as farinhas FECL (22,68) e FEC50 (21,65) não apresentaram diferença e o BI encontrado para a FEC70 foi o maior (25,82) e diferiu dos demais, porém não foi possível relacionar diretamente o aumento da temperatura com o índice de escurecimento. Wang et al. (2018) encontraram os valores de BI aumentaram de 3,88 para 27,14 com aumento da temperatura de secagem.

Na Tabela 8, seguem descritos os valores encontrados para as análises de pH, acidez titulável, sólidos solúveis e massa específica aparente.

**Tabela 8.** Potencial Hidrogeniônico (pH), acidez titulável total (ATT), sólidos solúveis (SS) e massa específica aparente (MEA) da farinha do epicarpo dos frutos de cajá (*Spondias mombin* L.).

Tratamento	pH	ATT	SS (°Brix)	MEA (g mL <sup>-1</sup> )
FEC40	2,83±0,09 <sup>b</sup>	0,73±0,05 <sup>a</sup>	2,56±0,01 <sup>a</sup>	0,69±0,01 <sup>b</sup>
FEC50	2,68±0,08 <sup>ab</sup>	0,59±0,01 <sup>a</sup>	2,60±0,1 <sup>ab</sup>	0,61±0,01 <sup>b</sup>
FEC60	2,68±0,02 <sup>ab</sup>	0,55±0,04 <sup>a</sup>	2,65±0,0 <sup>ab</sup>	0,69±0,04 <sup>b</sup>
FEC70	2,65±0,06 <sup>a</sup>	0,60±0,15 <sup>a</sup>	2,70±0,5 <sup>ab</sup>	0,69±0,03 <sup>b</sup>
FECL	2,71±0,01 <sup>ab</sup>	0,76±0,08 <sup>a</sup>	2,73±0,3 <sup>b</sup>	0,60±0,02 <sup>a</sup>

Médias com letras iguais na mesma coluna não tiveram diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na Tabela 8, verifica-se que as farinhas FEC50, FEC60 e FECL não apresentaram diferença significativa de pH, e os tratamentos de 40 e 70°C diferiram entre si, sendo que a FEC40 apresentou maior média e a de FEC70 apresentou menor média.

As avaliações das farinhas apresentaram médias baixas de pH indicando acidez em ambas as condições de desidratação do epicarpo do cajá, sendo obtidos os valores entre 2,65 e 2,83. Alimentos com maior acidez possuem vantagens em sua conservação, pois reduzem as condições de crescimento de microrganismo e também de reações enzimáticas. Os resultados encontrados para o pH corroboram com os relatados por Freitas et al. (2017) para o pó de polpa de cajá (*Spondias mombin* L.), obtidos por secagem em camada de espuma em diferentes temperaturas, quando encontrou valores de pH entre 2,65 e 2,8.

Silvino et al. (2017) em seu trabalho com polpa de cajá encontrou o valor de pH de 1,45, estando abaixo dos valores encontrados no presente trabalho para as farinhas em diferentes condições de desidratação.

O parâmetro de acidez de um alimento está diretamente ligado a conservação do produto, e explica a importância de conhecer o teor de acidez dos alimentos, sendo que a acidez pode ter influência no processo de decomposição, seja por oxidação, hidrólise ou fermentação (BRASIL, 2005).

Os valores encontrados para acidez titulável foram entre 0,55 e 0,76, sendo que não apresentaram diferença entre as farinhas analisadas. Os valores de acidez titulável das farinhas de epicarpo de cajá obtidos por secagem em diferentes temperaturas e por

liofilização foram próximos aos encontrados por Freitas et al. (2017), que encontrou valores entre 0,6 e 1,2 para o pó de polpa de cajá.

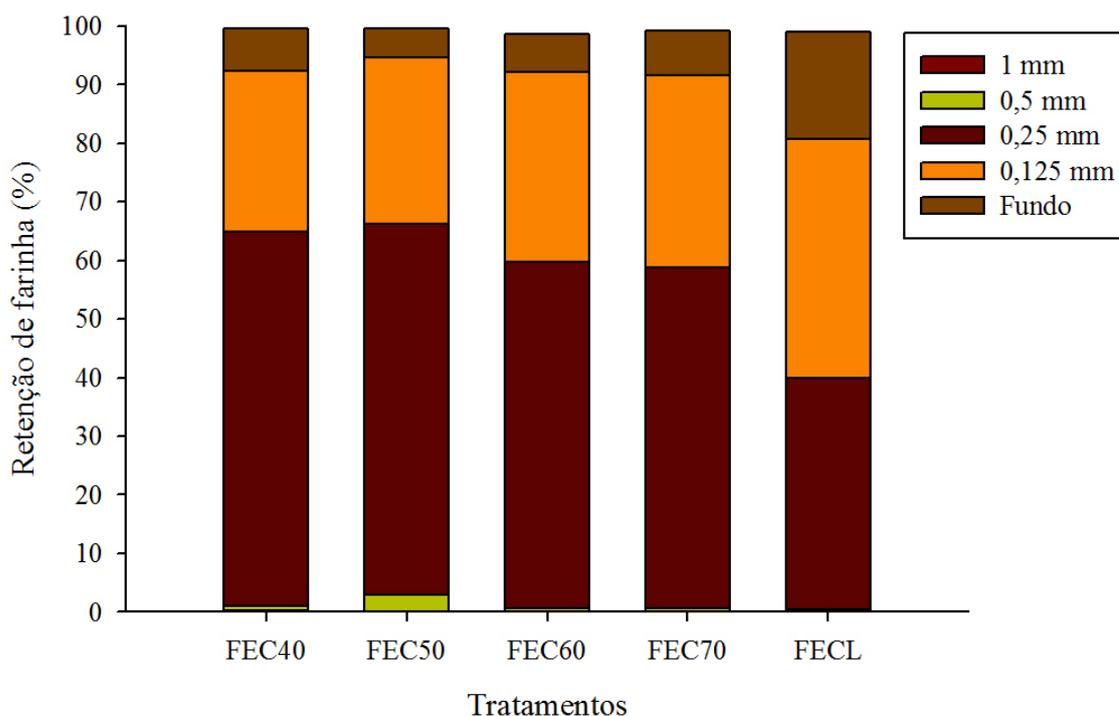
Em todas as farinhas, tanto as produzidas a partir da secagem quanto a produzida a partir da liofilização foram encontrados valores reduzidos de sólidos solúveis, indicando baixa quantidade de açúcares, característica que já era esperado devido o fruto não apresentar sabor doce. Segundo Canuto et al. (2010), os sólidos solúveis apresentam relação direta com a quantidade de açúcares e ácidos orgânicos.

Pode ser observado na Tabela 4.3 que as farinhas FEC40 e a FECL apresentaram diferença entre si, sendo que a FECL apresentou maior valor de sólidos solúveis, sendo assim pode-se afirmar que ocorreu maior remoção de água pelo processo de liofilização. A FEC40 apresentou menor valor, demonstrando maior quantidade de água no produto, fato que não corrobora com Freitas et al. (2017), que relata que a menor temperatura de secagem proporcionou maior remoção de água do pó de cajá. As farinhas de FEC50, FEC60 e FEC70 apresentaram valores intermediários e não diferiram entre si.

Carvalho et al. (2017) em seu trabalho de caracterização físico-química da polpa de frutos de cajá (*Spondias mombin* L.) encontrou valores de pH de 2,26 e 2,93, em relação a acidez titulável que se manteve entre 1,08 e 1,78 e para os sólidos solúveis foram encontrados valores entre 7,77 e 13,03, comparando com o presente trabalho, constata-se que os valores de pH corroboram com os encontrados para o epicarpo do cajá, já os valores de acidez titulável e sólidos solúveis os teores encontrado para o epicarpo diferem com o trabalho citado.

Em relação a massa específica aparente (Tabela 4.3) apenas a farinha produzida a partir da liofilização (FECL) diferiu das demais, apresentando menor média, ou seja, essa farinha demonstrou ser mais leve que as demais. A diferença da massa específica da FECL pode estar relacionada a menor teor de água na farinha e maior quantidade de ar nas moléculas, a vantagem de produtos com massa específica maior é que necessita de embalagens menores (SANTHALAKSHMY et al., 2015).

Os resultados obtidos para a granulometria das diferentes farinhas do epicarpo do cajá (*Spondias mombin* L.) foram expostos em gráfico (Figura 6).



**Figura 6.** Valores médios da distribuição granulométrica em diferentes aberturas de malhas (mm).

A partir da Figura 6 pode ser constatado que as farinhas obtidas por secagem convencional em estufa, a maior porcentagem de farinha ficou retida na peneira de malha de 0,25 mm, apresentando os percentuais de 63,87; 63,36; 59,11 e 58,09, respectivamente para as FEC40, FEC50, FEC60 e FEC70. Coelho e Wosiacki (2009) verificaram que 59,26 % das farinhas de maçã tiveram granulometria menor que 0,5 mm.

Na peneira de malha de 0,125 mm ficou retida a segunda maior proporção (Figura 3), sendo que para as FEC40, FEC50, FEC60 e FEC70 ficou retida a porcentagem de 27,53; 28,25; 32,43 e 32,92, respectivamente.

Observa-se que houve tendência linear da granulometria em relação a temperatura de secagem do epicarpo para a produção da farinha, sendo que o incremento da temperatura provocou diminuição da proporção de material retido na peneira de 0,250. Efeito inverso quando observado a peneira de 0,125 mm, sendo que o aumento da temperatura proporcionou a retenção maior de material desta granulometria. Podendo afirmar, que o incremento da temperatura de secagem proporcionou a produção de farinhas com granulometria menor, ou seja, mais fina.

Storck et al. (2015) em seu trabalho com farinha de resíduo da produção de suco encontrou que a farinha do resíduo de acerola apresentou granulometria  $\leq 0,250$  mm,

enquanto as farinhas de resíduo de laranja, uva e maçã apresentaram granulometria  $\geq 0,600$  mm.

Em relação a farinha do epicarpo de cajá liofilizado, observa-se tendência diferente para sua granulometria (Figura 3), sendo que 39,54 % ficou retida na peneira de 0,25 mm e 40,83 ficou retida na peneira de 0,125 mm. A FECL apresentou menor granulometria, ou seja, o processo de liofilização proporcionou a produção de farinha com partículas menores. E para reforçar essa afirmação na peneira sem perfuração (fundo) ficaram retidas as proporções de 7,36; 4,98; 6,45; 7,67 e 18,32 para as farinhas FEC40, FEC50, FEC60, FEC70 e FECL, observando que grande proporção da FECL passou pela peneira de 0,125 mm, enquanto para as farinhas obtidas por secagem em estufa apresentaram uma porcentagem pequena.

Segundo a legislação brasileira (BRASIL, 2005) para a comercialização de farinha de trigo é necessário que 95% da amostra passe pela peneira de malha de 250  $\mu$ m, o mesmo ocorreu para as farinhas obtidas no presente trabalho, podendo dizer que as farinhas do epicarpo do cajá apresentaram granulometria próxima da farinha de trigo.

A granulometria tem relação direta com a qualidade do produto final a ser elaborado, o tamanho das partículas influencia na capacidade de absorção de água, no tempo de mistura e nas características sensoriais (BORGES et al., 2003).

Na Tabela 9, estão apresentados os índices de absorção em água, leite e óleo e os índices de solubilidade em água e leite da farinha de epicarpo dos frutos de cajá (*Spondias mombin* L.).

**Tabela 9.** Índice de absorção em água (IAA), índice de absorção em leite (IAL), índice de absorção em óleo (IAO.), índice de solubilidade em água (ISA), e índice de solubilidade em leite (ISL) da farinha de epicarpo dos frutos de cajá (*Spondias mombin* L.).

Tratamento s	IAA (g g <sup>-1</sup> )	IAL (g g <sup>-1</sup> )	IAO (g g <sup>-1</sup> )	ISA (g 100g <sup>-1</sup> )	ISL (g 100g <sup>-1</sup> )
FEC40	63,68±8,12 <sup>a</sup>	2,76±0,15 <sup>a</sup>	12,13±0,56 <sup>a</sup>	16,86±2,6 <sup>a</sup>	47,70±1,28 <sup>a</sup> b
FEC50	65,42±2,45 <sup>a</sup>	2,90±0,19 <sup>a</sup>	11,77±0,45 <sup>a</sup>	18,69±0,66 <sup>a</sup>	49,50±3,87 <sup>a</sup> b
FEC60	63,88±2,52 <sup>a</sup>	2,96±0,13 <sup>a</sup>	11,91±0,31 <sup>a</sup>	19,36±0,65 <sup>a</sup>	52,05±3,56 <sup>b</sup>
FEC70	67,98±9,53 <sup>a</sup>	2,83±0,26 <sup>a</sup>	12,33±0,51 <sup>ab</sup>	20,12±3,20 <sup>a</sup>	47,79±3,23 <sup>a</sup> b

FECL	90,83±4,78 <sup>b</sup>	2,88±0,02 <sup>a</sup>	13,44±0,54 <sup>b</sup>	18,85±1,30 <sup>a</sup>	42,33±2,77 <sup>a</sup>
------	-------------------------	------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------

Médias com letras iguais na mesma coluna não tiveram diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

De acordo com a Tabela 9, a farinha do epicarpo de cajá submetido a liofilização (FECL) apresentou maior índice de absorção em água, com 90,83 g g<sup>-1</sup> de absorção, diferindo das demais farinhas.

As farinhas de epicarpo obtidos por secagem em estufa (FEC40, FEC50, FEC60 e FEC70) não apresentaram diferença entre si para o índice de absorção em água, apresentando os valores entre 63,68 e 67,98 g g<sup>-1</sup>.

Os resultados obtidos para absorção em água, foram superiores aos encontrados por Freo et al. (2011) em seu trabalho com farinha de trigo tratada com terra diatomácea, quando encontrou valores em torno de 55 g g<sup>-1</sup>.

Em relação ao índice de absorção em leite nenhum dos tratamentos apresentou diferença entre si, apresentando os valores de 2,76; 2,90; 2,96; 2,83 e 2,88 g g<sup>-1</sup>, respectivamente, para as farinhas FEC40, FEC50, FEC60, FEC70 e FECL.

Para o índice de absorção em óleo foi constatado que as farinhas FEC40, FEC50 e FEC60 apresentaram diferença em relação a FECL, sendo que o último obteve maior média (13,44 g g<sup>-1</sup>), ou seja, maior absorção no óleo. É importante que o alimento tenha capacidade de absorção de óleo para auxiliar na formulação de outros alimentos, por exemplo, massas de bolo (ZHANG et al., 2012).

A capacidade de absorção de líquidos das farinhas desempenha um papel importante no processo de preparação de alimentos, porque influencia propriedades, tanto funcionais como sensoriais. Além disso, o alcance da aplicação das farinhas como ingredientes alimentares dependem, em grande medida, da sua interação com a água e leite. As farinhas do epicarpo de cajá apresentaram alta índice de absorção em água, sendo uma característica boa para as farinhas, sendo a FECL considerada a melhor neste parâmetro.

A capacidade de absorção e retenção de água nas farinhas, influenciam na textura, retenção de sabor e reduzem as perdas de umidade e óleo dos produtos (MASSOLA e BIANCHINI, 2012). É importante que a farinha tenha alta capacidade de absorção de água na preparação de sopas, mingaus e pudins instantâneos (TORRES et al., 2005).

Ainda na Tabela 9, observa-se que não houve diferença entre os tratamentos para o índice de solubilidade em água. A FECL apresentou menor índice de solubilidade em

leite, diferindo da FEC60 que apresentou maior índice, as farinhas FEC40, FEC50 e FEC70 apresentaram índices intermediários e não diferiram entre si. Alguns pesquisadores relatam que temperaturas entre 55 e 60°C sejam ideias para a desidratação de frutos, pois limita os danos causados (MRAD et al., 2012; RUSSO et al., 2013).

Uma das principais características funcionais de farinhas desengorduradas é a solubilidade, que influencia em outras características, como a capacidade de formação de espuma, de emulsão e de gel. A interação das proteínas presente no alimento com os líquidos influencia em diversas interações alimentares, justificando o conhecimento desta característica (CHOU e MORR, 1979).

De modo geral, as farinhas produzidas pelo epicarpo de cajá por diferentes formas de desidratação apresentaram maior índice de absorção em água (IAA), porém em relação ao índice de solubilidade foi maior para o leite (ISL).

Encontram-se na Tabela 10, os valores encontrados para as análises de atividade emulsificante, estabilidade da emulsão, capacidade espumante e estabilidade da espuma.

**Tabela 10.** Atividade emulsificante (AE), estabilidade da emulsão (EE), capacidade espumante (CE), estabilidade da espuma (EEsp) das farinhas do epicarpo do cajá (*Spondias mombin* L.).

Tratamentos	AE	EE	CE	EEsp
FEC40	2,55±0,01 <sup>a</sup>	105,09±0,58 <sup>a</sup>	4,90±0,98 <sup>a</sup>	0,00±0,00 <sup>a</sup>
FEC50	2,86±0,08 <sup>c</sup>	97,72±0,98 <sup>a</sup>	3,92±0,98 <sup>a</sup>	0,00±0,00 <sup>a</sup>
FEC60	2,88±0,06 <sup>c</sup>	99,42±4,34 <sup>a</sup>	4,90±0,98 <sup>a</sup>	0,00±0,00 <sup>a</sup>
FEC70	2,96±0,06 <sup>c</sup>	93,37±2,05 <sup>a</sup>	4,90±0,98 <sup>a</sup>	0,00±0,00 <sup>a</sup>
FECL	0,88±0,07 <sup>b</sup>	164,38±13,38 <sup>b</sup>	9,71±0,98 <sup>b</sup>	0,01±0,1 <sup>a</sup>

Médias com letras iguais na mesma coluna não tiveram diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Pode ser observado na Tabela 10 que a FECL apresentou a menor atividade emulsificante (0,88%), diferindo das demais. As farinhas FEC50, FEC60 e FEC70 não diferiram entre si e apresentaram valores maiores, sendo 2,86; 2,88 e 2,96%, respectivamente. A FEC40 apresentou a menor atividade emulsificante (2,55%), dentre as farinhas produzidas por secagem em estufa, verificando que maiores temperaturas de secagem proporcionaram um produto com maior atividade emulsificante.

A reduzida capacidade de formar emulsão da FECL está relacionada ao fato de a liofilização ser realizada com a utilização de temperaturas negativas. A atividade

emulsificante está diretamente relacionada com a solubilidade das proteínas e o tratamento térmico provoca desnaturação proteica que auxilia nesta solubilidade (DAMODARAN et al. 2010).

Com relação a estabilidade da emulsão formada, conforme Tabela 10, verifica-se que a FECL apresentou estabilidade maior que as demais, sendo que para as FEC40, FEC50, FEC60 e FEC70 não houve diferença para este parâmetro.

Em relação a capacidade de formação de espuma (Tabela 10) não houve diferença entre as farinhas produzidas por secagem em estufa, apresentando valores entre 3,92 e 4,90. A FECL apresentou a capacidade espumante duas vezes maior (9,72).

A capacidade espumante é importante produzir produtos mais leves, modificando sua aparência e estrutura, conferindo aderência e flexibilidade com aspecto homogêneo e melhor distribuição de aroma. A principal importância das espumas em alimentos é relativa à textura do produto final. A aeração do produto altera sua reologia, auxiliando aqueles que eram fluidos inicialmente a ser moldado (CAMPBELL & MOUGEOT, 1999).

Nenhuma das farinhas produzidas apresentou a estabilidade para a espuma formada, sendo que ao final de 30 min já não apresentavam mais espuma.

#### **4.4 CONCLUSÃO**

As farinhas produzidas a partir da liofilização apresentaram coloração mais clara e com maior tendência ao amarelo, maior quantidade de sólidos solúveis, menor densidade, maior índice de absorção em água e menor solubilidade em leite, menor atividade emulsificante e maior capacidade espumante. E apresentou-se com partículas menores.

Em geral, a FECL apresentou características melhores para as análises físicas, físico-químicas e funcionais tecnológicas.

As farinhas do epicarpo do cajá obtidas por secagem em estufa em diferentes temperaturas (40, 50, 60 e 70°C) e por liofilização apresentaram altos índices de absorção em água e solubilidade em leite.

A secagem em estufa e a liofilização permitiram a produção de farinhas do epicarpo de cajá com características satisfatórias.

## 4.5. REFERÊNCIAS

- AACC. AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS - AACC. **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists**. 9 ed. Saint Paul, 2000.
- ALVES, G.; PERRONE, D. Breads enriched with guava flour as a tool for studying the incorporation of phenolic compounds in bread melanoidins. **Food Chemistry**, v. 15, n. 185, p. 65–74, 2015.
- ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F.; GRIFFIN JUNIOR, L. Gelatinization of Corn Grits by Roll-and Extrusion-Cooking. **Cereal Science Today**, v. 14, n. 1, p. 4-12, 1969.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. Arlington: A.O.A.C. 17th ed., 2000.
- AYDIN, E.; GOCMEN, D. The influences of drying method and metabisulfite pretreatment on the color, functional properties and phenolic acids contents and bioaccessibility of pumpkin flour. **Food Science and Technology**, v. 60, n. 1, p. 385-392, 2015.
- BAI, J. W., SUN, D. W., XIAO, H. W., MUJUMDAR, A. S., GAO, Z. J. 2013. Novel high-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) pretreatment enhances drying kinetics and color attributes of seedless grapes. **Innovation Food Science Emergineering. Technology**, v. 1 n. 20, p. 230-237, 2013.
- BATISTA, D. V. S.; CARDOSO, R. L.; GODOY, R. C. B.; EVANGELISTA-BARRETO, N.S. Estabilidade físico-química e microbiológica de banana passa orgânica. **Ciência Rural**, v. 44, n. 10, p. 1886-1892, 2014.
- BORGES, J. T. S.; ASCHERI; J. L. R.; ASCHERI, D. R.; NASCIMENTO, R. E.; FREITAS, A. S. Propriedades de cozimento e caracterização físico-química de macarrão pré-cozido à base de farinha integral de quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild) e de farinha de arroz (*Oryza sativa* L.) polido por extrusão termoplástica. **Boletim do CEPPA**, v. 21, n. 2, p. 303-322, 2003.
- BOSCO, J.; SOARES, K. T; FILHO, S. P. A.; BARROS, R. V. A cultura da cajazeira. João Pessoa: EMEPA-PB. Documentos, 28, 2000.
- BRASIL. Instrução Normativa nº 08, de 02 de junho de 2005. Aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da farinha de Trigo. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 03 jun. 2005. Seção 1, p. 91.
- BRITO, A. L. B.; OLIVEIRA, A. F.; NOGUEIRA, A. R. A.; PESSOA, A. G. G, PONTES, L. F. B. L. Determination of inorganic constituents and physicochemical characterization of functional flour samples. **Microchemical Journal**, v. 132, n. 1, p. 112–118, 2017.
- CAMPBELL, G. M.; MOUGEOT, E. Creation and characterization of aerated food products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 10, n. 9, p. 283-296, 1999.
- CANUTO, G. A. B., XAVIER, A. A. O., NEVES, L. C., & BENASSI, M. D. T. Caracterização físico-química de polpas de frutos da Amazônia e sua correlação com a atividade anti-radical livre. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 4, p. 1196-1205, 2010.
- CARVALHO, A. V.; CHAVES, R. P. F.; ALVES, R. M. Caracterização Física e Físico-Química de Frutos em Matrizes de Cajazeira no Estado do Pará. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. 1ª ed. n. 117, 2017.
- CHEN, X.; LI, X.; MAO, X.; HUANG, H.; MIAO, J.; GAO, W. Study on the effects of different drying methods on physicochemical properties, structure, and in vitro

- digestibility of *Fritillaria thunbergii* Miq. (Zhebeimu) flours. *Food and Bioprocess Processing*, v. 98, n. 1, p. 266–274, 2016.
- CHOU, D. H.; MORR, C. V. Protein-water interactions and functional properties. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 56, n. 1, p. 53A-62A, 1979.
- COELHO, L. M.; WOSIACKI, G. Avaliação sensorial de produtos panificados com adição de farinha de bagaço de maçã. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 3, p. 582-588, 2010.
- COFFMANN, C. W; GARCIA, V. V. Functional properties and amino acid content of a protein isolate from mung bean flour. **Journal of Food Technology**, v. 12, n. 74 p. 473-484, 1977.
- CORRÊA, S. C.; CLERICI, M. T. P. S.; GARCIA, J. S.; FERREIRA, E. B.; EBERLIN, M. N.; AZEVEDO, L. Evaluation of dehydrated marolo (*Annona crassiflora*) flour and carpels by freeze-drying and convective hot-air drying. *Food Research International*, v. 44, n. 7, p. 2385–2390, 2011.
- DAMODARAM, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 900 p.
- FAVA, F.; ZANAROLI, G.; VANNINI, L.; GUERZONI, E.; BORDONI, A.; VIAGGI, D.; ROBERTSON, J.; WALDRON, K.; BALD, C.; ESTURO, A.; TALENS, C.; TUEROS, I.; CEBRIÁN, M.; SEBŐK, A.; KUTI, T.; BROEZE, J.; MACIAS, M.; BRENDLE, H. G. New advances in the integrated management of food processing by-products in Europe: sustainable exploitation of fruit and cereal processing by-products with the production of new food products (NAMASTE EU). **New Biotechnology**, v. 30, n. 6, p. 647–655, 2013.
- FREITAS, B. S. M.; CAVALCANTE, M. D.; CAGNIN, C.; SILVA, R. M. da; PLÁCIDO, G. R.; OLIVEIRA, D. E. C. de. Physical-chemical characterization of yellow mombin (*Spondias mombin* L.) foam-mat drying at different temperatures. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 430-435, 2018.
- FREO, J. D.; MORAES, L. B. D.; COLUSSILL, R.; MOSSMANNLL, J.; ELIAS, M. C.; GUTKOSKI, L. C. Propriedades físicas e tecnológicas de farinha de trigo tratada com terra diatomácea. **Ciência Rural**, v. 41, n. 6, p. 1076-1081, 2011.
- GOMES, R. P. **Fruticultura brasileira**. 11.ed. São Paulo: Nobel, 1985. 446 p.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos Físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo, 2008, 4ª ed. 1002p.
- JIHÉNE, L.; AMIRA, T.; SABER, C.; FETHI, Z. Impact of Infra-red drying temperature on total phenolic and flavonoid contents, on antioxidant and antibacterial activities of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). **Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology**, v. 6, n. 5, p. 38-46, 2013.
- LUNARDI, H. E ROSA, G.S. estudo da influência da liofilização nos parâmetros de cor de frutas tropicais. **XXXVII ENEMP**, São Carlos – SP, 2015.
- MOHAPATRA, D., BIRA, Z. M., KERRY, J. P., FRÍAS, J. M., RODRIGUES, F. A. Postharvest hardness and color evolution of white button mushrooms (*Agaricus bisporus*). **Journal Food Science**, v. 3, n. 75, p. 146-152, 2010.
- MASKAN, M. Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. **Journal Food Engineering**. v. 2, n. 48, p. 169-175, 2001.
- MARTINAZZO, A.P. **Secagem, armazenamento e qualidade de folhas de *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 140p. Tese Doutorado.
- MASSOLA, B. C. P.; BIANCHINI, M.G.A. **Análise de absorção de água e gordura das farinhas de amaranto em diferentes tratamentos térmicos**. In: 64ª Reunião

- Anual da SBPC. São Luis, 2012. Disponível em: <<http://www.sbpnet.org.br/livro/64ra/resumos/resumos/8687.htm>>. Acesso em: 25 de abril 2018.
- MICHALSKA, A.; WOJDYŁO, A.; ŁYSIAK, G. P, LECH, K.; FIGIEL, A. Functional relationships between phytochemicals and drying conditions during the processing of blackcurrant pomace into powders. **Advanced Powder Technology**, v. 28, n. 5, p. 1340–1348, 2017.
- MRAD, N. D., BOUDHRIOUA, N., KECHAOU, N., COURTOIS, F., BONAZZI, C. Influence of air drying temperature on kinetics, physicochemical properties, total phenolic content and ascorbic acid of pears. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, n. 3, p. 433-441, 2012.
- OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O.; COSTA, L. M. Efeito da secagem na coloração dos frutos de baru (*Dipteryx alata* Vogel). **Revista Agro@ambiente**, v. 10, n. 4, p. 364-370, 2016.
- PERRY, H. R.; CHILTON, C. H. **Chemical Engineers Handbook**. Tokyo: McGraw-Hill Kogashua, 5ed, 1973.
- PINTO, W. S.; DANTAS, A. C. V. L.; FONSECA, A. A. O.; LEDO, C. A. da S. L.; JESUS, S. C. de; CALAFRENTE, P. L. P.; ANDRADE, E. M. Caracterização física, físico-química e química de frutos de genótipos de cajazeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 9, p. 1059-1066, 2003.
- QUEIROZ, E. R.; ABREU, C. M. P; SANTOS, C. M.; SIMÃO, A. A. Composição química e fitoquímica das farinhas da casca e da semente de lichias (*Litchi chinensis* Sonn) cultivar ‘Bengal’. **Ciência Rural**, v. 45, n. 2, p.329-334, 2015.
- RAMÍREZ-NAVAS, J. S. Liofilización de Alimentos. **Universidad del Valle**, v. 6, n. 2, p. 1-36, 2006.
- REIS, D. S.; FIGUEIREDO NETO, A.; FERRAZ, A. V.; FREITAS, S. T. Produção e estabilidade de conservação de farinhas de acerola desidratadas em diferentes temperaturas. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, e2015083, 2017.
- RUSSO, P., ADILETTA, G., DI MATTEO, M. The influence of drying air temperature on the physical properties of dried and rehydrated eggplant. **Food and Bioproducts Processing**, v. 91, n. 3, p. 249-256, 2013.
- SANTHALAKSHMY, S.; DON BOSCO, S. J.; FRANCIS, S.; SABEENA, M. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. **Powder Technology**, v. 274, n. 1, p. 37–43, 2015.
- SILVA, P. S. L.; SÁ, W. R.; MARIGUELE, K. H.; BARBOSA, A. P. R.; OLIVEIRA, O. F. Distribuição do teor de sólidos solúveis totais em frutos de algumas espécies de clima temperado. **Revista Caatinga**, v. 15, n. 1/2, p.19-23, 2002.
- SILVINO, R. C. A. S.; SILVA, G. C. T.; SANTOS, O. V. Qualidade nutricional e parâmetros morfológicos do fruto cajá (*spondias mombin* L.). **Revista Desafios**, v. 4, n. 2, p. 3-11, 2017.
- STROCK, C. R.; BASSO, C.; FAVARIN, F. R.; RODRIGUES, A. C. Qualidade microbiológica e composição de farinhas de resíduos da produção de suco de frutas em diferentes granulometrias. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 4, p. 277-284, 2015.
- TIBOLA, C. S.; LUCCHETTA, L.; ZANUZO, M. R.; SILVA, P. R.; FERRI, V. C.; ROMBALDI, C. V. Inibição da ação do etileno na conservação de caquis (*Diospyrus kaki* L.) ‘Fuyu’. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 1, p. 36-39, 2005.
- TORRES, L. L. G.; EL-DASH, A. A.; CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. R.; GERMANI, R.; MIGUEZ, M. Efeito da umidade e da temperatura no processamento de

farinha de banana verde (*Musa acuminata*, Grupo AAA) por extrusão termoplástica. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 2, p. 273-290, 2005.

WANG, J.; LAW, C.; NEMA, P. K.; ZHAO, J. H.; LIU, Z. L.; DENG, L. Z.; GAO, Z. J.; XIAO, H. W. Pulsed vacuum drying enhances drying kinetics and quality of lemon slice. **Journal Food Engineering**, v.1, n. 224, p. 129-138, 2018.

YASUMATSU, K.; SAWADA, K.; MORITAKA, S.; MISAKI, M.; TODA, J.; WADA, T.; ISHII, K. Whiping and emulsifying properties of soybean products. **Agricultural and Biological Chemistry**, v. 36, n. 5, p. 719-727, 1972.

ZHANG, H. J.; ZHANG, H.; WANG, L.; GUO, X.-N. Preparation and functional properties of rice bran proteins from heat-stabilized defatted rice bran. **Food Research International**, v. 47, n. 2, p. 359–363, 2012.

### **CAPÍTULO III. PROPRIEDADES NUTRICIONAIS DAS FARINHAS DO EPICARPO DE CAJÁ (*Spondias mombin* L.)**

#### **RESUMO**

O cajá (*Spondias mombin* L.) possui aroma e sabor levemente ácidos incomuns, que levam ao interesse em seu consumo *in natura* ou para utilização industrial fazendo com que o seu epicarpo (casca) seja descartado, gerando um resíduo industrial. O valor nutricional do epicarpo de frutas é quase sempre muito grande e em alguns pode ser até maior que da própria fruta. O objetivo deste trabalho é avaliar as farinhas produzidas do epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.), a partir de secagem convencional e liofilização. Foram realizadas as análises de teor de umidade, cinzas, lipídeos, proteínas e minerais, e determinados os teores de carboidratos e valor energético. O teor de umidade ficou abaixo de 8,87%, estando dentro do limite aceitável. As farinhas apresentaram altos teores de cinzas, lipídeos e proteínas, com valores acima de 5,61; 7,76 e 11,90%, respectivamente. Os teores de Fe, Zn e Mn ficaram acima da recomendação de ingestão diária. As temperaturas utilizadas para a desidratação do epicarpo do cajá não provocaram alteração nutricional das farinhas comparadas com a farinha do epicarpo liofilizado.

**Palavras-chave:** fruto, resíduo, valor nutricional.

#### **NUTRITIONAL PROPERTIES OF CAJÁ (*Spondias mombin* L.) EPICARP FLOUR**

## ABSTRACT

‘Cajá’ (*Spondias mombin* L.) has a slightly acidic flavor and aroma, which leads to the interest in its *in natura* consumption or for industrial use causing its epicarp (shell) to be discarded, generating an industrial residue. The nutritional value of the fruit epicarp is almost always very large and in some it may be even higher than that of the fruit itself. The objective of this work was to evaluate the flours produced from the cajá epicarp (*Spondias mombin* L.), from conventional drying and lyophilization. Analyzes of moisture content, ashes, lipids, proteins and minerals were carried out, and the carbohydrate and energy contents were determined. The moisture content was below 8.87%, being within the acceptable limit. Flours presented high levels of ash, lipids and proteins, with values above 5.61; 7.76 and 11.90%, respectively. The levels of Fe, Zn and Mn were above the daily intake recommendation. The temperatures used for the dehydration of the cajá epicarp did not cause nutritional alteration of the flour compared to the one from lyophilized epicarp.

**Key words:** fruit, residue, nutritional value.

## 5.1. INTRODUÇÃO

A cajazeira é uma planta originária da América tropical e no Brasil ocorrem em diversos estados. Seu fruto é conhecido por diversos nomes dependendo da localidade, sendo na região amazônica conhecido por taperebá, em São Paulo e Minas Gerais por cajá pequeno, nos estados do Sul por cajá mirim e na região Nordeste conhecido apenas por cajá (BOSCO et al., 2000).

O cajá (*Spondias mombin* L.) possui aroma e sabor levemente ácido, que leva ao interesse em seu consumo (rever a frase) *in natura* ou para produção de sucos, geleias, licores, sorvetes e néctares (SOUZA et al., 2010). O potencial de industrialização da polpa do cajá faz com que o seu epicarpo (casca) seja descartado, gerando resíduo industrial.

A retirada do epicarpo de frutas provoca grande perda de nutrientes, principalmente fibras e minerais, elaborando produtos a partir desses resíduos permite que sejam incluídos na alimentação diário do ser humano, permitindo o enriquecimento nutricional do outros produtos, a farinha é um boa alternativa para facilitar essa inserção (LIMA et al., 2015).

Os resíduos de frutos como o epicarpo e sementes, podem apresentar maior valor nutricional do que as suas respectivas polpas. O processamento de resíduos de frutos em forma de farinha reduz o volume, devido à retirada de água livre pelo processo de secagem ou de liofilização, provocando redução das reações químicas e microbiológicas, produzindo desta forma um alimento seguro para consumo humano (SOQUETTA et al., 2016).

Industrialmente as frutas desidratadas e em forma de pó podem ser utilizadas com aditivos em bebidas, podendo ter as funções de aromatizante, corante natural e aditivo funcional, fazendo com que o produto final tenha maior valor nutricional (KARAM et al., 2016).

Para a produção de farinhas é necessário a desidratação da matéria-prima, podendo ser utilizado diferentes métodos. A secagem de alimentos é eficaz na conservação de alimentos, porém pode causar alterações físicas, químicas e sensoriais que podem refletir no valor nutricional e na aceitabilidade do produto final (CHEN et al., 2016; JIHÉNE et al., 2013).

O processo de liofilização permite estabilidade do produto, evitando as reações químicas e biológicas que o degradam, isso porque a matéria é congelada e posteriormente a água presente é reduzida, ocorrendo a sublimação e em seguida a dessecção (MARQUES, 2008). Terroni et al. (2013) relatam que a liofilização é empregada principalmente em alimentos com elevada qualidade e principalmente para frutos do Cerrado.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as farinhas produzidas do epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.), a partir de secagem convencional e liofilização.

## **5.2 MATERIAL E MÉTODOS**

Os frutos de cajá, provenientes de vegetação natural, foram coletados na região de Montes Claros de Goiás (16°06'20" S e 51°17'11" W). Em cada ponto de coleta foi coletado as coordenadas geográficas pelo sistema de GPS (Global Position System). Colhidos manualmente, para a colheita dos frutos foi realizado o balanço dos galhos, para a caída dos frutos maduros, sendo estes recolhido em uma lona esticada sobre o solo, evitando que os frutos sofressem degradações. Após a coleta os frutos foram separados de acordo com o grau de maturação e seguiram para o Laboratório de Frutas e Hortaliças do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde.

Conforme os frutos atingiram grau de maturação adequados foram selecionados, retirados os pedúnculos, lavados em água corrente e sanitizados por imersão em hipoclorito de sódio 150 ppm L<sup>-1</sup> durante dez min, em seguida foram enxaguados para remoção do cloro residual e secos em papel toalha. Os frutos foram submetidos ao processo de despulpamento em despulpadeira elétrica (Tortugan/Processador ker Mod 1.5) para a separação do endocarpo, polpas e epicarpo.

O epicarpo de cajá foi encaminhado para o Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, para iniciar o processo de secagem.

Para a produção das farinhas foram separadas porções de aproximadamente 700 g do epicarpo de cajá para cada temperatura de secagem, as quais foram dispostas em bandejas de aço inox sem perfurações e submetidas à secagem a 40, 50, 60 e 70°C em estufa de circulação de ar forçada. A secagem ocorreu até que as massas das amostras contidas nas bandejas permanecessem constantes. E outra porção de 700 g de epicarpo de cajá foi submetido a liofilização, sendo que o material foi primeiramente congelado e posteriormente dispostos na câmara de secagem do liofilizador permanecendo por um período de 24 horas.

Após serem secas as amostras foram submetidas ao processo de moagem em moinho de facas do tipo willye (marca Fortinox), com peneira com malha de 1mm de diâmetro, dando origem as farinhas do epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.), as farinhas foram acondicionadas em embalagens plásticas de polipropileno, e armazenadas em B.O.D. a -4 °C, e permaneceram até a realização das análises.

**Tabela 11.** Informações sobre os tratamentos para a produção das farinhas do epicarpo do cajá desidratado sobre diferentes condições.

Tratamento	Farinha produzida	Abreviação
------------	-------------------	------------

Secagem a 40°C	Farinha do epicarpo do cajá seco a 40°C	FEC40
Secagem a 50°C	Farinha do epicarpo do cajá seco a 50°C	FEC50
Secagem a 60°C	Farinha do epicarpo do cajá seco a 60°C	FEC60
Secagem a 70°C	Farinha do epicarpo do cajá seco a 70°C	FEC70
Liofilização	Farinha do epicarpo do cajá liofilizado	FECL

### 5.2.1 Teor de água

O teor de água foi determinado pelo método de secagem em estufa (130± 1°C) de acordo com método AACC (44-15 A). Foram utilizadas cápsulas de alumínio previamente secas a 130°C, e foram inseridas 3 g de farinha de casca de cajá. As cápsulas contendo as amostras foram mantidas em estufa até atingirem massa constante. Em seguida foram resfriadas em dessecador (AACC, 2000).

### 5.2.2 Cinzas (resíduo mineral fixo)

Para a determinação das cinzas foi utilizado o método descrito pela AOAC 923.03. Foram utilizados cadinhos de porcelana previamente secos e resfriados em dessecador, os cadinhos foram pesados e adicionados em seu interior 2 g de farinha da casca de cajá. Os cadinhos foram levados a mufla em temperatura de 500 ± 15°C, por aproximadamente 5 horas, para que ocorresse a completa incineração da matéria orgânica, em seguida foram colocados em dessecador para que fossem resfriados (AOAC, 2000).

Ao término desse procedimento restou apenas as cinzas, chamadas de resíduo mineral fixo, sendo utilizada a equação seguinte para seu cálculo.

$$\text{Cinzas (\%)} = \frac{(B - A) \cdot 100}{MA} \quad (1)$$

Em que:

A= Massa do cadinho vazio;

B= Massa do cadinho com amostra após secagem;

MA= Massa da amostra.

### 5.2.3 Proteína bruta

Para a determinação da proteína bruta foi utilizado o método de Kjeldahl, no qual foi avaliado o teor de nitrogênio orgânico total de acordo com método AACC 46-12.

Foram adicionados 0,25 g da amostra em um tubo de ensaio, sendo adicionada em seguida 1,0 g do catalizador, e 6,0 mL de ácido sulfúrico PA. Os tubos foram colocados na estante, e levados para o bloco digestor com aquecimento de 400°C até que a amostra apresentou coloração verde claro, pois nesse momento ocorreu a digestão completa.

Ao término da digestão foram retirados os tubos do bloco digestor e resfriados, posteriormente foi ligado o aquecimento da caldeira e desligado quando a água entrou em ebulição. Em seguida foi adicionado no reservatório hidróxido de sódio 50% e um erlenmeyer de 250 mL contendo 10 mL de ácido bórico a 2% e 5 gotas de solução indicadora sendo conectado na saída do condensador.

O tubo contendo a amostra foi conectado no destilador, com a válvula do reservatório de hidróxido de sódio fechada. Com a caldeira desligada, a válvula foi aberta para liberar lentamente o hidróxido de sódio (25 mL) dentro do tubo com a amostra até que a mesma apresentou coloração negra. Será acionado o aquecimento da caldeira para iniciar a destilação por arraste da amônia (NH<sub>3</sub>), quando o volume da solução atingiu 75 mL, foi desligado o aquecimento da caldeira. A solução destilada foi titulada com ácido clorídrico 0,1N até coloração rósea (AACC, 2000).

Após a análise, foram realizados cálculos a partir das equações 2 e 3 para determinação de proteína da amostra.

$$\text{Proteína (base úmida)}(\%) = \frac{(\text{VL} - \text{VB}) \cdot (0,014 \cdot 100) \cdot 6,25 \cdot n \cdot \text{Fc}}{\text{MA}} = y \quad (2)$$

$$\text{Proteína (base seca)}(\%) = \frac{y \cdot 100}{(100 - X)} \quad (3)$$

Em que:

VB = mL gastos do titulante na amostra branco;

VL = mL gastos do titulante;

0,014 = meq Nitrogênio;

6,25 = Fator de conversão do teor de N em proteína;

n = Normalidade do titulante;

Fc = Fator de correção da normalidade do titulante;

MA = Massa da amostra;

X = % teor de água.

#### 5.2.4 Lipídeos

A determinação de lipídios foi realizada de acordo com método AOAC 925.38, utilizando o método de Soxhlet. Foram utilizadas 2 g da amostra a qual foi acondicionada em papel de filtro sendo fechado e amarrado com fio de lã previamente desengordurado, o papel de filtro contendo a amostra será colocado no aparelho de soxhlet, um balão de fundo chato (previamente seco em estufa a 105°C, resfriado em dessecador e pesado) foi acoplado também no aparelho de Soxhlet, foram adicionados ao aparelho 450 mL de hexano P.A, o balão permaneceu sob uma manta aquecedora e o aparelho de soxhlet foi conectado a um condensador de bolas. O balão foi mantido sob aquecimento por 8 horas (quatro a cinco gotas por segundo). Após a destilação os balões foram levados para a estufa a 105°C para a evaporação do solvente residual até a obtenção de peso constante, resfriados em dessecador e anotada a massa. (AOAC, 2000).

Os resultados foram expressos em % de lipídeos, calculados a partir da Equação 4:

$$\text{Lipídeos (\%)} = 100 \cdot \frac{m}{m'} \quad (4)$$

Em que:

m = massa de lipídios, g;

m' = massa da matéria seca;

#### 5.2.5 Carboidratos

Para determinar o teor de carboidratos foi utilizado o método de cálculo por diferença descrita por Sniffen e Perez (1992), de acordo com a equação 7, na qual foi considerada a matéria integral e o resultado foi expresso em g.100 g<sup>-1</sup>.

$$\text{CHOt} = 100 - (X + L + \text{PB} + C) \quad (5)$$

em que:

X= teor de água;

L = lipídeos;

PB = proteína;

C = cinzas.

### 5.2.6 Valor energético

Para a determinação do valor calórico foi utilizada a equação, fazendo o uso dos seguintes fatores de conversão de Atwater: proteínas, 4 kcal g<sup>-1</sup>; carboidratos, 4 kcal g<sup>-1</sup>; lipídeos, 9 kcal g<sup>-1</sup> (MERRIL e WATT, 1973; DE ANGELIS, 1977).

$$\text{Valor calórico (kcal/100g)} = (\text{proteína} \cdot 4) + (\text{carboidratos} \cdot 4) + (\text{lipídeos} \cdot 9) \quad (6)$$

### 5.2.7 Minerais

Os minerais foram determinados mediante digestão da matéria orgânica com ácido nítrico, e quantificados de acordo com o método AOAC 985.01. Por espectrometria de emissão atômica por plasma de argônio indutivamente acoplado.

Para realizar a digestão da matéria orgânica as amostras das farinhas foram queimadas em bico de Bunsen com tela de amianto até cessar o desprendimento de fumaça. As amostras foram colocadas em cápsulas em seguida na mufla (400-450°C), por um período de quatro horas.

Após o resfriamento das amostras até temperatura ambiente, as cinzas foram umedecidas com água desmineralizada e foi adicionado 1 mL de ácido nítrico. As cinzas foram umedecidas e aquecidas em chapa aquecedora até massa constante. Em seguida as amostras foram retornadas para a mufla (400-450°C), e foi repetida a adição de ácido nítrico, até a completa mineralização da amostra.

As cinzas foram dissolvidas com ácido nítrico e transferidas quantitativamente com água destilada e deionizada para balão volumétrico de 25 mL, as amostras foram preparadas em triplicata e um branco dos reagentes em paralelo.

Para a quantificação dos minerais em espectrômetro de emissão e plasma de argônio indutivamente acoplado foi preparada uma curva-padrão, considerando a sensibilidade do equipamento e a faixa linear de trabalho para cada elemento. As soluções foram preparadas em meio de ácido clorídrico a 10% v/v (IAL, 2008; AOAC, 1995).

A concentração dos elementos, em mg L<sup>-1</sup> na amostra foi determinada pela equação 7.

$$C' = \frac{L' \cdot b' \cdot d'}{v} \quad (7)$$

Em que:

C' = Concentração dos elementos;

L' = leitura da amostra, mg L<sup>-1</sup>;

b' = volume do balão para o qual a cinza da amostra foi transferida, mL;

d' = fator de diluição da amostra;

v' = volume da amostra, mL.

### 5.2.8 Análise estatística

Os resultados foram analisados utilizando software estatístico SISVAR® versão 6.0. Os resultados foram expressos como média ± desvios-padrão em tabelas. As análises foram realizadas em triplicata e os valores médios avaliados por análise de variância (ANOVA) seguida do teste de médias de Tukey a 5% de significância, com delineamento inteiramente ao acaso (DIC).

### 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 12 estão descritos os valores encontrados para a análise de umidade, cinzas e lipídeos das farinhas de epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.) seco em estufa em diferentes temperaturas (40, 50, 60 e 70°C) e liofilizado.

**Tabela 12.** Umidade, cinzas e lipídios da farinha de epicarpo dos frutos de cajá (*Spondias mombin* L.), expressos em (g 100g<sup>-1</sup>)

Tratamentos	Umidade	Cinzas	Lipídeos
FEC40	8,87±0,13 <sup>d</sup>	5,61±0,04 <sup>a</sup>	10,93±2,92 <sup>a</sup>
FEC50	7,77±0,09 <sup>c</sup>	5,91±0,12 <sup>a</sup>	7,76±4,46 <sup>a</sup>
FEC60	6,76±0,05 <sup>b</sup>	5,87±0,11 <sup>a</sup>	11,9±1,71 <sup>a</sup>
FEC70	6,30±0,29 <sup>a</sup>	5,70±0,17 <sup>a</sup>	11,46±3,98 <sup>a</sup>
FECL	8,50±0,11 <sup>d</sup>	5,87±0,31 <sup>a</sup>	14,69±6,19 <sup>a</sup>

Médias com letras iguais na mesma coluna não tiveram diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na Tabela 12, observa-se que as farinhas FECL e a FEC40 não apresentaram diferença entre si, apresentando os maiores valores de umidade, diferindo dos demais

tratamentos. As farinhas FEC50, FEC60 e FEC70 apresentaram diferença entre si, sendo que a de FEC70 apresentou o menor valor de umidade.

Constatou-se a temperatura de secagem interferiu diretamente no teor de umidade das farinhas produzidas a partir da secagem em estufa, sendo que o incremento da temperatura reduziu o teor de umidade. E a umidade da farinha do epicarpo liofilizado foi igual da farinha seca na menor temperatura de secagem em estufa.

Todas as farinhas apresentaram níveis seguros para o consumo e armazenamento, com teor de umidade abaixo de 8,87%, a legislação brasileira preconiza que farinhas tenham umidade máxima de 15% (BRASIL, 2005). Para evitar o crescimento de microrganismos deve-se manter a umidade dos alimentos baixa (REIS et al., 2017).

Em relação ao teor de cinzas (Tabela 12), não houve diferença entre as farinhas, foram encontrados teores de cinza entre 5,61 e 5,91 g 100g<sup>-1</sup>. Os valores encontrados corroboram com os encontrados por Storck et al. (2015) para farinha de resíduo de maçã, as quais apresentaram valores entre 4,38 e 16,86% de cinzas.

Santiago et al. (2016), avaliando farinha da casca de maracujá encontrou 7,21% de umidade, 4,32% de cinzas, 0,98% de proteínas e 0,93% de lipídeos. Observa-se que para umidade e cinzas os valores foram próximos aos encontrados no trabalho, porém os teores de lipídeos da casca de maracujá foram muito inferiores aos do epicarpo (casca) do cajá.

Ainda na Tabela 12, pode ser constatado que as farinhas do epicarpo do cajá liofilizado (FECL) não apresentou diferença para o teor de lipídeos comparado com as farinhas produzidas por secagem em estufa nas diferentes temperaturas (FEC40, FEC50, FEC60 e FEC70).

Os teores de lipídeos encontrados para as farinhas de epicarpo de cajá foram entre 7,77 e 14,69 g 100g<sup>-1</sup>, valores próximos ao encontrado por Martínez-Girón et al. (2017) em seu trabalho com farinha de resíduo de pupunha obtida por secagem conectiva, em que encontrou 13% de lipídeos. O alto teor lipídico pode estar relacionado ao alto teor de ácidos graxos poli-insaturados. Martínez et al. (2015) estudando farinha do epicarpo de manga e de laranja, encontraram os valores de 1,84 e 1,73%, respectivamente, valores inferiores aos encontrados neste trabalho.

Outros autores também encontraram altos teores lipídicos para farinhas de resíduos de frutos, Storck et al. (2015) encontraram teores entre 2,53 e 9,35 g 100g<sup>-1</sup> de

lipídeos para farinha do resíduo de laranja, e entre 5,6 e 17,3 g 100g<sup>-1</sup> para farinha de resíduo de uva, valores que corroboram com os encontrados no presente trabalho.

*Na Tabela 13, estão descritos os teores de proteínas e carboidratos e o valor energético das farinhas de epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.) seco em estufa em diferentes temperaturas (40, 50, 60 e 70°C) e liofilizado.*

**Tabela 13.** Proteínas e carboidratos, expressos em (g 100g<sup>-1</sup>) e valor energético (VE), expresso em (kcal 100g<sup>-1</sup>) das farinhas de epicarpo dos frutos de cajá (*Spondias mombin* L.)

Tratamentos	Proteína	Carboidrato	VE
FEC40	12,21±0,36 <sup>a</sup>	62,31±2,93 <sup>a</sup>	397,01±14,55 <sup>a</sup>
FEC50	12,09±0,33 <sup>a</sup>	66,45±4,24 <sup>a</sup>	384,09±22,64 <sup>a</sup>
FEC60	12,48±0,41 <sup>a</sup>	63,42±1,85 <sup>a</sup>	406,76±8,33 <sup>a</sup>
FEC70	12,70±1,65 <sup>a</sup>	64,87±3,38 <sup>a</sup>	404,00±19,19 <sup>a</sup>
FECL	11,90±0,20 <sup>a</sup>	59,19±6,36 <sup>a</sup>	416,62±31,06 <sup>a</sup>

Médias com letras iguais na mesma coluna não tiveram diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a análise de proteínas (Tabela 13) foram encontrados teores de 11,90 (FECL), 12,21 (FEC40), 12,09 (FEC50), 12,48 (FEC60) e 12,70 (FEC70) g 100g<sup>-1</sup> para as farinhas do epicarpo de cajá, as quais não apresentaram diferença significativa.

Os valores obtidos para carboidratos (Tabela 13) foram de 62,31; 66,45; 63,42; 64,87 e 59,19 g 100g<sup>-1</sup>, respectivamente para as farinhas FEC40, FEC50, FEC60, FEC70 e FECL, sendo que não houve diferença entre as farinhas para esse teor. Valores próximos foram encontrados por Storck et al. (2015) para as farinhas de resíduo industrial de laranja e de maçã obtidas por secagem em estufa com temperatura entre 50 a 55°C, as quais apresentaram os teores entre 63,4 e 73,4% e 67,4 e 74,9, respectivamente.

Leonel et al. (2014) avaliou farinha de casca de abacaxi em dois estágios de maturação secos em estufa com temperatura de 45°C, encontrou valores de carboidratos de 43,36 e 47,34 g 100g<sup>-1</sup> e para proteínas os teores foram de 4,45 e 4,15 g 100g<sup>-1</sup>, valores inferiores aos encontrados para as farinhas de epicarpo de cajá obtidas por diferentes condições de desidratação.

Para farinha de resíduo de mirtilo produzida a partir da secagem em estufa a 60°C por 36 horas, Goldmeyer et al. (2014) encontrou valores superiores aos encontrados no trabalho para carboidratos (85,15%) e inferiores para proteínas (5,27%).

De acordo com a Tabela 13, observa-se que não houve diferença para o valor energético das diferentes farinhas do epicarpo de cajá, apresentando os valores de 397,01; 384,09; 406,76; 404,00 e 416,62, respectivamente para as farinhas FEC40, FEC50, FEC60, FEC70 e FECL. Bampi et al. (2010) encontrou valor energético de 216,09 kcal para farinha de uva-japão secas em estufa a 60°C, relativamente inferior aos encontrados neste trabalho.

Silvino et al. (2017) avaliou a qualidade nutricional e parâmetros morfológicos do fruto do cajá (*Spondias mombin* L.) e encontrou o valor energético de 49,15 kcal, umidade de 86,78%, 2,62% de cinza, 1,35% de lipídeos, 2,93% de proteínas e 6,32% de carboidrato, verifica-se todos os teores, com exceção da umidade, encontrados para a farinha do epicarpo do cajá foram maiores.

Avaliando as propriedades nutricionais do cajá, Tiburski et al. (2011) encontrou 83,66% de umidade, 0,62% de lipídeos, 1,06% de proteína, 0,76% de cinzas, 13% de carboidrato e valor energético de 65,42 kcal, teores também diferentes dos encontrados.

Na Tabela 14, estão apresentados os teores dos macrominerais potássio, cálcio, fósforo e magnésio encontrados nas diferentes farinhas de epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.) produzidas a partir de secagem em estufa em diferentes temperaturas (40, 50, 60 e 70°C) e por liofilização.

**Tabela 14.** Valores médios referente aos teores de (macrominerais) potássio (K), cálcio (Ca), fósforo (P), magnésio (Mg) das farinhas de cajá (*Spondias mombin* L.).

Tratamentos	K (mg 100g <sup>-1</sup> )	Ca (mg 100g <sup>-1</sup> )	P (mg 100g <sup>-1</sup> )	Mg (mg 100g <sup>-1</sup> )
FEC40	3312,50±225,3 <sup>a</sup>	218,41±29,85 <sup>a</sup>	170,12±11,63 <sup>a</sup>	81,85±7,58 <sup>a</sup>
FEC50	3375,00±0,00 <sup>a</sup>	284,75±41,87 <sup>a</sup>	198,57±20,35 <sup>a</sup>	80,14±12,69 <sup>a</sup>
FEC60	3541,66±308,3 <sup>a</sup>	532,50±227,8 <sup>a</sup>	208,93±16,19 <sup>a</sup>	102,33±18,66 <sup>a</sup>
FEC70	3312,50±165,3 <sup>a</sup>	342,91±126,8 <sup>a</sup>	214,56±17,93 <sup>a</sup>	89,37±2,29 <sup>a</sup>
FECL	2937,50±347,9 <sup>a</sup>	430,00±14,41 <sup>a</sup>	215,76±32,28 <sup>a</sup>	90,75±4,71 <sup>a</sup>

Médias com letras iguais na mesma coluna não tiveram diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se que as farinhas FEC40, FEC50, FEC60, FEC70 e FECL não apresentaram diferença para o teor de nenhum dos macrominerais analisados, indicando que não houve relação da temperatura de secagem no teor de K (potássio), Ca (cálcio), P (fósforo) e Mg (magnésio), o mesmo foi constatado por Granito et al. (2003) quando analisou o efeito do cozimento do feijão para produção de farinhas, comparando com amostra controle sem cozimento.

Existem relatos de que a exposição de alimentos as altas temperaturas, como em processos de cozimento, provocam perdas significativas de minerais, Albrecht et al. (1986) afirmou a redução de 56% para Ca e 18,6% para K. As temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C utilizadas para a secagem em estufa do epicarpo do cajá (*Spondias mombin* L.) não foi suficiente para causarem perdas desses minerais. Foram encontrados para o epicarpo de cajá teores entre 2937,50 e 3541,66 mg 100g<sup>-1</sup> de K, Oliveira et al. (2013) encontrou teor de potássio de 2433 mg 100g<sup>-1</sup> para farinha de beterraba.

Nas farinhas do epicarpo de cajá, em relação ao cálcio foram encontrados os teores entre 218,41 e 532,50 mg 100g<sup>-1</sup> de cálcio (Ca), para o fósforo (P) os teores foram entre 170,12 e 215,76 mg 100g<sup>-1</sup> e o para o magnésio (Mg) foram encontrados os teores entre 80,14 e 102,33 mg 100g<sup>-1</sup>, a RDC n° 269, de 22 de setembro de 2005 recomenda a ingestão diária (IDR) para indivíduos adultos de 1000 mg de Ca, 260 mg de Mg e 700 mg de P, indicando que o consumo de 100 gramas da farinha de epicarpo diariamente supriria parte significativa dessa necessidade (ANVISA, 2005).

Sabino et al. (2017), avaliou o teor de macrominerais de farinhas produzidas a partir de casca de frutas, encontrando para farinha de casca de abacaxi 427,0; 43,55 e 22,80 mg 100g<sup>-1</sup>, respectivamente para K, Ca e Mg. Para farinha de casca de mamão os teores foram de 485,00; 86,80 e 29,60 mg 100g<sup>-1</sup>, respectivos para K, Ca e Mg. Observa-se que em ambas as farinhas citadas, apenas o teor de K foi maior que o encontrado neste trabalho.

Os teores dos microminerais potássio, cálcio, fósforo e magnésio encontrados nas diferentes farinhas de epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.) produzidas a partir de secagem em estufa em diferentes temperaturas (40, 50, 60 e 70°C) e por liofilização estão apresentados na Tabela 15.

**Tabela 15.** Valores médios referentes aos teores de (microminerais) em base seca de ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn) das farinhas de cajá (*Spondias mombin* L.)

Tratamentos	Cu (mg 100g <sup>-1</sup> )	Zn (mg 100g <sup>-1</sup> )	Mn (mg 100g <sup>-1</sup> )	Fe (mg 100g <sup>-1</sup> )
FEC40	19,11±1,80 <sup>a</sup>	11,56±0,14 <sup>a</sup>	18,54±0,24 <sup>a</sup>	18,09±1,41 <sup>a</sup>
FEC50	20,31±1,42 <sup>a</sup>	12,06±0,16 <sup>a</sup>	17,64±0,27 <sup>a</sup>	15,42±2,47 <sup>a</sup>
FEC60	25,15±02,48 <sup>b</sup>	12,57±0,28 <sup>a</sup>	18,41±1,37 <sup>a</sup>	15,26±1,09 <sup>a</sup>
FEC70	26,83±0,81 <sup>bc</sup>	12,93±0,85 <sup>a</sup>	22,57±1,33 <sup>b</sup>	17,88±1,45 <sup>a</sup>
FECL	29,65±0,63 <sup>c</sup>	11,90±1,74 <sup>a</sup>	21,51±0,98 <sup>b</sup>	19,12±9,17 <sup>a</sup>

Médias com letras iguais na mesma coluna não tiveram diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O teor de cobre (Cu) (Tabela 5.5) não apresentaram diferença para as farinhas FEC40 (19,11 mg 100g<sup>-1</sup>) e FEC50 (20,31 mg 100g<sup>-1</sup>). A FEC70 (26,83 mg 100g<sup>-1</sup>) apresentou semelhança tanto com a FEC60 quanto a FECL. Porém a FECL apresentou o maior teor deste macromineral (29,65 mg 100g<sup>-1</sup>), diferindo da FEC60 (25,15 mg 100g<sup>-1</sup>).

Em relação ao teor de zinco (Zn) e de ferro (Fe), expostos na Tabela 15, não houve diferença entre as diferentes farinhas, indicando que a temperatura de secagem do epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.) não apresentou relação com a quantidade desse minerais presentes nas diferentes farinhas. Bergman et al. (1996) relatou perdas de 40% para Fe e 14% para o Zn com o processo de cozimento de alimentos.

Boen et al. (2017) encontraram valores entre 4,1 e 10 mg 100g<sup>-1</sup> de ferro e entre 0,6 a 1,5 mg 100g<sup>-1</sup> de zinco em farinha de trigo e milho, valores inferiores aos encontrados para farinhas do epicarpo do cajá (*Spondias mombin* L.).

Verifica-se na Tabela 5.5 as farinhas FEC40 (18,54 mg 100g<sup>-1</sup>), FEC50 (17,64 mg 100g<sup>-1</sup>) e FEC60 (18,41 mg 100g<sup>-1</sup>) apresentaram semelhança quanto ao teor do micromineral manganês (Mn), da mesma forma não houve diferença entre as FEC70 (22,57 mg 100g<sup>-1</sup>) e FECL (21,51mg 100g<sup>-1</sup>), sendo as FEC70 e FECL com os maiores teores.

Não foi possível estabelecer relação entre a temperatura de secagem do epicarpo do cajá e a diferença no teor de Cu (cobre) e Mn (manganês), já que para ambos os microminerais houve semelhança entre o teor encontrado para a FEC70 e FECL.

Freitas et al. (2016) avaliaram a quantidade de zinco e manganês presente em farinha de morango e encontraram os teores entre 3,88 e 6,48 mg 100g<sup>-1</sup> de zinco e 0,4 e 0,66 de manganês, valores inferiores aos encontrados neste trabalho.

Sabino et al. (2017) também avaliou macrominerais de farinha de casca de frutas, encontrando para farinha da casca de melão os teores de 6,62; 8,43; 0,23 e 1,46 mg 100g<sup>-1</sup>, respectivamente para Fe, Zn, Cu, Mn. Para farinha da casca de manga, foram encontrados os valores de 1,08; 6,80; 0,19 e 0,34, respectivos para Fe, Zn, Cu, Mn.

Foram encontrados para o epicarpo de cajá os teores entre 11,56 e 12,93 mg 100g<sup>-1</sup> para o zinco (Zn), entre 15,26 e 19,12 mg 100g<sup>-1</sup> para o teor de ferro (Fe), valores superiores aos recomendados para ingestão diária (IDR) para adultos, segundo a RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005, a qual preconiza o consumo de 14 e 7 mg por dia de ferro e zinco, respectivamente. Para o manganês (Mn) os teores encontrados para as farinhas do epicarpo de cajá foram entre 17,64 e 22,57 mg 100g<sup>-1</sup>, muito superiores a recomendação de consumo diário, segundo a mesma legislação, que é de 2,3 mg. Apenas o macromineral cobre não foi obtido teor suficiente para recomendação diária, sendo necessário a ingestão de 900 mg de cobre diariamente (ANVISA, 2005).

Verificou-se que as farinhas de epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.) desidratado em diferentes condições são ótimas fontes de microminerais Fe (ferro), Zn (zinco) e Mn (manganês).

## 5.4 CONCLUSÃO

As farinhas de epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.) desidratados sob diferentes condições de secagem e por liofilização apresentaram teor de umidade dentro da margem recomendada. O incremento da temperatura foi inversamente proporcional ao teor de umidade.

Todas as farinhas (FEC40, FEC50, FEC60, FEC70 e FECL) apresentaram alto teor lipídico.

Foram encontrados teores para os macrominerais Fe, Zn e Mn que suprem a necessidade de ingestão diária a cada 100 g de farinha.

Não houve relação da temperatura utilizada para desidratação do epicarpo para produzir as farinhas com a qualidade nutricional das mesmas.

## 5.5 REFERÊNCIAS

AACC. AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS - AACC. **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists**. 9 ed. Saint Paul, 2000.

AGÊNCIA NACIONAL DA VIGILÂNCIA SANITÁRIA - ANVISA. Regulamento técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais. Resolução RDC Nº 269, de 22 de setembro de 2005. Diário Oficial da União, 2005. Disponível em: < [http://coffito.gov.br/nsite/wp\\_content/uploads/2016/08/resoluo-rdc-n-269-2005-ingesto-diria-recomendada-idr-de-protenas-vitaminas-e-minerais.pdf](http://coffito.gov.br/nsite/wp_content/uploads/2016/08/resoluo-rdc-n-269-2005-ingesto-diria-recomendada-idr-de-protenas-vitaminas-e-minerais.pdf) >. Acesso em: 04/04/2018.

ALBRECHT, J. A.; ASP, E. H.; BUZZARD, I. M. Contents and retentions of sodium and other minerals in pasta cooked in unsalted or salted water. **Cereal Chemistry**, v. 59: p. 34-37, 1986.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. Arlington: A.O.A.C. 17th ed., 2000.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official methods of analysis**. Arlington, 1995.

BAMPI, M.; BICUDO, M. O. P.; FONTOURA, P. S. G.; RIBANIL, R. H. Composição centesimal do fruto, extrato concentrado e da farinha da uva-do-japão. **Ciência Rural**, v. 40, n. 11, p. 2361-2367, 2010.

BERGMAN, C.; GUALBERTO, D.; WEBER, C. Nutritional evaluation of a high-temperature dried soft wheat pasta supplemented with cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Archivos Latinoamericanos Nutrición**, v. 46, n. 1, p. 146-153, 1996.

BOEN, T. R.; SOEIRO, B. T.; PEREIRA FILHO, E. R.; LIMA-PALLONE, J. A. Avaliação do teor de ferro e zinco e composição centesimal de farinhas de trigo e milho enriquecidas. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 43, n. 4, p. 589-596, 2007.

BOSCO, J.; SOARES, K. T; FILHO, S. P. A.; BARROS, R. V. A cultura da cajazeira. João Pessoa: EMEPA-PB. Documentos, 28, 2000.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995.

CHEN, X.; LI, X.; MAO, X.; HUANG, H.; MIAO, J.; GAO, W. Study on the effects of different drying methods on physicochemical properties, structure, and in vitro digestibility of *Fritillaria thunbergii* Miq. (Zhebeimu) flours. **Food and Bioprocess Processing**, v. 98, n. 1, p. 266–274, 2016.

DE ANGELIS, R.C. **Fisiologia da nutrição: fundamentos para nutrição e desnutrição**. São Paulo: EDART/EDUSP. v. 1, p. 44, 1977.

FREITAS, E. C.; SILVA, A. C. M.; SILVA, M. V. Análises de minerais zinco e manganês presentes na farinha do morango. **Revista Brasileira de Obesidade, Nutrição e Emagrecimento**, v. 10, n. 60, p. 303-307, 2016.

GOLDMEYER, B.; PENNA, N. G.; MELO, A.; ROSA, C. S. Características físico-químicas e propriedades funcionais tecnológicas do bagaço de mirtilo fermentado e suas farinhas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 4, p. 980-987, 2014.

GRANITO, M.; TORRES, A.; GUERRA, M. Desarrollo y evaluación de una pasta a base de trigo, maíz, yuca y frijol. **Interciencia**, v. 28, n. 7, p. 372-379, 2003.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos Físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo, 2008, 4ª ed. 1002p.

JIHÉNE, L.; AMIRA, T.; SABER, C.; FETHI, Z. Impact of Infra-red drying temperature

on total phenolic and flavonoid contents, on antioxidant and antibacterial activities of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). **Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology**, v. 6, n. 5, p. 38-46, 2013.

KARAM, M. C.; PETIT, J.; ZIMMER, D.; DJANTOU, E.B. Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 188, n. 1, p. 32-49, 2016.

LEONEL, S.; LEONEL, M.; SAMPAIO, A.C. Processamento de frutos de abacaxizeiro cv smooth cayenne: perfil de açúcares e ácidos dos sucos e composição nutricional da farinha de cascas. **Revista Fruticultura Brasileira**, v. 36, n. 2, p. 433-439, 2014.

LIMA, P. J.; PORTELA, J. V. F.; MARQUES, L-R.; ALCÂNTARA, M. A.; ELAOUAR, Â. A. Farinha de entrecasca de melancia em biscoitos sem glúten. **Ciência Rural**, v. 45, p. 1688-1694, 2015.

- MARQUES, L. G. **Liofilização de frutas tropicais**. 2008. 255p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, SP, 2008.
- MARTÍNEZ, G.; DÍAZ, C.; MARTÍNEZ, L. Propiedades hidrodinámicas de la fibra dietaria a partir de harina de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*) y mango (*Mangifera indica* L). **Ingenium**, v. 9, n. 26, p. 11-19, 2015.
- MARTÍNEZ-GIRÓN, J.; RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, X.; PINZÓN-ZÁRATE, L. X.; ORDÓÑEZ-SANTOS, L. E. Caracterización fisicoquímica de harina de residuos del fruto de chontaduro (*Bactris gasipaes* Kunth, Arecaceae) obtenida por secado convectivo. **Transformación y Agroindustria**, v. 18, n. 3, p. 599-613, 2017.
- MERRIL, A. L.; WATT, B. K. **Energy value of foods: basis and derivation**. Washington, DC: US Department of Agriculture, 1973 (Agriculture Handbook, 74).
- OLIVEIRA, L. P de; CESCINETTO, G.; SCHVEITZER, B.; FOPPA, T. Avaliação e composição nutricional da farinha de beterraba e sua utilização no preparo de sobremesas. **Revista interdisciplinar de estudos em saúde**, v. 2, n. 1, p. 13-19, 2013.
- REIS, D. S.; FIGUEIREDO NETO, A.; FERRAZ, A. V.; FREITAS, S. T. Produção e estabilidade de conservação de farinhas de acerola desidratadas em diferentes temperaturas. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, v. 1, p. 1-7, 2017.
- SABINO, L. B. S.; LIMA, A. C. S.; SOARES, D. J.; SILVA, L. M. R da; OLIVEIRA, L. S. de; FIGUEIREDO, R. W. de; SOUSA, P. H. M. de. Composição mineral de farinhas obtidas a partir de cascas de frutos tropicais baseado na ingestão diária recomendada. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 8 n. 3, p. 102-111, 2017.
- SANTIGO, A. D. B. R.; SILVA, J. A.; CONCEIÇÃO, M. L.; AQUINO, J. S. Qualidade de biscoitos *diet* adicionados de farinha da casca do maracujá avaliados sensorialmente por diabéticos. **O mundo da saúde**, v. 40, n. 3, p. 362-371, 2016.
- SILVINO, R. C. A. S.; SILVA, G. C. T.; SANTOS, O. V. Qualidade nutricional e parâmetros morfológicos do fruto cajá (*Spondias mombin* L.). **Revista Desafios**, v. 04, n. 02, p. 3-11, 2017.
- SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. **Methods in enzymology**, v. 299, n. 14, p. 152-178, 1999.
- SNIFFEN, C. J.; PEREZ, V. D. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattlediets. II. Carbohydrate and protein availability. **Journal Animal Science**, v. 70, n. 11, p. 3562-3577, 1992.

SOQUETTA, M. B.; STEFANELLO, F. S.; HUERTA, K. da M.; MONTEIRO, S. S.; ROSA, C. S. da; TERRA, N. N. Characterization of physiochemical and microbiological

properties, and bioactive compounds, of flour made from the skin and bagasse of kiwi fruit (*Actinidia deliciosa*). **Food Chemistry**, v. 199, n. 1, p. 471–478, 2016.

SOUZA, E. P.; MENDONÇA, R. M. N.; SILVA, S. M.; ESTRELA, M. A.; SOUZA, A.; P. SILVA, G. C. Enxertia da Cajazeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 1, p. 316-320, 2010.

TERRONI, H. C.; JESUS, J. M.; ARTUZO, L. T.; VENTURA, L. V.; SANTOS, R. F.; DAMY-BENEDETTI, P. C. Liofilização. **Revista Científica Unilago**, v. 1, n. 1, p. 271-284, 2013.

TIBURSKI, J. H.; ROSENTHAL, A.; DELIZA, R.; GODOY, R. L.; PACHECO, S. Nutritional properties of yellow mombin (*Spondias mombin* L.) pulp. **Food Research International**, v. 44, n. 1, p. 2326-2331, 2011.

## CONCLUSÃO GERAL

O aumento da temperatura de secagem provoca redução do tempo de secagem, tendo sido gasto 11,5 ch para temperatura de 40°C e 4,5 h para temperatura de 70°C.

O modelo de Midilli apresentou melhor ajuste aos dados experimentais da secagem do epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.) nas diferentes condições de secagem. A escolha do modelo foi confirmada utilizando o Critério de Informação Akaike (AIC) e Critério de Informação Bayesiano de Schwarz (BIC).

A equação de Arrhenius confirmou a dependência do coeficiente de difusão efetivo em relação a temperatura de secagem.

As farinhas produzidas a partir da liofilização apresentaram coloração mais clara e com maior tendência ao amarelo, maior quantidade de sólidos solúveis, menor densidade, maior índice de absorção em água e menor solubilidade em leite, menor atividade emulsificante e maior capacidade espumante. E, apresentou-se com partículas menores.

Em geral, a FECL apresentou características melhores para as análises físicas, físico-químicas e funcionais tecnológicas.

As farinhas do epicarpo do cajá obtidas por secagem em estufa em diferentes temperaturas (40, 50, 60 e 70°C) e por liofilização apresentaram altos índices de absorção em água e solubilidade em leite.

A secagem em estufa e a liofilização permitiram a produção de farinhas do epicarpo de cajá com características satisfatórias.

As farinhas de epicarpo de cajá (*Spondias mombin* L.) desidratados sob diferentes condições de secagem e por liofilização apresentaram teor de umidade dentro da margem recomendada. O incremento da temperatura foi inversamente proporcional ao teor de umidade.

Todas as farinhas (FEC40, FEC50, FEC60, FEC70 e FECL) apresentaram alto teor lipídico.

Foram encontrados teores para os macrominerais Fe, Zn e Mn que suprem a necessidade de ingestão diária a cada 100 g de farinha.

Não houve relação da temperatura utilizada para desidratação do epicarpo antes produzir as farinhas com a qualidade nutricional das mesmas.