



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
AGRÍCOLA**



**TESE DE DOUTORADO**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO  
PROCESSAMENTO E ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS**

**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA POLPA DE CUMBEBA EM PÓ  
PELOS MÉTODOS DE SECAGEM POR ASPERSÃO E LIOFILIZAÇÃO**

**JEMIMA FERREIRA LISBÔA**

**CAMPINA GRANDE – PB  
FEVEREIRO - 2020**

**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA POLPA DE CUMBEBA EM PÓ  
PELOS MÉTODOS DE SECAGEM POR ASPERSÃO E LIOFILIZAÇÃO**

**JEMIMA FERREIRA LISBÔA**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Processamento e Armazenamento de Produtos  
Agrícolas**

**ORIENTADORES: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo  
Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz**

**CAMPINA GRANDE – PB  
FEVEREIRO - 2020**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA  
AGRÍCOLA**



**JEMIMA FERREIRA LISBÔA**

**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA POLPA DE CUMBEBA EM PÓ  
PELOS MÉTODOS DE SECAGEM POR ASPERSÃO E LIOFILIZAÇÃO**

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo – Orientadora

---

Alexandre José de Melo Queiroz – Orientador

---

Pablícia Oliveira Galdino

---

Luzia Márcia de Melo Silva

---

Josivanda Palmeira Gomes

---

Examinador

**FEVEREIRO – 2020**

Retenhamos firmes a confissão da nossa esperança; porque Fiel é o que prometeu.

Hebreus 10:23

## AGRADECIMENTOS

A Deus, o maior idealizador de tudo isso! “Porque dele e por ele, e para ele são todas as coisas”.

Aos meus amados pais, Elizalva Lisbôa e Antônio Lisbôa, por todo apoio, incentivo, amor e por todos os esforços. Vocês são referências em minha vida, amo vocês incondicionalmente!

Aos meus irmãos, Antônio Júnior, Jetro Lisbôa e Francyne Sousa, pela motivação e apoio durante todo esse período.

Aos meus orientadores, Rossana Figueirêdo e Alexandre Queiroz, exemplos de profissionalismo e competência. Grata por todo apoio, orientação e instrução dados no decorrer desses anos de pesquisa.

A professora Josivanda Palmeira, por estar sempre disponível em nos ajudar, sempre muito prestativa e solidária em tudo que faz.

Aos amigos que a pós-graduação me deu, Inácia Moreira, Deise Castro, Bruno Adelino, Henrique Valentin, Yvana Maria, Eugênia Teles, Júlia, Maria José, João Paulo, Karoline Thays, Lumara e Thales, vocês foram as “peças” fundamentais nessa jornada, tornando essa etapa de vida mais leve e divertida.

A amiga Heloísa Cristina, pelo apoio, incentivo e amizade.

A todos aqueles que compõem o grupo de pesquisa da área de armazenamento e processamento de produtos agrícolas, em especial Bloco CZ, aos colegas mais ou menos chegados.

A banca avaliadora que contribuíram com considerações relevantes.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo investimento ao longo de toda pesquisa.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	iv
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	v
<b>RESUMO.....</b>	vi
<b>ABSTRACT.....</b>	
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	1
1.1 – Objetivo geral.....	3
1.1.1 – Objetivos específicos.....	3
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	5
2.1 – Cumbeba.....	5
2.2 – Características nutricionais e funcionais em cactáceas do semiárido.....	8
2.3 – Secagem.....	9
2.3.1 – Secagem por aspersão .....	11
2.3.2 – Secagem por liofilização.....	14
2.4 – Adjuvantes de secagem.....	16
2.5 – Degradação dos bioativos.....	17
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	18
3.1 – Local de realização dos experimentos.....	18
3.2 – Matéria-prima.....	18
3.3 – Processamento da polpa de cumbeba.....	19
3.4 – Caracterização física, química e físico-química da polpa de cumbeba integral, formuladas e dos pós.....	20
3.4.1 – Cor.....	20
3.4.2 – Ácido ascórbico.....	20
3.4.3 – Compostos fenólicos totais.....	21
3.4.4 – Antocianinas totais.....	21
3.4.5 – Flavonoides totais.....	21
3.4.6 – Carotenoides totais.....	21
3.4.7 – Betalainas: Betaxantinas e betacianinas.....	22
3.5 – Preparo das formulações.....	22
3.5.1 – Preparo das formulações para liofilização.....	22
3.5.2 - Preparo das formulações para secagem por aspersão.....	23
3.6 – Secagem das formulações.....	23
3.6.1 – Liofilização.....	23
3.6.2 - Secagem por aspersão.....	23
3.7 – Caracterização química, física e físico-química dos pós.....	24
3.7.1 – Molhabilidade.....	24

3.7.2 – Solubilidade.....	25
3.7.3 – Higroscopicidade.....	25
3.7.4 – Densidade aparente.....	26
3.7.5 – Densidade compactada.....	26
3.7.6 – Densidade absoluta.....	27
3.7.7 – Porosidade.....	27
3.7.8 – Fator de Hausner e índice de compressibilidade.....	28
3.7.9 – Ângulo de repouso.....	28
3.7.10 – Rendimento e as variáveis de secagem.....	28
3.7.11 – Morfologia das partículas do pó.....	29
3.8 – Seleção do melhor pó.....	30
3.8.1 – Perfil de minerais.....	
3.8.2 – Fibra bruta.....	
3.8.3 – Determinação da capacidade antioxidante DPPH e ABTS.....	
3.8.4 – Perfil de fenólicos.....	
3.8.5 – Cinética de degradação dos compostos fenólicos totais.....	
3.8.5.1 – Efeito da temperatura.....	
3.9 – Isotermas de adsorção de água.....	
3.10 – Análise estatística.....	
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	
<b>4.1 ARTIGO I - Composição físico-química e capacidade antioxidante da polpa de cumbeba.....</b>	
<b>4.2 ARTIGO II - Características da polpa de cumbeba formulada e desidratada produzida em secagens por aspersão e liofilização.....</b>	
<b>4.3 ARTIGO III - Caracterização física de polpas de cumbeba em pó produzidas em secagem por aspersão e liofilização.....</b>	
<b>4.4 ARTIGO IV - Polpa de cumbeba em pó: propriedades funcionais e higroscopicidade.....</b>	
<b>5. CONCLUSÕES GERAIS.....</b>	
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> – <i>Tacinga inamoena</i> .....	4
<b>Figura 2.2</b> - Fruto da cumbeba.....	5
<b>Figura 3.1</b> – Fruto da cumbeba.....	18
<b>Figura 3.2</b> – Fluxograma do processamento para obtenção da polpa de cumbeba...	19
<b>ARTIGO III</b>	
<b>Figura 1.</b> Imagens da polpa de cumbeba em pó obtida por aspersão na temperatura de 150°C com adição de 10, 20 e 30% de maltodextrina.....	
<b>Figura 2.</b> Imagens da polpa de cumbeba em pó obtida por aspersão na temperatura de 170°C com adição 10, 20 e 30% de maltodextrina.....	
<b>Figura 3.</b> Imagens da polpa de cumbeba em pó obtida por aspersão na temperatura de 190°C com adição de 10, 20 e 30% de maltodextrina.....	
<b>Figura 4.</b> Imagens da polpa de cumbeba em pó obtida por liofilização na temperatura de -50°C com adição de 10, 20 e 30% de maltodextrina.....	
<b>ARTIGO IV</b>	
<b>Figura 1.</b> Cinética de degradação de fenólicos totais da polpa de cumbeba em pó.....	
<b>Figura 2.</b> Isotermas de adsorção de água nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C da polpa em pó de cumbeba ajustada pelo modelo de Peleg.....	

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1</b> - Modelos cinéticos de ordem zero e primeira ordem.....	
<b>Tabela 3.2</b> - Modelos matemáticos a serem utilizados para estimar as isotermas de adsorção de água da amostra de cumbeba em pó.....	
<b>ARTIGO I</b>	
<b>Tabela 1</b> - Parâmetros físico-químicos da polpa de cumbeba in natura.....	
<b>Tabela 2</b> - Atividade antioxidante por diferentes metodologias da polpa de cumbeba in natura.....	
<b>ARTIGO II</b>	
<b>Tabela 1</b> - Resultados médios dos teores de água, atividade de água, cinzas, lipídeos e proteína bruta das polpas de cumbeba formuladas.....	
<b>Tabela 2</b> - Resultados médios dos teores de acidez total titulável (ATT), pH, sólidos solúveis totais (SST), relação SST/ATT e ácido ascórbico das polpas de cumbeba formuladas.....	
<b>Tabela 3</b> - Resultados médios dos teores açúcares totais, açúcares redutores, açúcares não redutores, betaxantinas e betacianinas das polpas de cumbeba formuladas.....	
<b>Tabela 4</b> - Resultados médios de fenólicos totais, carotenoides, clorofilas, flavonoides e antocianinas das polpas de cumbeba formuladas.....	
<b>Tabela 5</b> - Resultados do rendimento, razão de secagem, produtividade e taxa de secagem dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização em concentrações de 10, 20 e 30% de maltodextrina.....	
<b>Tabela 6</b> – Valores médios da atividade de água ( $a_w$ ) dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com adição de 10 a 30% de maltodextrina	
<b>Tabela 7</b> – Valores médios do teor de água dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com adição de 10 a 30% de maltodextrina.....	
<b>Tabela 8</b> – Valores médios dos sólidos solúveis totais (°Brix) dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com adição de 10 a 30% de maltodextrina.....	
<b>Tabela 9</b> – Valores médios de acidez total titulável dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com adição de 10 a 30% de maltodextrina	
<b>Tabela 10</b> – Valores de pH dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com adição de 10 a 30% de maltodextrina.....	

<b>Tabela 11</b> – Valores médios de cinzas (%) dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com adição de 10 a 30% de maltodextrina.....	
<b>Tabela 12</b> – Valores médios de açúcares totais dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com adição de 10 a 30% de maltodextrina.....	
<b>Tabela 13</b> – Valores médios de açúcares redutores dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com adição de 10 a 30% de maltodextrina.....	
<b>Tabela 14</b> – Valores médios de açúcares não redutores dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com adição de 10 a 30% de maltodextrina.....	
<b>Tabela 15</b> – Valores médios de ácido ascórbico dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com adição de 10 a 30% de maltodextrina.....	
<b>Tabela 16</b> – Valores médios de carotenoides dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com adição de 10 a 30% de maltodextrina.....	
<b>Tabela 17</b> – Valores médios de compostos fenólicos totais dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com adição de 10 a 30% de maltodextrina.....	
<b>Tabela 18</b> – Valores médios dos flavonoides dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com adição de 10 a 30% de maltodextrina.....	
<b>Tabela 19</b> – Valores médios de antocianinas (mg/100g) dos pós de cumbeba obtidos por secagem por aspersão e liofilização com adição de 10 a 30% de maltodextrina.....	
<b>Tabela 20</b> – Valores médios de betaxantinas dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com adição de 10 a 30% de maltodextrina.....	
<b>Tabela 21</b> – Valores médios de betacianinas dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com adição de 10 a 30% de maltodextrina.....	
<b>ARTIGO III</b>	
<b>Tabela 1</b> - Resultados médios da avaliação colorimétrica das polpas de cumbeba formuladas.....	
<b>Tabela 2</b> – Valores médios da luminosidade dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização em diferentes concentrações de maltodextrina.....	
<b>Tabela 3</b> – Valores médios da luminosidade dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização em diferentes concentrações de maltodextrina.....	

<b>Tabela 4</b> – Valores médios de intensidade de amarelo dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização em diferentes concentrações de maltodextrina.....	
<b>Tabela 5</b> – Valores médios do ângulo de tonalidade (h) dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização em diferentes concentrações de maltodextrina.....	
<b>Tabela 6</b> – Valores médios de croma (C*) dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização em diferentes concentrações de maltodextrina...	
<b>Tabela 7</b> – Valores médios de molhabilidade, em g/min, dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com 10, 20 e 30% de maltodextrina	
<b>Tabela 8</b> – Valores médios de solubilidade em (%) dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com 10, 20 e 30% de maltodextrina.....	
<b>Tabela 9</b> – Valores médios de higroscopicidade (%) dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com 10, 20 e 30% de maltodextrina.....	
<b>ARTIGO III</b>	
<b>Tabela 1</b> – Valores médios de densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> ) dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com 10, 20 e 30% de maltodextrina	
<b>Tabela 2</b> – Valores médios de densidade compactada (g/cm <sup>3</sup> ) dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com 10, 20 e 30% de maltodextrina	
<b>Tabela 3</b> – Valores médios de densidade real (g/cm <sup>3</sup> ) dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização em diferentes concentrações de maltodextrina.....	
<b>Tabela 4</b> – Valores médios de porosidade (%) dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização em diferentes concentrações de maltodextrina...	
<b>Tabela 5</b> – Valores médios de ângulo de repouso (°), dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com 10, 20 e 30% de maltodextrina.....	
<b>Tabela 6</b> – Valores médios do fator de Hausner dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com 10, 20 e 30% de maltodextrina.....	
<b>Tabela 7</b> – Valores médios de índice de compressibilidade (IC) dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com 10, 20 e 30% de maltodextrina	
<b>ARTIGO IV</b>	
<b>Tabela 1</b> - Modelos cinéticos de ordem zero e primeira ordem.....	

<b>Tabela 2</b> - Modelos ajustados aos dados de adsorção de água da polpa de cumbeba em pó desidratada por aspersão a 150°C com 10% de maltodextrina.....	
<b>Tabela 3</b> - Composição mineral dos pós de cumbeba desidratada por aspersão contendo 10% de maltodextrina.....	
<b>Tabela 4</b> - Capacidade antioxidante da polpa de cumbeba em pó.....	
<b>Tabela 5</b> - Teor de compostos fenólicos de polpas de cumbeba desidratadas por aspersão (150° C) e liofilização (-50° C) determinados por HPLC.....	
<b>Tabela 6</b> – Parâmetros cinéticos da degradação dos compostos fenólicos totais da polpa de cumbeba desidratada por aspersão a 150°C com 10% de maltodextrina.....	
<b>Tabela 7</b> - Energia de ativação ( $E_a$ ) da reação e quociente de temperatura ( $Q_{10}$ ) da polpa de cumbeba desidratada por aspersão a 150°C com 10% de maltodextrina.....	
<b>Tabela 8</b> - Parâmetros de ajuste dos modelos de GAB, Oswin, BET e Peleg, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios ( $P$ ) das isotermas de adsorção de água nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C do pó de cumbeba obtida por aspersão a 150°C com 10% de maltodextrina.....	

## RESUMO

A cumbeba (*Tacinga inamoena*) é uma das mais representativas espécies de *cactaceas* do semiárido Nordeste, e tem ganhado destaque pelo considerável teor de compostos fenólicos e potencial antioxidante. Diante o exposto, objetivou-se com esse trabalho estudar a polpa de cumbeba in natura e em pó, obtido por secagens utilizando os processos de aspersão e liofilização, e caracterizar os materiais antes e após o processamento. Para alcançar os objetivos, o trabalho foi dividido em quatro etapas (artigos). O primeiro artigo aborda o estudo da caracterização físico-química dos frutos in natura, assim como também o potencial antioxidante da polpa de cumbeba pelo método de captura de radicais livres: DPPH e ABTS avaliadas por meio de diferentes extratos. O segundo artigo corresponde a caracterização das polpas formuladas e o processo de secagem por aspersão e liofilização da polpa de cumbeba utilizando diferentes concentrações do adjuvante de secagem (maltodextrina). No terceiro artigo foram analisadas as propriedades físicas dos pós, incluindo o MEV. No quarto artigo avaliou-se a capacidade antioxidante, perfil de fenólicos, cinética de degradação dos fenólicos totais, perfil de minerais, fibra bruta e isotermas do pó de cumbeba obtido por aspersão na temperatura de 150°C com 10% de maltodextrina. A cumbeba apresentou bom potencial em sequestrar radicais livres com extrato metanol-acetona pelo método de DPPH e ABTS com ( $EC_{50}$  igual a 7,54g de polpa/g de DPPH e 426,1  $\mu$ mol de Trolox/100g polpa) e elevados valores de fenólicos totais (63,46 mg/100g) e de flavonoides (13,68 mg/100 g). A liofilização resultou em amostras com maior porosidade e menor ângulo de repouso. Maiores proporções do adjuvante de secagem resultaram em maiores valores de molhabilidade, menor higroscopicidade, menores densidades aparente, compactada e real. As amostras secadas por aspersão a 150° C e com 10% de maltodextrina apresentaram melhor fluidez. O elemento químico presente em maior quantidade no pó selecionado foi o potássio (K), correspondendo a 1227,40 mg/100g. Os métodos de avaliação da atividade antioxidante (DPPH e ABTS) foram satisfatórios confirmando a correlação positiva com o conteúdo de compostos fenólicos totais. O perfil de fenólicos do pó de cumbeba foi analisado por HPLC, que identificou 28 compostos fenólicos, entre os destaques os ácidos, gálico e caftárico, a hesperidina e a catequina. Na cinética de degradação dos compostos fenólicos o modelo de ordem zero descreveu satisfatoriamente a reação de degradação com o tempo, os tempos de meia vida situaram-se entre 12,95 dias na temperatura de 35° C e 15,75 dias em temperatura de 15° C. As isotermas de adsorção de água nas temperaturas 20, 30 e 40 °C se classificaram como do tipo III e, dos modelos utilizados para ajuste, o

de Peleg apresentou os melhores coeficientes de determinação e os menores erros médios relativos. De modo geral, o fruto de cumbeba possui elevado potencial nutricional e compostos bioativos, possuindo potencial para utilização na alimentação humana.

**Palavras chaves:** cactaceae, componentes bioativos, adjuvantes, antioxidante.

## ABSTRACT

The cumbeba (*Tacinga inamoena*) is one of the most representative species of cactaceas in the Northeastern semiarid region, and has gained prominence due to the considerable content of phenolic compounds and antioxidant potential. Given the above, the objective of this work was to study the cumbeba pulp in natura and in powder, obtained by drying using the spraying and lyophilization processes, and to characterize the materials before and after processing. To achieve the objectives, the work was divided into four stages (articles). The first article deals with the study of the physicochemical characterization of fresh fruits, as well as the antioxidant potential of cumbeba pulp using the free radical capture method: DPPH and ABTS evaluated using different extracts. The second article corresponds to the characterization of the formulated pulps and the spray drying and freeze drying process of cumbeba pulp using different concentrations of the drying aid (maltodextrin). In the third article, the physical properties of the powders were analyzed, including the MEV. In the fourth article, the antioxidant capacity, phenolic profile, degradation kinetics of total phenolics, mineral profile, crude fiber and isotherms of the cumbeba powder were obtained by spraying at a temperature of 150 °C with 10% maltodextrin. The cumbeba showed good potential in sequestering free radicals with methanol-acetone extract by the method of DPPH and ABTS with ( $EC_{50}$  to 7,54 g of pulp/g of DPPH and 426,1  $\mu$ mol of Trolox/100 g pulp) and high values of phenolics total (63,46 mg/100 g) and flavonoids (13,68 mg/100 g). Lyophilization resulted in samples with greater porosity and less angle of rest. Higher proportions of the drying aid resulted in higher values of wettability, less hygroscopicity, lower apparent, compacted and real densities. The samples dried by spraying at 150 °C and with 10% maltodextrin showed better fluidity. The chemical element present in greater quantity in the selected powder was potassium (K), corresponding to 1227,40 mg/100g. The methods for evaluating antioxidant activity (DPPH and ABTS) were satisfactory, confirming the positive correlation with the content of total phenolic compounds. The phenolic profile of the cumbeba powder was analyzed by HPLC, which identified 28 phenolic compounds, among the highlights the acids, gallic and caftic, hesperidin and catechin. In the degradation kinetics of the phenolic compounds, the zero-order model satisfactorily described the degradation reaction over time, the half-life times were between 12,95 days at 35 °C and 15,75 days at 15 °C The water adsorption isotherms at temperatures 20, 30 and 40 °C were classified as type III and, of the models used for adjustment, Peleg

presented the best determination coefficients and the lowest relative average errors. In general, the cumbeba fruit has high nutritional potential and bioactive compounds, with potential for use in human food.

**Keywords:** cactaceae, bioactive components, adjuvants, antioxidant.

## 1. INTRODUÇÃO

Grande parte da diversidade de espécies cactáceas nativas do Brasil é encontrada no semiárido nordestino, onde predomina a vegetação da Caatinga, que se caracteriza pela tolerância à escassez de água. Nessas condições espécies adaptadas conseguem produzir frutos com elevado potencial nutricional, sabor e aroma exóticos (PINHEIRO et al., 2015). Dentre estas, representantes da família *Cactaceae*, são utilizadas como recurso alimentar por pessoas e animais, bem como fonte de princípios utilizados na medicina popular, entre outros fins (CAVALCANTE et al., 2013; LUCENA et al., 2013).

Muitos frutos de cactos são comestíveis, no entanto a exploração comercial ainda é incipiente, tanto em razão da ausência de informações básicas sobre o uso alimentar como de informações de caráter técnico - como procedimentos de eliminação dos acúleos - e científicas, relacionadas a seu potencial nutricional e de componentes bioativos. Cada vez mais autores, no entanto, tem demonstrado interesse em estudar tais espécies, criando perspectivas para que agricultores e investidores se proponham a explorar matérias-primas praticamente inéditas no mercado, contando com suporte de informações adequado para as tomadas de decisão.

Dentre as cactáceas mais comuns da caatinga, com potencial para produção de frutas, estão o xique-xique (*Pilosocereus gounellei* (F.A.C. Weber) Byles & G.D.Rowley); a coroa-de-frade (*Melocactus bahiensis* (Britton & Rose) Werderm); o mandacaru (*Cereus jamacaru* D.C); o facheiro (*Pilosocereus pachycladus* F. Ritter); a cumbeba ou quipá (*Tacinga inamoena* (K. Schum.) N.P. Taylor & Stuppy, assim como o figo-da-índia (*Opuntia ficus-indica*), esta última uma espécie exótica com excelente adaptação ao semiárido brasileiro, utilizada no Brasil praticamente apenas como forragem, enquanto em países como Israel constitui uma frutífera de elevado valor.

A cumbeba (*T. inamoena*) é nativa da região Nordeste, cujo fruto é uma baga de formato ovoide a subglobosa, de cor variando do amarelo ao laranja, com diâmetro longitudinal e transversal de 3,0-4,0 x 2,4-3,5 cm, respectivamente, com porção basal vermelha ou avermelhada, fosca; câmara seminífera ocupando quase todo o espaço interno, preenchido por massa carnosa, cor de pêssego clara, constituída pelos funículos das sementes (polpa) (SOUZA et al., 2007).

Uma das dificuldades que se impõem à exploração racional de frutas é a elevada perecibilidade. Perdas elevadas na época de safra representam matéria-prima que pode suprir boa parte do período de entressafra mediante o emprego de métodos de

conservação, elevando a rentabilidade e o retorno do investimento. Nesse sentido, justificam-se trabalhos que testem diferentes métodos a fim de possibilitar recomendações baseadas nas características do produto obtido.

A secagem é uma alternativa eficiente para aumentar a vida útil de frutas e polpas, reduzindo a atividade de água e estendendo a validade de consumo por meses, dispensando a dispendiosa cadeia do frio requerida para a conservação de materiais resfriados ou congelados. Dentre os métodos de secagem mais utilizados para a produção de derivados de frutas em pó destacam-se a secagem por aspersão (*spray drying*) e a liofilização (*freeze drying*).

Na secagem por aspersão realiza-se o contato do líquido aspergido com um fluxo de ar quente, seguindo-se a evaporação da água e a separação do material em pó do ar de secagem, de modo que todas estas fases interferem nas características do produto final obtido (TONON, 2009b).

A liofilização é um processo que consiste em um congelamento prévio da matéria-prima de modo que a quantidade de solvente (geralmente água) é reduzida, primeiro por sublimação e posteriormente por dessorção, para valores tais que impeçam atividade biológica e reações químicas; envolve processos de congelamento inicial, secagem primária e secagem secundária (MARQUES, 2008; OIKONOMOPOULOU et al., 2011).

Pós de polpas de frutas produzidos através desses processos de secagem geralmente são muito higroscópicos, sendo frequentemente necessária a utilização de adjuvantes de secagem, como a maltodextrina, goma arábica e outros, para obter produtos com melhores características químicas e físicas e maior recuperação de pós, no processo de secagem por aspersão.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Geral**

Estudar a polpa de cumbeba in natura e em pó, obtido por secagens utilizando os processos de aspersão e liofilização, e caracterizar os materiais antes e após o processamento.

### **1.1.2 Específicos**

- Avaliar as características físicas, químicas e físico-químicas da polpa da cumbeba in natura;
- Elaborar formulações compostas de polpa integral de cumbeba com concentrações de maltodextrina de 10, 20 e 30% e caracterizá-las quanto aos parâmetros físicos, químicos e físico-químicos;
- Desidratar as formulações utilizando os métodos de secagem por aspersão e liofilização e caracterizar os pós quanto aos parâmetros físicos, químicos e físico-químicos;
- Analisar morfologicamente através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) as partículas dos pós obtidos por aspersão e liofilização;
- Selecionar a melhor formulação desidratada por aspersão, a partir dos parâmetros bioativos;
- Determinar perfil de fenólicos da amostra em pó selecionada, pelo método de HPLC;
- Determinar o melhor modelo cinético (ordem zero ou primeira ordem), na determinação da cinética de degradação dos compostos fenólicos do pó selecionado, nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C e teor de água relativa de 75%;
- Determinar as isotermas de adsorção de água para a amostra em pó selecionada, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e ajustar aos modelos de GAB, Peleg, BET e Oswin aos dados experimentais;

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Cumbeba

O Nordeste do Brasil é uma região com elevada diversidade vegetal nativa, característica diretamente relacionada à extensão territorial. Além disso, as particularidades do clima propiciaram o desenvolvimento de espécies ainda pouco estudadas, porém, com elevado potencial nutricional. Dentre as representantes das cactáceas, são descritas 85 espécies distribuídas em 20 gêneros (CAVALCANTE et al., 2013).

De acordo com Lucena et al. (2013), poucos estudos sérios foram realizados com vistas a registrar a diversidade de utilizações dadas a essas espécies por parte das populações locais. Uma utilização consagrada pelos criadores de animais refere-se ao uso forrageiro durante o período de seca, reportando-se também a utilização na medicina popular pelas comunidades rurais.

São espécies facilmente adaptáveis a ambientes extremamente quentes ou áridos, característica própria da família, cujos representantes apresentam ampla variação anatômica, com elevada capacidade fisiológica de conservar água (LIMA, 2013). Entre as principais cactáceas frutíferas de ocorrência no Nordeste citam-se (LUCENA et al., 2013) o xique-xique (*Pilosocereus gounellei* F. A. C. Weber, (Byles & G.D.Rowley), a coroa-de-frade (*Melocactus bahiensis* Britton & Rose Werderm), o mandacaru (*Cereus jamacaru* D.C), o facheiro (*Pilosocereus pachycladus* F. Ritter) e a cumbeba (*Tacinga inamoena* (K. Schum.) N. P. Taylor & Stuppy (Figura 2.1).



**Figura 2.1** – *Tacinga inamoena*

(Fonte: <http://www.meucantinhoverde.com/2012/06/quipa-tacinga-inamoena.html>)

O gênero *Tacinga* é endêmico do semiárido brasileiro, abriga sete espécies conhecidas por quipás, palmas ou palmatórias. São cactos de pequeno porte, geralmente arbustivos ou escandentes, com o cladódio coplanado ou cilíndrico, comumente segmentado (30-70 x 15-30 mm) (MENEZES et al., 2013; CAVALCANTE et al., 2013). As plantas possuem gloquídeos em suas aréolas, e as flores apresentam uma coloração que varia de espécie para espécie, podendo ser roxas ou verdes (CAVALCANTE et al., 2013).

O fruto da espécie *T. inamoena* (Figura 2.2), conhecido como quipá, gogoia ou cumbeba, tem características de baga, com formato variando de ovoide a subglobuloso,



**Figura 2.2** - Fruto da cumbeba

(Fonte: <http://www.meucantinhoverde.com/2012/06/quipa-tacinga-inamoena.html>)

presença de gloquídeos, com coloração do pericarpo que pode variar do amarelo ao laranja fosco, com porção basal avermelhada, câmara seminífera ocupando quase todo o espaço interno, preenchido por massa carnosa, cor amarelo claro, constituída pelos funículos das sementes (cerca de 3 mm) envolvidas pelo arilóide fibro-carnoso (SOUZA et al., 2007; CAVALCANTE et al., 2013; MENEZES et al., 2013; FORMIGA et al., 2016). Dantas et al. (2015) afirmam que o mesocarpo possui textura moderada, com presença de inúmeras sementes e o sabor do fruto possui característica pouco adocicada.

Em estudo realizado sobre as características organolépticas de quipá, Souza et al. (2007), relatam que os frutos foram considerados satisfatórios no que diz respeito aos parâmetros aroma, cor e textura, apresentando como características internas aroma agradável, sabor suave e textura firme, com consistência macia e viscosa.

## **2.2 Características nutricionais e funcionais em cactáceas do semiárido**

A maioria das frutas pode ser classificada como alimento funcional e caracteriza-se por produzirem efeito metabólico ou fisiológico positivo no organismo, auxiliando na prevenção ou redução dos efeitos de doenças crônicas (RUFINO, 2008), efeito que se baseia na teoria de que as células estão constantemente expostas a agentes oxidativos prejudiciais e que uma estratégia para equilibrar este efeito se dá pela ingestão de alimentos que possuem compostos antioxidantes (SCALBERT e WILLIAMSON, 2000).

Os principais componentes químicos de interesse nutricional em frutas são fibras, vitaminas, minerais, compostos fenólicos, incluindo flavonóides e demais bioativos (PENNINGTON e FISHER, 2010). Ao mesmo tempo, Olsen et al. (2009) afirmam que a biodisponibilidade de antioxidantes é crucial para se avaliar a capacidade de promoção da saúde dos alimentos funcionais.

JUN et al. (2013) citam diversos componentes funcionais observados em frutos de cactáceas. Diversos trabalhos tem sido dedicados a avaliação dos aspectos nutricionais e funcionais de frutos de cactáceas, a exemplo de constituintes como compostos fenólicos e minerais (SOUZA et al., 2007; GUZMÁN-MALDONADO et al., 2010; MELGAR et al., 2017; GARCÍA-CRUZ et al., 2017; KHATABI et al., 2016; FERNANDES et al., 2017; MÉNDEZ et al., 2015; YAHIA et al., 2011); betalaínas (HERRERA-HERNÁNDEZ et al., 2011; MOUSSA-AYOUB et al., 2011; VERGARA et al., 2014; OTÁLORA et al., 2015; KHATABI et al., 2016; GARCÍA-CRUZ et al., 2017; BETANCOURT et al., 2017; GENGATHARAN et al., 2017; MELGAR et al., 2017; RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ et al., 2017; SHAARUDDIN et al., 2017); capacidade antioxidante (MOUSSA-AYOUB et al., 2011; GARCÍA-CRUZ et al., 2017; KHATABI et al., 2016; HERRERA-HERNÁNDEZ et al., 2011; RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ et al., 2017); ácido ascórbico (HERRERA-HERNÁNDEZ et al., 2011; FERNANDES et al., 2017); carotenoides e flavonoides (MOUSSA-AYOUB et al., 2011, KHARRASSI et al., 2016).

Lima et al. (2013) ao realizar a caracterização físico-química, inclusive polifenóis e flavonoides dos frutos de diferentes espécies de pitaias (*Hylocereus costaricensis*; *Hylocereus undatus*; *Selenicereus setaceus* e *Selenicereus megalanthus*) reportam que a espécie *Selenicereus megalanthus* apresentou maior quantidade de sólidos solúveis, presentes na parte mediana do fruto. Entretanto, a espécie *Hylocereus costaricensis* destacou-se pela presença de maior quantidade de polifenóis e flavonoides.

Cordeiro et al. (2015) analisando o fruto da pitaya-rosa de polpa vermelha, verificaram valores elevados na composição dos macronutrientes e micronutrientes;

destacando-se o nitrogênio, potássio e cálcio, apresentando um percentual médio de 11,3; 12,6 e 8,0 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Os teores médios de ferro, zinco e manganês foram de 337,58; 116,26 e 113,93 mg kg<sup>-1</sup>. Segundo os autores o fruto é apropriado para o consumo *in natura* e para processamento.

Duru e Turker (2005), em estudo da composição química do figo-da-índia (*O. ficus-indica*) em diversos estádios de maturação, constataram aumento no teor de betalaínas com o progresso do amadurecimento. Os autores ainda afirmaram que ao atingir o estádio de maturação total constitui uma excelente fonte de pigmentos alimentícios.

Kyriacou et al. (2016) definiram o perfil físico-químico de duas cultivares de *O. ficus-indica*, Ntopia e Hercules, reportando teores de betalaínas de 103,2 e 49,7 mg/l e compostos fenólicos de 108,6 e 163,1 µg / g, correspondentes aos respectivos cultivares.

Ao estudarem as características físico-químicas, nutricionais e funcionais em frutas de duas espécies de frutas de cactos (*Myrtillocactus spp.*), GUZMÁN-MALDONADO et al. (2010) reportaram teores médios de acidez titulável e sólidos solúveis totais de 7,7% e 11%, proteínas, 18,5% e fibras, 5,2%. Os autores ainda afirmam que os frutos são boa fonte de minerais, fibras, betalaínas, compostos fenólicos e vitamina C, constituindo um produto de elevada qualidade nutricional.

Sato et al. (2014), realizaram a caracterização físico-química de pitayas vermelhas, destacando o elevado teor de fibras insolúveis e carboidratos.

Formiga et al. (2016), em estudo das características físico-químicos de frutos de quipá, verificaram teor de compostos fenólicos equivalente a 80,97 mg/100 g e vitamina C de 26,85 mg/100 g. Souza et al. (2007) observaram que o fruto é uma importante fonte de minerais, com destaque para magnésio, potássio, cálcio e fósforo (64,24; 87,90; 232,11; 47,55 mg/100 g), respectivamente.

### **2.3 Secagem**

A secagem é um dos métodos mais antigos e utilizados na preservação de alimentos. Trata-se de um processo de transferência de calor e massa, em que uma parte da água livre do alimento é eliminada, reduzindo a atividade de água e, conseqüentemente, promovendo a redução das reações enzimáticas, da proliferação microbiana e outras reações de origem química e física (GAVA, 2009; FELLOWS, 2006).

De acordo com Gava (2009) a secagem tem como função reduzir o conteúdo de umidade de um produto, que em níveis elevados gera um ambiente propício para deteriorações.

Entre outros fatores, o tipo de secagem a ser utilizado depende do produto a ser desidratado, da constituição química e das características físicas do produto final desejado (PARK et al., 2016). Além disso, são levadas em conta a mínima utilização de energia e os custos de transporte e armazenamento, oferecendo ao consumidor um produto que se mantenha viável por um tempo duradouro (JULIANO et al., 2014).

De acordo com Chopda e Barrett (2001), os métodos mais utilizados para a produção de suco de frutas são a liofilização, a secagem por aspersão e a secagem em camada de espuma.

Dentre os vários métodos de secagem utilizados para preservação de polpas de frutas, duas se destacam: a secagem por aspersão e a liofilização. A secagem por aspersão apresenta um bom compromisso entre a produtividade, os custos operacionais e a qualidade do produto final, enquanto que a liofilização tem custo elevado, mas se caracteriza por originar produtos com alta qualidade, semelhantes, em termos nutricionais e sensoriais, ao produto in natura.

### **2.3.1 Secagem por aspersão**

A secagem por aspersão, também conhecida como secagem por atomização ou *spray drying* é uma técnica utilizada na transformação de matérias-primas que estão nas formas de solução, suspensão, emulsão ou pasta, resultando em alimentos em pó na forma de partículas isoladas, grânulos ou aglomerados. Tendo como grande diferencial a possibilidade de obtenção dos produtos diretamente na forma de pó, esse método elimina as etapas posteriores de moagem, típicas de outros equipamentos de secagem. A viabilidade do processo e as características do produto obtido dependem das propriedades físicas e químicas da matéria-prima, do agente encapsulante, do projeto e da operação do secador (KUROZAWA et al., 2009; MARTIN, 2013; ROKKA e RANTAMÄKI, 2010).

Parte essencial do equipamento de secagem por aspersão, os tipos de bicos ou discos atomizadores incluem os pneumáticos, como bico pressurizado, disco rotativo, bico do tipo duplo fluido e o bico sônico. A escolha do tipo de configuração do aspersor dependerá da natureza e viscosidade da matéria-prima e das características finais do pó (SILVA et al., 2012).

No momento em que há o contato entre as gotas aspergidas e o ar aquecido, dentro da câmara de secagem, são estabelecidos balanços de temperatura e pressão parcial de vapor entre a fase líquida e a gasosa. Logo após o contato do ar quente com as gotas líquidas, a transferência de calor causa, principalmente, o aumento da temperatura destas gotas, até um valor constante. Depois disso, a evaporação da água das gotas é realizada à temperatura e pressão parcial de vapor constante. Finalmente, quando o conteúdo de água da gota atinge um valor crítico, uma crosta seca é formada na superfície da gota e a taxa de secagem diminui rapidamente. A secagem termina, teoricamente, quando a temperatura das partículas torna-se igual à temperatura do ar. Por último, é feita a recuperação do pó, de forma que as partículas mais densas são recolhidas na base da câmara de secagem, enquanto as mais finas são separadas do ar úmido no ciclone (GHARSALLAOUI et al., 2007; KIM et al., 2009).

O tempo de residência em temperaturas altas resulta em processo adequado para produtos sensíveis ao calor porque promove uma maior retenção de sabor, cor e nutrientes. Contudo, a qualidade dos pós produzidos pela secagem por aspersão depende das características da solução de alimentação, do ar de secagem, do contato entre o ar quente e as gotas na câmara de secagem e, finalmente, do tipo de aspersor utilizado (MARTIN, 2013; TONON et al., 2013). O produto seco por aspersão é altamente estável devido ao baixo teor de umidade e baixa atividade de água. Os valores mais comuns de teor de umidade e de atividade da água de pós de frutas e vegetais secos por aspersão são 2-5% e 0,2-0,6, respectivamente (TZE et al., 2012); nessas condições os produtos em pó são resistentes a degradação microbiológica, enzimática e oxidativa (SHISHIR e CHEN, 2017). A secagem por aspersão, utilizada de forma criteriosa, produz pós a partir de polpas de frutas com grande estabilidade e solubilidade adequada para posterior reconstituição.

Diversos trabalhos sobre secagem por aspersão de polpas de frutas são encontrados em literatura, como de romã (VARDIN et al., 2012; SANTIAGO et al., 2016), bayberry (CHENG et al., 2017), cereja (ZORIC et al., 2017), goiaba (PATIL et al., 2014), tamarindo (BHUSARI et al., 2014; MUZAFFAR et al., 2015), blackberry (FERRARI et al., 2012; SANTHALAKSHMY et al., 2015), acerola (MOREIRA et al., 2010), blueberry (LIM et al., 2011), açaí (TONON et al., 2011), pitaya (LEE et al., 2013), jambolão (BEZERRA et al., 2015), melancia (OBEROI et al., 2015), uva (MOSER et al., 2017), sendo comum a todos os citados a avaliação do efeito da secagem sobre as características do produto final.

Mahendran (2010) estudou a desidratação do suco de goiaba para obter suco em pó, usando a secagem por aspersão. O autor verificou a influência da adição de maltodextrina nas propriedades físico-químicas e sensoriais do concentrado de goiaba desidratado, concluindo que a secagem por aspersão produziu pós estáveis em temperatura de  $20 \pm 1$  °C; a maltodextrina provou ser um aditivo eficaz, reduzindo significativamente a deposição na parede do secador e produzindo um produto de sabor aceitável e com boas propriedades de fluxo.

Tonon et al. (2013) aplicaram a secagem por aspersão para a obtenção de produtos funcionais a partir do açaí. A polpa de açaí foi microencapsulada utilizando diferentes agentes carreadores (maltodextrina DE=10, maltodextrina DE=20, goma arábica e fécula de mandioca), realizando-se caracterizações do pó em relação às suas propriedades físicas e físico-químicas. A fécula de mandioca resultou em pós com os menores valores para umidade e atividade de água, enquanto a maltodextrina (DE=10) apresentou os maiores valores para densidade e porosidade em comparação aos demais.

Oliveira et al. (2015) elaboraram duas formulações com polpa de *Cereus jamacaru* adicionando 10% de maltodextrinas com dextroses equivalentes (DE) 10 e 14. As formulações foram homogeneizadas e desidratadas em secador por aspersão com bico aspersor com diâmetro de 1,2 mm, pressão do ar de secagem de 30 L/min, vazão da bomba peristáltica de 0,5 L/h e temperatura do ar de 170 °C. Os autores concluíram que molhabilidade das amostras em pó foi maior na dextrose equivalente (DE) 14, culminando com maior poder de reconstituição em relação à DE 10.

Santos et al. (2014) secando polpa de goiaba, utilizando um secador por aspersão com bico pneumático, verificaram que todos os parâmetros físico-químicos (umidade, pH, acidez, sólidos solúveis, açúcares totais e redutores e ácido ascórbico) analisados sofreram alterações após o processo, mas obteve-se um produto com características de estabilidade para um período longo de armazenamento.

Oberoi e Sogi (2015) relataram a aplicação do processo de secagem em spray-dryer para secagem de suco de melancia, obtendo um produto em pó com boas características físicas e físico-químicas.

### **2.3.2 Secagem por liofilização**

A busca pelo aperfeiçoamento de processos de secagem que incrementem os benefícios relacionados ao manejo, estabilidade química e microbiológica de produtos

desidratados tem sido objeto constante de estudos (JANGAM et al., 2010; FORNY et al., 2011). A par do principal objetivo de estender a vida de prateleira das matérias-primas, a indústria utiliza variados métodos de secagem com vistas a obtenção da melhor qualidade do produto final, (BARRETT & LLOYD, 2012).

A liofilização ou criodesidratação é um tipo particular de desidratação por sublimação (ORDÓÑEZ, 2005). Segundo Park et al. (2016), a liofilização geralmente conduz a menores perdas nutricionais e sensoriais em comparação com outras técnicas. A utilização de baixas temperaturas e a ausência de água líquida requeridas no processo, faz da liofilização uma técnica que preserva melhor os componentes termossensíveis dos alimentos (EZHILARASI et al., 2013), reduzindo a degradação nutricional e sensorial (ZOTARELLI et al., 2012), como consequência do processo, o encolhimento e a migração de sólidos solúveis no interior do material são minimizados e a estrutura porosa da matéria desidratada facilita a rápida reidratação de componentes aromáticos voláteis além de minimizar as reações degradativas (GEORGE e DATTA, 2002; JULIANO et al., 2014).

A liofilização exige um tempo de secagem demasiadamente longo, com custos elevados de capital e energia, o que restringe sua aplicabilidade a produtos de alto valor (KARAM et al., 2016; HUANG e ZHANG, 2016), demandando estudos que minimizem os custos operacionais envolvidos.

O processo de liofilização consiste em três estágios de operação: congelamento, secagem primária e secagem secundária. O congelamento é o estágio que normalmente requer maior desempenho do equipamento, visando à solidificação da água presente na amostra, o que evita o movimento do líquido e consequentemente a interrompendo as atividades biológicas e as reações químicas. Essa etapa é caracterizada pelo decréscimo de temperatura da amostra, atingindo valores inferiores ao do ponto triplo da água (LOPEZ-QUIROGA et al., 2012; HARNKARNSUJARIT e CHAROENREIN, 2011).

Na segunda etapa, a secagem primária, o vapor de água é progressivamente removido por sublimação, com a amostra sendo aquecida sob condições de pressão de vapor e temperatura sempre abaixo do ponto triplo (ORDÓÑEZ, 2005; SONG et al., 2005), fornecendo-lhe energia para superar o calor latente de vaporização. O final da desidratação primária é atingido com o aumento da temperatura do produto num valor próximo ao do ambiente ou pela observação visual, quando desaparece a interface entre camada seca e camada congelada (ORDÓÑEZ, 2005).

A secagem secundária consiste na remoção da água ligada à estrutura porosa, uma vez que após a secagem primária, a amostra ainda permanece com cerca de 10 a 35% de água total (WEI, et al., 2012). É necessário encontrar condições de operação que minimizem a duração deste estágio sem perdas de estabilidade da estrutura e estabilidade química do produto, proporcionando uma concentração de umidade desejável, na qual não se tenha problemas na armazenagem (SILVA et al., 2016).

Dentre os produtos submetidos ao processo de liofilização, as polpas de frutas são particularmente estudadas, a exemplo de camu-camu (JULIANO et al., 2014), figo-da-índia (MARTÍNEZ et al., 2011), manga (MOREIRA et al., 2013), cajá (OLIVEIRA et al., 2014), acerola (RIBEIRO et al., 2016), umbu-cajá (SANTOS et al., 2016), mangaba (CONEGERO et al., 2017), acerola (MENEZES et al., 2009), toranja (AGUDELO et al., 2017), amora preta (YAMASHITA et al., 2017), bayberry (CHENG et al., 2017), papaya (CANUTO et al., 2014), pitaya (AYALA et al., 2010), framboesa (XIAO et al., 2017), graviola (CEBALLOS et al., 2012), mirtilo (CHUN., et al., 2012), entre outros.

Agudelo et al. (2017) estudaram o efeito dos métodos de secagem por aspersão e liofilização sobre as propriedades antioxidantes de frutos da toranja. Ao final do estudo os autores concluíram que nas amostras liofilizadas houve uma maior retenção de compostos bioativos do que nas amostras submetidas ao método de aspersão.

Ceballos et al. (2012) estudaram o efeito da taxa de congelamento nos parâmetros de qualidade da polpa de graviola submetida a liofilização, afirmando os autores que o congelamento rápido resultou na redução do tamanho dos cristais de gelo, resultando em aumento da molhabilidade do pó obtido, em contrapartida, no congelamento lento verificou-se menor solubilidade.

Vieira (2010) ao estudar os efeitos das condições de congelamento sobre os atributos de qualidade de fatias de abacaxi liofilizadas, afirma que a temperatura de congelamento e a espessura das fatias influenciaram a difusividade efetiva da água no período inicial da liofilização o que gerou a retenção de vitamina C, o índice de reidratação e a dureza das amostras. Na espessura de 1,0 mm a retenção de vitamina C sofreu menores alterações quando submetida às temperaturas de -24 e -34 °C, com percentual equivalente a 104,5 e 100,3% respectivamente; e na espessura de 0,5 mm, nas mesmas temperaturas, o percentual foi de 93,5 e 98,5 %.

Duarte et al. (2017) ao estudar a influência da liofilização sobre as características físicas e químicas, inclusive carotenoides, de frutos do Cerrado, cagaita e marolo,

observaram que o processo conservou bem as características das frutas in natura, com alta retenção de carotenoides em ambas as amostras.

A liofilização também é reportada como processo que mantém melhor qualidade em matérias-primas diferentes de frutas. Em estudo das propriedades emulsionantes do isolado de proteína de amendoim submetidas aos métodos de aspersão e liofilização Gong et al. (2016) verificaram que nos dois processos de secagem as amostras apresentaram diferenças na estrutura proteica e nas propriedades emulsionantes, e o isolado de proteína liofilizada foi a que se manteve mais estável em relação à obtida por aspersão. Os autores justificam que as diferenças estruturais nas propriedades dos pós são causadas pelo encolhimento das gotículas durante a secagem em spray dryer e a concentração de soluto durante a liofilização.

## **2.4 Adjuvantes de secagem**

De acordo com Silva et al. (2012), agentes carreadores com elevada massa molecular, adicionados à amostra antes da secagem, auxiliam no aumento da temperatura de transição vítrea e melhoram o processo, diminuindo a aderência do produto na câmara de secagem.

A escolha do material adjuvante de secagem a ser utilizado no processo deve levar em consideração uma série de fatores, como propriedades físicas e químicas do núcleo (porosidade, solubilidade, etc.) e da parede (viscosidade, propriedades mecânicas, transição vítrea, capacidade de formação de filme, etc.), compatibilidade do núcleo com a parede, mecanismo de controle e fatores econômicos (BRAZEL, 1999).

Alguns agentes carreadores comumente utilizados no processo de microencapsulação na secagem por aspersão são as gomas (goma arábica), as ciclodextrinas, as proteínas (caseinatos, gelatina, isolados proteicos de soro de leite e de soja) e biopolímeros, como os produtos da reação de Maillard, o polissacarídeo solúvel de soja, a quitosana, os alginatos, a celulose modificada, a gelatina e os carboidratos derivados do amido (maltodextrinas e amidos modificados) (AZEREDO, 2005; GHARSALLAOULI et al., 2007; JAFARI et al., 2008).

As maltodextrinas são consideradas bons agentes encapsulantes porque exibem baixa viscosidade, mesmo em alta concentração de sólidos e alta solubilidade. Além disso, fornecem boa estabilidade ao *flavor* encapsulado, e possui efeito antioxidante,

embora possua baixa capacidade emulsificante (GHARSALLAOULI et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2006).

Dentre inúmeros adjuvantes de secagem a goma arábica é a única goma utilizada na produção de pós alimentícios que apresenta como características elevada solubilidade e, em solução aquosa, baixa viscosidade (TONON et al., 2009a).

Quek et al. (2007), analisando o processo de secagem por aspersão do suco de melão, observaram que sem a utilização do adjuvante de secagem o processo mostrou-se ineficiente, as partículas da amostra apresentaram um comportamento pegajoso e se mantiveram impregnadas na parede da câmara, o que os autores atribuem a altas quantidades de frutose e ácidos orgânicos presentes no suco de melão. No entanto, a adição de 3% e 5% de maltodextrina na amostra melhorou o rendimento e a qualidade do pó obtido.

Telis e Martínez (2012) destacam que em geral os adjuvantes de secagem comumente utilizados em secagem por aspersão de sucos de frutas são maltodextrinas e goma arábica. Diversos estudos tem sido realizados utilizando esses dois adjuvantes de secagem na produção de pós de frutas, como em uva (MOSER et al., 2017), mirtilo (CHUN et al., 2012), açaí (TONON et al., 2011), graviola (CEBALLOS et al., 2012), mangaba (CONEGERO et al., 2017), fruto do mandacaru (OLIVEIRA et al., 2015), cajá (OLIVEIRA et al., 2014), umbu-cajá (SANTOS et al., 2016), blackberry (FERRARI et al., 2012), melancia (OBEROI et al., 2015), cagaita (DAZA et al., 2016), lichia (KINGWATEE et al., 2015), amora (FAZAELI et al., 2012), entre outras.

Oliveira et al. (2013), avaliaram o efeito de diferentes agentes carreadores (Maltodextrina 5DE, Maltodextrina 10DE, Goma arábica e Capsul®) nas características físico-químicas umidade, densidade, solubilidade, teor de antocianinas e atividade antioxidante da polpa de morango desidratada por aspersão e armazenada à temperatura ambiente por 90 dias. Os resultados obtidos indicaram que a goma arábica foi o agente carreador mais adequado para a produção de polpa de morango em pó, pois apresentou menor higroscopicidade e maior concentração de antocianinas.

Ribeiro e Aguirre (2012) avaliaram a influência da temperatura do ar de secagem (160 ou 180 °C) e da concentração de maltodextrina (5, 15 ou 25%) sobre as características físico-químicas do suco de amora-preta em pó produzido por secagem por aspersão, avaliando a umidade, higroscopicidade, atividade de água, cor, retenção de antocianinas, além do tamanho e da microestrutura das partículas obtidas no processo. Os

autores concluíram que o aumento na concentração de maltodextrina resultou na formação de partículas com menor teor de umidade e higroscopicidade.

## **2.5 Degradação dos bioativos**

Alguns dos principais componentes de interesse nutricional encontrados em frutos são considerados fontes potenciais de bioativos. Diversas pesquisas tem sido dedicada a investigação desses compostos em virtude de seus potenciais efeitos benéficos a saúde humana, equilibrando os efeitos adversos dos agentes oxidantes pela ingestão de produtos que possuam princípios bioativos.

São compostos que agem impedindo e/ou diminuindo a formação de radicais livres ou espécies reativas não radicalares, combatendo o processo oxidativo. A procura por antioxidantes naturais tem aumentado bastante nos últimos anos e cada vez mais pesquisadores estão à procura de frutas nativas que apresentem essa propriedade (MORAIS et al., 2017). Porém, a estabilidade desses constituintes relaciona-se a vários fatores, sejam externos, como severidade do tratamento térmico, presença ou ausência de luz, temperatura de armazenamento, embalagem, como também fatores internos, como as composições químicas da matriz alimentar, o oxigênio dissolvido nos alimentos, tamanho das partículas e o estado físico dos compostos nos alimentos (PROVESI et al., 2011). É sempre útil ter o máximo de informações sobre o alimento a ser conservado, conhecendo-se de preferência o mecanismo e a cinética das principais reações de deterioração (MOURA, et al., 2007). Os compostos fenólicos são facilmente sensíveis à degradação, sua estrutura instável está sob várias condições ambientais, como luz, pH, oxigênio, temperatura de armazenamento e tempo (BUCHNER et al., 2006). A sensibilidade ao calor e ao aumento da temperatura podem levar à deterioração dos compostos fenólicos, resultando na perda imediata da atividade antioxidante presente nos alimentos (KIM e PADILLA-ZAKOUR, 2004).

A modelagem cinética é o processo pelo qual se prever a degradação de constituintes bioativos durante o armazenamento, com o intuito de minimizar as perdas nutricionais. A maioria dos estudos sobre a cinética de degradação dos bioativos durante o armazenamento, estão presentes na literatura (SONG et al., 2018), abóboras desidratadas, (LIU et al., 2019) bebida de cenoura, (REKAS et al., 2017) óleo de colza, (KIM et al., 2018a) maçã, (KIM, et al., 2018b) kiwi. Outros estudos reportam que o fator temperatura, pode resultar na perda de componentes bioativos, a exemplo: antocianinas

(REYES e CISNEROS-ZEVALLOS, 2007), vitamina C (BURDURLU et al., 2006), carotenoides (AHMED, 2002), fenólicos (ÖZŞEN e ERGE, 2013; KIM et al., 2018b; DJENDOUBI, et al., 2012), antocianinas (SUI et al., 2014). Os dados referentes ao modelo de cinética aplicados podem ser utilizados como base na prevenção das alterações na qualidade nutricional do material em pesquisa, durante o armazenamento.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local de realização dos experimentos

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA), do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Paraíba.

#### 3.2 Matéria-prima

Foram utilizados frutos maduros de cumbeba [*Tacinga inamoena* (K. Schum.) N.P. Taylor & Stuppy] (Figura 3.1) provenientes dos municípios de Afogados da Ingazeira, PE, e Congo, PB; maltodextrina (MOR-REX®, Corn Products Brasil), com dextrose equivalente (DE) igual a 10, como adjuvante de secagem.



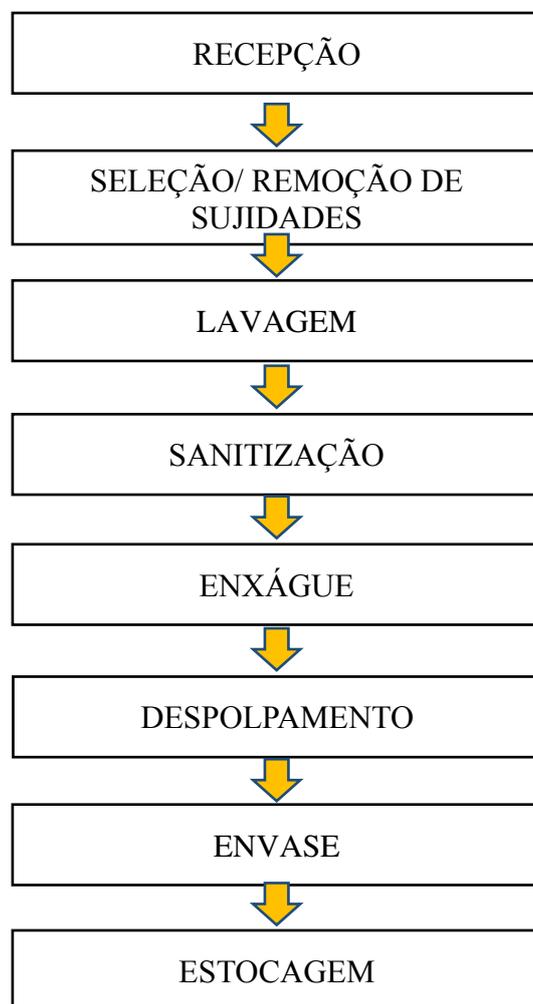
**Figura 3.1** – Fruto da cumbeba

(Fonte: <http://www.meucantinhoverde.com/2012/06/quipa-tacinga-inamoena.html>)

#### 3.3 Processamento da polpa de cumbeba

Têm-se na Figura 3.2 o fluxograma de processamento da polpa de cumbeba. Após a colheita, os frutos foram recepcionados no laboratório, onde foi realizada uma seleção quanto à uniformidade de tamanho, cor e ausência de defeitos, descartando-se os frutos com injúrias. Em seguida, foi realizada lavagem dos frutos selecionados em solução contendo detergente neutro a 1% e, após enxágue, foram sanitizados com solução de hipoclorito de sódio a 50 ppm de cloro ativo por 15 min e enxaguados em água corrente. Após secagem da água superficial ao ar livre, os frutos foram despulpados em

despolpadeira industrial de aço inoxidável (Laboremus- PAT/REG). Posteriormente, a polpa foi envasada em sacos plásticos de polietileno de baixa densidade e estocada em freezer horizontal (-18 °C) até realização dos experimentos.



**Figura 3.2** - Fluxograma do processamento da polpa de cumbeba

### **3.4 Caracterização física, química e físico-química da polpa de cumbeba integral, polpas formuladas e dos pós**

Foram caracterizadas físico-quimicamente quanto aos parâmetros: teor de água (%), cinzas, pH, sólidos solúveis totais (°Brix), acidez total titulável (%), relação SST/ATT, açúcares redutores em glicose (%), açúcares totais em glicose (%), não redutores em sacarose (%) e cinzas (%), segundo metodologias do Instituto Adolfo Lutz (2008); proteína bruta (%) de acordo com a metodologia descrita pela AOAC (2010); lipídios conforme método descrito por Bligh e Dyer (1959); atividade de água ( $a_w$ ), através de leitura direta da amostra na temperatura de 25 °C, em higrômetro Aqua-Lab,

modelo 3TE, fabricado pela Decagon; cor (item 3.4.1); ácido ascórbico (mg/100 g) pela metodologia da AOAC (1997) modificada por Benassi e Antunes (1998) (item 3.4.2); compostos fenólicos (item 3.4.3); antocianinas totais ( $\mu\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ) (item 3.4.4); flavonoides (mg/100 g) (item 3.4.5); carotenoides totais ( $\mu\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ) (item 3.4.6); e betalainas (betacianinas e betaxantinas) l/(mol cm) (item 3.4.7);.

### 3.4.1 Cor

Os parâmetros de cor da polpa e das formulações foram determinados em espectrofotômetro portátil Hunter Lab Mini Scan XE Plus, modelo 4500 L, obtendo-se os parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , em que  $L^*$  define a luminosidade ( $L^* = 0$  – preto e  $L^* = 100$  – branco) e  $a^*$  e  $b^*$  são responsáveis pela cromaticidade ( $+a^*$  vermelho e  $-a^*$  verde;  $+b^*$  amarelo e  $-b^*$  azul). Com os dados de  $a^*$  e  $b^*$  foram calculados o croma ( $C^*$ ), que corresponde à saturação ou intensidade da cor, sendo 0 = cor impura e 60 = cor pura (Equação 3.1) e o ângulo da tonalidade ( $h^*$ ), que expressa a cor perceptível da amostra sendo dependentes dos valores de  $a^*$  e  $b^*$ , em que  $0^\circ$  = vermelho;  $90^\circ$  = amarelo;  $180^\circ$  = verde;  $270^\circ$  = azul e  $360^\circ$  = preto (Equação 3.2).

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (0.1)$$

$$h^* = \tan^{-1}\left(\frac{a^*}{b^*}\right) \quad (0.2)$$

### 3.4.2 Ácido ascórbico

A determinação do ácido ascórbico se baseia na redução do 2,6-diclorofenol indofenol-sódio (DCFI) pelo ácido ascórbico de acordo com a metodologia da AOAC (1997), modificada por Benassi e Antunes (1998), que utilizam o ácido oxálico como solução extratora.

### 3.4.3 Compostos fenólicos totais

Para a determinação do teor de fenólicos totais, foi utilizado o método descrito por Waterhouse (2006) com reagente de Folin-Ciocalteu. Os extratos foram obtidos a partir da diluição de 1 g de amostra em 50 ml de água destilada, após 30 minutos de repouso, os extratos foram filtrados e a leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro a 765 nm, com um branco composto por água destilada. Para a obtenção da curva analítica foi utilizada uma solução padrão de ácido gálico, as concentrações fenólicas nas amostras foram expressas em mg de equivalentes de ácido gálico (GAE) / 100 g de amostra.

#### **3.4.4 Antocianinas totais**

Foram determinadas segundo a metodologia descrita por Francis (1982), sendo feita a leitura do extrato filtrado em espectrofotômetro em um comprimento de onda de 535 nm. Os resultados expressos em  $\text{mg} \cdot 100^{-1}$  calculados através da Equação (3.3):

$$\text{Antocianinas totais} = \text{absorbância} \times \text{Fator de diluição} / 98,2 \quad (0.3)$$

#### **3.4.5 Flavonoides totais**

Foram determinadas segundo a metodologia descrita por Francis (1982). Os resultados, expressos em  $\text{mg} \cdot 100^{-1}$ , serão calculados através da Equação 3.4.

$$\text{Flavonoides} = \text{absorbância} \times \text{Fator de diluição} / 76,6 \quad (0.4)$$

#### **3.4.6 Carotenoides totais**

Os carotenoides totais foram determinados por espectrofotometria de acordo com a metodologia proposta por Lichtenthaler (1987), que se baseia na extração com acetona os resultados foram expressos em mg/100g.

#### **3.4.7 Betalainas: Betaxantinas e betacianinas**

As betalainas (betacianinas e betaxantinas) foram determinadas de acordo com Castellar et al. (2003) com modificações. Os extratos foram preparados para cada fruto,

utilizando a proporção etanol:água (80:20) como solução de extração. As amostras foram pesadas e embebidas em 10 ml de etanol a 80%, e em seguida centrifugadas a 3.500 rpm durante 10 min a 24 °C. Em seguida, o sobrenadante foi reservado e adicionado ao resíduo 10 ml de 80% de álcool etílico, que foi submetido ao mesmo procedimento descrito acima. Os dois sobrenadantes foram combinados no mesmo frasco e o volume final ajustado para 25 mL com etanol a 80%. As absorvâncias dos extratos foram medidas no espectrofotômetro a 535 nm e 480 nm, para determinar os betacianinas e betaxantinas, respectivamente. Os conteúdos foram obtidos de acordo com a Equação 3.5:

$$\text{Betacianinas/Betaxantinas x[mg/100gFW]} = \left[ \frac{A \times DF \times MW \times V \times 100}{\epsilon \times SW} \right] \quad (0.5)$$

Em que:

A - absorvâncias a 535 ou 480 nm;

DF - fator de diluição;

MW - peso molecular;

V - volume do extrato

$\epsilon$  = coeficiente de extinção;

SW - peso da amostra. Para os betacianinas, o coeficiente de extinção é de 60.000 l / (mol cm) e PM = 550 g / mol. Para betaxantinas, o coeficiente de extinção é de 48.000 l / (mol cm) e PM = 308 g / mol.

### **3.5 Preparo das formulações**

#### **3.5.1 Preparo das formulações para a liofilização**

Elaboraram-se três formulações com a polpa de cumbeba integral adicionando-se como adjuvante de secagem maltodextrina (10, 20 e 30 %) (DE=10). As formulações foram submetidas a agitação em liquidificador, para a homogeneização do material, em seguida congeladas em freezer à -18 °C por 48 h, para posterior secagem.

#### **3.5.2 Preparo das formulações para secagem por aspersão**

Para secagem por aspersão elaboraram-se nove formulações contendo maltodextrina (10, 20 e 30%) (DE=10). A homogeneização da polpa com o adjuvante foi realizada por meio de agitação em liquidificador por 2 minutos, até a completa dissolução.

### **3.6 Secagem das formulações**

#### **3.6.1 Liofilização**

Foi utilizado liofilizador de bancada da marca Liobras, modelo L101, que consiste basicamente de painel digital, bomba a vácuo, câmara de condensação com válvula de dreno integrada, câmara de secagem em acrílico contendo, em seu interior, um suporte em aço inoxidável para três bandejas. Depois de formuladas as amostras congeladas foram acondicionadas nas bandejas do equipamento e desidratadas na temperatura de -50 °C por 48 h. Decorrido o tempo de liofilização, as polpas de cumbeba desidratadas foram trituradas com auxílio de almofariz e pistilo e acondicionadas em embalagens laminadas, para protegê-las da umidade e da luz.

#### **3.6.2 Secagem por aspersão**

A secagem por aspersão foi realizada em secador de bancada, modelo LM MSD 1.0 da marca Labmaq do Brasil. Os parâmetros operacionais adotados durante a secagem por aspersão foram: temperaturas de entrada de ar de secagem serão de 150, 170 e 190 °C, bico injetor com orifício de 1,2 mm de diâmetro, vazão de bombeamento das formulações de 0,5 L/h e vazão de ar comprimido de 30 L/min. Por fim, os pós coletados no secador foram acondicionados em embalagens laminadas até dá-se início as análises.

### **3.7 Caracterização química, física e físico-química dos pós**

As formulações destinadas às secagens por aspersão e em liofilizador foram caracterizadas físico-quimicamente quanto aos parâmetros descritos no item 3.4.

Adicionalmente foram analisados os parâmetros de molhabilidade, solubilidade, higroscopicidade, densidade real, densidade aparente, densidade compactada, porosidade, fator de Hausner, Índice de compressibilidade, teste de fluidez, rendimento e morfologia das partículas de pó descritos a seguir.

### 3.7.1 Molhabilidade

A molhabilidade foi determinada através da metodologia descrita por Freudig et al. (1999), com algumas modificações. Esse método consiste em depositar suavemente 1.000 mg de amostra sobre 100 mL de água destilada a 25 °C e determinar visualmente o tempo necessário para que todas as partículas se molhem. O cálculo para a determinação da molhabilidade será realizada através da Equação 3.6:

$$M = \frac{N}{t} \quad (0.1)$$

Em que:

M - molhabilidade;

N - massa da amostra, mg;

t - tempo, s.

### 3.7.2 Solubilidade

Foi determinada pelo método de Eastman e Moore (1984) e modificado por Canochauca et al. (2005) para determinação da solubilidade. A análise consiste em adicionar um grama de pó em 100 mL de água sob alta velocidade de agitação em um agitador magnético por 5 min. O pó disperso em água foi centrifugado a 2600 rpm por 5 min. Uma alíquota de 25 mL do sobrenadante foi transferida para uma placa de Petri previamente pesada e submetida à secagem em estufa a 105 °C por 24 h. A solubilidade foi calculada de acordo com a Equação 3.7:

$$\text{Solubilidade} = \frac{\text{massa da farinha no sobrenadante}}{\text{massa da farinha total}} \times 100 \quad (0.7)$$

### 3.7.3 Higroscopicidade

Na determinação da higroscopicidade foi utilizado o método proposto por Cai e Corke (2000), com algumas modificações. As amostras em pó (cerca de 1 g) foram

colocadas em um recipiente hermético contendo uma solução saturada de NaCl (umidade relativa de 75,3%) a 25 °C por sete dias, com posterior pesagem dos pós. A higroscopicidade é expressa como g de água adsorvida por 100 g de massa seca da amostra.

### 3.7.4 Densidade aparente

A densidade aparente foi determinada segundo método utilizado por POLITI (2009). Foram pesados 4 g de cumbeba em pó em proveta graduada de 25 mL, sem compactação, para determinação do volume total ocupado pelo sólido. A densidade aparente é calculada conforme Equação 3.8:

$$\rho_a = \frac{M_{p,vazia} - M_{p,cheia}}{V_{ocupado}} \quad (0.8)$$

Onde:

$\rho_a$ - densidade aparente (g/cm<sup>3</sup>);

$M_{p,vazia}$  - massa da proveta vazia (g);

$M_{p,cheia}$  - massa da proveta com amostra (g);

$V_{ocupado}$ - volume ocupado pela amostra na proveta (cm<sup>3</sup>).

### 3.7.5 Densidade compactada

Para a determinação da densidade compactada, 2 g de cumbeba em pó foi transferido para uma proveta graduada de 25 mL. A densidade compactada é calculada a partir da massa de pó contida na proveta depois de ser batida manualmente 100 vezes sobre a superfície de bancada a uma altura de 10 cm (TONON, 2009), conforme Equação 3.9:

$$\rho_c = \frac{m}{V} \quad (0.9)$$

Em que:

$\rho_c$  - densidade compactada ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

m - massa da amostra, (g);

V - volume do sólido após compactação, ( $\text{cm}^3$ ).

### 3.7.6 Densidade absoluta

A massa específica absoluta foi determinada em triplicata, pelo método picnométrico, utilizando hexano, na temperatura de 25 °C, o qual consiste na medida da massa em relação ao volume da amostra, utilizando um picnômetro. A massa específica absoluta foi calculada como a relação entre a massa e o volume das amostras.

### 3.7.7 Porosidade

Para determinação da porosidade é utilizado o método de Krokida e Maroulis (1997), de acordo com a Equação 3.10.

$$\varepsilon = 1 - (\rho_c / \rho_{abs}) \times 100 \quad (0.10)$$

Em que:

$\varepsilon$  - porosidade intragranular (%)

$\rho_c$  - densidade compactada ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$\rho_{abs}$  - densidade absoluta ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

### 3.7.8 Fator de Hausner e índice de compressibilidade

A partir das densidades aparente e de compactação foram determinados o Fator de Hausner e o Índice de compressibilidade (YUSOF et al., 2012), conforme as Equações 3.11 e 3.12, respectivamente:

$$\text{FH} = \frac{\rho_c}{\rho_a} \quad (0.11)$$

Em que:

FH - Fator de Hausner;

$\rho_c$  - densidade compactada ( $\text{g/cm}^3$ );

$\rho_a$  - densidade aparente ( $\text{g/cm}^3$ );

$$\text{IC} = \frac{\rho_c - \rho_a}{\rho_c} \times 100 \quad (0.12)$$

Em que:

IC - Índice de Carr (%);

$\rho_c$  - densidade compactada ( $\text{g/cm}^3$ );

$\rho_a$  - densidade aparente ( $\text{g/cm}^3$ );

### 3.7.9 Ângulo de repouso

O ângulo de repouso foi obtido da geometria do cone para uma massa de amostra de 30 g, de acordo com a Equação (3.13).

$$\theta = \text{Arctang} \left( \frac{2h}{D} \right) \quad (0.13)$$

Onde:

$\theta$  - ângulo de repouso;

h - altura da pilha;

D - diâmetro da pilha.

### 3.7.10 – Rendimento, razão de secagem, produtividade e taxa de secagem

O cálculo do rendimento do processo de secagem foi obtido usando a Equação 3.14.

$$R = \frac{M_f \times 100}{M_i} \quad (0.14)$$

Em que:

R - rendimento (% m/m);

$M_f$  - massa do produto em pó (g);

$M_i$  - massa inicial da formulação (g).

A razão de secagem, produtividade e taxa de secagem foram determinados segundo a metodologia descrita por Cai e Corke (2000), usando as seguintes equações:

$$\text{Razão de secagem} = \frac{\text{Umidade na alimentação}}{\text{Teor de sólidos em pó}} \quad (0.15)$$

$$\text{Produtividade (L/h)} = \frac{\text{Taxa de alimentação}}{\text{Razão de secagem}} \quad (0.16)$$

$$\text{Taxa de secagem} = \text{Taxa da alimentação} - \text{produtividade} \quad (0.17)$$

### **3.7.11 Morfologia das partículas dos pós**

A análise morfológica das partículas foi realizada através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) em um microscópio eletrônico de varredura SSX-550 SUPERSCAN da Shimadzu, Japão, operando-se a 15 kV. Para obter as imagens por MEV, as amostras foram metalizadas com uma liga de ouro por 240 s com corrente de 10 mA em metalizador Shimadzu IC-50, sob condições de vácuo elevado, a fim de proporcionar uma superfície refletora para os feixes de elétrons. Em seguida, as amostras recobertas com ouro serão visualizadas no microscópio e as estruturas morfológicas fotografadas em ampliações de 100×, 200×, 500× e 1000×.

## **3.8 Seleção do melhor pó**

A escolha do melhor pó foi realizada com base na formulação que apresentou melhor retenção de compostos fenólicos, antocianinas e betaxantinas. No melhor pó foram determinados os parâmetros a seguir:

### **3.8.1 Perfil de minerais**

Os minerais foram identificados e quantificados por Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva, EDX-7000 da marca Shimadzu.

### **3.8.2 Fibra bruta**

O teor de fibra bruta determinado em triplicata, segundo o método Ba 6a-05 da AOAC (2009). O cálculo do percentual de fibra bruta (Equação 3.18):

$$Fibra\ Bruta\ \% = \frac{(A - B)}{C} \times 100 \quad (0.18)$$

### **3.8.3 Determinação da capacidade antioxidante DPPH (1,1- difenil- 2-picrilidrazil) e ABTS•+ (2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)**

A capacidade antioxidante do pó selecionado foi determinada utilizando dois ensaios distintos, atividade sequestrante do radical livre ABTS e DPPH, ambos em solução padrão de metanol-acetona (RUFINO et al., 2007).

### **3.8.4 Perfil de fenólicos**

O perfil de fenólicos foi determinado por HPLC de acordo com metodologia proposta por (PADILHA et al., 2017) e adaptado por (DUTRA et al., 2018).

### **3.8.5 Cinética de degradação dos compostos fenólicos totais**

Foram acondicionadas em recipientes de vidro (1g) de amostras e armazenadas em potes hermeticamente fechado com solução saturada de cloreto de sódio (NaCl) simulando um ambiente com umidade relativa média de 75%. Os potes foram armazenados em câmaras tipo B.O.D. nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C. A análise ocorreu por 16 dias, com intervalos decorrentes de um dia. Na determinação do teor de fenólicos totais, foi utilizado o método de Folin-Ciocalteu, segundo a metodologia descrita por Waterhouse (2006). As constantes cinéticas de ordem zero e de primeira

ordem foram calculadas ajustando-se os modelos cinéticos apresentados na Tabela 3.1 utilizando-se regressão não linear por meio do programa computacional Statistica 7.0.

**Tabela 3.1-** Modelos cinéticos de ordem zero e primeira ordem.

Ordem da reação	Modelo
Zero	$A = A_0 - k$ (0.2)
Primeira	$\ln \frac{A}{A_0} = -k$ (0.20)

Em que: A – concentração do parâmetro avaliado após um tempo “ $\theta$ ”;  $A_0$  - concentração inicial do parâmetro avaliado; k - constante da velocidade da reação e  $\theta$  - tempo.

Para avaliar o modelo que produziu o melhor ajuste, foi utilizado como parâmetro o coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

O tempo de meia vida ( $\theta_{1/2}$ ) foi calculado através das Equação 3.21 e 3.22, derivadas a partir das equações de ordem zero e primeira ordem; o valor de k utilizado foi o do modelo cinético que melhor se ajustou aos dados experimentais das cinéticas de degradação.

$$\theta_{1/2} = \frac{A_0}{(2x|k|)} \quad (0.21)$$

$$\theta_{1/2} = \frac{0,693}{k} \quad (0.32)$$

### 3.8.5.1 Efeito da temperatura

Foi utilizada a equação de Arrhenius (Equação 3.23) para verificar o efeito da temperatura na constante cinética (K), para as reações de degradação do teor de fenólicos, nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C e teor de água relativa de 75%. O valor de K utilizado foi o do modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais das cinéticas de degradação do teor de fenólicos.

$$k = Ae^{\left(\frac{-EA}{RT}\right)} \quad (0.23)$$

Em que:

K – constante da reação

A – fator pré-exponencial

$E_A$  – energia de ativação (energia mínima requerida para que uma reação se inicie)

R – constante universal dos gases ((0,8314 KJ mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>);

T – temperatura absoluta (K)

O fator  $Q_{10}$  que indica o aumento ou a diminuição na taxa de uma reação, quando o produto é estocado em uma temperatura 10 °C maior, foi determinado pela Equação 3.24, utilizando-se o K do modelo de melhor ajuste.

$$Q_{10} = \frac{k_{(T+10)}}{k_T} \quad (0.24)$$

Em que:

K – constante da reação;

T – temperatura absoluta (K)

### 3.9 Isotermas de adsorção de água

As isotermas de adsorção de água para a amostra em pó selecionada foram determinadas utilizando-se o método indireto com as medidas de atividade de água feitas no higrômetro Aqualab, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C (CRAPISTE e ROTSTEIN, 1982). Foram ajustados modelos matemáticos (Tabela 3.2) aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água utilizando-se regressão não linear por meio do programa computacional Statistica 7.0.

**Tabela 3.2.** Modelos matemáticos a serem utilizados para estimar as isotermas de adsorção de água da amostra de cumbeba em pó

Designação	Modelo
------------	--------

GAB	$X_{eq} = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w) \cdot (1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)}$	3.25
Peleg	$X_{eq} = k_1 \cdot a_w^{n_1} + k_2 \cdot a_w^{n_2}$	3.26
BET	$X_{eq} = (X_m * C * a_w) / ((1 - a_w) * (1 + (C - 1) * a_w))$	3.27
Oswin	$X_{eq} = a \cdot \left( \frac{a_w}{1 - a_w} \right)^b$	3.28

Em que:  $a_w$  - atividade de água, adimensional;  $X_{eq}$  - Teor de água de equilíbrio (bs);  $X_m$  - teor de água na monocamada molecular (bs);  $C$  - constante relacionada com o calor de sorção da camada molecular;  $a$ ,  $b$ ,  $K$ ,  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $n_1$  e  $n_2$  - constantes dos modelos.

Na determinação do grau de ajuste de cada modelo às isotermas de adsorção de água serão consideradas as magnitudes do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e do erro médio relativo (P), conforme Equação 3.29.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|(X_{exp} - X_{pred})|}{X_{exp}} \quad (0.4)$$

Em que:

- P - desvio percentual médio (%);
- $X_{exp}$  - valores obtidos experimentalmente;
- $X_{pre}$  - valores preditos pelo modelo;
- n - número de dados experimentais.

### 3.10 - Análise estatística

Os dados das caracterizações físicas, químicas e físico-químicas das polpas formuladas e das polpas em pó de cumbeba foram submetidos à análise de variância. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com a comparação entre médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade entre os dados experimentais da caracterização das polpas formuladas e a polpa integral.

Para as polpas em pó, o experimento foi organizado em delineamento inteiramente casualizado, disposto em esquema fatorial  $3 \times 4$ , sendo (concentrações x temperaturas), (10, 20 e 30%), e (150, 170, 190 e  $-50^\circ\text{C}$ ) cada tratamento com três repetições, utilizando-se o programa computacional Assisat versão 7.7.

Todos os dados foram analisados estatisticamente utilizando-se o programa computacional Assistat versão 7.7 Beta (SILVA e AZEVEDO, 2009) e para verificar prováveis diferenças estatísticas entre amostras foi realizada a comparação entre médias aplicando teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ARTIGO I - COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE DA POLPA DE CUMBEBEBA

**Resumo** – Cumbeba ou quipá [*Tacinga inamoena* (K. Schum.)] é uma cactácea nativa do semiárido brasileiro, com frutos de formato ovoide, com presença de gloquídeos no pericarpo e câmara seminífera com tons que variam do amarelo ao laranja fosco. Gêneros de cactáceas originários do bioma caatinga tem sido tradicionalmente destinados à alimentação animal, todavia diversos estudos sobre essas plantas e seus frutos tem sido desenvolvidos com a busca pelo aproveitamento de espécies adaptadas a condições edafoclimáticas adversas e ricas em princípios nutritivos e funcionais. A cumbeba destaca-se com alta produtividade de frutos, além de produzir normalmente sob os eventos climáticos que se associam à irregularidade dos regimes de chuva da região. Foram determinados a composição físico-química e o potencial antioxidante da polpa de cumbeba. Determinou-se a capacidade antioxidante pelo método de captura de radicais livres: DPPH (2,2-difenil-1-picril hidrazila) e ABTS (2,2-azinobis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfônico) avaliadas por meio dos extratos: aquosos, metanólicos, etanólicos, hexano e metanol-acetona. A polpa apresentou composição semelhante à de frutas convencionais, com teor de água próximo a 90% e sólidos solúveis totais em torno de 9%; o valor do *ratio* situou-se em cerca de 24, demonstrando prevalência do sabor doce sobre o ácido; observou-se valores elevados de fenólicos totais (63,46 mg/100g) e de flavonoides (13,68 mg/100 g). A polpa apresentou bom potencial antioxidante pelas duas metodologias aplicadas. Os extratos que mostraram alto potencial em sequestrar radicais livres foram extrato com metanol-acetona, pelo método de DPPH, e extrato aquoso por ABTS. Por DPPH encontrou-se o valor EC<sub>50</sub> igual a 7,54g de polpa/g de DPPH e por ABTS o valor foi equivalente a 426,1 µmol de Trolox/100g polpa.

**Palavras-chave:** quipá, *Tacinga inamoena*, frutos de cactáceas, bioativos, semiárido,

## INTRODUÇÃO

Grande parte das cactáceas nativas do Brasil é encontrada na região semiárida, onde integram naturalmente a vegetação da caatinga, perfeitamente adaptadas às chuvas irregulares e aos solos rasos e pedregosos. Tendo em comum entre seus representantes a afinidade com climas secos, a família *Cactaceae*, serve de recurso alimentar para pessoas, animais, e também na medicina popular, entre outros (CAVALCANTE et al., 2013; LUCENA et al., 2013). Nessas áreas áridas ou semiáridas, a tolerância dessas espécies à escassez de água permite a produção mesmo em condições impróprias para frutíferas convencionais, oferecendo oportunidade para a exploração comercial de frutas com elevado potencial nutricional, sabor e aroma peculiares (PINHEIRO et al., 2015).

Muitos frutos de cactos são comestíveis, mas com exploração comercial incipiente devido ao desconhecimento de suas características sensoriais e quanto ao seu potencial nutricional. Diversos trabalhos têm sido dedicados a investigação das características dessas espécies subutilizadas com a intenção de disponibilizar informações confiáveis, abrindo perspectivas para a sua introdução na alimentação, bem como inserí-las em novos mercados e regiões (SOUZA et al., 2007).

De acordo com Scalbert e Williamson (2000) as células humanas estão constantemente expostas a agentes oxidantes e acredita-se que é possível equilibrar os efeitos adversos desses agentes por meio da ingestão de princípios bioativos que apresentam potencial antioxidante. Alimentos tipicamente considerados como fontes de princípios bioativos, o consumo de frutas supriria essa necessidade. Rufino (2008) estabelece relação entre os tipos de pigmentos encontrados nas frutas e seu efeito no organismo, afirmando que a maioria das frutas com coloração alaranjada, vermelha e verde-escura pode ser classificada como alimento funcional e caracteriza-se por produzir efeito metabólico ou fisiológico positivo no organismo.

Alguns dos principais componentes de interesse nutricional encontrados em frutas são fibras, vitaminas, minerais, compostos fenólicos, inclusive flavonoides, e uma variedade de princípios bioativos (Pennington e Fisher, 2010). Jun et al. (2013) cita a identificação desses componentes em diversos frutos de cactáceas, como figo-da-índia (*Opuntia ficus-indica* Mill), fruto do mandacaru (*Cereus jamacaru*), quipá (*Tacinga inamoena*), pitaya (*Hylocereus undatus*; *Selenicereus setaceus*).

Dentre as cactáceas nativas mais comuns da caatinga, o quipá ou cumbeba (*Tacinga inamoena* (K. Schum.) N.P. Taylor & Stuppy) é uma fruta que se apresenta

como baga de formato ovóide a subglobosa, de cor variando do amarelo ao laranja, com diâmetro longitudinal e transversal de 3,0-4,0 a 2,4-3,5 cm, respectivamente, com porção basal vermelha ou avermelhada, fosca; câmara seminífera ocupando quase todo o espaço interno, preenchido por massa carnosa (polpa), cor de pêssego clara, constituída pelos funículos das sementes (SOUZA et al., 2007). Trata-se de uma espécie ainda pouco estudada, sem qualquer descrição que distinga variedades ou subespécies, que ainda carecem de determinação.

Diante do exposto, este trabalho foi realizado com o objetivo de se determinar as características físico-químicas e a capacidade antioxidante da polpa de cumbeba in natura.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Para a realização dos ensaios foram utilizados frutos maduros de cumbeba [*Tacinga inamoena* (K. Schum.) N.P. Taylor & Stuppy] provenientes dos municípios de Afogados da Ingazeira, PE (7°44'S; 37°38'O). Após a colheita, os frutos foram recepcionados no laboratório, onde foram selecionados entre os que se apresentavam em bom estado, íntegros e sem defeitos. Em seguida, foram lavados em solução contendo detergente neutro a 1% e, após enxágue, sanitizados com solução de hipoclorito de sódio a 50 ppm de cloro ativo por 15 min, e enxaguados em água corrente. Após secagem da água ao ar livre da água remanescente do enxágue, os frutos foram despulpados em despulpadeira industrial de aço inoxidável (Laboremus- PAT/REG) e a polpa foi congelada e armazenada a -18° C, em bolsas de polietileno de baixa densidade, em porções de 0,5 kg, sendo este o material utilizado nos ensaios.

### **Caracterização da polpa de cumbeba**

A polpa foi submetida a determinações de teor de água (%), sólidos totais (%), pH, sólidos solúveis totais (°Brix), acidez total titulável (%), relação SST/ATT, cinzas, proteína bruta, açúcares redutores em glicose (%), açúcares totais em glicose (%), não redutores em sacarose (%) e cinzas (%), segundo metodologias do Instituto Adolfo Lutz (2008); proteína bruta (%), de acordo com a metodologia descrita pela AOAC (2010); lipídios, conforme método descrito por Bligh e Dyer (1959); pH utilizando um medidor de pH previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0 e cor, realizada de forma instrumental em espectrofotômetro.

Foram determinados os compostos bioativos: ácido ascórbico pelo método da AOAC (1997) modificado por Benassi e Antunes (1988); carotenoides (Higby, 1962), antocianinas e flavonoides (Francis, 1982), fenólicos totais, descrito por Waterhouse (2006), e betalaínas (betacianinas e betaxantinas) por CASTELLAR et al. (2003).

Para a determinação da cor utilizou-se o espectrofotômetro MiniScan HunterLab XE Plus. A atividade de água foi determinada a 25 °C utilizando-se higrômetro Aqualab modelo 3TE da Decagon Devices, com todas as análises realizadas em triplicata.

### **Determinação da capacidade antioxidante**

A capacidade antioxidante foi determinada por dois ensaios distintos, atividade sequestrante do radical livre DPPH e atividade sequestrante do radical livre ABTS.

#### ***Obtenção dos extratos para a determinação da capacidade antioxidante sequestrante do radical livre DPPH (1,1- difenil- 2- picrilidrazil)***

Para determinação de DPPH da polpa in natura tomou-se uma alíquota de 1g da polpa de cumbeba adicionada a 4 ml de metanol 50% por 1h. O material, após a adição do solvente, foi submetido a centrifugação a 3000 rpm durante 15 minutos. O sobrenadante foi filtrado e transferido para um balão volumétrico de 10mL; o resíduo foi transferido para um Becker adicionado de 4 mL de acetona 70%, deixando-se extrair por 1h, e o sobrenadante foi recuperado. O processo de extração foi repetido e os dois sobrenadantes foram somados, completando o volume com água destilada. Os extratos metanólicos foram preparados a partir da diluição de 1g de amostra em 10 mL de água destilada e deixados por 1h em repouso e protegidos da luz. Os extratos obtidos foram colocados em tubos de ensaio nas concentrações de (10, 30 e 50 µL), em triplicata. Em sequência foram utilizadas alíquotas de 0,1 mL de cada concentração de amostra com 3,9 mL da solução de DPPH. Ao final, a absorbância foi medida a 515 nm. A capacidade de sequestrar o radical é expressa em EC<sub>50</sub>, que corresponde à concentração da amostra necessária para reduzir em 50% a concentração inicial do radical DPPH (RUFINO et al., 2007).

#### ***Atividade sequestrante do radical livre ABTS***

A capacidade antioxidante pelo método ABTS•+ (2,2-azinobis(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)) foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Rufino et al. (2007). O radical ABTS foi obtido pela reação da solução ABTS•+ 7 mM (5 mL) com solução de persulfato de potássio 140 mM (88 µL), mantidos a temperatura ambiente por 16 h. Após esse período, o radical foi diluído em etanol P.A. até a obtenção do valor de absorvância de 0,705 a 734 nm. A partir do extrato (30 µL) foi adicionado o radical ABTS (3,0 mL), e a leitura foi feita após 6 minutos da reação a 734 nm em espectrofotômetro UV-VIS (Thermo Fisher Scientific, modelo Evolution 60S), utilizando-se etanol como branco. O Trolox (0,25-10 µg/mL) foi utilizado como padrão para plotar as curvas de calibração ( $R^2 = 0,9988$ ) e os resultados expressos em µmol Trolox/g de extrato.

### **Análise estatística**

Os dados foram obtidos em triplicata e para cada parâmetro foram calculados as médias e o desvio padrão, utilizando o software Excel®.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Caracterização físico-química da polpa in natura de cumbeba**

Na Tabela 1 apresenta-se os resultados médios e desvio padrão da composição físico-química da polpa integral de cumbeba. Conforme o que se observa, o teor de água da polpa in natura de cumbeba apresentou um percentual de aproximadamente 92%, próximo aos valores reportados por Oliveira et al. (2004) na caracterização físico-químicas da polpa de mandacaru (*C. jamacaru*) (93,77%), Gonçalves et al. (2015), em polpa de facheiro-da-praia (*Pilosocereus arrabidae*) (90%), e em polpas de pitaya, 87% (Sousa, 2015), de mandacaru, 88% (Nunes et al., 2013), de mandacaru maduro e verde, respectivamente, 86 e 85% (Silva et al., 2019), e também de mandacaru-de-três-quinas (*Cereus hildmannianus* K. Schum.), araticum-do-mato (*Rollinia sylvatica* A. St.-Hil.) e butiá (*Butia capitata* (Mart.) Becc.), com 79, 88 e 84%, respectivamente (Pereira et al., 2013).

A elevada umidade e conseqüentemente elevada atividade de água classifica a polpa de cumbeba como produto de alta perecibilidade, conforme a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2011).

**Tabela 1.** Parâmetros físico-químicos da polpa de cumbeba in natura

<b>Parâmetros</b>	<b>Polpa de cumbeba <i>in natura</i></b>
Teor de água (% b.u)	91,66 ± 0,19
Atividade de água ( $a_w$ - 25 °C)	0,992 ± 0,001
Sólidos solúveis totais (°Brix)	9,13 ± 0,12
Acidez total titulável (% ác. cítrico)	0,32 ± 0,00
pH	4,36 ± 0,00
Ratio (%)	23,84 ± 0,30
Cinzas (%)	0,65 ± 0,06
Ácido ascórbico (mg/100 g)	4,30 ± 0,01
Proteínas (%)	0,87 ± 0,20
Lipídeos (%)	0,31 ± 0,05
Açúcares redutores (%)	4,90 ± 0,03
Açúcares totais (%)	5,64 ± 0,02
Açúcares não-redutores (%)	0,74 ± 0,00
Luminosidade (L*)	40,47 ± 0,10
Intensidade de vermelho (+a*)	12,74 ± 0,06
Intensidade de amarelo (+b*)	49,79 ± 0,27
(H*)	75,65 ± 0,11
(C*)	51,39 ± 0,25
Carotenoides (mg/100 g)	0,165 ± 0,00
Flavonoides (mg/100 g)	13,68 ± 0,03
Antocianinas totais (mg/100 g)	0,88 ± 0,01
Fenólicos totais (mg/100 g)	63,46 ± 0,15
Betaxantinas (mg/100g)	2,05 ± 0,02
Betacianinas (mg/100g)	1,04 ± 0,00

A atividade de água da polpa integral de cumbeba foi superior a 0,98, se mantendo acima da faixa considerada segura, sendo propícia ao desenvolvimento de micro-organismos deteriorantes, como bolores, leveduras e bactérias patogênicas (FRANCO e

LANDGRAF, 2008). Maiores valores de atividade de água indicam mais água livre disponível para as reações bioquímicas e, conseqüentemente, diminuição da vida útil do produto (QUEK et al., 2007). Silva et al. (2019) reportaram valor de atividade de água de 0,990 em polpa de mandacaru em estádios de maturação maduro e verde.

O teor de sólidos solúveis totais (SST) da polpa de cumbeba, de 9,13 °Brix, é próximo ao valor citado por Souza et al. (2007) na caracterização do fruto da mesma espécie, com valor médio de 9,00 °Brix, mais de 50% inferior ao reportado por Fernandes et al. (2017) em polpa de pitaya orgânica, com valor de 15,17%. Abreu et al. (2012) caracterizaram físico-quimicamente a polpa de pitaya da espécie *H. undatus* e encontraram valor médio de 10,83 ± 0,40 °Brix. Variações no teor de SST dependem da espécie, local de cultivo, condições edafoclimáticas, estágio de maturação, entre outros fatores. Frutas em estágio de maturação madura apresentam valores médios de SST na faixa de 8 a 14°Brix (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

O teor de acidez total titulável se assemelha ao valor reportado por diversos outros autores, como Formiga et al. (2016) em polpa da mesma espécie, com 0,27 % ácido cítrico. Abreu et al. (2012) encontraram valores de ATT, em polpas de pitaya branca e vermelha, de 0,20% em *H. undatus* e 0,24% em *S. polyrhizus*, enquanto Fernandes et al. (2017) encontraram valores de ATT de 0,26% em polpa de pitaya orgânica. Duarte et al. (2017) determinaram em polpa de marolo (*Annona crassiflora* Mart.), ATT de 0,78% de ácido cítrico.

O valor de pH da polpa de cumbeba, pouco ácido, situou-se em valor intermediário aos valores citados por Silva et al. (2016) para figo-da-índia (*Opuntia ficus indica* (L.) Mill.), de 5,8, e Melo et al. (2015) e Melo et al. (2017), ambos em mandacaru (*C. jamacaru*), cujos valores determinados foram de 5,0 e 4,1 a 4,0, respectivamente. A acidez é resultante dos ácidos orgânicos, os quais influenciam na cor, sabor, odor e na qualidade das frutas (Lima et al., 2013).

A relação °Brix/acidez (*ratio*), com valor de 28,53, demonstra uma predominância da doçura em relação à acidez, tomando-se por base o *ratio* aproximado do suco de laranja, em torno de 10. O *ratio* fornece uma indicação do sabor do fruto, relacionando o teor de açúcares e de ácidos presentes, tendendo a aumentar, durante o amadurecimento, pelo aumento nos teores de açúcares e pela diminuição dos ácidos, sendo influenciada, portanto, por fatores ambientais e fisiológicos, os quais interferem diretamente no sabor das frutas (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

O conteúdo mineral da polpa de cumbeba, de 0,65%, supera os encontrados por Oliveira et al. (2010), que quantificaram 0,36% de cinzas na polpa de (*Hylocereus polyrhizus*); e por Abreu et al. (2012) em polpa de pitaya branca (*Hylocereus undatus*), que relataram valor médio de 0,39%, mas também são encontrados valores similares, como os reportados por Sato et al. (2014) em polpa de pitaya vermelha provenientes dos municípios de Castanhal e Tomé-Açu, de 0,69 a 0,65%, respectivamente, e por Sousa (2017) em frutos de xiquexique (*Pilosocereus gounellei*) e de facheiro (*Pilosocereus pachycladus subesp. pernambucoensis*) com teores de cinzas equivalentes a 0,66 e 0,68%, respectivamente. Silva et al. (2019) quantificaram o conteúdo de cinzas em frutos do mandacaru em polpa verde e em polpa madura, na ordem de 0,49 e 0,46%, e Pereira et al. (2013) em frutos do mandacaru-de-três-quinás (*C. hildmannianus*), de 0,56%. O conteúdo de cinzas para a maioria das frutas frescas situa-se em uma faixa de variação que vai de 0,4 a 2,1% (CECCHI, 2003).

De acordo com a classificação proposta por Ramful et al. (2011), o conteúdo de vitamina C encontrado na cumbeba, de 4,30 mg/100, a enquadra na categoria de frutas com baixo teor de ácido ascórbico, como são consideradas pelos autores as que contém <30 mg/100 g. Silva et al. (2019) encontraram, em polpas de mandacaru verde e maduro, valores de 0,89 e de 1,04 mg/100 g; Fernandes et al. (2017) reportaram para a polpa de pitaya 3,64 mg/100 g. Silva et al. (2015) e Formiga et al. (2016), avaliando exemplares de figo-da-índia e de cumbeba, respectivamente, reportaram valores de ácido ascórbico de 19,6 mg/100g e 27,0 mg/100g. O teor de ácido ascórbico pode ser afetado pelas mais diversas condições, sejam relativas aos tratamentos culturais, ao solo e as condições climáticas às quais se sujeitou o plantio, além do estágio de maturação e do processamento pós-colheita. Tendo em vista o congelamento a que as amostras foram previamente submetidas, pode-se atribuir a isto os baixos valores determinados.

Matérias-primas compostas predominantemente de água e açúcares simples, frutas em geral tem baixo teor proteico. Conforme Abadio Finco et al. (2012), como característica intrínseca dessas matérias-primas, está o fato de não serem fontes potenciais de proteínas. Com teor de proteínas de 0,87g/100g, a polpa de cumbeba apresenta um conteúdo típico da maioria das frutas que, no entanto, pode variar em uma faixa mais ou menos ampla, como se vê dos valores relatados por Gonçalves et al. (2015) em frutos do *Pilosocereus arrabidaei*, de 2,69 g/100g, e por Hernández-Urbiola et al. (2011) em frutos de *O. ficus-indica*, de 7,07 g/100 g, enquanto Nascimento et al. (2011) mencionam valor

de 0,97 g/100 g de proteína em polpa de cumbeba e Barba et al. (2017) de 0,7 g/100 g em frutos de *Opuntia spp.*

A polpa de cumbeba, com teor de lipídeos de 0,31%, se enquadra no limite citado por Potter (1968), que afirma que a maioria das frutas possui conteúdo de gordura inferior a 0,5%, como é o caso da polpa de pitayas, em que os autores Fernandes et al. (2017) e Santos et al. (2016) observaram valores de lipídeos de 0,47 e 0,30%, respectivamente.

Nos teores de açúcares totais, redutores e não redutores médios, de 5,64; 4,90 e 0,74%, destaca-se o valor dos açúcares redutores, que representam 86,8% dos açúcares totais. Fernandes et al. (2017), também observaram a predominância dos açúcares redutores na polpa de pitaya, representado por um percentual de 70,43% do conteúdo de açúcares totais. Lima (2016), no estudo da caracterização e potencial antioxidante do fruto da cumbeba (*T. inamoena*) também comprovaram a elevada proporção dos açúcares redutores em relação aos açúcares totais na polpa (5,46 e 3,3%), perfazendo 60,43% do teor de açúcares totais. O conteúdo inferior dos açúcares não redutores pode estar relacionado à hidrólise da sacarose durante o processo de amadurecimento do fruto, contribuindo para o aumento dos açúcares simples (SANTOS et al., 2013).

Na polpa integral de cumbeba, a luminosidade ( $L^*$ ) com valor médio de 40,47, a intensidade de vermelho ( $+a^*$ ) e intensidade de amarelo ( $+b^*$ ), que foram, respectivamente, de 12,74 e 49,79, identifica-se um material claro, com predominância de tons de amarelo e presença de matiz vermelho. Considerando-se que nenhum tipo de tratamento químico ou térmico foi aplicado à polpa, é possível supor a ocorrência de reações enzimáticas de escurecimento cuja inibição levariam a valores ainda mais altos de luminosidade. A predominância da intensidade de amarelo sobre a intensidade de vermelho reflete a impressão sensorial que leva à descrição da cumbeba como um fruto com polpa de cor amarela (FORMIGA et al., 2016). A cor da polpa revela a presença de pigmentos específicos, que integram o perfil nutricional, como é o caso da amarelo-alaranjado da cumbeba, por sua correlação com o teor de carotenoides presentes. No diagrama de cromaticidade, os índices de Cromo e Hue da polpa de cumbeba, de 51,39 e 75,65, fornecem indicação sobre a cor perceptível do produto (VIANA et al., 2013). A cromaticidade superior a 50 é um indicativo de que o material apresenta coloração viva, atrativa devido à intensidade associada. Comparando com outros trabalhos referentes a polpas de cactáceas, tem-se na polpa de pitaya, valores de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  na ordem de 33,52; 3,06 e 2,44 determinados por Lima et al. (2014); Santos et al. (2016), também em polpa de polpa de pitaya, observou valores de  $L^*=49,5$ ;  $C^*=7,20$  e  $H^*=94,70$ ; Galdino et al.

(2016), estudando polpa de figo-da-índia, reportaram valores de  $L^*$ ,  $+a^*$  e  $+b^*$  iguais a 17,26; 11,12 e 25,98; Allegra et al. (2015), também em estudo com polpa de figo-da-índia verificaram valores médios de  $L^*=53,9$ ,  $+a^*=10,4$  e  $+b^* = 38,4$ .

Os carotenoides quantificados na polpa de cumbeba, de 0,165 mg/100 g, superam valores encontrados por outros autores para o mesmo fruto, como Lima (2016), que reporta valor de 0,05mg/100g; Sousa (2017), que encontrou 0,128 mg/100g e Dantas et al. (2016), que obteve valor de 0,03mg/100g. Nascimento et al. (2011) verificou no fruto de cumbeba um valor diverso dos citados, reportando 2,55mg/100g de carotenoides.

O teor de flavonoides, de 14 mg/100g, superou os valores reportados para polpa de cumbeba determinados por outros autores, como Lima (2016), com valor de 0,67mg/100g; Formiga et al. (2016) que observaram teor de 1,66mg/100g; Nascimento et al. (2011) determinaram, valor mais elevado, de 10,41mg/100g de flavonoides, mas ainda assim cerca de 25% menor que o encontrado no presente trabalho. Sabendo-se que essas variações podem ser devidas a condições de clima e solo é possível, no entanto, avaliar o potencial da cumbeba quanto ao aporte desse componente, podendo ser considerada uma fonte de flavonoides, aos quais se associa elevado valor biológico.

Na análise do conteúdo de antocianinas totais, o valor médio de 0,88 mg/100 g na polpa de cumbeba supera os teores quantificados por Lima (2016) e Formiga et al. (2016) na mesma espécie de fruto, com valores de 0,52 e 0,05 mg/100g, respectivamente. A quantidade relativamente pequena de antocianinas pode estar relacionada a presença de outros pigmentos, como as betalaínas (LIMA, 2016).

Com valor de 63,46 mg/100g, a polpa de cumbeba apresentou quantidade relevante de fenólicos totais, embora inferior ao relatado por autores como Formiga et al. (2016), que quantificou 80,97 mg/100g de fenólicos totais em polpa da mesma espécie. Carvalho et al. (2016), realizando a caracterização físico-química da polpa de murici, observaram teores de fenólicos totais variando de 32,98 a 120,04 mg/100g entre diferentes genótipos do fruto. MELLO (2014), determinaram em pitaya (*H. undatus*) determinaram 52,13 mg /100 g de fenólicos; FU et al. (2011) reportaram teor de 27,52 mg /100 g em pitaya de polpa branca. Os compostos bioativos, pela característica de serem constituintes voláteis, estão sujeitos a perdas expressivas, que podem ocorrer durante o processo de despulpamento e por fatores pós-colheita, como o tempo de estocagem.

Os teores de betaxantinas e betacianinas, de 2,05 e 1,04 mg/100g, são inferiores às encontradas por Lima (2016) em polpa de cumbeba e em polpa de mandacaru, com

valores correspondentes a 9,63 e 4,57 mg/100g de betaxantinas e 12,83 e 6,08 mg/100g de betacianinas, para os frutos respectivos. Kyriacou et al. (2016) definiram o perfil físico-químico de duas cultivares de *O. ficus-indica*, encontrando teores de betalaínas de 103,2 e 49,7 mg/l.

### **Capacidade antioxidante da polpa de cumbeba**

O potencial antioxidante é determinado por diferentes metodologias, que se baseiam nos mecanismos de reação dos extratos vegetais. Na metodologia empregada a maior atividade antioxidante é indicada pelo menor valor de EC<sub>50</sub>, de forma que menores quantidades de extrato são suficientes para atingir o efeito inibidor. A capacidade antioxidante da polpa integral de cumbeba em sequestrar radicais livres foi expressa como concentração final com diferentes extratos necessária para inibir a oxidação do radical DPPH em 50%, resultados que estão apresentados na Tabela 2. Os menores valores de EC<sub>50</sub> foram obtidos pela extração metanólica (metanol-acetona) e etanólica, com valores correspondentes a 7,54 e 15,50 g cumbeba. (g DPPH)<sup>-1</sup>.

Considerando que a maior eficiência em sequestrar o DPPH é inversamente proporcional ao valor de EC<sub>50</sub>, a capacidade de a polpa integral de cumbeba sequestrar o radical livre DPPH (EC<sub>50</sub>) é superior ao valor reportado para diversas outras polpas, como polpa integral do araticum-do mato (*R. sylvatica*), determinado por Pereira et al. (2013), cujo valor de DPPH foi de 16 g do fruto/g DPPH; Denardin et al. (2015) fazem referência aos baixos valores de EC<sub>50</sub>, evidenciando o alto potencial antioxidante das polpas de pitanga, amora e araçá com valores de 37,45 e 78 g do fruto/g DPPH; Gonçalves et al. (2015), em estudo com frutos de *Pilosocereus arrabidae*, obtiveram como resultado para capacidade antioxidante, EC<sub>50</sub> = 17,57 µg / mL; Melgar et al. (2017), em estudo das propriedades bioativas de três frutos de cactos das espécies *O. ficus-indica* var. san-guigna (OS) e gialla (OG) e *Opuntia engelmannii* (OE), observaram que a amostra que exibiu melhor valor de EC<sub>50</sub> foi a espécie *O. engelmannii*, seguido da *O. ficus-indica* var. san-guigna, finalizando com a gialla, cujos valores foram de 1,96; 4,1 e 4,6 g de polpa/g de DPPH, respectivamente. Os autores ainda ressaltam a correlação entre a atividade antioxidante e as concentrações de bioativos presentes na amostra, o que se reflete na grande quantidade de referências relacionando o efeito antioxidante a mecanismos de ação dos compostos fenólicos (Kala et al., 2016).

**Tabela 2.** Atividade antioxidante por diferentes metodologias da polpa de cumbeba in natura.

Soluções	DPPH	ABTS
	EC <sub>50</sub> (g de polpa/g de DPPH)	( $\mu$ mol de Trolox/100g polpa)
Metanol-Acetona	7,54 $\pm$ 0,04	64,87 $\pm$ 0,03
Etanol	15,50 $\pm$ 0,07	26,14 $\pm$ 0,06
Metanol	25,38 $\pm$ 0,06	0,44 $\pm$ 0,08
Água	29,86 $\pm$ 0,10	426,06 $\pm$ 0,05
Hexano	60,61 $\pm$ 0,05	0,97 $\pm$ 0,04

Os resultados da atividade antioxidante pelo método de ABTS são expressos como capacidade antioxidante total equivalente ao Trolox ( $\mu$ mol de Trolox/100g polpa). Verifica-se que os extratos obtidos nas soluções metanol-acetona, etanol e água apresentaram bons resultados, com destaque para o excelente valor do extrato em água.

No geral, observa-se que o extrato metanólico da polpa in natura de cumbeba, com valor de 7,54 g de polpa/g, destacou-se pela metodologia do DPPH. Ao usar o ensaio de ABTS, o meio extrator mais eficiente foi a água, cuja capacidade antioxidante de 426,06  $\mu$ mol de Trolox/100g polpa superou todas as demais.

Pereira et al. (2013) os autores determinaram a atividade antioxidante pelo método de ABTS em exemplares de butiá (*B. capitata*) e mandacaru-de-três-quinhas (*C. hildmannianus*), ambos apresentando elevada capacidade antioxidante, com valores de 25,96 e 29,61  $\mu$ mol de Trolox/100g polpa, respectivamente. Lima (2016) também reportou em estudo sobre o potencial antioxidante da polpa da cumbeba e da polpa e casca do mandacaru, utilizando a metodologia de ABTS, valores considerados de baixa atividade antioxidante, de 0,67, 0,95 e 1,75  $\mu$ mol de Trolox/100g, para as respectivas matérias-primas.

## CONCLUSÕES

A polpa de cumbeba in natura apresentou teor de água, sólidos solúveis totais, proteínas, lipídios e açúcares totais compatíveis com polpas de frutas de consumo tradicional; a relação entre sólidos solúveis totais e acidez total titulável mostrou-se elevada, indicando uma prevalência do sabor doce; o teor de flavonoides e de fenólicos

totais revelaram-se elevados, com baixos valores de ácido ascórbico, antocianinas totais e betalaínas. A polpa de cumbeba apresenta alta capacidade antioxidante. O extrato com melhor desempenho no sequestro de radicais livres pela metodologia DDPH foi em solvente metanol-acetona, enquanto que pela metodologia ABTS o melhor resultado foi observado em extrato aquoso.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABADIO FINCO, F. D. B.; SILVA, I. G.; OLIVEIRA, R. B. Physicochemical characteristics and antioxidant activity of three native fruits from brazilian savannah (Cerrado). **Alimentos e Nutrição**, v.23, n.2, p.179-185, 2012.

ABREU, W. C.; LOPES, C. O.; PINTO, K. M.; OLIVEIRA, L. A.; CARVALHO, G. B. M.; BARCELO, M. F. P. Características físico-químicas e atividade antioxidante total de pitayas vermelha e branca. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 71, n. 4, p. 656-661, 2012.

ALLEGRA, A.; SORTINO, G.; MICILETTA, G.; RIOTTO, M.; FASCIANA, T.; INGLESE, P. The influence of harvest period and fruit ripeness at harvest on minimally processed cactus pears (*Opuntia ficus-indica* L. Mill.) stored under passive atmosphere. **Postharvest Biology and Technology**, v.104, p.57-62, 2015.

AOAC.ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**.Washington: AOAC, 1997. 1041p.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**. 18<sup>th</sup> ed, 3<sup>th</sup> review, Washington, USA: AOAC, 2010. 1094 p.

BARBA, F. J.; PUTNIK, P.; KOVAČEVIĆ, D. B.; POOJARY, M. M.; ROOHINEJA, S.; LORENZO, J. M.; KOUBAA, M. Impact of conventional and non-conventional processing on prickly pear (*Opuntia* spp.) and their derived products: from preservation of beverages to valorization of by-products. **Trends in Food Science e Technology**, v.67, p.260-270, 2017.

BENASSI, M. T.; ANTUNES, A. J. A. Comparison of meta-phosphoric and oxalic acids as extractant solutions for determination of vitamin C in selected vegetables. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 31, n. 4, p. 507-513, 1988.

BLIGH, E.G.; DYER, W. J. A. Rapid method for total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37, p. 911-917, 1959.

CARVALHO, A. V.; NASCIMENTO, W. M. O. Caracterização Físico-química e Química da Polpa de Frutos de Murici. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2016. 17 p. – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa Amazônia Oriental, 106).

CASTELLAR, R.; ÓBON, J. M.; ALACID, M.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J. A. Color properties and stability of betacyanins from *opuntia* fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 9, p. 2772-2776, 2003.

CAVALCANTE, A.; TELES, M.; MACHADO, M. Cactos do semiárido do Brasil: guia ilustrado – Campina Grande: INSA, 2013. 103p. ISBN: 978-85-64265-05-91. Cactos – Brasil. 2. Guia Cactos - semiárido - Brasil. I. Teles, Marcelo. II. Machado, Marlon. III. Instituto Nacional do Semiárido.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. Campinas-SP: Editora da Unicamp, 2003., 207 p.

CHITARRA, M. I.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 785p.

DANTAS, R. L.; SILVA, S. M.; DANTAS, A. L.; GUIMARÃES, G. H. C.; LIMA, R. P.; NASCIMENTO, R. S.; SILVA, M. C. A.; SILVA, R. S.; SANTOS, D.; MENDONÇA, R. M. N. Bioactive compounds and antioxidant activity of *Tacinga inamoena* (*K. Schum.*) fruit during maturation. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 17, p. 1511- 1518, 2016.

DENARDIN, C. C.; HIRSCH, G. E.; ROCHA, R. F.; VIZZOTTO, M.; HENRIQUES, A. T.; MOREIRA, J. C. F.; GUMA, F. T. C. R.; EMANUELLI, T. Antioxidant capacity and

bioactive compounds of four Brazilian native fruits. **Journal of Food and Drug Analysis**. 2015, doi:10.1016/j.jfda.2015.01.006.

DUARTE, E. L.; CARLOS, L. A.; RODRIGUES, C. G.; ANDRADE, R. M.; OLIVEIRA, K. G. Influência da liofilização sobre os carotenoides de frutos do Cerrado e comportamento higroscópico dos produtos Liofilizados. **Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 23, n. 1, p. 22-33, 2017.

FERNANDES, L. M. S.; VIEITES, R. G.; LIMA, G. P. P.; BRAGA, C. L.; AMARAL, J. L. Caracterização do fruto de pitaya orgânica. **Biodiversidade**, v. 16, n. 1, p. 167–178, 2017.

FORMIGA, A. S.; COSTA, F. B.; SILVA, M. S.; PEREIRA, E. M.; BRASIL, Y. L. Aspectos físicos e químicos de frutos de Quipá (*Tacinga inamoena*). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 5, p. 25-29, 2016.

FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P.(Ed). **Anthocyanins as food colors**. New York: Academic Press, 1982.p. 181-207.

FRANCO, M. B. D. G.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos alimentos**. São Paulo: Atheneu, 2008. 182 p.

FU, L.; XU, B. T.; XU, X. R.; GAN, R. Y.; ZHANG, Y.; XIA, E. Q.; LI, H. B. Antioxidant capacities and total phenolic contents of 62 fruits. **Food Chemistry**, v. 129, n. 2, p. 345–350, 2011.

GALDINO, P. O.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; GALDINO, P. O.; FERNANDES, T. K. S. Stability of cactus-pear powder during storage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 2, p. 169-173, 2016.

GONÇALVES, A. S. M.; PEIXE, R. G.; SATO, A.; MUZITANO, M. F.; SOUZA, R. O. M. A.; MACHADO, T. B.; AMARAL, A. C. F.; MOURA, M. R. L.; SIMAS, N. K.; LEAL, I. C. R. *Pilosocereus arrabidaei* (Byles & Rowley) of the Grumari sandbank, RJ,

Brazil: Physical, chemical characterizations and antioxidant activities correlated to detection of flavonoids. **Food Research International**, v.70, n.1, p.110-117, 2015.

HERNÁNDEZ-URBIOLA, M. I.; PÉREZ-TORRERO, E.; RODRÍGUEZ-GARCÍA, M. E. Chemical analysis of nutritional content of prickly pads (*Opuntia ficus indica*) at varied ages in an organic harvest. **International Journal Environmental Research and Public Health**, v. 8, n. 5, p. 1287-1295, 2011.

HIGBY, W. K. A simplified method for determination of some the carotenoid distribution in natural carotene-fortified orange juice. **Jornal of Food Science**, v. 27, n. 1, p. 42-49, 1962.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz., 2008. 1020 p.

JUN, H. I.; CHA, M. N.; YANG, E. I.; CHOI, D. G.; KIM, Y. S. Physicochemical properties and antioxidant activity of Korean cactus (*Opuntia humifusa*) cladodes. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 54, n. 3, p. 288-295, 2013.

KALA K. H.; MEHTA, R.; TANDEY, R.; SEN, K.K.; MANDAL, V. Ten years of research on phenolics (2005–2015): a status report. *Pacific Science Review A: Natural Science and Engineering*, v.18, n.1, p.1-4, 2016.

KYRIACOU, M. C.; EMMANOUILIDOU, M. G.; SOTERIOU, G. A. Asynchronous ripening behavior of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) cultivars with respect to physicochemical and physiological attributes. **Food Chemistry**, v. 211, n. 1, p. 598-607, 2016.

LIMA, C. A.; FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V.; COHEN, K. O.; GUIMARÃES, T. G. Características físico-químicas, polifenóis e flavonoides amarelos em frutos de espécies de pitayas comerciais e nativas do cerrado. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 2, p. 565-570, 2013.

LIMA, C. A.; FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V.; BELLON, G. Avaliação de características físico-químicas de frutos de duas espécies de pitaya. **Revista Ceres**, v. 61, n. 3, p. 377-383, 2014.

LIMA, R. K. B. **Caracterização e potencial antioxidante do fruto da palma (*Tacinga inamoena*) e o mandacaru (*Cereus jamacaru*)**. 2016. 62 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2016.

LUCENA, C. M.; LUCENA, R. F. P.; COSTA, G. M.; CARVALHO, T. K. N.; COSTA, G. G. S. C.; ALVES, R. R. N.; PEREIRA, D. D.; RIBEIRO, J. E. S.; ALVES, C. A. B.; QUIRINO, Z. G. M.; NUNES, E. N. Use and knowledge of *Cactaceae* in Northeastern Brazil. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, v. 9, n. 62, p. 2-11, 2013.

MELGAR, B.; DIAS, M. I.; CIRIC, A.; SOKOVIC, M.; GARCIA-CASTELLO, E. M.; RODRIGUEZ-LOPEZ, A. D.; BARROS, L.; FERREIRA, I. By-product recovery of *Opuntia spp.* peels: Betalainic and phenolic profiles and bioactive properties. **Industrial Crops & Products**, v. 107, n. 1, p. 353–359, 2017.

MELLO, F. R. **Avaliação das características físico-químicas e atividade antioxidante da pitaya e determinação do potencial do mesocarpo como corante natural para alimentos**. 2014. 100 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

MELO, R. S.; SILVA, S. M.; LIMA, R. P.; SOUSA, A. S. B.; DANTAS, R. L.; DANTAS, A. L. (2015). Qualidade física e físico-químicas de frutos de mandacaru (*Cereus jamacaru* P.DC.) colhidos na região do Curimataú paraibano. **Anais do Congresso Brasileiro de Processamento mínimo e Pós-colheita de frutas, flores e hortaliças**. Aracaju, SE, Brasil, 001.

MELO, R. S.; SILVA, S. M.; SOUSA, A. S. B.; LIMA, R.; DANTAS, A. L.; DANTAS, R. L.; FIGUEIREDO, V. M. A. Maturação e qualidade de frutos de mandacaru (*Cereus jamacaru* P. DC.) de diferentes bioclimas do estado da Paraíba. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 38, n. 3, p. 160-168, 2017.

NASCIMENTO, V. T.; MOURA, N. P.; VASCONCELOS, M. A. S.; MACIEL, M. I. S.; ALBUQUERQUE, U. P. Chemical characterization of native wild plants of dry seasonal forests of the semi-arid region of northeastern Brazil. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2112-2119, 2011.

NUNES, J. T.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; SANTIAGO, V. M. S.; GOMES, J. P. Caracterização química e colorimétrica da polpa do mandacaru. **Revista Educação Agrícola Superior**, v. 28, n. 2, p. 102-106, 2013.

OLIVEIRA, F. M. N.; ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; OLIVEIRA, A. R. Características físico químicas da polpa e casca do fruto do mandacaru. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 19. 2004, Recife. **Anais...** Recife: Centro de Convenções de Pernambuco, 2004. CDROM.

OLIVEIRA, L. A.; ABREU, W. C.; OLIVEIRA C. L.; PINTO, K. M.; CARVALHO G. B. M.; BARCELOS, M. F. P. Composição química da pitaya vermelha (*Hylocereus polyrhizus*) e branca (*Hylocereus undatus*). In: CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFLA, 6., 2010, Minas Gerais. **Anais...** Minas Gerais, 2010.

OMENA, C. M. B.; VALENTIM, I. B.; GUEDES, G. V. S.; RABELO, L. A.; MANO, C. M.; BECHARA, E. J. H.; SAWAYA, A. C. H. F.; TREVISAN, M. T. S.; COSTA, J. G.; FERREIRA, R. C. S.; SANT'ANA, A. E. G.; GOULART, M. O. F. Antioxidant, anti-acetylcholinesterase and cytotoxic activities of ethanol extracts of peel, pulp and seeds of exotic Brazilian fruits: Antioxidant, antiacetylcholinesterase and cytotoxic activities in fruits. **Food Research International**, v.49, n.1, p.334–344, 2012.

PENNINGTON, J. A. T.; FISHER, R. A. Food component profiles for fruit and vegetable subgroups. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 23, n. 5, p. 411–418, 2010.

PEREIRA, M. C.; STEFFENS, R. S.; JABLONSKI, A.; HERTZ, P. F.; RIOS, A. O.; VIZZOTTO, M.; FLÔRES, S. H. Characterization, bioactive compounds and antioxidant potential of three Brazilian fruits. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.29, n.1, p.19–24, 2013.

PINHEIRO, S. M. G.; GONÇALVES, M. D. L. A.; MOREIRA, E. Espécies vegetais do bioma caatinga com potencial como bioindicador da qualidade ambiental. In: II WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE ÁGUA SEMIÁRIDO, 1, 2015, Campina Grande. Anais... 2015. p. 1-7.

POTTER, N.N. **Food Science**. Westport: AVI, 1968. p. 478-517.

QUEK, S. Y.; CHOK, N. K.; SWEDLUND, P. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powder. **Chemical Engineering and Processing**, v. 46, n. 5, p. 386-392, 2007.

RAMFUL, D.; TARNUS, E.; ARUOMA, O. I.; BOURDAN, E.; BAHORUN, T. Polyphenol composition, vitamin C content and antioxidant capacity of *Mauritian citrus* fruit pulps. **Food Research International**, v.44, n.7, p.2088-2099, 2011.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre ABTS<sup>+</sup>. Embrapa Agroindústria Tropical-Comunicado técnico 128, p. 1-4, 2007.

RUFINO, M. S. M. **Propriedades funcionais de frutas tropicais brasileiras não tradicionais**. 2008. 237 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Faculdade de Agronomia, Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró, 2008.

SANTOS, M. B.; CARDOSO, R. L.; FONSECA, A. A. O.; CONCEIÇÃO, M. N.; AZEVEDO NETO, A. D. Avaliação físico-química e microbiológica de polpa de frutos de umbu-cajá, por métodos combinados. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 25, n. 1, p. 7-13, 2013.

SANTOS, A. E.; MARTINS, G. M. V.; CANUTO, M. F. C. S.; SEGUNDO, J. E. D. V.; ALMEIDA, R. D. Modelagem matemática para a descrição da cinética de secagem do fruto da palma (*Opuntia ficus-indica*). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 1, p. 1-6, 2016.

SATO, S. T. A.; RIBEIRO, S. D. C. A.; SATO, M. K.; SOUZA, J. N. S. Caracterização física e físico-química de pitayas vermelhas (*Hylocereus costaricensis*) produzidas em três municípios paraenses. **Journal of bioenergy and food science**, v. 1, n. 2, p. 46-56, 2014.

SCALBERT, A.; WILLIAMSON, G. Dietary intake and bioavailability of polyphenols. **The Journal of Nutrition**, v.130, n.8S, p. 2073-85, 2000.

SILVA, M S.; COSTA, F.B.; FORMIGA, A.S.; CALADO, J. A.; PEREIRA, M.M.D. Qualidade pós-colheita de frutos de palma. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PROCESSAMENTO MÍNIMO E PÓS-COLHEITA DE FRUTAS, FLORES E HORTALIÇAS, 1., 2015, Aracaju. **Anais...** Aracaju: CBPMPFFH, 2015.

SILVA, M. J. S.; FIGUEIREDO, R. M. F.; SANTOS, D. C.; OLIVEIRA, M. N.; LISBOA, J. F. Obtenção e caracterização física e química da polpa de figo-da-índia em pó liofilizada. In: ONE, G. M. C.; CARVALHO, A. G. C. **Nutrição e saúde: conhecimento, integração e tecnologia**. 1. ed. João Pessoa: IBEA, 2016. v. 1, p. 55-68a.

SILVA, S. N.; SILVA, P. B.; SILVA, R. M.; SILVA, L. P. F. R.; BARROSO, A. J. R.; ALMEIDA, F. A. C.; GOMES, J. P. Composição físico-química e colorimétrica da polpa de frutos verdes e maduros de *Cereus jamacaru*. **Magistra**, v. 30, p. 11-17, 2019.

SOUSA, E. M. P. **Extração, estabilidade, reologia e higroscopicidade do corante de pitaya (*Hylocereus costaricensis*)**. 2015. 166f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia) Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

SOUSA, A. C. P. **Frutos de cactáceas da caatinga piauiense: potencial bioativo e tecnológico**. 2017. 101 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2017.

SOUZA, A. C. M.; GAMARRA-ROJA, G.; ANDRADE, S. A C.; GUERRA, N. B. Características físicas, químicas e organolépticas de quipá (*Tacinga inamoena, cactaceae*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 2, p. 292-295, 2007.

TACO - Tabela brasileira de composição de alimentos. 4. ed. rev. e ampl. Campinas: NEPA UNICAMP, 2011. 161 p.

VIANA, E. S.; REIS, R. C.; JESUS, J. L.; JUNGHANS, D. T.; SOUZA, F. V. D. Caracterização físico-química de novos híbridos de abacaxi resistentes à fusariose. **Ciência Rural**, v.43, n.7, p.1155-1161, 2013.

WATERHOUSE, A. Folin-ciocalteau micro method for total phenol in wine. **American Journal of Enology and Viticulture**, p. 3-5, 2006.

## 4.2 ARTIGO II: CARACTERÍSTICAS DA POLPA DE CUMBEBA FORMULADA E DESIDRATADA PRODUZIDA EM SECAGENS POR ASPERSÃO E LIOFILIZAÇÃO

**Resumo** – A cumbeba (*Tacinga inamoena*) planta nativa da região semiárida brasileira, produz frutos comestíveis, semelhantes ao figo-da-índia, com aroma cítrico e sabor peculiar. Plenamente adaptada ao clima e solo da região, é uma frutífera a ser explorada como uma alternativa a espécies convencionais. Na forma processada pode ser preservada indefinidamente chegar a mercados distantes, alcançando maior valor comercial. O trabalho teve por objetivo realizar a caracterização de polpas de cumbeba em pó, produzida por secagem em secador por aspensão (spray-dryer) e por liofilização. As polpas foram formuladas com 10, 20 e 30% de maltodextrina, utilizada como adjuvante de secagem. Foram calculados o rendimento, taxa de alimentação, razão de secagem, produtividade e taxa de secagem da produção, bem como as características físico-químicas dos pós obtidos, atividade de água, teor de água, parâmetros de cor instrumental, sólidos solúveis totais, acidez total titulável, pH, cinzas, açúcares totais em glicose, açúcares redutores em sacarose, não redutores em glicose, ácido ascórbico, carotenoides totais, compostos fenólicos totais, antocianinas totais, flavonoides e betalaínas. Observou-se maior rendimento na secagem com a liofilização, assim como as menores atividades de água e teores de água. As polpas de cumbeba em pó demonstraram ser fontes de compostos bioativos, em particular de compostos fenólicos. As secagens por aspensão resultaram em amostras com maiores teores de sólidos solúveis totais, acidez total titulável, maiores teores de ácido ascórbico, compostos fenólicos totais, flavonoides, antocianinas e betacianinas e os compostos bioativos, com exceção do ácido ascórbico, foram mais bem preservados nas temperaturas de secagem mais baixas.

**Palavras-chave:** *Tacinga inamoena*, semiárido, frutas tropicais, bioativos, fenólicos

### INTRODUÇÃO

A cumbeba ou quipá (*Tacinga inamoena* (K. Schum.) N.P. Taylor & Stuppy) é uma fruta nativa do semiárido brasileiro, caracterizada como baga de formato ovóide a subglobosa, de cor variando do amarelo ao laranja, com diâmetro longitudinal e transversal de 2,4-3,5 x 3,0-4,0 cm, respectivamente, com porção basal avermelhada ou vermelha, fosca; câmara seminífera ocupando quase todo o espaço interno, preenchido

por massa carnosa, cor de pêssego clara, constituída pelos funículos das sementes (polpa) (SOUZA et al., 2007)

Como outras frutas, o pleno aproveitamento da produção deve prever o processamento como estratégia de preservação de excedentes, possibilitando a comercialização a longas distâncias e regularizando a oferta por períodos que se estendam além da época de safra. A secagem atende a essas condições, reduzindo a atividade de água a níveis seguros, além de originar produtos com menor volume e massa, concentrando os princípios ativos.

Para secagem e produção de polpas de frutas em pó dois métodos se destacam: a secagem por aspersão e a liofilização, caracterizando-se a primeira pela boa relação entre custos e qualidade do produto final, e a segunda pela mais alta qualidade entre todos os processos, associada a custos elevados.

A secagem por aspersão consiste de quatro fases, quais sejam aspersão do líquido, contato do líquido aspergido com o ar quente, evaporação da água e separação do produto em pó do ar de secagem, de modo que todas estas fases interferem nas características finais do pó (TONON, 2009).

Na liofilização as matérias-primas são submetidas a um congelamento prévio e mantidas em vácuo, de modo que a quantidade de água é reduzida, primeiro por sublimação e posteriormente por dessorção, para valores tais que reduzam ou impeçam atividades biológicas e reações químicas, descrevendo-se o processo pelas fases de congelamento inicial, secagem primária e secagem secundária (MARQUES, 2008; OIKONOMOPOULOU et al., 2011).

Pós de polpas de frutas produzidos através desses processos geralmente requerem a utilização de adjuvantes de secagem, tanto para viabilizar a secagem como para obter produtos com melhores características químicas, físicas e sensoriais. O trabalho foi realizado com o objetivo de se avaliar as características químicas e compostos bioativos, em polpas de cumbeba submetidas a secagens por aspersão e liofilização

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Preparo das formulações**

#### *Preparo das formulações para a liofilização*

As polpas foram produzidas a partir de frutas colhidas manualmente e despolpadas em despolpadeira rotativa. As polpas foram embaladas em bolsas plásticas com capacidade para 500 gramas e congeladas em freezer comercial. Foram elaboradas três formulações de polpa para a liofilização, utilizando-se como adjuvante de secagem maltodextrina DE=10 nas concentrações de 10, 20 e 30% (m/m) do total de polpa.

### ***Preparo das formulações para secagem por aspersão***

Para secagem por aspersão foram elaboradas nove formulações contendo maltodextrina DE=10 nas proporções de 10, 20 e 30%, homogeneizando-se a polpa com os adjuvantes por meio de agitação em liquidificador por 2 minutos, até a completa dissolução.

### **Caracterização das formulações e dos pós**

Foram caracterizadas físico-quimicamente quanto aos parâmetros: teor de água (%), atividade de água (aw), através de leitura direta da amostra na temperatura de 25 °C, em higrômetro Aqua-Lab, modelo 3TE, fabricado pela Decagon Devices, cinzas (%), lipídios, conforme método descrito por Bligh e Dyer (1959), proteína bruta (%), de acordo com a metodologia descrita pela AOAC (2010), acidez total titulável (%), pH, sólidos solúveis totais (°Brix), relação SST/ATT, açúcares totais em glicose (%), açúcares redutores em glicose (%), não redutores em sacarose (%), segundo metodologias do Instituto Adolfo Lutz (2008). Os bioativos e suas respectivas metodologias foram: ácido ascórbico, conforme o método da AOAC (1997) modificado por Benassi e Antunes (1988), betalaínas (betaxantinas e betacianinas) segundo Castellar et al. (2003), compostos fenólicos totais estimados a partir do método de Folin Ciocalteu, descrito por Waterhouse (2006), carotenóides, determinados de acordo com a metodologia descrita por Higby (1962), antocianinas totais e flavonóides totais, determinados segundo a metodologia descrita por Francis (1982).

O cálculo do rendimento do processo de secagem foi obtido usando a Equação III.

$$R = \frac{M_f \times 100}{M_i} \quad (\text{III})$$

Em que:

R - rendimento (% m/m);

M<sub>f</sub> - massa do produto em pó (g);

M<sub>i</sub> - massa inicial da formulação (g).

O cálculo da razão de secagem, produtividade e taxa de secagem foram determinados segundo a metodologia descrita por Cai e Corke (2000), usando as seguintes equações:

$$\text{Razão de secagem} = \frac{\text{Umidade na alimentação}}{\text{Teor de sólidos em pó}} \quad (\text{IV})$$

$$\text{Produtividade (L/h)} = \frac{\text{Taxa de alimentação}}{\text{Razão de secagem}} \quad (\text{V})$$

$$\text{Taxa de secagem} = \text{Taxa da alimentação} - \text{produtividade} \quad (\text{VI})$$

## **Secagem das formulações**

### ***Liofilização***

Foi utilizado liofilizador de bancada (Terroni, LS 3000). As amostras, previamente congeladas a -18 °C por 48 h, foram desidratadas a -50 °C por 48 h. Decorrido o tempo de liofilização, as polpas desidratadas foram trituradas com almofariz e pistilo e acondicionadas em embalagens laminadas, a fim de proteger contra umidade e luz.

### ***Secagem por aspersão***

As secagens por aspersão foram realizadas em secador de bancada, modelo LM MSD 1.0 da marca Labmaq do Brasil. Os parâmetros operacionais adotados foram: temperaturas de entrada de ar de 150, 170 e 190 °C, bico injetor com orifício de 1,2 mm de diâmetro, vazão de bombeamento das formulações de 0,5 L/h e vazão de ar comprimido de 30 L/min. Os pós coletados no secador foram igualmente acondicionados em embalagens laminadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização das polpas de cumbeba formuladas

Nas Tabelas 1 a 4 têm-se os parâmetros de caracterização das polpas de cumbeba adicionadas de maltodextrina. De forma geral, a maltodextrina atuou reduzindo os teores da maioria dos parâmetros, exceto nos que se relacionam a açúcares. Considerando, entretanto, que em todas as amostras o principal componente é a água, e que as amostras seguem para secagem, processo em que os sólidos são concentrados, os resultados das tabelas não indicam perdas ou necessariamente reduções de princípios ativos na matéria-prima final, após secagem.

Na Tabela 1 são apresentados os teores de água, atividades de água, cinzas, lipídeos e proteína bruta das polpas de cumbeba adicionadas de maltodextrina nas proporções de 10, 20 e 30%.

**Tabela 1** Resultados médios dos teores de água, atividade de água, cinzas, lipídeos e proteína bruta das polpas de cumbeba formuladas

FM	Teor de água (%)	Atividade de água (aw)	Cinzas (%)	Lipídeos (%)	Proteína bruta (%)
F10	83,44 ± 0,06 a	0,994 ± 0,002 a	0,53 ± 0,02 a	0,38 ± 0,02 a	0,96 ± 0,22 a
F20	76,83 ± 0,29 b	0,995 ± 0,002 a	0,42 ± 0,01 b	0,32 ± 0,03 b	0,95 ± 0,17 a
F30	70,87 ± 0,12 c	0,990 ± 0,005 a	0,32 ± 0,02 c	0,33 ± 0,01 ab	0,93 ± 0,05 a
DMS	0,46	0,01	0,04	0,05	0,41
Teste F	3470,16**	1,93ns	122,05**	8,62 *	0,0315 ns

FM - Formulação; F10, F20 e F30 - Polpas de cumbeba formuladas com 10, 20 e 30% de maltodextrina, respectivamente; DMS - Desvio médio significativo; <sup>ns</sup>Não significativo; \*\*Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F; Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A adição de maltodextrina acarretou um efeito de redução proporcional nos cinco parâmetros característicos avaliados, conforme aumentou a quantidade de maltodextrina acrescentada. Apesar disso, variações bem definidas foram observadas no teor de água e no percentual de cinzas, atingindo níveis de decréscimos de 15 e 40%. As demais medidas, embora demonstrem tendência de redução, são em magnitude insuficiente para apresentar diferenças estatisticamente significativas, corroborando as observações de

Sousa et al. (2015) na caracterização da polpa de atemóia formulada com 25% de maltodextrina, que verificaram que a adição do adjuvante na polpa integral reduziu o teor de água. Embora o conteúdo de água tenha sido reduzido com a adição da maltodextrina, a atividade de água não apresentou o mesmo efeito, indicando que os incrementos dos adjuvantes não reduziram a água livre contida nas polpas formuladas. Diógenes et al. (2015), Oliveira et al. (2017) e Sousa (2018) igualmente verificaram que não houve alteração na  $a_w$  em formulações para secagem com o incremento do adjuvante de secagem.

Ceballos et al. (2012) mencionaram que a adição de 18% de maltodextrina na polpa formulada de graviola acarretou redução no teor de lipídeos de 9% em relação à polpa integral e Santos et al. (2015), em polpas de caju com 10% de maltodextrina, reportaram redução de 0,28 para 0,23% de cinzas.

A redução no teor de proteínas, a incorporação promoveu a diluição das mesmas. Mesmo comportamento foi verificado por Sousa et al. (2015), os autores verificaram um decréscimo de 68% do conteúdo proteico em relação à polpa integral de atemóia e sua formulação com 25% de maltodextrina e Ceballos et al. (2012), no estudo da composição da polpa integral de graviola e formulada com 18% de maltodextrina, constatando assim um decréscimo de mais de 20% no conteúdo proteico.

Na Tabela 2 são apresentados os valores de acidez total titulável (ATT), pH, sólidos solúveis totais (SST), relação SST/ATT e ácido ascórbico das formulações com 10, 20 e 30% de maltodextrina.

O aumento da proporção de maltodextrina provocou um efeito de diluição de acidez total titulável e ácido ascórbico, com aumento consequente do pH. O aumento de maltodextrina se refletiu em elevação no teor de sólidos solúveis e, portanto, na relação SST/ATT. Diógenes et al. (2015), estudando polpa de manga 'Haden' integral adicionada de 30% de maltodextrina, constataram redução da ATT de 0,48 a 0,36%, com aumento do pH em torno de 3%. SOUSA et al. (2015) verificaram em polpa de atemóia contendo 25% de maltodextrina a redução da acidez de 0,36% para 0,17% e elevação do pH de 4,59 para 4,83, em relação à polpa integral.

**Tabela 2.** Resultados médios dos teores de acidez total titulável (ATT), pH, sólidos solúveis totais (SST), relação SST/ATT e ácido ascórbico das polpas de cumbeba formuladas

Formulação	Acidez total titulável (%)	pH	Sólidos solúveis totais (°Brix)	Relação SST/ATT	Ácido ascórbico (mg/100 g)
F10	0,30 ± 0,00 a	4,39 ± 0,00	17,07 ± 0,06 c	56,89 ± 0,19 c	4,29 ± 0,00 a
F20	0,28 ± 0,00 b	4,45 ± 0,00	21,10 ± 0,10 b	75,36 ± 0,36 b	3,22 ± 0,01 b
F30	0,26 ± 0,01 c	4,53 ± 0,01	32,07 ± 0,12 a	121,81 ± 2,87a	3,21 ± 0,00 b
DMS	0,01	0,01	0,24	4,21	0,02
Teste F	47,73**	1399,00**	20336,38**	1190,93 **	31975,51**

FM - Formulação; F10, F20 e F30 - Polpas de cumbeba formuladas com 10, 20 e 30% de maltodextrina, respectivamente; DMS - Desvio médio significativo; \*\*Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F; Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Como se vê dos valores de acidez total titulável e ácido ascórbico, o aumento da proporção de maltodextrina provocou redução de acidez total titulável e ácido ascórbico, com aumento consequente do pH. Com o aumento de maltodextrina se refletindo em elevação no teor de sólidos solúveis, a relação SST/ATT igualmente foi aumentada. Diógenes et al. (2015) estudando polpa de manga 'Haden' integral adicionada de 30% de maltodextrina, constataram redução da ATT de 0,48 para 0,36%, com aumento do pH em torno de 3% os mesmos autores relataram incremento de cerca de 168% no conteúdo de SST. SOUSA et al. (2015) verificaram na polpa de atemoia contendo 25% de maltodextrina (DE-10) a redução da acidez de 0,36% para 0,17% e elevação do pH de 4,59 para 4,83, em relação à polpa integral.

Silva et al. (2016), Sousa et al. (2018), Oliveira et al. (2017) e Oliveira (2012) ao caracterizarem, respectivamente, polpas integrais e formuladas de figo-da-índia, polpa mista de seriguela (*Spondias purpúrea*) e *Spirulina platensis*, manga rosa e cajá (*Spondias mombim*), adicionadas de maltodextrina, constataram decréscimo no conteúdo de ácido ascórbico como efeito da adição do adjuvante.

Na Tabela 3 são apresentados os teores açúcares totais, redutores, não redutores, betaxantinas e betacianinas das polpas de cumbeba adicionadas de maltodextrina nas proporções de 10, 20 e 30%.

**Tabela 3.** Resultados médios dos teores açúcares totais, açúcares redutores, açúcares não redutores, betaxantinas e betacianinas das polpas de cumbeba formuladas

FM	Açúcares totais (%)	Açúcares redutores (%)	Açúcares não redutores (%)	Betaxantinas (mg/100g)	Betacianinas (mg/100g)
----	---------------------	------------------------	----------------------------	------------------------	------------------------

F10	5,58 ± 0,06 b	5,02 ± 0,01 c	0,56 ± 0,07 b	4,40 ± 0,04 a	1,33 ± 0,03 a
F20	5,89 ± 0,03 a	5,19 ± 0,05 b	0,70 ± 0,06 ab	4,00 ± 0,06 b	1,06 ± 0,00 b
F30	6,00 ± 0,05 a	5,28 ± 0,01 a	0,72 ± 0,05 a	3,68 ± 0,07 c	0,97 ± 0,03 c
DMS	0,12	0,07	0,15	0,15	0,06
Teste F	64,36 **	67,73 **	6,7073 *	115,40 **	159,06 **

FM - Formulação; F10, F20 e F30 - Polpas de cumbeba formuladas com 10, 20 e 30% de maltodextrina, respectivamente; DMS – Desvio médio significativo; \*\*Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F; Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente em nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Os teores de açúcares, totais, redutores e não redutores, foram aumentados pela elevação no teor de maltodextrina, enquanto que as betaxantinas e betacianinas foram reduzidas, todas as variações, diretas e inversas, de forma estatisticamente significativa. Sousa et al. (2018) verificaram para todas as formulações de polpa mista de seriguela e *Spirulina platensis* diferenças significativas nos teores de açúcares totais, redutores e não redutores, à medida que ocorreu o aumento da concentração de maltodextrina (10, 20 e 30%), com percentuais equivalentes a 14,3, 18,4 e 22,8% para os açúcares totais; 12,9, 15,5 e 19,5% para os redutores e 1,39, 2,87 e 3,23% para os não-redutores.

Os conteúdos de betaxantinas e betacianinas nas polpas formuladas foram maiores que o de pitaya (*Stenocereus pruinosus*), cujos valores relatados por Rodríguez-Sánchez et al. (2017) foram de 2,08 e 0,27 mg/100g, mesmo com a diluição promovida pelo acréscimo da maltodextrina.

Na Tabela 4 são apresentados os teores médios de compostos bioativos, fenólicos totais, carotenoides, clorofilas, flavonoides e antocianinas das polpas de cumbeba adicionadas de maltodextrina nas proporções de 10, 20 e 30%.

**Tabela 4.** Resultados médios de fenólicos totais, carotenoides, clorofilas, flavonoides e antocianinas das polpas de cumbeba formuladas

FM	Fenólicos totais (mg/100g)	Carotenoides (mg/100g)	Clorofilas (mg/100g)	Flavonoides (mg/100g)	Antocianinas (mg/100g)
F10	58,65 ± 0,38 a	0,15 ± 0,00 a	0,05 ± 0,00 a	10,21 ± 0,01 a	0,77 ± 0,04 a
F20	56,00 ± 0,15 b	0,13 ± 0,00 b	0,02 ± 0,00 b	9,43 ± 0,01 b	0,73 ± 0,02 ab
F30	50,86 ± 0,00 c	0,11 ± 0,00 c	0,02 ± 0,00 b	8,64 ± 0,02 c	0,69 ± 0,00 b
DMS	0,36	0,01	0,00	0,05	0,07
Teste F	2340,5488**	149,46 **	314,5747 **	4629,41 **	5,9309*

FM - Formulação; F10, F20 e F30 - Polpas de cumbeba formuladas com 10, 20 e 30% de maltodextrina, respectivamente; DMS - Desvio médio significativo; <sup>ns</sup>Não significativo; \*\*Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F; Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Nos compostos fenólicos totais e flavonoides as reduções entre F10 e F30 atingiram valores aproximados de 13% e 15%, respectivamente, com decréscimos estatisticamente significativos entre as amostras.

Ribeiro et al. (2019), estudando secagem de polpas de acerola e seriguela, encontraram para flavonoides valores de 132 mg/100g na polpa de acerola e ausência na polpa de seriguela; Helt et al. (2018) observaram teores de flavonoides totais e compostos fenólicos totais em polpas de pitanga laranja, correspondendo a 230,2 e 435,3 mg/100g, demonstrando a alta variabilidade no teor desses bioativos entre diferentes frutas. Leite Neta et al. (2019), em polpa de graviola (*Annona muricata*) fresca e em polpa reconstituída, após desidratação em spray dryer, adicionada com 30% de maltodextrina, determinaram valores médios de 160mg / 100g de fenólicos totais e de 86 mg (quercetina) /100g de flavonoides.

Nos carotenoides, clorofilas e antocianinas a variação nos teores de maltodextrina entre F10 e F30 acarretaram decréscimos de aproximadamente 27, 60 e 10%, respectivamente. Chagas et al. (2015), avaliando os compostos bioativos de frutos de taperebá (*Spondias mombim*), encontraram valores de 1,37 e 0,12 mg/100g para carotenoides e clorofilas. Freitas et al. (2014) observaram em estudo da polpa de butiás (*Butia capitata*) in natura conteúdo de antocianinas de 19,02 mg/100g.

### **Análise do rendimento e das variáveis do processo da secagem dos pós de cumbeba obtidos por aspersão e liofilização em diferentes concentrações de maltodextrina**

Os resultados obtidos para as variáveis, razão de secagem, produtividade e taxa de secagem nas secagens por aspersão em temperaturas de 150, 170 e 190° C e liofilização a -50° C são mostrados na Tabela 5.

Observa-se que o rendimento dos pós obtidos por liofilização foi maior que na secagem por aspersão, o que ocorre devido a perdas inerentes a adesão das amostras a maiores áreas de contato do equipamento de secagem, enquanto na liofilização praticamente não ocorrem perdas de produto.

**Tabela 5.** Resultados do rendimento, razão de secagem, produtividade e taxa de secagem dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização em concentrações de 10, 20 e 30% de maltodextrina

Concentração (%)	Temperatura de secagem (°C)	Rendimento (%)	Taxa de alimentação (L/h)	Razão de secagem	Produtividade de (L/h)	Taxa de secagem (L/h)
10	150	8,18	0,5	5,67	0,088	0,412
20	150	11,91	0,5	4,18	0,120	0,380
30	150	16,83	0,5	3,38	0,148	0,352
10	170	9,92	0,5	5,79	0,086	0,414
20	170	13,14	0,5	4,19	0,120	0,380
30	170	19,61	0,5	3,39	0,147	0,353
10	190	10,50	0,5	5,82	0,086	0,414
20	190	13,67	0,5	4,20	0,120	0,380
30	190	20,43	0,5	3,40	0,147	0,353
10	-50	21,20	-	-	-	-
20	-50	29,47	-	-	-	-
30	-50	33,49	-	-	-	-

Para uma mesma temperatura as taxas de secagem diminuíram gradativamente quando a concentração do adjuvante foi aumentada, enquanto que a produtividade aumentou. Zafisah et al. (2017), em análise das variáveis independentes no processamento de leite de coco em pó, desidratado por aspersão, também verificaram relação inversa entre a taxa de secagem e a produtividade. Igual et al. (2014), estudando a otimização das condições de secagem por aspersão da polpa de lulo (*Solanum quitoense* L.), utilizando como adjuvantes goma arábica e maltodextrina, observaram que as concentrações dos adjuvantes foram os fatores que mais contribuíram para o aumento do rendimento do produto.

Observa-se, comparando amostras com igual percentual de aditivo, o aumento do rendimento com o aumento da temperatura de secagem por aspersão. Na liofilização, o acréscimo na proporção de maltodextrina igualmente se reflete na recuperação dos sólidos. Martin (2013) obteve rendimentos que variaram de 25,62 a 30,11% em secagens de polpa de cupuaçu utilizando 17,5% e 26,4% de adição de maltodextrina; Zafisah et al. (2017) observaram que as variáveis taxa de secagem e temperatura de entrada interferiram no rendimento do leite de coco em pó, variando entre 1,64 a 4,98%.

### **Caracterização das polpas de cumbeba em pó obtidas em secagem por aspersão e liofilização**

Estão apresentadas nas Tabelas de 6 a 26 as análises de variância dos valores médios da caracterização dos pós de cumbeba produzidos em secagens por aspersão e liofilização.

Na Tabela 6 têm-se as médias e desvios padrões da atividade de água dos pós de cumbeba. Em todas as amostras se identifica tendência de redução da atividade de água com o aumento da temperatura de secagem por aspersão e, inclusive na liofilização, com o aumento da concentração de maltodextrina. Na liofilização também se observa os menores valores de atividade de água, embora, em todos os casos, esta se apresente em níveis seguros para fins de preservação das amostras, visto se apresentarem em valores de  $a_w < 0,5$ , considerados microbiologicamente estáveis (Celestino, 2010).

**Tabela 6.** Valores médios da atividade de água ( $a_w$ ) dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com adição de 10 a 30% de maltodextrina

Concentração (%)	Temperatura de secagem (°C)			
	150	170	190	-50
10	0,177 ± 0,00 aA	0,164 ± 0,00 aB	0,156 ± 0,00 aC	0,156 ± 0,00 aC
20	0,169 ± 0,00 bA	0,158 ± 0,00 abB	0,146 ± 0,01 bC	0,130 ± 0,00 bD
30	0,163 ± 0,00 bA	0,154 ± 0,00 bB	0,136 ± 0,00 cC	0,112 ± 0,00 cD

Diferença mínima significativa para linha = 0,0068; Diferença mínima significativa para coluna = 0,0061; Média geral = 0,1516%; Coeficiente de variação (%) = 1,98; Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Castro-Muñoz et al. (2015) em secagem por aspersão da polpa de figo-da-índia, encapsulada com diferentes concentrações de gelatina e maltodextrina, reportaram atividade de água de 0,190 a 0,260. Ostroschi et al. (2018) estudando extrato de canela (*Cinnamomum zeylanicum*) formulado com 10 e 20% de maltodextrina e desidratada por liofilização e spray drying (130 e 160°C), relataram atividades de água entre 0,25 e 0,45.

Na Tabela 7 têm-se as médias e desvios padrões dos teores de água das polpas em pó, constatando-se um efeito semelhante ao observado nas atividades de água, de redução de valores com o aumento de temperatura e da concentração de maltodextrina. Neste caso, porém, os menores teores foram observados nas amostras secas por aspersão. Braga et al. (2019) reportaram que a adição de adjuvantes reduziu significativamente o teor de água nas misturas liofilizadas de leite e polpa de amora preta, e resultou em pastas com menor teor de água. Também Braga et al. (2018) secando em spray dryer leite concentrado e

polpa de amora, formuladas com goma arábica e maltodextrina, reportaram efeito semelhante. Igual et al. (2014) estudando o efeito da temperatura do ar de secagem de 120 a 180°C na polpa de lulo (*Solanum quitoense* L.) e da concentração de goma arábica e maltodextrina, de 0 a 10%, observaram menores teores de água nas maiores temperaturas e concentração dos adjuvantes de secagem.

**Tabela 7.** Valores médios do teor de água dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com adição de 10 a 30% de maltodextrina

Concentração (%)	Temperatura de secagem (°C)			
	150	170	190	-50
10	6,22 ± 0,21 aA	4,12 ± 0,28 aB	3,61 ± 0,11 aB	2,60 ± 0,49 aC
20	3,05 ± 0,07 bA	2,85 ± 0,15 bA	2,65 ± 0,28 bA	2,53 ± 0,18 aA
30	1,65 ± 0,26 cAB	1,41 ± 0,08 cB	1,12 ± 0,07 cB	2,17 ± 0,41 aA

Diferença mínima significativa para linha = 0,5905; Diferença mínima significativa para coluna = 0,5344; Média geral = 2,8327%; Coeficiente de variação (%) = 9,26; Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Na Tabela 8 são apresentados os teores de sólidos solúveis totais (SST) das amostras, que aumentaram com a concentração de maltodextrina e com a temperatura de secagem. As amostras liofilizadas tiveram valores de SST menores que nos pós obtidos nas secagens por aspersão.

**Tabela 8.** Valores médios dos sólidos solúveis totais (°Brix) dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com adição de 10 a 30% de maltodextrina

Concentração (%)	Temperatura de secagem (°C)			
	150	170	190	-50
10	9,00 ± 0,00 cC	10,07 ± 0,12 cB	10,50 ± 0,00 cA	7,07 ± 0,12 cD
20	10,00 ± 0,00 bC	10,50 ± 0,00 bB	10,90 ± 0,00 bA	8,13 ± 0,06 bD
30	11,00 ± 0,00 aA	11,00 ± 0,00 aA	11,13 ± 0,12 aA	10,07 ± 0,12 aB

Diferença mínima significativa para linha = 0,1547; Diferença mínima significativa para coluna = 0,1401; Média geral = 9,9472%; Coeficiente de variação (%) = 0,69; Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Costa et al. (2014) observaram em pós obtidos em secagem por aspersão da polpa de graviola adicionada de 15, 30 e 45% de maltodextrina que o aumento da concentração promoveu acréscimos no teor de sólidos solúveis totais, enquanto Freitas et al. (2019)

constatarem que sucos de abacaxi em pó com concentrações de maltodextrina de 5, 10, 15 e 20% e temperaturas de secagem por aspersão de 100 e 120°C, não apresentaram diferença significativa. Canuto et al. (2014), no estudo com polpa de mamão liofilizada, observaram que o aumento da concentração de maltodextrina promoveu aumento no conteúdo de SST, resultado similar ao observado por Oliveira et al. (2014) em pós de cajá obtidos por liofilização.

Dos resultados de acidez, mostrados na Tabela 9, observa-se reduções com o acréscimo de maltodextrina em todas as amostras, ao mesmo tempo em que a elevação de temperatura na secagem por aspersão acarretou aumentos. As amostras liofilizadas mantiveram valores elevados de ATT, sem superar, no entanto, a acidez dos pós obtidos nas secagens por aspersão.

Oliveira et al. (2017) observaram redução em mais de 50% no teor de ácido cítrico na polpa de manga ‘Rosa’ como resultado da adição de 30% de maltodextrina; Oliveira et al. (2014) constataram que a adição de 17% de maltodextrina na polpa de cajá liofilizada provocou redução na acidez titulável, de 9,11 para 3,18% de ácido cítrico.

**Tabela 9.** Valores médios de acidez total titulável dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com adição de 10 a 30% de maltodextrina

Concentração (%)	Temperatura de secagem (°C)			
	150	170	190	-50
10	1,29 ± 0,04 aC	1,40 ± 0,08 aB	1,62 ± 0,00 aA	1,39 ± 0,00 aB
20	1,09 ± 0,04 bB	1,07 ± 0,00 bB	1,20 ± 0,00 bA	1,20 ± 0,00 bA
30	0,57 ± 0,04 cC	0,81 ± 0,04 cB	0,90 ± 0,04 cA	0,82 ± 0,00 cB

Diferença mínima significativa para linha = 0,0747; Diferença mínima significativa para coluna = 0,0676; Média geral = 1,11%; Coeficiente de variação (%) = 2,98; Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Costa et al. (2014) desidrataram por aspersão polpa de graviola com 15, 30 e 45% de maltodextrina, relatando que o aumento da concentração de aditivo promoveu redução da ATT; Canuto et al. (2014) reportaram redução da ATT em polpas liofilizadas de manga adicionadas de 0,5 e 15% de maltodextrina.

Na Tabela 10 são apresentados os valores do pH das polpas de cumbeba em pó. Observa-se que o comportamento do pH foi inverso ao verificado para ATT, com aumentos à medida em que aumentou a concentração do aditivo.

Canuto et al. (2014), em estudo da polpa de mamão em pó, com concentrações de 0, 5 e 15% de maltodextrina, observaram elevação do pH das amostras em pó com o aumento da concentração de maltodextrina; Sousa (2017) observou que o acréscimo de 10, 15 e 20% de maltodextrina na polpa de tamarindo liofilizada promoveu o aumento do pH das amostras.

**Tabela 10.** Valores de pH dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com adição de 10 a 30% de maltodextrina

Concentração (%)	Temperatura de secagem (°C)			
	150	170	190	-50
10	4,58 ± 0,00	4,30 ± 0,01	4,27 ± 0,01	4,57 ± 0,01
20	4,62 ± 0,02	4,39 ± 0,01	4,33 ± 0,01	4,58 ± 0,01
30	4,73 ± 0,01	4,57 ± 0,01	4,53 ± 0,00	4,60 ± 0,01

Diferença mínima significativa para linha = 0,0172; Diferença mínima significativa para coluna = 0,0156; Média geral = 4,5050%; Coeficiente de variação (%) = 0,17; Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Oliveira et al. (2015) estudando polpa em pó de *Cereus Jamacaru* formulada com 10% de maltodextrina e desidratada por aspersão determinaram valor de pH de 4,55. Cavalcante et al. (2018) em estudo da caracterização da polpa de graviola obtida por secagem em spray dryer, a 169°C e 17% de maltodextrina, observaram pH de 3,50 na polpa integral e 3,69 na polpa em pó.

Na Tabela 11 têm-se os valores referentes ao teor de cinzas das amostras em pó. Observa-se reduções gradativas com o aumento da concentração de maltodextrina, efeito esperado de diluição. Entre temperaturas, não se tem variações consistentes com esta variável, nem entre os métodos de secagem empregados.

Sousa (2018), estudando pós de tamarindo liofilizados com 0, 10, 15 e 20% de maltodextrina, constataram teor de cinzas entre 4 e 6%. Oliveira (2012) na caracterização de polpas de mandacaru em pó obtidas por aspersão com concentrações de maltodextrina de 10, 15 e 20% verificaram teores de minerais entre 0,94 e 1,11%.

**Tabela 11.** Valores médios de cinzas (%) dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com adição de 10 a 30% de maltodextrina

Concentração (%)	Temperatura de secagem (°C)			
	150	170	190	-50

10	3,16 ± 0,05 aA	2,97 ± 0,01 aA	2,76 ± 0,03 aB	3,06 ± 0,22 aA
20	1,62 ± 0,07 bA	1,64 ± 0,11 bA	1,40 ± 0,04 bB	1,75 ± 0,12 bA
30	1,15 ± 0,04 cB	0,96 ± 0,04 cC	1,14 ± 0,04 cBC	1,44 ± 0,04 cA

Diferença mínima significativa para linha = 0,1921; Diferença mínima significativa para coluna = 0,1738; Média geral = 1,9211%; Coeficiente de variação (%) = 4,44; Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Na Tabela 12 são apresentados os valores de açúcares totais das amostras em pó. Nas amostras liofilizadas o aumento da adição de maltodextrina acarretou elevação no teor de açúcares totais, o que não se observa nas amostras obtidas em secagem por aspersão, em que o efeito da proporção do adjuvante é contraditório. Igualmente não se pode inferir um efeito de temperatura sobre os teores.

CANUTO et al. (2014), estudando a desidratação da polpa de mamão com adição de 0, 5 e 15% de maltodextrina perceberam que os açúcares totais foram reduzidos com o aumento da concentração do adjuvante. Santos et al. (2015) reportaram que o aumento da temperatura de secagem aumentou os teores dos açúcares totais dos pós de caju adicionados com 10% de maltodextrina e obtidos por secagem em leito de jorro nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.

**Tabela 12.** Valores médios de açúcares totais dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com adição de 10 a 30% de maltodextrina

Concentração (%)	Temperatura de secagem (°C)			
	150	170	190	-50
10	87,93 ± 0,22 aA	82,49 ± 0,08 aB	82,91 ± 0,72 bB	62,52 ± 0,08 cC
20	79,73 ± 0,08 bA	73,27 ± 0,08 cC	75,04 ± 0,00 cB	65,58 ± 0,08 bD
30	77,23 ± 0,08 cC	80,49 ± 0,08 bB	91,79 ± 0,08 aA	71,25 ± 0,08 aD

Diferença mínima significativa para linha = 0,5086; Diferença mínima significativa para coluna = 0,4604; Média geral = 77,5202%; Coeficiente de variação (%) = 0,29; Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

São apresentados na Tabela 13 os valores médios dos açúcares redutores dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização. Não se observa tendências de aumento ou reduções dos açúcares redutores com a proporção do adjuvante nem com a temperatura de secagem. Nos pós liofilizados, os teores foram mais elevados que nos pós atomizados apenas nas amostras com adições de 10 e 20% de maltodextrina.

Alguns fatores possibilitam o aumento do teor de açúcares redutores, a exemplo da aplicação de tratamentos térmicos e químicos, que contribuem para que ocorra a inversão da sacarose (LARA JUNIOR, 2017). Oliveira et al. (2014), estudando polpa de cajá liofilizada em pó, contendo 17% de maltodextrina, relataram que os açúcares redutores aumentaram cerca de 27% em relação ao pó sem maltodextrina. Sousa (2017), observou na caracterização físico-química da polpa de tamarindo liofilizada com 0, 10, 15 e 20% de maltodextrina, redução no teor de açúcares redutores com o aumento do adjuvante.

**Tabela 13.** Valores médios de açúcares redutores dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com adição de 10 a 30% de maltodextrina

Concentração (%)	Temperatura de secagem (°C)			
	150	170	190	-50
10	23,65 ± 0,02 cB	21,10 ± 0,00 cD	23,52 ± 0,02 cC	31,37 ± 0,04 bA
20	24,61 ± 0,04 aC	25,25 ± 0,00 bB	23,69 ± 0,00 bD	33,94 ± 0,02 aA
30	24,51 ± 0,00 bD	30,02 ± 0,04 aA	27,70 ± 0,04 aB	27,52 ± 0,00 cC

Diferença mínima significativa para linha = 0,0602; Diferença mínima significativa para coluna = 0,0545; Média geral = 26,406%; Coeficiente de variação (%) = 0,10; Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Os valores de açúcares não redutores dos pós de cumbeba são apresentados na Tabela 14. Também os açúcares não redutores não demonstraram sofrer influência consistente do teor de maltodextrina e nem da temperatura de secagem. Os teores observados nas secagens por aspersão foram superiores aos das amostras liofilizadas em todos os casos.

Canuto et al. (2014) relataram redução de açúcares não redutores de 56 e 48% nas formulações devido à adição de 5 e 15% de maltodextrina, respectivamente. Galvão et al. (2016), ao estudarem cajuína obtida por spray dryer a 170°C, observaram que com a adição de 30% de maltodextrina, o teor de açúcares não redutores diferiu estatisticamente entre as cajuínas integral e a formulada.

**Tabela 14.** Valores médios de açúcares não redutores dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com adição de 10 a 30% de maltodextrina

Concentração	Temperatura de secagem (°C)			
--------------	-----------------------------	--	--	--

(%)	150	170	190	-50
10	64,28 ± 0,23 aA	61,39 ± 0,08 aB	59,40 ± 0,69 bC	31,15 ± 0,07 cD
20	55,13 ± 0,11 bA	48,02 ± 0,08 cC	51,35 ± 0,00 cB	31,64 ± 0,05 bD
30	52,72 ± 0,08 cB	50,47 ± 0,03 bC	64,09 ± 0,12 aA	43,72 ± 0,08 aD

Diferença mínima significativa para linha = 0,5010; Diferença mínima significativa para coluna = 0,4535; Média geral = 51,1141%; Coeficiente de variação (%) = 0,44; Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Na Tabela 15 têm-se os valores médios de ácido ascórbico dos pós. Observa-se melhores valores nas amostras com menos maltodextrina e na maior temperatura de secagem, o que pode ser explicado pelo menor tempo de secagem e pelo aquecimento maior e mais rápido que, conforme Furtado et al. (2010), inativa enzimas que causam a oxidação do ácido ascórbico. As amostras produzidas na secagem por aspersão superaram os teores das amostras liofilizadas em todos os casos, e os valores mais baixos nas maiores concentrações de aditivo se justifica pela diluição do princípio na massa total das amostras.

**Tabela 15.** Valores médios de ácido ascórbico dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com adição de 10 a 30% de maltodextrina

Concentração (%)	Temperatura de secagem (°C)			
	150	170	190	-50
10	21,90 ± 0,63 aC	34,52 ± 1,09 aB	36,10 ± 1,01 aA	11,73 ± 0,00 aD
20	20,61 ± 0,47 aB	29,19 ± 0,36 bA	28,58 ± 0,86 bA	7,30 ± 0,42 bC
30	12,12 ± 0,45 bB	18,75 ± 0,41 cA	20,21 ± 0,94 cA	4,31 ± 0,38 cC

Diferença mínima significativa para linha = 1,4966; Diferença mínima significativa para coluna = 1,3546; Média geral = 20,4444%; Coeficiente de variação (%) = 3,25; Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Sagar e Kumar (2014) justificam a redução nos valores de ácido ascórbico em produtos liofilizados pela alta porosidade promovida por esse tipo de secagem, expondo o produto ao oxigênio e conseqüente degradação oxidativa.

Costa et al. (2014) no estudo das características físico-químicas da polpa de graviola obtida por secagem por aspersão constataram que o ácido ascórbico foi reduzido em 40% no nível mais elevado de maltodextrina. Carvalho et al. (2017) ao secarem polpa de umbu-cajá com leite de cabra em secador spray dryer reportaram efeito semelhante.

Na Tabela 16 são apresentados os teores de carotenoides totais dos pós, os quais foram reduzidos com o aumento da adição de maltodextrina em todas as amostras. Não se observa uma tendência consistente de variação com o aumento de temperatura, nem de diferenças entre os métodos de secagem. Conforme Duarte et al. (2017), embora a liofilização se caracterize pela manutenção da boa qualidade dos produtos, alguns fatores externos interferem nessa eficiência, como a incidência de luz, oxigênio, além de fatores operacionais, como pressão de vácuo e temperatura de secagem (DUARTE et al., 2017). A liofilização aumenta estruturalmente a porosidade da matriz do material, expondo os compostos bioativos a ação de fatores externos (CARNEIRO, 2016).

**Tabela 16.** Valores médios de carotenoides dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com adição de 10 a 30% de maltodextrina

Concentração (%)	Temperatura de secagem (°C)			
	150	170	190	-50
10	0,24 ± 0,00 aA	0,23 ± 0,04 aA	0,19 ± 0,01 aB	0,25 ± 0,00 aA
20	0,13 ± 0,00 bB	0,12 ± 0,00 bB	0,17 ± 0,00 aA	0,14 ± 0,00 bB
30	0,12 ± 0,00 bA	0,11 ± 0,00 bA	0,11 ± 0,00 bA	0,10 ± 0,00 cA

Diferença mínima significativa para linha = 0,0263; Diferença mínima significativa para coluna = 0,0238; Média geral = 0,1595%; Coeficiente de variação (%) = 7,33; Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Na Tabela 17 são apresentados os teores de compostos fenólicos totais dos pós de cumbeba atomizados e liofilizados. Os teores foram reduzidos com os aumentos de maltodextrina e de temperatura, observando-se os valores mais elevados na secagem a 150° C, superando as amostras liofilizadas.

Mishra et al. (2014) reportam que o conteúdo de fenólico total dos pós de amla (*Emblica officinalis*) foi reduzido significativamente quando a concentração de maltodextrina aumentou de 5 para 9%, redução associada ao adjuvante.

**Tabela 17.** Valores médios de compostos fenólicos totais dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com adição de 10 a 30% de maltodextrina

Concentração (%)	Temperatura de secagem (°C)			
	150	170	190	-50
10	362,42 ± 0,22 aA	264,40 ± 0,21 aC	256,79 ± 1,18 aD	288,67 ± 0,20 aB
20	235,49 ± 0,37 bB	244,19 ± 0,21 bA	164,92 ± 0,36 bD	178,57 ± 0,00 bC

30	156,84 ± 0,21 cB	187,32 ± 0,21 cA	141,18 ± 0,21 cC	133,41 ± 0,20 cD
----	------------------	------------------	------------------	------------------

Diferença mínima significativa para linha = 0,9265; Diferença mínima significativa para coluna = 0,8386; Média geral = 217,85%; Coeficiente de variação (%) = 0,19; Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Na Tabela 18 são apresentados os teores de flavonoides das amostras em pó. Observa-se uma tendência geral de redução com o aumento da proporção de aditivo e com o aumento de temperatura. Os pós liofilizados apresentaram teores intermediários nas concentrações de 10 e 20% de aditivo, e o valor mais alto na amostra com 30%.

Castro et al. (2017) observaram que a quantidade de flavonoides presentes na farinha de taro obtida em leite de jorro nas temperaturas de 70, 80 e 90°C apresentou mais alto valor na formulação desidratada a 90°C, com 4,30 mg/100g. Casarin et al. (2016) observaram redução dos flavonoides da farinha de amora preta, obtida em estufa a 55 °C por 16 horas, cujos valores declinaram de 201 para 182,8 mg/100g entre a amora integral e a farinha.

**Tabela 18.** Valores médios dos flavonoides dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com adição de 10 a 30% de maltodextrina

Concentração (%)	Temperatura de secagem (°C)			
	150	170	190	-50
10	38,00 ± 0,00 aA	28,17 ± 0,00 aB	23,65 ± 0,00 aD	26,34 ± 0,05 aC
20	26,81 ± 0,00 bA	18,14 ± 0,05 bC	12,12 ± 0,00 bD	23,55 ± 0,05 bB
30	16,24 ± 0,00 cB	11,24 ± 0,00 cC	10,97 ± 0,01 cD	19,49 ± 0,04 cA

Diferença mínima significativa para linha = 0,0956; Diferença mínima significativa para coluna = 0,0865; Média geral = 21,226%; Coeficiente de variação (%) = 0,20; Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Na Tabela 19 são apresentados os valores médios de antocianinas presentes nas polpas de cumbeba em pó. As antocianinas foram igualmente reduzidas com o aumento da concentração de maltodextrina e com o aumento da temperatura de secagem, constatando-se os maiores valores na secagem por aspersão a 150° C e 10 % do adjuvante.

Quek et al. (2007), sugerem que os pós produzidos a temperaturas mais baixas apresentam uma tendência de aglomeração, devido à sua umidade mais alta, o que diminui a exposição dos pós ao oxigênio, protegendo os pigmentos contra a degradação. Ferrari et al. (2012) verificaram, comparando a adição de 5 e 25% de maltodextrina, redução de 68,5% no teor de antocianinas presentes na amora-preta em pó produzida sob

temperaturas de 160 e 180°C. Tonon et al. (2009) estudando a influência da temperatura do ar de secagem (138, 170 e 202°C) e da concentração de agente carreador (10, 20 e 30%) sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó, reportaram que a retenção de antocianinas foi influenciada pela temperatura do ar de secagem, cujo aumento levou a maiores perdas de antocianinas, com percentual de 84,6, 81,1 e 77,2%, contrariamente ao que ocorreu com a concentração do adjuvante, em que houve a retenção das antocianinas com valores equivalente a 83,1, 82,4 e 84,1%.

**Tabela 19.** Valores médios de antocianinas (mg/100g) dos pós de cumbeba obtidos por secagem por aspersão e liofilização com adição de 10 a 30% de maltodextrina

Concentração (%)	Temperatura de secagem (°C)			
	150	170	190	-50
10	3,23 ± 0,00 aA	1,83 ± 0,05 aB	0,76 ± 0,04 aC	1,87 ± 0,00 aB
20	1,93 ± 0,07 bA	1,45 ± 0,17 bB	0,58 ± 0,02 bC	0,19 ± 0,00 bD
30	0,55 ± 0,00 cB	0,69 ± 0,02 cA	0,34 ± 0,01 cC	0,12 ± 0,00 bD

Diferença mínima significativa para linha = 0,1309; Diferença mínima significativa para coluna = 0,1185; Média geral = 1,1272%; Coeficiente de variação (%) = 5,16; Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

São apresentadas nas Tabelas 20 e 21 as médias e desvios padrões referentes ao teor de betalaínas, correspondentes a betaxantinas e betacianinas das amostras em pó. As betaxantinas foram reduzidas com o aumento da proporção de adjuvante, tanto nas secagens por aspersão como na liofilização. Igualmente, o aquecimento promoveu, de forma geral, a redução dos teores. A liofilização resultou em pós com maiores valores, porém não em todos os casos. Nas betacianinas não se observa o mesmo efeito do aumento da proporção de maltodextrina, de forma que os valores mais elevados foram verificados na porcentagem intermediária do aditivo. Os melhores teores estão presentes na secagem por aspersão na temperatura mais baixa, 150° C. Delia et al. (2019) no estudo da microncapsulação de *Escontria chiotilla* e *Stenocereus queretaroensis* desidratado por pulverização, analisaram a estabilidade das betalaínas e reportaram que as betaxantinas foram menos estáveis sob calor do que as betacianinas, no início e após 3 meses de armazenamento, foram observadas nas amostra de *EC* e de *SQ* a redução do teor de betaxantina, de 2,22 para 2,10 mg/100g e de 2,05 para 2,00 mg/100g de betaxantina, respectivamente.

Lee et al. (2013), em trabalho com secagem por aspersão dos sucos de pitaya vermelha (*Hylocereus polyrhizus*) e branca (*Hylocereus undatus*), verificaram que a secagem por aspersão causou perdas no teor de betacianinas presentes nos frutos de pitaya. Segundo eles por se tratarem de compostos sensíveis ao calor degradam-se facilmente a temperaturas superiores a 60°C devido à instabilidade da estrutura do pigmento. Tze et al. (2012), reportaram no estudo das propriedades físico-químicas da polpa de pitaya desidratada por aspersão, que o conteúdo de betacianinas foram influenciados pelo aumento da temperatura de secagem e pela concentração de maltodextrina. Os autores relatam que o teor de betacianinas no pó de pitaya formulado com 30 a 50% de maltodextrina apresentou redução com o aumento da temperatura de secagem.

**Tabela 20.** Valores médios de betaxantinas dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com adição de 10 a 30% de maltodextrina

Concentração (%)	Temperatura de secagem (°C)			
	150	170	190	-50
10	6,85 ± 0,00 aB	6,69 ± 0,00 aC	4,16 ± 0,02 aD	7,70 ± 0,00 aA
20	6,10 ± 0,04 bA	6,06 ± 0,00 bB	4,00 ± 0,00 bD	5,95 ± 0,02 bC
30	4,34 ± 0,00 cC	4,51 ± 0,02 cB	3,68 ± 0,00 cD	5,39 ± 0,00 cA

Diferença mínima significativa para linha = 0,0367; Diferença mínima significativa para coluna = 0,0332; Média geral = 5,4536%; Coeficiente de variação (%) = 0,30; Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

**Tabela 21.** Valores médios de betacianinas dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com adição de 10 a 30% de maltodextrina

Concentração (%)	Temperatura de secagem (°C)			
	150	170	190	-50
10	2,00 ± 0,00 bA	1,71 ± 0,03 bB	0,78 ± 0,03 aC	1,63 ± 0,03 aB
20	2,45 ± 0,06 aA	2,28 ± 0,00 aB	0,84 ± 0,03 aC	0,76 ± 0,03 bC
30	1,84 ± 0,09 cA	1,71 ± 0,10 bB	0,51 ± 0,00 bD	0,67 ± 0,03 cC

Diferença mínima significativa para linha = 0,1049; Diferença mínima significativa para coluna = 0,0949; Média geral = 1,4314%; Coeficiente de variação (%) = 3,25; Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

## CONCLUSÕES

A liofilização proporcionou os maiores rendimentos na secagem. Nas secagens por aspersão os rendimentos mais elevados foram obtidos nas maiores temperaturas e com as maiores proporções do adjuvante de secagem;

As amostras em pó com menores atividades de água e teor de água foram obtidas com a liofilização e na secagem por aspersão a 190° C.

A liofilização e a secagem em temperaturas menores, bem como maiores concentrações de maltodextrina produziram amostras em pó mais claras e com maior intensidade de amarelo; nas menores concentrações do adjuvante e temperaturas mais altas foram obtidas amostras com maior intensidade de vermelho;

As amostras de cumbeba em pó se apresentaram como fonte de compostos bioativos, com bons valores de compostos fenólicos totais;

Nas secagens por aspersão obteve-se polpas de cumbeba em pó com maiores teores de sólidos solúveis totais, maior acidez total titulável, maiores teores de ácido ascórbico, compostos fenólicos totais, flavonoides, antocianinas e betacianinas;

Nas secagens por aspersão temperaturas mais altas favoreceram os teores de sólidos solúveis totais, acidez total titulável e ácido ascórbico; temperaturas de secagem mais baixas favoreceram os teores de compostos fenólicos totais, flavonoides, antocianinas, betaxantinas e betacianinas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC. Association Of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists.** Washington: AOAC, 1997. 1041p.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis.** 18<sup>th</sup> ed, 3<sup>th</sup> review, Washington, USA: AOAC, 2010. 1094 p.

BENASSI, M. T.; ANTUNES, A. J. A. Comparison of meta-phosphoric and oxalic acids as extractant solutions for determination of vitamin C in selected vegetables. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v.31, n.4, p.507-503, 1998.

BLIGH, E.G.; DYER, W. J. A. Rapid method for total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37, p. 911-917, 1959.

BRAGA, M. B.; ROCHA, S. C. S.; HUBINGER, M. D. Spray-drying of milk- blackberry pulp mixture: Effect of carrier agent on the physical properties of powder, water sorption, and glass transition temperature. **Journal of Food Science**, v.83, n.6, p.1650–1659, 2018.

BRAGA, M. B.; VEGGI, P. C.; CODOLO, M. C.; GIACONIA, M. A.; RODRIGUES, C. L.; BRAGA, A. R. C. Evaluation of freeze-dried milk-blackberry pulp mixture: Influence of adjuvants over the physical properties of the powder, anthocyanin content and antioxidant activity. **Food Research International**, v. 125, n.1, p.2-12, 2019.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and properties of spray-dried (*Amaranthus*) betacyanin pigments. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 6, p. 1248-1252, 2000.

CANUTO, H. M. P.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Hygroscopic behavior of freeze-dried papaya pulp powder with maltodextrina. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 36, n. 1, p. 179-185, 2014.

CASTELLAR, R.; ÓBON, J. M.; ALACID, M.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J. A. Color properties and stability of betacyanins from opuntia fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 9, p. 2772-2776, 2003.

CHAGAS, P. C.; GRIGIO, M. L.; DURIGAN, M. F. B.; CHAGAS, E.A.; VIEITES, R. L. 2015. Caracterização centesimal e compostos bioativos de frutos de taperebá em diferentes estádios de maturação. In: Congresso Brasileiro de Processamento mínimo e Pós-colheita de frutas, flores e hortaliças, 001. **Anais...** Aracaju-SE.

CARNEIRO, B. L, A. **Estabilidade química e funcional dos compostos bioativos da fruta de buriti congelada, liofilizada e atomizada**. 2016. 111p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (USP), Piracicaba/SP, 2016.

CARVALHO, C. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; GURJÃO, F. F. Caracterização do pó de umbu-cajá, formulado com leite de cabra e maltodextrina obtido pelo método de secagem em spray dryer. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, v. 11, n. 2, p. 37-42, 2017.

CASARIN, F.; MENDES, C. E.; LOPES, T. J.; MOURA, N. F. Planejamento experimental do processo de secagem da amorapreta (*Rubus sp.*) para a produção de farinha enriquecida com compostos bioativos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 19, n. 1, p. 1-9, 2016.

CASTRO, D. S.; OLIVEIRA, T. K. B.; LEMOS, D. M.; ROCHA, A. P. T.; ALMEIDA, R.D. Efeito da temperatura sobre a composição físico-química e compostos bioativos de farinha de taro obtida em leite de jorro. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.20, n.1, p. 2-5, 2017.

CASTRO-MUÑOZ, R.; BARRAGAN-HUERTA, B. E.; YANEZ-FERNANDEZ, J. Use of gelatin-maltodextrin composite as an encapsulation support for clarified juice from purple cactus pear (*Opuntia stricta*). **LWT - Food Science and Technology**, v. 62, n. 1, p. 242-248, 2015.

CAVALCANTE, C. E. B.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Comportamento higroscópico da polpa de graviola em pó obtida por secagem em spray dryer. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.21, n.1, p.2-8, 2018.

CEBALLOS, A. M.; GIRALDO, G. I.; ORREGO, C. E. Effect of freezing rate on quality parameters of freeze dried soursop fruit pulp. **Journal of Food Engineering**, v.111, n.2, p.360-365, 2012.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de secagem de alimentos**. Planaltina: Embrapa Cerrado, 2010. 51 p.

COSTA, J. P.; ROCHA, E. M. F. F.; COSTA, J. M. C. Study of the physicochemical characteristics of soursop powder obtained by spray-drying. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 34, n. 4, p. 663-666, 2014.

DIÓGENES, A. M. G.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; SOUSA, A. B. B. Análise comparativa de polpas de manga 'Haden' integral e formulada. **Agropecuária Técnica**, v.36, n.1, p.30-34, 2015.

DUARTE, E. L.; CARLOS, L. A.; RODRIGUES, C. G.; ANDRADE, R. M.; OLIVEIRA, K. G. Influência da liofilização sobre os carotenoides de frutos do cerrado e comportamento higroscópico dos pós-liofilizados. **Perspectivas online: ciências biológicas e da saúde**, v. 23, n. 7, p. 22-33, 2017.

FERRARI, C. C.; RIBEIRO, C. P.; AGUIRRE, J. M. Secagem por atomização de polpa de amora-preta usando maltodextrina como agente carreador. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.15, n.2, p.157-165, 2012.

FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P.(Ed). **Anthocyanins as food colors**. New York: Academic Press, p. 181-207, 1982.

FREITAS, V.; ROSSETO, V.; ROSA, G. S. Caracterização da casca e polpa de butiás in natura e liofilizadas: umidade e antocianinas", p. 318-322. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Blucher, 2014. São Paulo: ISSN 2359-1757, DOI 10.5151/chemeng-cobec-ic-02-ft-050

FREITAS, E. F. M.; LOPES, L. L.; ALVES, S. M. F.; CAMPOS, A. J. Efeito da maltodextrina no sumo da polpa de abacaxi. **Revista de Ciências Agrárias**, v.42, n.1, p. 275-282, 2019.

FURTADO, G. F.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; SANTOS, P. Secagem de polpa de seriguela pelo método de camada de espuma. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 12, n. 1, p. 9-14, 2010.

GALVÃO, L. M. V.; SOUSA, M. M.; DINIZ, E. F. C.; SILVA, O. A.; NUNES, L.C.C. Análise dos parâmetros físico-químicos de cajuína e cajuína obtido por spray dryer. **Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Gramado, 2016.

HELT, K. M. P.; NAVAS, R.; GONÇALVES, E. M. Características físico-químicas e compostos antioxidantes de frutos de pitanga da região de Capão Bonito, SP. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 16, n. 1, p. 96-102, 2018.

HIGBY, W. K. A simplified method for determination of some the carotenoid distribution in natural carotene-fortified orange juice. **Jornal of Food Science**, v. 27, n. 1, p. 42-49, 1962.

HO, L. P.; PHAM, A. H.; LE, V. V. M. Effects of core/wall ratio and inlet temperature on the retention of antioxidant compounds during the spray drying of sim (*Rhodomyrtus tomentosa*) juice. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, n. 6, p. 2088–2095, 2015.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análises de alimentos**. 4ª ed., 1ª ed. Digital, São Paulo: IAL, 2008. 1020 p.

IGUAL, M.; RAMIRES, S.; MOSQUERA, L. H.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Optimization of spray drying conditions for lulo (*Solanum quitoense* L.) pulp. *Powder Technology*, v.256, n.1, p. 233–238, 2014.

LARA JÚNIOR, J. M. Obtenção de polpa de manga (*Mangifera indica* L.) em pó pelo processo em spray-dryer. 2017. 94p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2017.

LEE, K. H.; WU, T. Y.; SIOW, L. F. Spray drying of red (*Hylocereus polyrhizus*) and white (*Hylocereus undatus*) dragon fruit juices: physicochemical and antioxidante properties of the powder. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 48, n. 1, p. 2391–2399, 2013.

LEITE NETA, M. T. S.; JESUS, M. S.; SILVA, J. L. A.; ARAUJO, H. C. S.; SANDES, R. D. D.; SHANMUGAM, S.; NARAIN, N. Effect of spray drying on bioactive and

volatile compounds in soursop (*Annona muricata*) fruit pulp. **Food Research International**, v.124, p. 70–77, 2019.

MARQUES, L. G. Liofilização de frutas tropicais. 2008. 255p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2008.

MARTIN, L. G. P. **Estudo da secagem de polpa de cupuaçu por atomização**. Dissertação (mestrado), Universidade Estadual de Campinas, Faculdade Engenharia Agrícola. Campinas, 2013.

MISHRA, P.; MISHRA, S.; MAHANTA, C. L. Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Emblica officinalis*) juice powder. **Food and Bioproducts Processing**, v.92, n.1, p. 252-258, 2014.

OIKONOMOPOULOU, V. P.; KROKIDA, M. K.; KARATHANOS, V. T. The influence of freeze-drying conditions on microstructural changes of food products. **Procedia Food Science**, v.1, n.1 p.647-654, 2011.

OLIVEIRA, G. S. **Aplicação do processo de liofilização na obtenção de cajá em pó: avaliação das características físicas, físico-químicas e higroscópicas**. 2012. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

OLIVEIRA, A. S. **Secagem por aspersão da polpa do mandacaru**. 200 f. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.

OLIVEIRA, A. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; BRITO, J. G. Estabilidade da polpa do *Cereus jamacaru* em pó durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 2, p. 147-153, 2015.

OLIVEIRA, G. S.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A. Caracterização e comportamento higroscópico do pó da polpa de cajá liofilizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.10, p.1059-1064, 2014.

OLIVEIRA, M. N.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; DIÓGENES, A. M. G.; SOUSA, A. B. B.; VASCONCELOS, U. A. A. Caracterização físico-química de polpas de manga „Rosa“ liofilizadas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, n. 5, p. 1-5, 2017.

OSTROSCHI, L. C.; BRITO DE SOUZA, V.; ECHALAR-BARRIENTOS, M. A.; TULINI, F. L.; COMUNIAN, T. A.; THOMAZINI, M.; BALIERO, J. C. C.; ROUDAUT, G.; GENOVESE, M. I.; FAVARO-TRINDADE, C. S. Production of Spray-dried Proanthocyanidin-rich Cinnamon (*Cinnamomum Zeylanicum*) Extract as a Potential Functional Ingredient: Improvement of Stability, Sensory Aspects and Technological Properties. **Food Hydrocolloids**, v.79, n.1, p. 343–351, 2018.

QUEK, S. Y.; CHOK, N. K.; SWEDLUND, P. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. **Chemical Engineering and Processing**, v. 46, n. 5, p. 386-392, 2007.

RIBEIRO, C. M. C. M.; MAGLIANO, L. C. S. A.; COSTA, M. M. A.; BEZERRA, T. K. A.; SILVA, F. L. H.; MACIEL, M. I. S. Otimização das condições do processo de secagem por pulverização para mistura de suco de acerola e seriguela. **Food Science and Technology**, v.39, n. 1, p.48-55, 2019.

RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ, J. A.; VICTORIA, M. T. C.; BARRAGÁN-HUERTA, B. E. Betaxanthins and antioxidant capacity in *Stenocereus pruinosus*: Stability and use in food. **Food Research International**, v. 91, n. 1, p. 63-71, 2017.

SAGAR, V. R.; KUMAR, R. Effect of drying treatments and storage stability on quality characteristics of bael powder. **Journal of food science and technology**, v. 51, n. 9, p. 2162- 2168, 2014.

SANTOS, D. C.; OLIVEIRA, E. N. A.; ROCHA, A. P. T.; MARTINS, J. N. Secagem da polpa de caju em secador de leito de jorro. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 9, n. 2, p. 1875-1887, 2015.

SILVA, M. J. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; SANTOS, D. C.; OLIVEIRA, M. N.; LISBÔA, J. F. **Obtenção e caracterização física e química da polpa de figo da índia em pó liofilizada**. In: ONE, G. M. C.; CARVALHO, A. G. C. (Org.). *Nutrição e saúde: Conhecimento, integração e tecnologia*. 1 ed. Campina Grande: IBEA, 2016b. p.55-68.

SOUSA, K. S. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; FERNANDES, T. K. S. Produção e caracterização da polpa de atemoia em pó. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 3, p. 718-728, 2015.

SOUSA, S. F. **Liofilização da polpa de tamarindo (*Tamarindus indica* L.) para obtenção de sucos reconstituídos**. 2018. 169 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2018.

SOUSA, A. B. B.; NASCIMENTO, A. P. S.; ARAÚJO, A. K. P.; CAVALCANTI, A. S. R. R. M.; DUARTE, M. E. M. Caracterização físico-química de polpa mista de seriguela com *spirulina platensis* secas por liofilização. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.20, n.3, p. 281–288, 2018.

SOUZA, A. C. M.; GAMARRA-ROJAS, G.; ANDRADE, S. A. C.; GUERRA, N. B. Características físicas, químicas e organolépticas de quipá (*Tacinga inamoena*, *Cactaceae*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 2, p. 292-295, 2007.

TONON, R. V.; BARONI, A. F.; BRABET, C.; GIBERT, O.; DOMINIQUE, P.; HUBINGER, M. D. Water sorption and glass transition temperature of spray dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice. **Journal of Food Engineering**, v. 94, n. 3-4, p. 215-221, 2009.

TZE, N. L.; HAN, C. P.; YUSOF, Y. A.; LING, C. N.; TALIB, R. A.; TAIP, F. S.; AZIZ, M. G. Physicochemical and nutritional properties of spray-dried pitaya fruit powder as natural colorant. **Food Science and Biotechnology**, v.21, n.3, p.675-682, 2012.

ZAFISAH, N. S.; YUSOF, Y. A.; ALI, M. A.; ROSLAN, N. S.; TAHIR, A.; AZIZ, M. G.; CHIN, N. L. Processing of raw coconut milk for its value addition using spray and freeze drying techniques. **Journal of Food Process Engineering**, v.41, n.1, p.2-11,2017.

WATERHOUSE, A. Folin-ciocalteau micro method for total phenol in wine. **American Journal of Enology and Viticulture**, p. 3-5, 2006.

### 4.3 ARTIGO III: CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE POLPAS DE CUMBEBA EM PÓ PRODUZIDAS EM SECAGEM POR ASPERSÃO E LIOFILIZAÇÃO

**Resumo** – A cumbeba (*Tacinga inamoena*) é uma cactácea frutífera nativa do semiárido brasileiro. Seus frutos, apesar de excelentes sabor e aroma, não são comercialmente explorados. Uma forma de inserir frutas não convencionais no mercado é submetendo-as a processamento que preserve suas características por tempo suficiente para garantir a oferta em locais afastados dos centros de produção e proveja vida de prateleira necessária à familiarização e criação do hábito de consumo por parte do consumidor. A secagem é um método de preservação simples e bem estudado para uso em polpas de frutas, evitando o uso dispendioso e complexo da cadeia do frio. Para secagem de frutas destacam-se a secagem por aspersão e a liofilização, a primeira pela transformação imediata do produto em um pó, com qualidade e custos aceitáveis, enquanto a liofilização se destaca pela alta qualidade final do produto e custo operacional elevado. Neste trabalho estudou-se as características físicas de polpas de cumbeba em pó produzidas em secagens por aspersão e por liofilização, com as amostras adicionadas de 10, 20 e 30% de maltodextrina, utilizada como adjuvante de secagem. Foram determinadas nas amostras a cor instrumental, molhabilidade, solubilidade, higroscopicidade, densidades, parente, compactada e real, porosidade, ângulo de repouso, Fator de Hausner e Índice de Carr, além de análise do particulado das polpas em pó por meio de microscopia eletrônica (MEV). Nas secagens por aspersão obteve-se pós que superaram as amostras em algumas características, como maiores valores de molhabilidade, solubilidade e higroscopicidade. A liofilização resultou em amostras com maior porosidade e menor ângulo de repouso. Maiores proporções do adjuvante de secagem resultaram em maiores valores de molhabilidade, menor higroscopicidade, menores densidades aparente, compactada e real. As amostras secadas por aspersão a 150° C e com 10% de maltodextrina apresentaram melhor fluidez. Os pós obtidos na secagem por aspersão apresentaram partículas arredondadas e aglomeradas, enquanto o pó liofilizado apresentou partículas laminares e com formato irregular.

**Palavras-chave:** *Tacinga inamoena*, frutas do semiárido, spray-drying, freeze drying

### INTRODUÇÃO

O quipá ou cumbeba, fruto da *Tacinga inamoena*, é do tipo baga, com formato variando de ovoide a subglobuloso (FORMIGA et al., 2016). Apresenta polpa carnosa amarelo claro, aromática e sabor característico pouco adocicado. Como uma espécie nativa, é plenamente adaptada às condições edafoclimáticas do semiárido brasileiro, frutificando anualmente em ambientes a princípio adversos para frutíferas convencionais. Assim, constitui um recurso agrícola natural, apto a ser explorado, preferencialmente sob a forma processada, devido a agregação de valor e ao aumento de vida de prateleira, possibilitando alcançar consumidores em locais distantes das regiões de produção.

Entre as principais formas de processamento de polpas de frutas, a secagem se caracteriza pela redução do teor de água e da atividade de água, dando origem a produtos com teores de sólidos e princípios ativos concentrados em baixos volumes e massas reduzidas, favorecendo a redução de custos com transporte e armazenamento, sem depender da cadeia do frio.

Na produção de polpas em pó se destaca a secagem por aspersão, que transforma matérias-primas líquidas ou pastosas diretamente em pós, com a característica de que o material é exposto ao calor por curtos períodos de tempo, minimizando perdas de princípios nutricionais e aromáticos. É um processo que permite altas produções com custo relativamente baixo. No outro extremo, com custos elevados e tendo como prioridade a mais alta qualidade, a liofilização é tida como parâmetro para identificar o quanto outras formas de desidratação preservam as características originais da matéria-prima.

Com vistas a reduzir problemas operacionais na secagem de polpas de frutas, parte deles relacionados, conforme Moreira et al. (2009), a baixa temperatura de transição vítrea dos açúcares sacarose, frutose e glicose, são utilizados agentes carreadores ou encapsulantes, materiais com alto peso molecular, úteis para aumentar a temperatura de transição vítrea. No caso da secagem por aspersão, os problemas incluem a aderência à parede da câmara do secador, bem como transformações estruturais como colapso e cristalização durante o processamento e armazenamento (TONON et al., 2010).

O trabalho foi realizado com o objetivo de se estudar as características físicas de polpas de cumbeba (*Tacinga inamoena*) em pó, adicionadas de maltodextrina como adjuvante de secagem, obtidas em secagens por aspersão e liofilização.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

## **Preparo das formulações**

### ***Preparo das formulações para a liofilização***

Polpa de cumbeba foi produzida a partir de frutos maduros, extraída em despoldadeira rotativa. Após a extração, a polpa foi congelada em bolsas plásticas de 500g em freezer comercial. Para os ensaios, a polpa de cumbeba era descongelada até atingir a temperatura ambiente, elaborando-se três formulações para a liofilização utilizando-se como adjuvante de secagem, a maltodextrina (DE=10), nas concentrações (10, 20 e 30%). As formulações eram congeladas em freezer à -18 °C por 48 h, seguindo então para liofilização.

### ***Preparo das formulações para secagem por aspersão***

Para secagem por aspersão foram elaboradas formulações contendo maltodextrina (10, 20 e 30%), homogeneizando-se a polpa com o adjuvante até a completa dissolução.

## **Secagem das formulações**

### ***Liofilização***

Foi utilizado um liofilizador de bancada Terroni, LS 3000. As amostras congeladas foram desidratadas na temperatura de -50 °C por 48 h. Decorrido o tempo de liofilização, as polpas desidratadas eram trituradas com almofariz e pistilo e acondicionadas em embalagens laminadas, para proteção contra umidade e luz.

### ***Secagem por aspersão***

As formulações destinadas à secagem por aspersão foram realizadas em secador de bancada, modelo LM MSD 1.0 da marca Labmaq do Brasil. Os parâmetros operacionais adotados durante a secagem por aspersão foram: temperaturas de entrada de ar de secagem de 150, 170 e 190 °C, bico injetor com orifício de 1,2 mm de diâmetro, vazão de bombeamento das formulações de 0,5 L/h e vazão de ar comprimido de 30

L/min. Os pós coletados no secador foram acondicionados em embalagens laminadas até o início das análises.

### Caracterização física das formulações e pós

Os parâmetros de cor foram determinados em espectrofotômetro portátil Hunter Lab Mini Scan XE Plus, modelo 4500 L, obtendo-se os parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  e  $h^*$ .

Os pós foram caracterizados quanto a higroscopicidade, de acordo com a metodologia descrita por Cai e Corke (2000); solubilidade, determinada pelo método de Eastman e Moore (1984) modificado por Cano-Chauca et al. (2005); densidade absoluta ( $\rho_{abs}$ ), determinada utilizando-se picnômetro de vidro de 25 mL e temperatura de 25 °C, usando-se hexano como líquido imiscível; a densidade aparente ( $\rho_{ap}$ ) foi determinada a partir do método descrito por Politi (2009); e a densidade compactada ( $\rho_c$ ) foi determinada segundo a metodologia descrita por Tonon (2009); índice de compressibilidade (índice de Carr) e Fator de Hausner (FH) foram determinados segundo Yusof et al. (2012), a molhabilidade foi determinada pelo método proposto por Shubert (1993), a porosidade intragranular dos pós foi calculada pela Equação 1 a partir da relação entre a densidade compactada e a densidade absoluta.

$$\varepsilon = 1 - (\rho_c / \rho_{abs}) \times 100 \quad (1)$$

Onde:

$\varepsilon$  - porosidade intragranular (%)  
 $\rho_c$  - densidade compactada ( $\text{g/cm}^3$ )  
 $\rho_{abs}$  - densidade absoluta ( $\text{g/cm}^3$ )

O ângulo de repouso foi obtido da geometria do cone para uma massa de amostra de 30 g escoada por um funil, de acordo com a Equação 2:

$$\theta = \text{Arctang} \left( \frac{2h}{D} \right) \quad (2)$$

Onde:

$\theta$  - ângulo de repouso  
h- altura da pilha  
D- diâmetro da pilha

A análise morfológica das partículas foi realizada através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) em um microscópio eletrônico de varredura SSX-550 SUPERSCAN da Shimadzu, Japão, operando-se a 15 kV. Para obter as imagens por MEV, as amostras foram metalizadas com uma liga de ouro por 240 s com corrente de 10 mA em metalizador Shimadzu IC-50, sob condições de vácuo elevado, a fim de proporcionar uma superfície refletora para os feixes de elétrons. Em seguida, as amostras foram visualizadas ao microscópio e as estruturas morfológicas fotografadas em ampliações de 100×, 200×, 500× e 1000×.

Para as polpas em pó, os ensaios foram organizados em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 × 4, sendo concentrações x temperaturas de (10, 20 e 30%) e (150, 170, 190 e -50°C), cada tratamento com três repetições, analisados com o programa computacional Assistat versão 7.7. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F e comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização das polpas formuladas

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios dos parâmetros de cor Luminosidade (L\*), intensidade de vermelho (a\*) e intensidade de vermelho (b\*) das polpas de cumbeba adicionadas de maltodextrina nas proporções de 10, 20 e 30%.

**Tabela 1.** Resultados médios da avaliação colorimétrica das polpas de cumbeba formuladas

FM	Luminosidade (L*)	Intensidade de vermelho (+a*)	Intensidade de amarelo (+b*)	Ângulo de tonalidade (h*)	Croma (C*)
F10	37,17 ± 0,19 a	10,09 ± 0,07 b	47,07 ± 0,05 a	77,90 ± 0,09 a	48,14 ± 0,05 a
F20	34,77 ± 0,12 b	11,20 ± 0,10 a	43,81 ± 0,21 b	75,66 ± 0,07 b	45,22 ± 0,22 b
F30	27,77 ± 0,07 c	5,63 ± 0,09 c	21,57 ± 0,15 c	75,37 ± 0,31 b	22,30 ± 0,13 c
DMS	0,34	0,22	0,38	0,47	0,38
Teste F	3810,39**	3343,34**	25582,17**	162,42**	26422,25**

FM - Formulação; F10, F20 e F30 - Polpas de cumbeba formuladas com 10, 20 e 30% de maltodextrina, respectivamente; DMS - Desvio médio significativo; <sup>ns</sup>Não significativo; \*\*Significativo a 1% de

probabilidade, pelo teste F; Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Os aumentos na proporção de maltodextrina ocasionaram escurecimento nas amostras, com redução gradativa dos valores de  $L^*$ . Nas coordenadas de cromaticidade  $+a^*$  e  $+b^*$ , as formulações passaram por decréscimos estatisticamente significativos em ambas, atingindo valor cerca de 50% menor no caso de  $+a^*$  e de 54% no caso de  $+b^*$ , com a elevação do acréscimo do aditivo de 10 a 30%.

Quanto a cor verificou que provavelmente ocorreu degradação dos pigmentos ocasionado pelo escurecimento enzimático, mesmo com a concentração do adjuvante sendo ampliada as polpas tiveram a luminosidade reduzida. Mesmo comportamento foi verificado por Diógenes et al. (2015) em estudos com manga formulada com maltodextrina, apresentando como resultado decréscimo da luminosidade. Sousa et al. (2016) relataram em polpa de cajá integral e formulada com maltodextrina (15, 20 e 25%), que a adição do adjuvante resultou na redução da luminosidade com valores referentes a 55,7, 52,7, 54,0 e 55,1, os autores ainda atribuíram essa característica a degradação dos pigmentos ocasionado pelo escurecimento enzimático.

Mesmo comportamento foi evidenciado para a componente  $+a^*$  e  $+b^*$ , à medida que a concentração da maltodextrina foi ampliada foi verificado a redução dos parâmetros de intensidade de vermelho e amarelo. Por outro lado, Sousa et al. (2016) relataram em polpa in natura de cajá e formulada com (15, 20 e 25%) que a adição do adjuvante promoveu aumento da intensidade de vermelho e amarelo, correspondendo aos seguintes valores:  $+a^*$ (16,7; 15,5; 17,4; 18,2) e  $+b^*$  (49,8; 52,0; 52,1; 55,1).

Deste modo, fica subentendido que o comportamento desses parâmetros está relacionado, principalmente, à característica química de cada matéria-prima a qual o adjuvante é acrescentado. Tanto o ângulo de tonalidade quanto o croma sofreram interferência nos resultados com a adição da maltodextrina, ocorrendo a redução dos parâmetros. A maior intensidade da cor da polpa representada pelo parâmetro croma foi a formulação contendo 10% de maltodextrina ( $C^* = 48,14$ ) e o ângulo de tonalidade manteve-se próximo a região do amarelo ( $h^\circ = 90^\circ$ ) o que demonstra a correlação com os valores de  $+b^*$ , característico da coloração amarela da polpa.

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios da Luminosidade ( $L^*$ ) dos pós de polpa de cumbeba secados por aspensão e liofilização, adicionados de maltodextrina

nas proporções de 10, 20 e 30%. De acordo com a Tabela 2 observa-se que a luminosidade das amostras foi influenciada tanto pela temperatura de secagem quanto pela concentração de maltodextrina. A exposição a temperaturas de entrada mais elevadas, resultaram em pós com menor luminosidade, o que pode estar relacionado à menor umidade, resultando em um material mais concentrado e, conseqüentemente, mais escuro que os demais. Cavalcante et al. (2017) ressaltam que produtos ricos em açúcares, como as polpas de frutas, podem sofrer escurecimento quando expostos a altas temperaturas durante os processos de secagem, resultando numa redução dos valores de luminosidade ( $L^*$ ).

**Tabela 2.** Valores médios da luminosidade dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização em diferentes concentrações de maltodextrina

Concentração (%)	Temperatura de secagem (°C)			
	150	170	190	-50
10	13,71 ± 0,18 cA	12,08 ± 0,13 cB	10,13 ± 0,02 cC	13,57 ± 0,35 cA
20	15,11 ± 0,04 bC	12,98 ± 0,21 bD	15,89 ± 0,09 bB	17,73 ± 0,12 bA
30	20,85 ± 0,03 aA	18,37 ± 0,05 aC	16,36 ± 0,07 aD	19,05 ± 0,05 aB

Diferença mínima significativa para linha = 0,3246; Diferença mínima significativa para coluna = 0,2938; Média geral = 15,4864%; Coeficiente de variação (%) = 0,93; Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Outra consideração é que a temperatura de 150°C apresentou os valores de luminosidade superiores as demais temperaturas, ou seja, indicando que essa temperatura juntamente com as concentrações do aditivo (10 e 30%) apresentou maiores luminosidades aos pós de cumbeba. Comportamento semelhante foram reportados por Freitas et al. (2019) no estudo do efeito da maltodextrina no sumo de polpa de abacaxi atomizado a duas temperaturas (100 e 120°C) e diferentes concentrações de maltodextrina (5, 10, 15 e 20%), os autores reportaram que a menor temperatura apresentou maior luminosidade e que os valores de  $L^*$  aumentaram com o aumento da concentração do aditivo.

Comportamento distinto foram observados por Santhalakshmy et al. (2015), os autores relatam que a cor do jamelão em pó sofreu influência principalmente pela temperatura de entrada, levando à formação de pós significativamente mais brilhantes e menos roxo à medida que a temperatura da entrada aumentava, os autores atribuíram esse comportamento à degradação substancial de antocianinas em temperaturas mais elevadas.

Já em contrapartida, a relação entre o aumento do parâmetro L\* com a concentração do adjuvante é atribuído a incorporação do mesmo, cuja coloração é de cor branca, com maior capacidade de refletância a luz e, dessa forma, dilui a cor amarela característica da polpa de cumbeba, essa observação também foi reportado por Carvalho et al. (2017), Sahim-Nadeem et al. (2013), Nunes et al. (2013) e Freitas et al. (2019). Oberoi e Sogi (2015) observaram o clareamento significativo das formulações de sucos de melancia liofilizada contendo 3, 5, 7 e 10% de maltodextrina, os autores afirmam que a concentração do aditivo promoveu a o aumento da luminosidade.

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios de intensidade de vermelho +a\* dos pós de polpa de cumbeba secados por aspersão e liofilização, adicionados de maltodextrina nas proporções de 10, 20 e 30%. Verifica-se na Tabela 3, dois comportamentos distintos, com o aumento da concentração de maltodextrina houve a redução da cromaticidade (+a\*), cujos valores decresceram de 46, 26, 15 e 40%, possivelmente ocasionado pela diluição da coloração da polpa pela incorporação desse agente carreador, gerando uma dispersão nos pigmentos responsáveis pela cor característica do material.

**Tabela 3.** Valores médios de intensidade de vermelho dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização em diferentes concentrações de maltodextrina

Concentração (%)	Temperatura de secagem (°C)			
	150	170	190	-50
10	4,42 ± 0,17 aC	4,70 ± 0,16 aBC	5,28 ± 0,33 aA	4,96 ± 0,29 aAB
20	4,36 ± 0,26 aA	2,29 ± 0,37 cC	3,99 ± 0,10 cA	3,37 ± 0,13 bB
30	2,40 ± 0,13 bC	3,40 ± 0,07 bB	4,48 ± 0,29 bA	2,97 ± 0,07 bB

Diferença mínima significativa para linha = 0,5013; Diferença mínima significativa para coluna = 0,4537; Média geral = 3,8844%; Coeficiente de variação (%) = 5,73; Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Entretanto, analisando a influência da temperatura de entrada é possível verificar que as amostras contendo 10 e 30% do aditivo detiveram acréscimos na coordenada de intensidade de vermelho (+a\*) cujos percentual atingiu 19 e 86%, ou seja, o efeito da temperatura interferiu diretamente na estabilidade da cor do pigmento em pó. Porém, os pós contendo 20% de maltodextrina não apresentaram variação significativas nas temperaturas de 150 para 190°C. No geral existe uma tendência de redução da cor vermelha representada pela coordenada (+a\*) com o aumento da concentração do aditivo.

Comportamento similar foi reportado por Carvalho et al. (2017) na caracterização do pó de umbu-cajá obtido por secagem em spray dryer.

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios de intensidade de amarelo +b\* dos pós de polpa de cumbeba secados por aspersão e liofilização, adicionados de maltodextrina nas proporções de 10, 20 e 30%. O parâmetro de cor (+b \*), (Tabela 4), apresentou variação significativa dos valores para as diferentes concentrações de maltodextrina, evidenciado de modo geral pelo aumento da intensidade de amarelo, o que mostra que a concentração de maltodextrina não influenciou na diluição do pigmento amarelo presente na polpa de cumbeba. De fato, é notável que o aumento da temperatura teve influência contrária sobre a cromaticidade b\* dos pós, a temperatura não intensificou a cor amarela contida nas amostras em questão.

**Tabela 4.** Valores médios de intensidade de amarelo dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização em diferentes concentrações de maltodextrina

Concentração (%)	Temperatura de secagem (°C)			
	150	170	190	-50
10	18,54 ± 0,15 cB	16,61 ± 0,25 bC	14,98 ± 0,19 cD	19,96 ± 0,29 bA
20	19,75 ± 0,33 aB	14,28 ± 0,38 cD	18,39 ± 0,12 bC	20,49 ± 0,11 aA
30	19,19 ± 0,05 bC	19,92 ± 0,08 aB	19,62 ± 0,29 aBC	20,89 ± 0,13 aA

Diferença mínima significativa para linha = 0,4999; Diferença mínima significativa para coluna = 0,4525; Média geral = 18,5514%; Coeficiente de variação (%) = 1,20; Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Esse aumento observado para o componente +b\* está de acordo com as observações realizadas por Tonon et al. (2009) ao verificarem a influência de temperatura de secagem e da concentração de maltodextrina sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó, formulados com 10, 20 e 30% de maltodextrina, desidratados pelo método de atomização, evidenciaram o aumento da coordenada b\* de 2,44 a 2,73, correspondendo a 11%.

De igual modo, também foi verificado que o aumento da temperatura de secagem, de 140 para 200°C diminuiu a coordenada b\*, que passou de 2,41 para 1,93, correspondendo a um percentual de 20%. Shi et al. (2018) no estudo do efeito da temperatura na secagem por pulverização do suco de melancia também evidenciaram que o aumento da temperatura, representada por (120 a 150°C) reduziu a coordenada b\* de 12,24 para 11,84 da polpa de melancia atomizada.

Os pós obtidos pelo processo de liofilização apresentaram valores para a coordenada  $b^*$  semelhantes ao encontrado por Moreira et al. (2013), com valor de  $+b^*$  equivalente a 19,20, em polpa de manga integral obtida por liofilização e Oliveira et al. (2014) verificaram valores de  $+b^*$  de 24,09 e 21,34 em polpa liofilizada de cajá integral e formulada com 17% de maltodextrina.

Na Tabela 5 são apresentados os valores médios do ângulo de tonalidade dos pós de polpa de cumbeba secados por aspersão e liofilização, adicionados de maltodextrina nas proporções de 10, 20 e 30%. O ângulo de tonalidade dos pós de cumbeba atomizados e liofilizados estão representados na Tabela 5 por meio das médias e desvios padrão. O ângulo hue (h) é representado por um ângulo de 0° a 360° graus (Duarte et al., 2017), nota-se que todas as formulações apresentaram-se próximas do ângulo de ( $h^*=90^\circ$ ), ou seja, próximo do ângulo que caracteriza a tonalidade amarela. Essas observações são coerentes com os valores positivos da coordenada  $+b^*$  já mencionados, como também pela presença de pigmentos amarelos provenientes dos carotenoides presentes na polpa de cumbeba.

Em virtude da maior diluição da tonalidade vermelha Tabela 3, em relação à amarela Tabela 4, observou-se elevação significativa da componente  $h^*$  com o aumento da concentração de maltodextrina, sugerindo que as amostras ficaram mais amareladas. Avaliando a influência da temperatura, observou-se redução do ângulo de tonalidade, justificado pela ação da temperatura, indicando que a intensidade do amarelo diminuiu.

Segundo (Duarte et al., 2017) alguns fatores são responsáveis pela redução do ângulo hue (h), como a temperatura de secagem e algumas constantes operacionais, como a pressão de vácuo utilizada na liofilização, o que possivelmente promove a degradação desses pigmentos que possuem estrutura química instável e facilmente reativa.

**Tabela 5.** Valores médios do ângulo de tonalidade (h) dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização em diferentes concentrações de maltodextrina

Concentração (%)	Temperatura de secagem (°C)			
	150	170	190	-50
10	76,59 ± 0,60 bA	74,20 ± 0,30 bB	70,59 ± 0,91 bC	76,04 ± 0,70 bA
20	77,55 ± 0,81 bB	80,92 ± 1,32 aA	77,77 ± 0,31 aB	80,65 ± 0,40 aA
30	82,87 ± 0,38 aA	80,31 ± 0,18 aB	77,14 ± 1,00 aC	81,92 ± 0,17 aA

Diferença mínima significativa para linha = 1,5432; Diferença mínima significativa para coluna = 1,3968; Média geral = 78,0458%; Coeficiente de variação (%) = 0,88; Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Comportamentos semelhantes foram verificados por Oliveira et al. (2014) e Cavalcante et al. (2018). Ambos observaram elevação do componente h\* em polpa de cajá liofilizada integral e formulada com 17% de maltodextrina e polpa de graviola integral e em pó obtida por secagem em spray dryer a temperatura de 169°C e 17% de maltodextrina.

Na Tabela 6 são apresentados os valores médios do croma (C\*) dos pós de polpa de cumbeba secados por aspersão e liofilização, adicionados de maltodextrina nas proporções de 10, 20 e 30%. A intensidade da coloração do produto é verificada por meio da cromaticidade (C\*), segundo os dados da Tabela 6 observa-se o aumento desse parâmetro com o aumento da concentração de maltodextrina, os pós com 30% do adjuvante detiveram os maiores valores, caracterizando-se como amostras de cor mais atrativa se estivesse ao alcance do consumidor (OLIVEIRA et al., 2015). Já em relação a influência da temperatura sobre as formulações contendo 10 e 20% de maltodextrina, ambas apresentaram mesmo comportamento, redução da intensidade da coloração.

**Tabela 6.** Valores médios de croma (C\*) dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização em diferentes concentrações de maltodextrina

Concentração (%)	Temperatura de secagem (°C)			
	150	170	190	-50
10	19,06 ± 0,11 bB	17,26 ± 0,28 bC	15,88 ± 0,29 cD	20,57 ± 0,32 bA
20	20,22 ± 0,33 aB	14,46 ± 0,41 cD	18,82 ± 0,12 bC	20,77 ± 0,08 abA
30	19,34 ± 0,06 bC	20,20 ± 0,09 aB	20,13 ± 0,22 aB	21,10 ± 0,14 aA

Diferença mínima significativa para linha = 0,5190; Diferença mínima significativa para coluna = 0,4697; Média geral = 18,9851%; Coeficiente de variação (%) = 1,21; Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Outros estudos mostram comportamento distinto ao presente estudo. Oberoi e Sogi (2015) evidenciaram comportamento decrescente da coordenada C\* com a adição do adjuvante (3, 5, 7 e 10% de maltodextrina), em sucos de melancia liofilizados assim como também Costa et al. (2014) no estudo das características físico-químicas de polpa de graviola formuladas com (15, 30 e 45% de maltodextrina) obtida por pulverização.

### Caracterização física dos pós de cumbeba

Na Tabela 7 são apresentados os valores médios de molhabilidade dos pós secados por aspersão e liofilização, adicionados com 10, 20 e 30% de maltodextrina. Verifica-se elevação da molhabilidade das amostras com o aumento da concentração de maltodextrina, tanto na secagem por aspersão quanto por liofilização. A variação de temperatura não apresentou efeito sobre a molhabilidade.

**Tabela 7.** Valores médios de molhabilidade, em g/min, dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com 10, 20 e 30% de maltodextrina

Concentração (%)	Temperatura de secagem (°C)			
	150	170	190	-50
10	4,13 ± 0,15 cB	4,48 ± 0,11 cAB	4,20 ± 0,22 cB	4,94 ± 0,13 bA
20	6,72 ± 0,12 bA	6,73 ± 0,27 bA	6,52 ± 0,03 bA	5,14 ± 0,41 abB
30	8,03 ± 0,28 aA	7,18 ± 0,05 aB	8,17 ± 0,12 aA	5,41 ± 0,34 aC

Diferença mínima significativa para linha = 0,4877; Diferença mínima significativa para coluna = 0,4414; Média geral = 5,9716%; Coeficiente de variação (%) = 3,63; Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

A molhabilidade, medida do tempo necessário para a imersão do pó, diminuiu com o aumento da proporção da maltodextrina, indicativo de que o adjuvante aumentou a quantidade de espaços intersticiais na massa do pó, favorecendo a difusão líquida.

Oliveira (2012), estudando polpa de mandacaru em pó secado por spray drying, relatou aumento da molhabilidade à medida em que foi elevada a adição de maltodextrina de 10 a 20%.

Na Tabela 8 são apresentados os valores médios de solubilidade dos pós de polpa de cumbeba secados por aspersão e liofilização, com 10, 20 e 30% de maltodextrina. O aumento na porcentagem do adjuvante nas proporções utilizadas não influenciou de forma estatisticamente significativa os valores de solubilidade, enquanto que maiores temperaturas na secagem por aspersão acarretaram aumentos.

Daza et al. (2016), em estudo da secagem por aspersão da polpa de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), constataram aumentos da solubilidade dos pós com o aumento da temperatura de secagem de 120 a 160°C e com o aumento da concentração do agente carreador. Souza et al. (2015), na avaliação da secagem por aspersão do subproduto de uvas vermelhas, nas temperaturas de 130, 150 e 170 °C e concentração do adjuvante de 10, 20 e 30%, reportaram médias de solubilidade de 91,84 a 97,49%. Santana

et al. (2018) determinaram a solubilidade da polpa de juçara (*Euterpe edulis*) desidratada por pulverização, relatando variação de 77,99 a 92,86% e 78,87 a 83,78%.

**Tabela 8.** Valores médios de solubilidade em (%) dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com 10, 20 e 30% de maltodextrina

Concentração (%)	Temperatura de secagem (°C)			
	150	170	190	-50
10	23,37 ± 1,37 aBC	25,31 ± 0,39 bB	29,53 ± 0,013 aA	22,23 ± 1,08 bC
20	25,05 ± 0,94 aB	27,04 ± 1,52 abB	31,21 ± 0,57 aA	26,99 ± 1,05 aB
30	25,47 ± 1,66 aB	28,06 ± 1,05 aAB	29,09 ± 0,79 aA	25,48 ± 0,12 aB

Diferença mínima significativa para linha = 2,9197; Diferença mínima significativa para coluna = 2,6427; Média geral = 26,5696%; Coeficiente de variação (%) = 4,88; Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Na Tabela 9 são apresentados os valores médios de higroscopicidade dos pós de polpa de cumbeba secados por aspersão e liofilização, adicionados de 10, 20 e 30% de maltodextrina. As maiores concentrações de maltodextrina resultaram em pós menos higroscópicos, o que está associado ao fato do adjuvante utilizado ser um material com menor higroscopicidade que a polpa de cumbeba. O aumento de temperatura de secagem, por sua vez, resultou em alguma tendência de aumento.

Costa et al. (2014) igualmente observaram em polpa em pó de graviola que maiores porcentagens de maltodextrina resultaram em menores valores de higroscopicidade. Lancha et al. (2012) trabalhando com pós de pitanga e jabuticaba produzidos em spray dryer relataram que as amostras mais higroscópicas foram obtidas nos ensaios com menor concentração de maltodextrina.

**Tabela 9.** Valores médios de higroscopicidade (%) dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com 10, 20 e 30% de maltodextrina

Concentração (%)	Temperatura de secagem (°C)			
	150	170	190	-50
10	81,44 ± 0,11 aB	83,44 ± 0,37 aB	88,55 ± 2,67 aA	81,01 ± 2,46 aB
20	78,89 ± 0,85 aAB	81,01 ± 0,28 aA	81,88 ± 2,76 bA	75,96 ± 0,76 bB
30	75,67 ± 0,31 bA	76,76 ± 1,69 bA	78,41 ± 1,19 cA	65,54 ± 0,64 cB

Diferença mínima significativa para linha = 3,3837; Diferença mínima significativa para coluna = 3,0627; Média geral = 79,0465%; Coeficiente de variação (%) = 1,90; Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

De acordo com Tonon et al. (2013), temperaturas de secagem mais altas resultam em pós com umidades mais baixas e maior facilidade em adsorver água, ou seja, mais higroscópicos, o que está relacionado ao maior gradiente de concentração de água existente entre o produto e o ambiente. Os pós de cumbeba obtidos pelos dois métodos de secagem se classificam como altamente higroscópicos (>25%), de acordo com as especificações da GEA Niro Research Laboratory (2003).

Mishra et al. (2014), estudaram a influência da concentração de maltodextrina (3, 5, 7 e 9%) e da temperatura de secagem (125 a 200°C), durante a secagem por aspersão nas propriedades físico-químicas da polpa de amla (*Emblica officinalis*), observando redução da higroscopicidade com concentrações crescentes de maltodextrina, variando de 53,01 a 46,03%, mas a temperatura revelou efeito inverso, com menores valores obtidos em temperaturas mais elevadas.

Na Tabela 10 são apresentados os valores médios de densidade aparente dos pós de polpa de cumbeba secados por aspersão e liofilização, adicionados de maltodextrina nas proporções de 10, 20 e 30%. Nas secagens por aspersão a densidade aparente foi reduzida pelos efeitos tanto do aumento da porcentagem de maltodextrina como pelo aumento de temperatura. A amostra liofilizada apresenta aumento com a concentração do adjuvante, mas apenas entre 10 e 20% de adição. Santos (2016), estudando polpa de umbu-cajá em pó obtida por liofilização, observou que aumentos da concentração de maltodextrina promoveram aumentos da densidade aparente.

Tonon et al. (2011), em polpa de açaí em pó obtida por atomização, observaram que a adição do adjuvante assim como o aumento da temperatura de 140 a 200°C promoveram uma tendência de redução na densidade aparente. Dantas et al. (2018) relataram densidade de 0,38 a 0,51 g/cm<sup>3</sup> em polpa de abacate em pó e Miravet et al. (2016), de 0,516 a 0,610 g/cm<sup>3</sup> em polpa de romã em pó, ambas produzidas em secagem por aspersão. A redução da densidade ocorre pela presença de menos água no produto desidratado, que adquire característica de um produto com estrutura porosa e volumosa (SHISHIR et al., 2017). Fazaeli et al. (2012) justificam que a densidade aparente diminui com o aumento da concentração do adjuvante de secagem devido a retenção de ar no interior das partículas.

**Tabela 10.** Valores médios de densidade aparente (g/cm<sup>3</sup>) dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com 10, 20 e 30% de maltodextrina

Concentração (%)	Temperatura de secagem (°C)			
	150	170	190	-50
10	0,57 ± 0,0057 aA	0,43 ± 0,0048 aB	0,41 ± 0,0114 aB	0,41 ± 0,0042 bB
20	0,55 ± 0,0137 aA	0,43 ± 0,0085 aB	0,30 ± 0,0158 bC	0,44 ± 0,0152 aB
30	0,41 ± 0,0116 bA	0,36 ± 0,0234 bB	0,26 ± 0,0060 cC	0,44 ± 0,0093 aA

Diferença mínima significativa para linha = 0,0272; Diferença mínima significativa para coluna = 0,0246; Média geral = 0,4165%; Coeficiente de variação (%) = 2,90; Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Na Tabela 11 são apresentados os valores médios de densidade compactada dos pós de polpa de cumbeba secados por aspersão e liofilização, com 10, 20 e 30% de maltodextrina. A densidade compactada (Tabela 3.32) das polpas de cumbeba em pó foi reduzida significativamente com os aumentos da concentração do aditivo e da temperatura de secagem. Verifica-se a eficiência no aumento de porosidade promovida pelo adjuvante na medida em que algumas amostras adicionadas de 30% de maltodextrina tiveram a densidade compactada inferior à densidade aparente de alguns pós obtidos em temperaturas de 150 e 170° C. Nos pós liofilizados a tendência inversa, de aumento com a maior porcentagem do aditivo, se confirma entre as três amostras.

**Tabela 11.** Valores médios de densidade compactada ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com 10, 20 e 30% de maltodextrina

Concentração (%)	Temperatura de secagem (°C)			
	150	170	190	-50
10	0,70 ± 0,01 aA	0,67 ± 0,01 aA	0,56 ± 0,02 aB	0,52 ± 0,01 bC
20	0,69 ± 0,02 aA	0,61 ± 0,01 bB	0,46 ± 0,02 bD	0,55 ± 0,01 abC
30	0,61 ± 0,02 bA	0,52 ± 0,03 cB	0,35 ± 0,01 cC	0,57 ± 0,01 aA

Diferença mínima significativa para linha = 0,0383; Diferença mínima significativa para coluna = 0,0347; Média geral = 0,5675%; Coeficiente de variação (%) = 3,00; Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Na Tabela 12 são apresentados os valores médios de densidade real dos pós de polpa de cumbeba secados por aspersão e liofilização, com 10, 20 e 30% de maltodextrina. Verifica-se a tendência de redução da densidade real em todas as amostras secadas por aspersão e liofilizadas com o aumento da proporção de aditivo e com o aumento de temperaturas entre 150 e 190° C.

Lancha et al. (2012), ao produzirem pós de pitanga e jabuticaba em secador por aspersão, relataram que o aumento da concentração de adjuvante de secagem promoveu redução da densidade real, cujos valores médios variaram de 0,83 a 1,53 g/mL.

**Tabela 12.** Valores médios de densidade real ( $\text{g/cm}^3$ ) dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização em diferentes concentrações de maltodextrina

Concentração (%)	Temperatura de secagem ( $^{\circ}\text{C}$ )			
	150	170	190	-50
10	1,19 $\pm$ 0,09 aA	0,98 $\pm$ 0,01 bB	1,12 $\pm$ 0,01 aA	1,14 $\pm$ 0,02 aA
20	0,91 $\pm$ 0,02 bB	1,16 $\pm$ 0,04 aA	0,76 $\pm$ 0,05 bC	1,12 $\pm$ 0,04 aA
30	0,81 $\pm$ 0,02 cA	0,72 $\pm$ 0,01 cB	0,74 $\pm$ 0,06 bAB	0,57 $\pm$ 0,01 bC

Diferença mínima significativa para linha = 0,0879; Diferença mínima significativa para coluna = 0,0796; Média geral = 0,9331%; Coeficiente de variação (%) = 4,18; Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Na Tabela 13 são apresentados os valores médios de porosidade dos pós de polpa de cumbeba secados por aspersão e liofilização, adicionados de 10, 20 e 30% de maltodextrina. Verifica-se um comportamento de redução da porosidade nas amostras secadas a 150 $^{\circ}$  C e liofilizadas, sob efeito do aumento da adição da maltodextrina. Nas amostras a 170 e 190 $^{\circ}$  C não se verifica influência nem do aumento do adjuvante nem da temperatura. Caparino et al. (2012) que ao avaliarem características físicas de pós de manga obtidos por diferentes métodos de secagem relataram que a densidade aparente e a porosidade apresentaram-se inversamente relacionadas.

De acordo com Santhalakshmy et al. (2015) valores elevados de porosidade indicam a presença de mais espaços vazios entre as partículas, contendo oxigênio que contribui para reações de degradação. Os autores ao avaliarem as propriedades físico-químicas dos pós de jamelão com 25% de maltodextrina, encontraram valores de porosidade entre (90,7 e 92,6%).

**Tabela 13.** Valores médios de porosidade (%) dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização em diferentes concentrações de maltodextrina

Concentração (%)	Temperatura de secagem ( $^{\circ}\text{C}$ )			
	150	170	190	-50
10	41,26 $\pm$ 3,63 aB	31,47 $\pm$ 1,27 bC	49,62 $\pm$ 1,44 aA	54,65 $\pm$ 1,83 aA

20	24,25 ± 3,33 bC	46,87 ± 2,98 aA	39,53 ± 2,86 bB	50,56 ± 1,15 aA
30	24,47 ± 3,00 bB	27,83 ± 3,82 bB	52,31 ± 3,26 aA	23,08 ± 3,60 bB

Diferença mínima significativa para linha = 6,3999; Diferença mínima significativa para coluna = 5,7928; Média geral = 38,8247%; Coeficiente de variação (%) = 7,32; Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Lancha et al. (2012), trabalhando com pós de pitanga e jabuticaba produzidos em secador por aspersão, reportaram redução da porosidade com o aumento da concentração de maltodextrina, com valores médios que variaram entre 50,75% a 76,55%.

Na Tabela 14 são apresentados os valores médios do ângulo de repouso dos pós de polpa de cumbeba secados por aspersão e liofilização, adicionados com 10, 20 e 30% de maltodextrina. As variações observadas nos ângulos de repouso não podem ser associadas a variações na porcentagem de adjuvante, inclusive as amostras liofilizadas, e nem ao aumento de temperatura de secagem, indicando ausência de efeitos perceptíveis dessas variáveis sobre a fluidez das amostras.

Shittu e Lawal (2007) classificam como sólido particulado de boa fluidez materiais com ângulo de repouso de até 35°; ângulos de 35 a 45° indicam coesividade fraca; os de 45 a 55° apresentam coesividade média; e os acima de 55° são muito coesivos, de forma que a maioria das amostras apresentou coesividade fraca, e as liofilizadas apresentaram boa fluidez.

**Tabela 14.** Valores médios de ângulo de repouso (°), dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com 10, 20 e 30% de maltodextrina

Concentração (%)	Temperatura de secagem (°C)			
	150	170	190	-50
10	43,16 ± 0,96 aA	38,85 ± 0,60 aB	32,36 ± 0,95 bC	29,79 ± 1,37 aD
20	32,82 ± 1,74 cBC	34,15 ± 1,69 bB	38,31 ± 0,83 aA	31,56 ± 1,03 aC
30	39,58 ± 0,55 bA	37,84 ± 0,33 aAB	36,62 ± 0,48 aB	31,50 ± 0,40 aC

Diferença mínima significativa para linha = 2,2984; Diferença mínima significativa para coluna = 2,0803; Média geral = 35,5457%; Coeficiente de variação (%) = 2,87; Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

De acordo com Shi et al. (2018) o tamanho das partículas tem uma influência direta na fluidez do pó, de forma que à medida em que o tamanho das partículas diminui, a área de superfície por unidade de massa de pó aumenta, e mais área de superfície de contato está disponível para forças coesivas e forças de atrito resistivas ao fluxo, reduzindo assim a fluidez.

Na Tabela 15 são apresentados os valores médios do fator de Hausner dos pós de polpa de cumbeba secados por aspersão e liofilização, adicionados de 10, 20 e 30% de maltodextrina. A amostra secada a 150° C e a liofilizada apresentaram aumento do FH com a proporção de adjuvante adicionado, enquanto que ao se incluir as amostras a 170 e 190° C nem a concentração do adjuvante e nem a variação da temperatura de secagem afetaram de forma consistente o fator de Hausner.

Dantas et al. (2018), estudando polpa de abacate em pó obtida em secagem por aspersão, relataram valores do fator de Hausner variando de 1,52 a 1,86. Conforme a classificação de Quispe-Condori et al. (2011), os pós de cumbeba atomizados se classificam como de pobre fluidez ou pós coesivos para a temperatura de 150°C com 30% de maltodextrina, bem como a 170 e 190°C nas concentrações de 10, 20 e 30% do adjuvante de secagem, incluindo-se na faixa de FH entre 1,35 e 1,59. As amostras com 10 e 20% de maltodextrina nas temperaturas de 150°C e liofilizados se classificam como de fácil escoamento ou razoável fluidez, incluindo-se na faixa entre 1,19 e 1,35.

**Tabela 15.** Valores médios do fator de Hausner dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com 10, 20 e 30% de maltodextrina

Concentração (%)	Temperatura de secagem (°C)			
	150	170	190	-50
10	1,22 ± 0,00 cD	1,56 ± 0,00 aA	1,38 ± 0,02 bB	1,27 ± 0,02 bC
20	1,26 ± 0,01 bC	1,42 ± 0,01 cB	1,52 ± 0,00 aA	1,27 ± 0,03 bC
30	1,47 ± 0,00 aA	1,45 ± 0,00 bA	1,35 ± 0,00 bB	1,32 ± 0,00 aC

Diferença mínima significativa para linha = 0,0277; Diferença mínima significativa para coluna = 0,0251; Média geral = 1,3734%; Coeficiente de variação (%) = 0,90; Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Na Tabela 16 são apresentados os valores médios do índice de compressibilidade (IC) dos pós de polpa de cumbeba secados por aspersão e liofilização, adicionados com 10, 20 e 30% de maltodextrina. As amostras a 150° C repetiram o comportamento das liofilizadas, com redução dos IC com o aumento da porcentagem de maltodextrina. As amostras secadas a 170 e 190° C não seguiram tendências com a proporção de maltodextrina ou com a temperatura. Tze et al. (2012) no estudo das propriedades físico-químicas de pitaya desidratada por aspersão, reportaram aumento do índice de compressibilidade com o aumento da temperatura (145 a 175°C) e aumento da concentração de maltodextrina (20 e 30%).

Pela classificação de Quispe-Condori et al. (2011), as amostras desidratadas a 150°C com 30% do adjuvante de secagem e as amostras a 170°C a 10% e 190°C a 20% de maltodextrina tem fluidez muito ruim, com valores entre 0,32-0,37, enquanto que as amostras liofilizadas e as obtidas na temperatura de 150°C com 20% do aditivo foram classificadas como de média fluidez, encontrando-se da faixa entre 0,21 e 0,25 reportada pelos autores.

Segundo a classificação proposta por Villanova et al. (2012) e considerando que o IC expressa a capacidade de escoamento e compressão de um sólido, os valores são classificados como: maiores que 0,23 até 0,35 indicam materiais cuja fluidez é pobre; entre 0,5 e 0,15 - fluxo excelente; e valores entre 0,12 e 0,16 - indicam um bom fluxo. Por essa classificação, a maioria das amostras obtidas na secagem por aspersão situaram-se faixa considerada de escoamento difícil, classificando-se como de fluxo pobre.

**Tabela 16.** Valores médios de índice de compressibilidade (IC) dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização com 10, 20 e 30% de maltodextrina

Concentração (%)	Temperatura de secagem (°C)			
	150	170	190	-50
10	0,18 ± 0,00 cD	0,36 ± 0,00 aA	0,27 ± 0,02 bB	0,21 ± 0,02 bC
20	0,21 ± 0,01 bC	0,30 ± 0,01 bB	0,34 ± 0,00 aA	0,21 ± 0,03 bC
30	0,32 ± 0,00 aA	0,31 ± 0,00 bA	0,26 ± 0,00 bB	0,24 ± 0,00 aC

Diferença mínima significativa para linha = 0,0164; Diferença mínima significativa para coluna = 0,0148; Média geral = 0,2675%; Coeficiente de variação (%) = 2,72; Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

As amostras em pó adicionadas de 10% de aditivo na temperatura de 150°C apresentaram IC mais próximo da faixa considerada de bom fluxo, correlacionando-se positivamente com o FH. Santhalakshmy et al. (2015) em pó de jamelão obtido em spray dryer reportaram valores de IC entre 0,361 e 0,416.

### Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Nas Figuras 1 a 4, são apresentadas, com ampliações de 500×, as fotomicrografias eletrônicas de varredura dos pós de cumbeba obtidos pela secagem por aspersão e liofilização das polpas adicionadas com 10, 20 e 30% e maltodextrina. As comparações das imagens mostraram diferenças entre a morfologia das partículas das polpas de cumbeba em pó obtidas por aspersão e as produzidas por liofilização. As formulações

apresentaram formatos distintos, porém parte do material se manteve com estrutura variando entre o formato esférico, irregular com algumas depressões ou ovalado, superfícies lisas ou rugosas e partículas variando entre menos ou mais aglomeradas.

Os pós obtidos por atomização nas temperaturas de 150, 170 e 190°C com concentração de 10% de maltodextrina apresentaram características semelhantes: partículas com formato esférico, superfície lisa e aglomeradas. Outras características foram observadas nas formulações de 150°C nas concentrações de 20 e 30%, as partículas com formato esférico, superfície rugosa e menos aglomeradas. As amostras obtidas na temperatura de 170 e 190°C nas concentrações de 30 e 20% apresentaram-se com estruturas no formato esférico, superfície rugosa e lisa e menos aglomeradas. A forma esférica dos produtos atomizados, baseia-se no princípio da formação de gotículas durante a pulverização e posterior conversão dessas gotículas em partículas, pela evaporação do solvente (STUNDA-ZUJEVA et al., 2017).

Caparino et al. (2012) reportaram, ao secarem polpa de manga com adição de 25 % de maltodextrina (10DE) e temperatura do ar de secagem de 190 °C, que na análise de microscopia as partículas apresentaram formato esférico ou oval, superfície lisa e pouco aglomeradas. Os autores atribuíram a baixa aglomeração à temperatura de secagem utilizada, deve-se considerar também a quantidade de adjuvante adicionado à polpa antes da secagem, visto que a maltodextrina reduz a aderência entre as partículas.

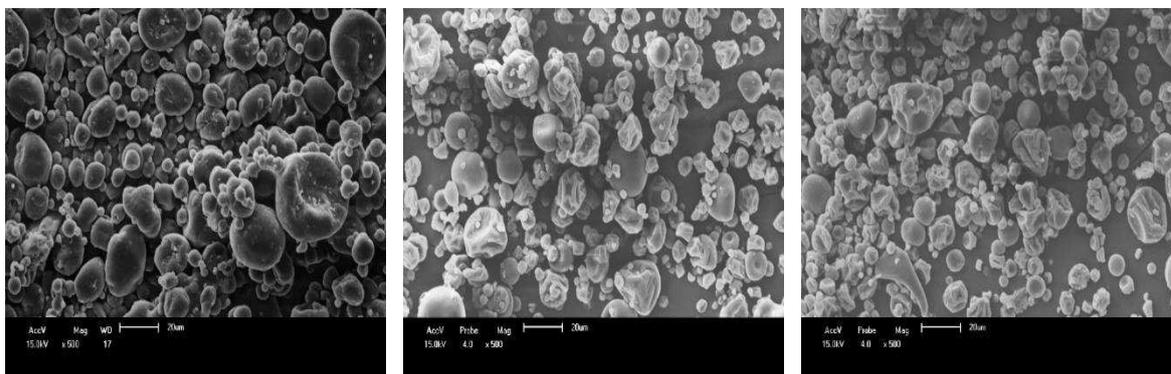
Tze et al. (2012) e Ferrari et al. (2012) reportaram que o aumento da proporção de adjuvante de secagem reduziu significativamente o tamanho das partículas dos pós de pitaya e amora-preta produzidas por *spray drying*. Uma hipótese que explica esse fenômeno é a maior difusão de água em proporções mais elevadas de adição de aditivo, que resulta em menor teor de água e provável redução do tamanho das partículas do pó.

Nas secagens a 170 e 190°C com adição de 20 e 30% de maltodextrina as partículas se apresentaram maiores, mesma aparência reportada por Muzaffar e Kumar (2015) e Sousa et al. (2015) em polpas de tamarindo e atemóia atomizadas. A possível explicação para esse fenômeno é que na atomização as condições de secagem em maiores temperaturas favorecem a formação de partículas maiores, pelo fato da estrutura ser formada mais rapidamente, evitando o encolhimento da partícula durante a secagem.

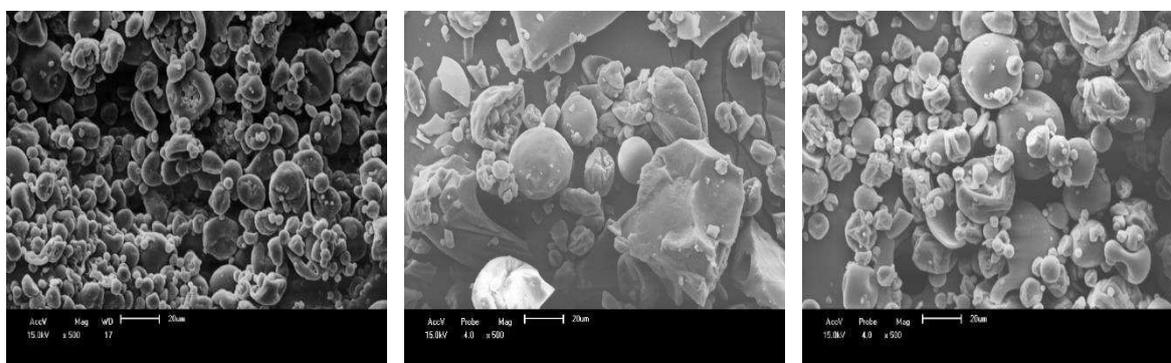
Os pós obtidos por liofilização apresentaram partículas laminares, irregulares, ausência de estruturas arredondadas e sem evidências de aglomeração. Rezende et al. (2018), em estudo de caracterização morfológica da polpa e resíduo de acerola desidratados por atomização e liofilização, também constataram que as partículas dos pós

obtidos por atomização apresentaram formato esférico, enquanto que os produtos liofilizados apresentaram estruturas irregulares.

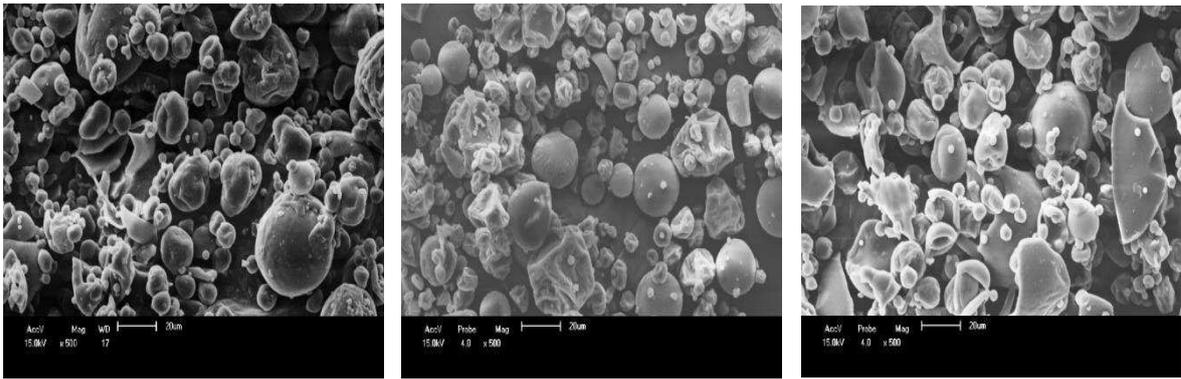
De acordo com Kuck e Norena (2016) a estrutura característica do pó liofilizado origina-se durante o processo de congelamento, em que a formação do gelo colabora para prevenção do colapso e encolhimento da estrutura do material. Saikia et al. (2015) defendem que o fator que contribui para a formação de partícula diferenciadas na liofilização é a baixa temperatura de secagem utilizada no processo. Os autores relataram, ao secarem bagaço de uva, que as secagens por atomização e por liofilização resultaram na formação de partículas distintas.



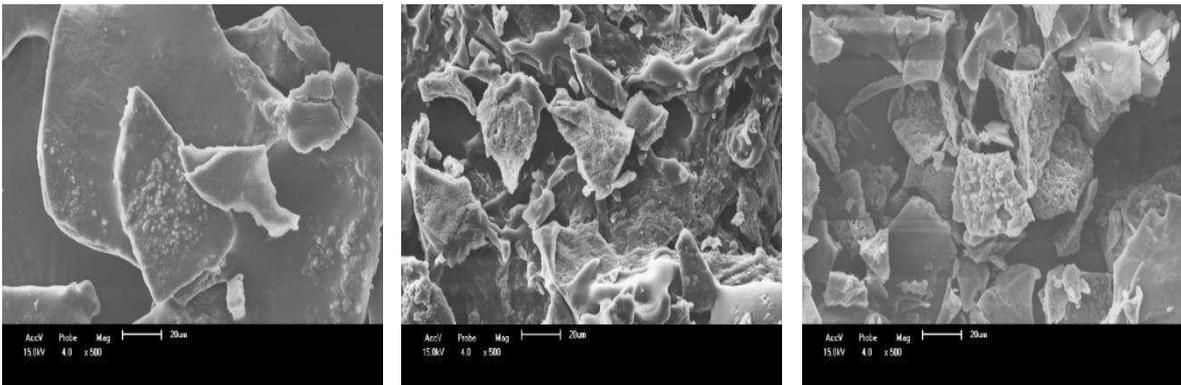
**Figura 1.** Imagens da polpa de cumbeba em pó obtida por aspersão na temperatura de 150°C com adição de 10, 20 e 30% de maltodextrina.



**Figura 2.** Imagens da polpa de cumbeba em pó obtida por aspersão na temperatura de 170°C com adição 10, 20 e 30% de maltodextrina.



**Figura 3.** Imagens da polpa de cumbeba em pó obtida por aspersão na temperatura de 190°C com adição de 10, 20 e 30% de maltodextrina.



**Figura 4.** Imagens da polpa de cumbeba em pó obtida por liofilização na temperatura de -50°C com adição de 10, 20 e 30% de maltodextrina.

## CONCLUSÕES

As polpas em pó com maiores adições de maltodextrina apresentaram-se mais claras, com maior intensidade de amarelo e menor intensidade de vermelho;

As secagens por aspersão originaram pós com maiores molhabilidade, solubilidade, higroscopicidade e densidade real;

Na liofilização observou-se pós com maior porosidade e menor ângulo de repouso.

O aumento na proporção do adjuvante de secagem acarretou em maior molhabilidade, menor higroscopicidade, menores densidades aparente, compactada e real.

As polpas em pó apresentaram melhor fluidez nas secagens por aspersão em menor temperatura (150° C), e quando liofilizadas e adicionadas com o menor percentual (10%) de maltodextrina.

Os pós produzidos nas secagens por aspersão apresentaram partículas arredondadas e aglomeradas, com menores dimensões associadas à temperatura mais baixa; O pó liofilizado apresentou partículas laminares e com formato irregular.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and properties of spray-dried (*Amaranthus*) betacyanin pigments. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 6, p. 1248-1252, 2000.

CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P.C.; RAMOS, A.M.; CAL-VIDAL, C. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.6, n.1, p. 420-428, 2005.

CAPARINO, O. A.; TANG, J.; NINDO, C. I.; SABLANI, S. S.; POWERS, J. R.; FELLMAN, J. K. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 1, p. 135-148, 2012.

CARVALHO, C. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; GURJÃO, F. F. Caracterização do pó de umbu-cajá, formulado com leite de cabra e maltodextrina obtido pelo método de secagem em spray dryer. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, v. 11, n. 2, p. 37-42, 2017.

CAVALCANTE, C. E. B.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Avaliação dos parâmetros de secagem da polpa de graviola em pó obtida por secagem em spray dryer. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, e. 2016015, 2017.

CAVALCANTE, C. E. B.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Comportamento higroscópico da polpa de graviola em pó obtida por secagem em spray dryer. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.21, n.1, p.2-8, 2018.

COSTA, J. P.; ROCHA, E. M. F. F.; COSTA, J. M. C. Study of the physicochemical characteristics of soursop powder obtained by spray-drying. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 34, n. 4, p. 663-666, 2014.

DANTAS, D.; PASQUALI, M. A.; CAVALCANTI-MATA, M.; DUARTE, M. E.; LISBOA, H. M. Influence of spray drying conditions on the properties of avocado powder drink. **Food Chemistry**, v.266, n.1, p.284–291, 2018.

DAZA, L. D.; FUJITA, A.; FÁVARO-TRINDADE, C. S.; RODRIGUES-RACT, J. N.; GRANATO, D.; GENOVESE, M. I. Effect of spray drying conditions on the physical properties of Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) fruit extracts. **Food and Bioproducts Processing**, v. 97, n. 1, p. 20-29, 2016.

DIÓGENES, A. M. G.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; SOUSA, A. B. B. Análise comparativa de polpas de manga ‘Haden’ integral e formulada. **Agropecuária Técnica**, v.36, n.1, p.30-34, 2015.

DUARTE, E. L.; CARLOS, L. A.; RODRIGUES, C. G.; ANDRADE, R. M.; OLIVEIRA, K. G. Influência da liofilização sobre os carotenoides de frutos do cerrado e comportamento higroscópico dos pós-liofilizados. **Perspectivas online: ciências biológicas e da saúde**, v. 23, n. 7, p. 22-33, 2017.

EASTMAN, J. E.; MOORE, C. O. **Cold water soluble granular starch for gelled food composition**. U.S. Patent 4465702, 1984.

FAZAEI, M.; EMAM-DJOMEH, Z.; ASHTARI, A. K.; OMID, M. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, p. 667-675, 2012.

FERRARI, C. C.; RIBEIRO, C. P.; AGUIRRE, J. M. Secagem por atomização de polpa de amora-preta usando maltodextrina como agente carreador. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.15, n.2, p.157-165, 2012.

FREITAS, E. F. M.; LOPES, L. L.; ALVES, S. M. F.; CAMPOS, A. J. Efeito da maltodextrina no sumo da polpa de abacaxi. **Revista de Ciências Agrárias**, v.42, n.1, p. 275-282, 2019.

FORMIGA, A. S.; COSTA, F. B.; SILVA, M. S.; PEREIRA, E. M.; BRASIL, Y. L. Aspectos físicos e químicos de frutos de Quipá (Tacinga inamoena). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 5, p. 25-29, 2016.

KUCK, L. S.; NOREÑA, C. P. Z. Microencapsulation of grape (*Vitis labrusca* var. Bordo) skin phenolic extract using gum arabic, polydextrose, and partially hydrolyzed guar gum as encapsulating agents. **Food Chemistry**, v.194, n.1, p.569-576, 2016.

LANCHA, J. P.; GERMER, S. P. M.; DALLA DEA, R. C.; FERRARI, C. C.; ALVIM, I. D. Desidratação de polpa de pitanga e jabuticaba em *spray dryer*: condições de processo e propriedades físico-químicas do pó. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 6, 2012, Jaguariúna. **Anais...** Jaguariúna: CIIC, 2012. CDROM.

MIRAVET, G.; ALACID, M.; OBÓN, J. M.; LÓPEZ, J. A. F. Spray-drying of pomegranate juice with prebiotic dietary fibre. **International Journal of Food Science and Technology**, v.51, n.3, p.633-640, 2016.

MISHRA, P.; MISHRA, S.; MAHANTA, C. L. Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Embllica officinalis*) juice powder. **Food and Bioproducts Processing**, v.92, n.1, p. 252-258, 2014.

MOREIRA, G. E. G.; MAIA COSTA, M. G.; SOUZA, A. C. R. D.; BRITO, E. S. D.; MEDEIROS, M. D. F. D. D.; AZEREDO, H. M. C. D. Physical properties of spray dried acerola pomace extract as affected by temperature and drying aids. **Food Science Technology**, v. 42, n. 2, p. 641–645, 2009.

MOREIRA, T. B.; ROCHA, E. M. F. F.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Comportamento das isotermas de adsorção do pó da polpa de manga liofilizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1093–1098, 2013.

MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Spray drying of tamarind pulp: effect of process parameters using protein as carrier agente. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.39, n.6, p.1656-1664, 2015.

NUNES, J. T.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; SANTIAGO, V. M. S.; GOMES, J. P. Caracterização química e colorimétrica da polpa do mandacaru. **Revista Educação Agrícola Superior**, v. 28, n. 2, p. 102-106, 2013.

OBEROI, D. P. S.; SOGI, D. S. Effect of drying methods and maltodextrin concentration on pigment content of watermelon juice powder. **Journal of Food Engineering**, v.165, n.1, p.172-178, 2015.

OLIVEIRA, A. S. **Secagem por aspersão da polpa do mandacaru**. 200 f. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.

OLIVEIRA, A. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; BRITO, J. G. Estabilidade da polpa do *Cereus jamacaru* em pó durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 2, p. 147-153, 2015.

OLIVEIRA, G. S.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A. Caracterização e comportamento higroscópico do pó da polpa de cajá liofilizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.10, p.1059-1064, 2014.

POLITI, F. A. S. **Estudos farmacognósticos e avaliação de atividades biológicas de extratos obtidos das cascas pulverizadas de endopleurauchi (huber) cuatrec.(humiriaceae)**. 2009. 143f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2009.

QUISPE-CONDORI, S.; SALDAÑA, M. D. A.; TEMELLI, F. Microencapsulation of flax oil with zein using spray and freeze drying. **LWT - Food Science and Technology**, v.44, n.9, p.1880-1887, 2011.

REZENDE, Y. R. R. S.; NOGUEIRA, J. P.; NARAIN, N. Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (*Malpighia emarginata* DC) pulp and residue by spray and freeze drying: Chemical, morphological and chemometric characterization. **Food Chemistry**, v. 254, n. 1, p. 281-291, 2018.

SAHIN-NADEEM, H.; DİNÇER, C.; TORUN, M.; TOPUZ, A.; ÖZDEMİR, F. Influence of inlet air temperature and carrier material on the production of instant soluble sage (*Salvia fruticosa* Miller) by spray drying. **LWT - Food Science and Technology**, v.52, n.1, Pg. 31-38, 2013.

SAIKIA, S.; MAHNOT, N. K.; MAHANTA, C. L. Optimisation of phenolic extraction from *Averrhoa carambola* pomace by response surface methodology and its microencapsulation by spray and freeze drying. **Food Chemistry**, v.171, n.1, p.144-152, 2015.

SANTANA, A. A.; PAIXÃO, L. C.; OLIVEIRA, R. A.; TELIS, V. R. N. Influence of process conditions on the physicochemical properties of jussara pulp (*Euterpe edulis*) powder produced by spray drying. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.21, n.1, p. 2-13, 2018.

SANTHALAKSHMY, S.; DON BOSCO, S. J. D.; 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.

SANTOS, D. C. **Obtenção de umbu-cajá em pó pelo processo de liofilização e sua utilização no processamento de sorvetes prebióticos**. 2016. 278 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.

SHI, Y.; WANG, J.; WANG, Y.; ZHANG, H.; MA, Y.; ZHAO, X.; ZHANG, C. Inlet Temperature Affects Spray Drying Quality of Watermelon Powder. **Food Technology and Economy, Engineering and Physical Properties**, v.36, n.4, p. 321-328, 2018.

SHISHIR, M. R. I.; CHEN, W. Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. **Trends in Food Science & Technology**, v. 65, n. 1, p. 49-67, 2017.

SHITTU, T. A.; LAWAL, M. O. Factors affecting instant properties of powdered cocoa beverages. **Food Chemistry**, v. 100, n. 1, p. 91-98, 2007.

SCHUBERT, H. Food particle technology. Part I: properties of particles and particles food systems. **Journal of food engineering**, v. 6, n. 1, p. 1-30, 1993.

SOGI, D. S.; SIDDIQ, M.; DOLAN, K. D. Total phenolics, carotenoids and antioxidant properties of Tommy Atkin mango cubes as affected by drying techniques. **LWT - Food Science and Technology**, v. 62, n.1, p. 564-568, 2015.

SOUSA, F. C. DE.; SILVA, L. M. DE M.; CASTRO, D. S. DE.; MOREIRA, I. DOS. S.; ROCHA, A. P. T. Caracterização do cajá in natura, formulado e liofilizado. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia. CONTECC'2016. Foz do Iguaçu – PR, 2016.

SOUSA, K. S. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J M.; FERNANDES, T. K. S. Produção e caracterização da polpa de atemoia em pó. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 3, p. 718-728, 2015.

SOUZA, V. B.; THOMAZINI, M.; BALIEIRO, J. C. C.; FÁVARO-TRINDADE, C. S. Effect of spray drying on the physicochemical properties and color stability of the powdered pigment obtained from vinification byproducts of the Bordo grape (*Vitis labrusca*). **Food and Bioproducts Processing**, v. 93, p. 39-50, 2015.

STUNDA-ZUJEVA, A.; IRBE, Z.; BERZINA-CIMDINA, L. Controlling the morphology of ceramic and composite powders obtained via spray drying-A review. *Ceramics International*, v. 43, n. 1, p. 11543-11551, 2017.

TONON, R. V.; BARONI, A. F.; BRABET, C.; GIBERT, O.; DOMINIQUE, P.; HUBINGER, M. D. Water sorption and glass transition temperature of spray dried açai

(*Euterpe oleracea* Mart.) juice. **Journal of Food Engineering**, v. 94, n. 3-4, p. 215-221, 2009.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried acai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agentes. **Food Research International**, v. 43, n. 3, p. 907–914, 2010.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Aplicação da secagem por atomização para a obtenção de produtos funcionais com alto valor agregado a partir do açaí. **Inclusão Social**, v.6 n.2, p.70-76, 2013.

TONON, R. V.; FREITAS, S. S.; HUBINGER, M. D. Spray drying of açaí (*Euterpe oleraceae* Mart.) juice: Effect of inlet air temperature and type of carrier agent. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 35, n. 5, p. 691-700, 2011.

TZE, N. L.; HAN, C. P.; YUSOF, Y. A.; LING, C. N.; TALIB, R. A.; TAIP, F. S.; AZIZ, M. G. Physicochemical and nutritional properties of spray-dried pitaya fruit powder as natural colorant. **Food Science and Biotechnology**, v.21, n.3, p.675-682, 2012.

VILLANOVA, J. C. O.; LIMA, T. H.; PATRÍCIO, P. S.; PEREIRA, F. V.; AYRES, E. Síntese e caracterização de *beads* acrílicos preparados por polimerização em suspensão visando aplicação como excipiente farmacêutico para compressão direta. **Química Nova**, v. 35, n. 1, p. 124-131, 2012.

YUSOF, Y. A.; SALLEH, F. S. M.; CHIN, N. L.; TALIB, R. A. The drying and tableting of pitaya powder. **Journal of Food Process Engineering**, v. 35, n. 5, p. 763-771, 2012.

#### **4.4 ARTIGO IV: POLPA DE CUMBEBA EM PÓ: PROPRIEDADES FUNCIONAIS E HIGROSCOPICIDADE**

**Resumo:** Dentre as espécies de frutíferas, possivelmente as mais bem adaptadas ao semiárido brasileiro se incluem as cactáceas, a maioria das quais praticamente inexploradas, prováveis fontes de compostos bioativos e dotadas de capacidade antioxidante. Nativa do semiárido, a cumbeba ou quipá (*Tacinga inamoena*) é uma das menos estudadas, seu fruto se assemelhe ao figo-da-índia, com características organolépticas diferentes. Por se tratar de uma fruta de consumo não tradicional e sem hábito de consumo estabelecido, a exploração comercial da cumbeba será favorecida à medida em que se disponibilizem informações sobre o seu processamento, inclusive quanto aos aspectos tecnológicos e com respeito a manutenção de características nutritivas e funcionais. No trabalho objetivou-se avaliar propriedades funcionais de polpa de cumbeba em pó, determinando-se a capacidade antioxidante, perfil de fenólicos, cinética de degradação dos fenólicos totais, perfil de minerais e fibra bruta, determinando-se ainda as isotermas de adsorção do pó de cumbeba obtido em secagem por aspersão na temperatura de 150°C, com 10% de maltodextrina. Detectou-se na polpa de cumbeba em pó a presença de 9 minerais, com maiores quantidades de potássio, magnésio, cálcio e manganês. A polpa em pó apresentou capacidade antioxidante, com a presença de 28 compostos fenólicos, incluindo-se os que foram prospectados na polpa em pó obtida por liofilização, destacando-se os ácidos gálico e caftárico, a hesperidina e a catequina. A cinética de degradação dos compostos fenólicos foi bem ajustada por modelo de ordem zero e os tempos de meia vida situaram-se entre 12,95 dias na temperatura de 35° C e 15,75 dias em temperatura de 15° C. As isotermas de adsorção de água nas temperaturas 20, 30 e 40 °C se classificaram como do tipo III e, dos modelos utilizados para ajuste, o de Peleg apresentou os melhores coeficientes de determinação e os menores erros médios relativos.

**Palavras-chave:** *Tacinga inamoena*, bioativos, polifenóis, frutas do semiárido.

#### **INTRODUÇÃO**

Dentre as frutas com potencial de exploração no semiárido brasileiro, as que são produzidas por cactáceas apresentam vantagem comparativa em relação à maioria dos

frutos de consumo tradicional. Dentre as cactáceas nativas da região, a cumbeba (*Tacinga inamoena*) se destaca pela grande produtividade e por produzir frutos com aparência semelhante ao figo-da-índia, com casca de cor mais clara e sabor diferenciado. Trata-se de uma matéria-prima com potencial comercial, carecendo de estudos que determinem suas características, principalmente sob a forma processada, em uma apresentação que aumente a vida útil com vistas a ampliar o alcance de mercado.

Dentre os métodos de processamento mais simples, a secagem se caracteriza principalmente por prolongar o tempo de vida útil, conferindo a polpas de frutas versatilidade para atender aos mais diversos fins, desde o consumidor final até ao uso pela indústria na composição com outros produtos. A secagem reduz consideravelmente a atividade de água, o que torna o produto mais estável microbiologicamente, além de facilitar as etapas de transporte e armazenamento (ISHWARYA et al., 2015).

A secagem por aspensão e a liofilização são dois dos mais adequados métodos de secagem de polpas de frutas, caracterizando-se o primeiro pela transformação imediata das polpas em pós com boa qualidade, apropriados para reconstituição, a um custo acessível; e o segundo por originar produtos com a máxima preservação das propriedades originais da matéria-prima, porém a um custo elevado.

Alguns dos princípios mais procurados em frutas estão relacionados às propriedades que, além da função nutricional, atendem a necessidades que se aproximam da manutenção da saúde e prevenção de doenças, notadamente os compostos funcionais. Conforme Rufino (2010), frutas podem ser classificadas como alimento funcional, caracterizando-se por produzirem efeito metabólico ou fisiológico positivo no organismo, auxiliando na prevenção ou redução dos efeitos de doenças crônicas.

A cumbeba ainda é uma fruta pouco estudada, dispondo-se de algumas referências abordando a caracterização físico-química da polpa in natura, como Formiga et al. (2016); Dantas et al. (2016); Souza (2007). Assim, o trabalho foi realizado com o objetivo de se produzir polpa de cumbeba em pó e avaliar as propriedades funcionais por meio do teor de minerais, fibra bruta, capacidade antioxidante, perfil e cinética de degradação dos compostos fenólicos, e a higroscopicidade, por meio das isotermas de adsorção.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Seleção da melhor formulação de cumbeba em pó**

Foram produzidas 12 formulações elaboradas com polpa de cumbeba integral adicionadas de maltodextrina DE 10, utilizada como adjuvante de secagem nas proporções de 10, 20 e 30%. As formulações foram submetidas a secagem por aspersão nas temperaturas de 150, 170 e 190° C, instituindo-se um controle constituído pelas formulações liofilizadas. Dentre as amostras secadas por aspersão, selecionou-se a que apresentou a melhor retenção de fenólicos totais, antocianinas e betaxantinas, obtida na menor temperatura de secagem (150°C) e com a mais baixa concentração do adjuvante (10%). Nesse material determinou-se a capacidade antioxidante, perfil de fenólicos, cinética de degradação dos fenólicos totais, perfil de minerais, fibra bruta e higroscopicidade por meio de isotermas.

### **Determinação da capacidade antioxidante**

Na determinação da capacidade antioxidante foram utilizados dois ensaios distintos, atividade sequestrante do radical livre DPPH (RUFINO et al., 2007a) e atividade sequestrante do radical livre ABTS (RUFINO et al., 2007b), ambos em solução padrão de metanol-acetona.

#### ***Obtenção dos extratos para a determinação da capacidade antioxidante sequestrante do radical livre DPPH (1,1- difenil- 2- picrilidrazil)***

Para determinação de DPPH tomou-se uma alíquota de 1g da polpa de cumbeba em pó adicionada à 4 ml de metanol 50% por 1h. O material, após a adição do solvente, foi submetido a centrifugação a 3000 rpm durante 15 minutos. O sobrenadante foi filtrado e transferido para um balão volumétrico de 10mL, o resíduo foi transferido para um Becker adicionado de 4 mL de acetona 70%, deixando-se extrair por 1h, sendo então recuperado o sobrenadante. O processo de extração foi repetido e os dois sobrenadantes foram somados, completando o volume com água destilada. Os extratos metanólicos foram preparados a partir da diluição de 1g de amostra em 10 mL de água destilada e deixados por 1h em repouso ao abrigo da luz. Os extratos obtidos foram colocados em tubos de ensaio nas concentrações de 10, 30 e 50 µL, em triplicata. Em sequência, foram utilizadas alíquotas de 0,1 mL de cada concentração da amostra com 3,9 mL da solução de DPPH. Ao final, a absorbância foi medida a 515 nm, que foi lida após estabilização. A capacidade de sequestrar o radical foi expressa em EC<sub>50</sub>, que corresponde à concentração da amostra

necessária para reduzir em 50% a concentração inicial do radical DPPH (RUFINO et al., 2007a).

### ***Atividade sequestrante do radical livre ABTS***

A capacidade antioxidante pelo método ABTS•+ (2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)) foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Rufino et al. (2007b). O radical ABTS foi obtido pela reação de solução ABTS•+ 7 mM (5 mL) com solução de persulfato de potássio 140 mM (88 µL), mantidos a temperatura ambiente por 16 h. Após esse período, o radical foi diluído em etanol P.A. até a obtenção do valor de absorvância de 0,705 a 734 nm. A partir do extrato (30 µL) foi adicionado o radical ABTS (3,0 mL), e a leitura foi feita após 6 minutos da reação a 734 nm em espectrofotômetro UV-VIS (Thermo Fisher Scientific, modelo Evolution 60S), e o etanol foi utilizado como branco. O Trolox (0,25-10 µg/mL) foi utilizado como padrão para plotar as curvas de calibração ( $R^2 = 0,9988$ ) e os resultados expressos em µmol Trolox/g de extrato.

### **Perfil fenólicos e cinética de degradação de fenólicos totais**

O perfil de fenólicos foi determinado por HPLC de acordo com metodologia proposta por Padilha et al. (2017) e adaptado por Dutra et al. (2018). Utilizando um cromatógrafo líquido Agilent 1260 Infinity LC System (Agilent Technologies, Santa Clara - EUA) acoplado a um detector de arranjo de diodo (DAD) (modelo G1315D). Os dados foram processados no software OpenLAB CDS ChemStation Edition (Agilent Technologies, Santa Clara - EUA). A coluna utilizada foi Zorbax Eclipse Plus RP-C18 (100 × 4,6 mm, 3,5 µm) e a pré-coluna foi Zorbax C18 (12,6 × 4,6 mm, 5 µm) (Zorbax, EUA). A temperatura do forno foi de 35 °C e o volume de injeção foi de 20µL da amostra, previamente diluída na fase A, e filtrada através de membrana de 0,45 µm (Millex Millipore, Barueri, SP, Brasil). O fluxo de solvente foi de 0,8 mL min<sup>-1</sup>. O novo gradiente usado na separação foi de 0 a 5 minutos: 5% de B; 5 a 14 min: 23% de B; 14 a 30 min: 50% de B; 30 a 33 min: 80% de B, em que o solvente A era uma solução de ácido fosfórico (0,1 M, pH = 2,0) e o solvente B era metanol acidificado com 0,5% de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. A detecção

dos compostos foi realizada em 220, 280, 320, 360 e 520 nm, e a identificação e quantificação por comparação com padrões externos.

Na determinação da cinética de degradação, as amostras foram acondicionadas em recipientes de vidro e armazenadas em potes hermeticamente fechados com solução saturada de cloreto de sódio (NaCl), criando um ambiente com umidade relativa média de 75%. Os recipientes foram armazenados em câmaras tipo B.O.D. nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C. As análises foram realizadas no decorrer de 16 dias, com intervalos de um dia. Na determinação do teor de fenólicos totais, foi utilizado o método de Folin-Ciocalteu, segundo a metodologia descrita por Waterhouse (2006). As constantes cinéticas de ordem zero e de primeira ordem foram calculadas ajustando-se os modelos cinéticos apresentados na Tabela 1, utilizando-se regressão não linear por meio do programa computacional Statistica 7.0.

**Tabela 1.** Modelos cinéticos de ordem zero e primeira ordem.

Ordem da reação	Modelo
Zero	$A = A_0 - K\theta$
Primeira	$\ln \frac{A}{A_0} = -K\theta$

Em que: A – concentração do parâmetro avaliado após um tempo “ $\theta$ ”;  $A_0$  - concentração inicial do parâmetro avaliado; k - constante da velocidade da reação e  $\theta$  - tempo.

Para avaliar o modelo que produziu o melhor ajuste foi utilizado como critério o coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

O tempo de meia vida ( $\theta_{(1/2)}$ ) para reação de ordem zero foi calculado conforme a Equação 1 (LABUZA, 1982), e o de primeira ordem com a Equação 2 (AZEREDO et al., 2004).

$$\theta_{(1/2)} = \frac{A_0}{2K} \quad (1)$$

$$\theta_{(1/2)} = \frac{0,693}{K} \quad (2)$$

Em que:

$A_0$  - concentração inicial do parâmetro avaliado;

K – constante da reação

Foi utilizada a equação de Arrhenius (Equação 3) para verificar o efeito da temperatura na constante cinética (K), associada às reações de degradação do teor de fenólicos, nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C e teor de água relativa de 75%. O valor de K utilizado foi o do modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais das cinéticas de degradação.

$$K = A e^{\left(\frac{-EA}{RT}\right)} \quad (3)$$

Em que:

K – constante da reação

A – fator pré-exponencial

EA – energia de ativação (energia mínima requerida para que uma reação se inicie)

R – constante universal dos gases (8,31 J mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>)

T – temperatura absoluta (K)

O fator  $Q_{10}$ , que indica o aumento ou a diminuição na taxa de uma reação quando o produto é mantido em uma temperatura 10 °C maior, foi determinado conforme a Equação 4, utilizando-se o K do modelo de melhor ajuste.

$$Q_{10} = \frac{K(T+10)}{KT} \quad (4)$$

Em que:

K – constante da reação;

T – temperatura absoluta (K)

### **Perfil de minerais e fibra bruta**

Os minerais foram identificados e quantificados por Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva, EDX-7000 da marca Shimadzu. As amostras convertidas em cinzas foram colocadas em cubetas cobertas por um filme de polipropileno de 5 µm de espessura e posteriormente submetidas ao vácuo. Foram utilizadas as seguintes condições de operação do equipamento, tensão do tubo de 15 keV

(Na a Sc) e 50 keV (Ti a U) e com um colimador de 10 mm, com um detector de estado sólido Si (Li). Os resultados foram expressos em mg/100g.

O teor de fibra bruta foi determinado em triplicata, segundo o método Ba 6a-05 da AOAC (2009) que consiste em digestão ácida (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1,25%) com refluxo por 30 min a partir da ebulição; lavagem da amostra com água quente até a neutralização; digestão alcalina (NaOH 1,25%) com refluxo por 30 min a partir da ebulição e lavagem da amostra com água quente até neutralização. Posteriormente, lavagem da amostra utilizando 5 mL de acetona e 5 mL de álcool etílico. Na sequência, as amostras foram colocadas em estufa a 105°C/4h, pesadas, e colocadas em mufla a 550 °C/2 h e novamente pesadas para o cálculo do percentual de fibra bruta (Equação 5).

$$Fibra\ Bruta\ \% = \frac{(A-B)}{C} \times 100 \quad (5)$$

Em que:

A= massa do cadinho + resíduo (g);

B= massa do cadinho + cinza (g);

C= massa da amostra (g).

### Isotermas de adsorção de água

As isotermas de adsorção de água foram determinadas utilizando-se o método indireto, com as medidas de atividade de água feitas em higrômetro Aqualab (Decagon Devices), na temperatura de 25 °C (CRAPISTE e ROTSTEIN, 1982).

Foram ajustados modelos matemáticos (Tabela 2) aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água utilizando-se regressão não linear por meio do programa computacional Statistica 7.0.

**Tabela 2.** Modelos ajustados aos dados de adsorção de água da polpa de cumbeba em pó desidratada por aspersão a 150°C com 10% de maltodextrina.

Modelo	Equação
GAB	$X_{eq} = \frac{X_m CKa_w}{[(1 - Ka_w)(1 - Ka_w + CKa_w)]}$

Oswin	$X_{eq} = a \left( \frac{a_w}{1 - a_w} \right)^b$
Peleg	$X_{eq} = K_1 a_w^{n_1} + K_2 a_w^{n_2}$
Bet	$X_{eq} = (Xm * C * aw) / ((1 - aw) * (1 + (C - 1) * aw))$

$X_{eq}$  – Teor de água de equilíbrio (% base seca);  $a_w$  – atividade de água;  $Xm$  – umidade na monocamada molecular;  $C$  e  $K$  – parâmetros que dependem da temperatura e natureza do produto;  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $C_1$ ,  $B_1$ ,  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $n_1$  e  $n_2$  – constantes dos modelos.

Os critérios usados para determinação do melhor ajuste foram o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o desvio percentual médio (P), calculado conforme a Equação 6.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{X_{eq(exp)} - X_{eq(teo)}}{X_{eq(exp)}} \right) \quad (6)$$

Em que:

P – desvio percentual médio (%);

$X_{eq(exp)}$  – teor de água de equilíbrio experimental (% base seca);

$X_{eq(teor)}$  – teor de água de equilíbrio estimado pelo modelo (% base seca);

n – número de dados experimentais.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 são apresentados os resultados da composição mineral dos pós de cumbeba desidratada por aspersão contendo 10% de maltodextrina.

O elemento químico presente em maior quantidade foi o potássio, correspondendo a 1227,40 mg/100g dos minerais presentes, teor suficiente para suprir mais de 25% da ingestão diária recomendada (IDR) de 4.700 mg para um adulto (BRASIL, 1998; USDA, 2010). Seguem-se ainda valores apreciáveis de magnésio (4% da IDR) de 260 mg e de cálcio (52% da IDR) de 1000 mg recomendada para adulto.

**Tabela 3.** Composição mineral dos pós de cumbeba desidratada por aspersão contendo 10% de maltodextrina

<b>Minerais (mg/100g)</b>	<b>Cumbeba em pó</b>
Sódio (Na)	233,40
Magnésio (Mg)	1087,52
Fósforo (P)	62,64
Potássio (K)	1227,40
Cálcio (Ca)	515,80
Manganês (Mn)	20,79
Ferro (Fe)	5,34
Cobre (Cu)	0,44
Zinco (Zn)	1,55

Foram identificados na composição mineral da polpa e casca de frutos de pêsego conteúdo significativo de potássio (1.200 mg/100g), cálcio (70 mg/100g) e magnésio (50 mg/100g) (SAIDANI et al., 2017). Medeiros et al. (2020) no estudo da composição química da fruta de *Licania tomentosa* (Benth.) reportaram que as polpas continham maiores concentrações de minerais comparados às sementes, especialmente cálcio, magnésio, sódio e potássio, com quantidades de 167,8; 83,35; 144,8 e 887,3 mg/100g.

O teor de sódio encontrado no pó de cumbeba (233,40 mg/100g) foi semelhante ao encontrado em pós de manga da variedade Rosa (233,33mg/00g) no estudo realizado por (BEZERRA et al., 2011). Orqueda et al. (2017), estudando a composição de micronutrientes de frutos de (*Ziziphus mistol*), verificaram que a polpa apresentou-se como sendo uma fonte de minerais, com destaque para potássio, magnésio, cálcio e zinco, com percentuais de 1599,9; 204,7; 565,4 e 22,7 mg/100g.

A polpa de cumbeba desidratada apresentou um conteúdo significativo de manganês (20,79 mg/100g), superando, em porção de 100 gramas, nove vezes a IDR para um adulto, correspondente a 2,3 mg (BRASIL, 1998; ANVISA, 2005; USDA, 2010).

Freitas et al. (2016) analisando os minerais presentes na farinha do morango, quantificaram o teor de zinco e manganês, relatando valores entre 3,88 a 6,48 mg/100 (Zn) e 0,40 a 0,66 mg/100g (Mn).

A polpa em pó de cumbeba apresentou um teor de fibra bruta de 3,55 Lima et al. (2017) e Faria et al. (2016) estudando pós produzidos a partir de cascas de pequi e cascas

de jabuticaba reportaram porcentagens de fibra bruta equivalentes a 3,38% no pó da casca de pequi e de 3,89% no pó da casca de jabuticaba.

Orqueda et al. (2017) caracterizando a polpa em pó de frutos da espécie (*Ziziphus mistol*) determinaram o teor de fibra de cada parte da fruta em pó, obtendo como resultados 23,2; 13,8 e 18,8% para casca, polpa e semente; Tze et al. (2012) analisando as propriedades físico-químicas da pitaya desidratada com diferentes temperaturas e adições de maltodextrina reportaram conteúdo de fibra bruta equivalente a 38,05%.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados obtidos para capacidade antioxidante da polpa em pó, determinados com as metodologias DPPH, expressa como concentração final para inibir 50% do radical, e ABTS, expressa como capacidade antioxidante total equivalente ao Trolox ( $\mu\text{mol}$  de Trolox/100g polpa). De acordo com os resultados obtidos por diferentes ensaios não são diretamente comparáveis devido à diferença nos mecanismos de captura radical que ocorrem em cada método (CHAVES et al., 2018).

**Tabela 4.** Capacidade antioxidante da polpa de cumbeba em pó

Cumbeba em pó	DPPH	ABTS
	EC <sub>50</sub> (g de polpa em pó/g de DPPH)	( $\mu\text{mol}$ de Trolox/g polpa em pó)
150°C – 10%	7,79 ± 0,72	170,6 ± 1,61

A extração metanólica (metanol-acetona) foi a que resultou na melhor determinação da capacidade antioxidante da polpa de cumbeba em pó.

O valor de DPPH é inferior ao encontrado por Tze et al. (2012), que obteve como resultado um percentual de 2,25 em termos de EC<sub>50</sub> em pitaya desidratada. Os autores justificam os resultados citando a influência dos materiais incorporados, como a maltodextrina e os solventes orgânicos utilizados na extração. Aruwa et al. (2019), em estudo da atividade antioxidante de diferentes extratos da polpa de *Opuntia ficus-indica* submetida a secagem em estufa a 45°C e em liofilizador, constataram que o hexano foi o meio extrator mais eficiente para representar a capacidade de sequestro do radical, com menores valores de EC<sub>50</sub> (60,97 a 80,22 mg / mL) de DPPH.

Morais et al. (2019), analisando a atividade antioxidante pelo método de DPPH (EC<sub>50</sub>) da farinha da casca e polpa de maçã cv. gala, reportaram maior capacidade

antioxidante na farinha da casca, com 2,86 mg/mL, com valor na farinha da polpa de 3,82 mg/mL.

Bennemann et al. (2018) avaliaram a atividade antioxidante das farinhas de bagaço de uva desidratadas em estufa e liofilizador, e concluíram que o EC<sub>50</sub> para o radical ABTS apresentou melhor resultado na amostra liofilizada da cultivar Merlot (39,52 µg /mL), seguida pela Cabernet Sauvignon (72,98 µg /mL), Sangiovese (93,18 µg /mL) e Sauvignon Blanc (105,48 µg /mL). Em relação ao ensaio ABTS, o valor obtido foi superior ao reportado por Braga et al. (2019) ao avaliarem a atividade antioxidante em amora desidratada com adição de maltodextrinas (DE=10 e 20), observaram valores de 9,4 e 132,2 µmol de Trolox/g da polpa em pó, respectivamente. Neta et al. (2019) avaliando a capacidade antioxidante em graviola desidratada, obteve como resultado valor de 596,5 µmol de Trolox/g da polpa em pó, sendo superior ao da polpa de cumbeba em pó.

O perfil de compostos fenólicos da polpa de cumbeba desidratada por aspensão e liofilização é apresentado na Tabela 5.

As amostras de cumbeba em pó se destacaram por apresentarem, 12 compostos fenólicos, incluindo 3 ácidos fenólicos: ácido gálico, síringico e caftárico, sendo 9 flavonóides (hesperidina, procianidina B1, procianidina B2, galato de epigallocatequina, epicatequina, galato de epicatequina, quercitina 3-glucósido, rutina e campferol 3-glucósido) foram identificados na polpa de cumbeba em pó desidratada por aspensão e quantificados pelo método de HPLC. Já na polpa liofilizada foram quantificados 16 compostos fenólicos, dos quais 4, são ácidos fenólicos: ácido síringico, caftárico, clorogênico e cafeico, e 12, são flavonoides (naringenina, procianidina B1, catequina, procianidina B2, galato de epigallocatequina, epicatequina, galato de epicatequina, trans-veratrol, miricetina, quercitina 3-glucósido, rutina e campferol 3-glucósido).

**Tabela 5.** Teor de compostos fenólicos de polpas de cumbeba desidratadas por aspensão (150° C) e liofilização (-50° C) determinados por HPLC

Compostos fenólicos	Teores (mg/100 g)	
	150°C (10%)	-50°C (10%)
Ácido gálico	15,31	-
Ácido síringico	0,13	0,12
Hesperidina	10,24	-

Cis-Resveratrol	-	-
Naringenina	-	0,72
Procianidina B <sub>1</sub>	0,64	0,56
Catequina	-	17,57
Procianidina B <sub>2</sub>	1,69	0,91
Galato de epigallocatequina	0,58	1,58
Epicatequina	0,13	0,19
Galato de epicatequina	2,53	6,01
Procianidina A <sub>2</sub>	-	-
Ácido caftárico	1,08	7,27
Ácido clorogênico	-	0,86
Ácido cafeico	-	0,58
Ácido p-cumárico	-	-
Trans-resveratrol	-	0,41
Miricetina	-	2,57
Quercitina 3-Glucósido	0,87	4,32
Rutina	0,21	0,83
Campferol 3-glucósido	0,47	0,13

(-) Não detectado

Os conteúdos totais de ácidos fenólicos variaram de 0,13 a 15,31 mg/100g na amostra desidratada por aspersão e de 0,12 a 7,27 mg/100g na amostra liofilizada, enquanto nos flavonoides totais essa variação foi de 0,13 a 10,24 mg/100g e de 0,13 a 17,57 mg/100g, respectivamente. O ácido gálico e o caftárico foram os ácidos fenólicos detectados em quantidades significativamente maiores nas polpas desidratadas por aspersão e por liofilização, com valores de 15,31 e 7,27 mg/100g. E dos flavonoides os destaques para ambos, foram hesperidina e catequina, com valores de 10,24 e 17,57 mg/100g.

De maneira geral, na polpa liofilizada foi identificado um maior número de flavonoides e de ácidos fenólicos e, quando presentes em ambas as formas de secagem, os teores no liofilizado são superiores, na maioria dos casos. Constata-se que entre os ácidos fenólicos os que apresentaram maiores concentrações foram o gálico e o caftárico, com maior valor referente ao gálico, identificado apenas na amostra desidratada por aspersão. Entre os flavonoides, destacou-se a catequina, presente na amostra liofilizada e ausente na secada por aspersão.

Bennemann et al. (2018) no estudo dos compostos bioativos em farinhas de bagaço de uvas desidratadas em liofilizador e em estufa, reportaram que os métodos de secagem foram preponderantes nos teores dos compostos fenólicos das amostras, com os maiores teores de epicatequina, catequina, quercetina e rutina identificados na amostra liofilizada, com valores de 12,7; 26,1; 35,5 e 29,9 mg/100 g, respectivamente. Porém, assim como observado nos pós de cumbeba, alguns elementos encontrados nas farinhas desidratadas em estufa se mostraram superiores aos encontrados nas liofilizadas, a saber: na cultivar Merlot, 9,46 mg/100g de ácido caféico; na Cabernet Sauvignon, 11,94 e 25,13 mg/100g de rutina e quercetina; e na cultivar Sangiovese, 1,41mg/100g de ácido gálico.

A hesperidina é reportada como um flavonoide típico de espécies cítricas, com diversas propriedades biológicas, principalmente na prevenção de câncer e doenças cardiovasculares (ROOHBAKHSH et al., 2015); alega-se que também possui o efeito de prevenir o estresse oxidativo (ZHANG et al., 2020). As catequinas e epicatequinas teriam como principal função a inibição da proliferação celular desordenada (FARIA et al., 2006), por se tratar de um composto de alta capacidade antioxidante.

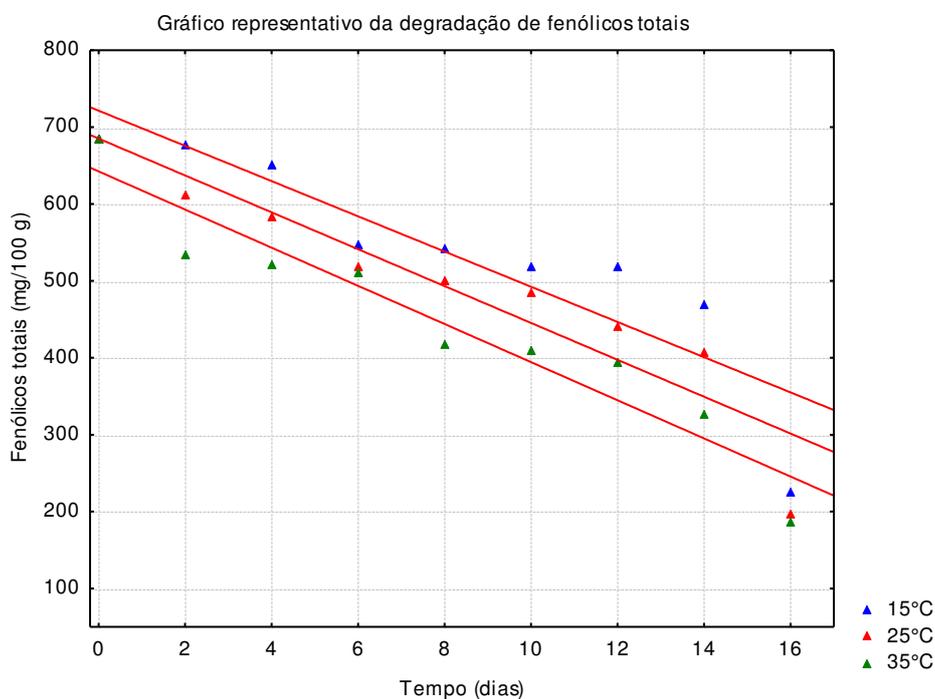
Pereira et al. (2020) ao analisarem os compostos fenólicos presentes em frutos de *mutamba* (*Guazuma ulmifolia* Lam.) verificaram a presença principalmente de flavonoides, trímero de procianidina C1 (972,8 µg/g), dímero de procianidina B2(143,4 µg/g), catequina (103,8 µg/g), epicatequina (98,5 µg/g) e rutina (74,6 µg /g).

### **Cinética de degradação de compostos fenólicos durante o armazenamento**

Na Figura 1 são apresentados os pontos experimentais referentes à cinética de degradação dos compostos fenólicos da polpa em pó de cumbeba secada por aspersão, com ajustes por modelo de ordem zero, cujo coeficiente de determinação superou o obtido com ajuste por modelo de primeira ordem. Ao longo dos 16 dias de análise, o teor de fenólicos sofreu reduções consistentes em todas as temperaturas, sendo estas mais intensas à medida que a temperatura foi aumentada. A amostra submetida à temperatura de 35°C foi mais susceptível a degradação, com valor de  $K=24,80$ . Rekas et al. (2017) igualmente constataram que o modelo de ordem zero utilizado para descrever a cinética de degradação de compostos fenólicos no óleo de colza foi o que apresentou melhor ajuste.

No tempo zero as amostras apresentavam teor de 686,1 mg/100 g de fenólicos totais e, ao final dos 16 dias, os valores atingiram 226,0; 197,9 e 187,3 mg/100g nas

temperaturas de 15, 25 e 35°C, com percentuais de redução de 67, 71 e 73%, respectivamente.



**Figura 1.** Cinética de degradação de fenólicos totais da polpa de cumbeba em pó

Na Tabela 6 são apresentados os parâmetros obtidos dos ajustes da cinética de degradação dos compostos fenólicos por modelos de ordem zero e de primeira ordem, nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C. Verifica-se os melhores ajustes, indicados pelo coeficiente de determinação, do modelo de ordem zero.

Temperaturas mais altas foram associadas a maiores valores de  $k$  e menor  $\theta_{1/2}$ , indicando a redução mais rápida dos compostos. O tempo teórico necessário para que metade do conteúdo de compostos fenólicos degradasse foi de 15,75; 14,29 e 12,95 dias para as temperaturas de 15, 25 e 35°C. Kim et al. (2018) reportaram que o armazenamento em temperaturas mais altas resultou em menores valores de  $\theta_{1/2}$ , relatando que a em a altas temperaturas.

**Tabela 6.** Parâmetros cinéticos da degradação dos compostos fenólicos totais da polpa de cumbeba desidratada por aspersão a 150°C com 10% de maltodextrina.

150°C a 10%		
Ordem	T (°C)	Parâmetros

		k	A <sub>0</sub>	R <sup>2</sup>	θ <sub>1/2</sub> (dias)
Zero	15	22,90	721,46	0,90	15,75
	25	23,98	685,14	0,94	14,29
	35	24,80	642,45	0,96	12,95
		k		R <sup>2</sup>	θ <sub>1/2</sub> (dias)
Primeira	15	0,04		0,79	17,37
	25	0,05		0,85	13,84
	35	0,06		0,83	11,58

Na Tabela 7 são apresentadas a energia de ativação e os quocientes de temperatura para a descrição da reação de degradação dos compostos fenólicos. O valor da energia de ativação pode ser considerado baixo quando comparado com os valores reportados por outros autores, indicando maior propensão a degradação da polpa em pó de cumbeba pelo efeito da temperatura. Summen e Erge (2014) encontraram valor para Ea de 32,2 kJ/mol em polpa de framboesa; Ozsen e Erge (2013) determinaram Ea de 18,95 kJ/mol em polpa de morango silvestre. Segundo Kim et al. (2018) as diferenças nas energias de ativação podem estar relacionadas ao processamento da matéria-prima e às condições de armazenamento. Os valores de Q<sub>10</sub>, de 1,05 (15-25 °C) e de 0,95 (25-35 °C), são próximos aos encontrados por Ozsen e Erge (2013), com valores de 1,1 e 1,5.

**Tabela 7.** Energia de ativação (E<sub>a</sub>) da reação e quociente de temperatura (Q<sub>10</sub>) da polpa de cumbeba desidratada por aspersão a 150°C com 10% de maltodextrina.

	E <sub>a</sub> (KJ mol <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	Q <sub>10</sub> (15-25 °C)	Q <sub>10</sub> (25-35 °C)
150°C – 10%	2,95	0,99	1,05	0,95

Na Tabela 8 são apresentados os parâmetros dos modelos matemáticos de GAB, Oswin, BET e Peleg ajustados aos dados experimentais de adsorção de água nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C das polpas de cumbeba em pó obtidas por aspersão, com os coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) e erros médios relativos (P).

Com exceção do modelo de BET, todas as equações apresentaram coeficientes de determinação superiores a 0,97. De acordo com Silva et al. (2005) valores do desvio percentual médio (P) inferiores a 10% indicam que o modelo representa um ajuste adequado. Moreira et al. (2013) ao determinarem as isotermas de adsorção de manga em pó encontraram valores de R<sup>2</sup> entre 0,9986 a 0,9993 e P entre 4,0920 a 5,1750% para as

temperaturas de 25, 30 e 35 °C. Braga et al. (2019) encontraram valores de  $R^2$  entre 0,9975 a 0,9647 e P entre 4,17 a 12,40% a 25°C, no estudo das isotermas de adsorção da amora desidratada.

O modelo que melhor ajustou os dados experimentais foi o de Peleg, com maiores coeficientes de determinação e menores desvios percentuais médios para as três temperaturas. Apesar disso, o modelo de GAB também resultou em ajustes satisfatórios, com  $R^2$  acima de 0,99 e P inferiores a 6,5. Silva et al. (2015), estudando isotermas de adsorção de umidade do umbu-cajá em pó, verificou que o modelo com melhor ajuste aos dados experimentais foi o de Peleg. Catelam, Trindade e Romero (2011), estudando as isotermas da polpa do maracujá (*Passiflora edulis*) desidratado em secagem por aspersão e liofilização, reportou melhores ajustes com o modelo de GAB.

Verifica-se um comportamento de redução dos valores de teor de água da monocamada molecular ( $X_m$ ) do modelo de GAB entre as temperaturas de secagem de 20 e 40° C, tendência também relatada por Sormoli e Langrish (2015) ao investigarem o comportamento higroscópico do pó de laranja atomizado nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C. Comportamento semelhante foi reportado por Moreira et al. (2013), determinando as isotermas de adsorção da polpa de manga em pó liofilizada, em que os autores reportaram que a elevação da temperatura de 25 a 35°C resultou em um incremento dos valores da umidade na monocamada. A constante  $X_m$  representa a quantidade de água adsorvida nos sítios específicos presentes na superfície e está diretamente relacionado com a estabilidade da matriz alimentar (COMUNIAN et al., 2011), constituindo um importante parâmetro para avaliar a estabilidade dos produtos, de forma que quanto menor o valor, maior a estabilidade. De acordo com Ferreira e Pena (2003), um aumento na temperatura pode provocar modificações na estrutura física do produto, disponibilizando maior quantidade de sítios ativos com afinidade por moléculas de água ou aumentar a solubilidade de solutos presentes no produto, retendo mais moléculas de água na monocamada.

A constante C do modelo de GAB, que representa as interações entre os sítios ativos do produto e as moléculas de água (Alexandre et al. (2007), apresentou redução entre as temperaturas de 20 e 40° C, enquanto a constante K, que representa segundo os autores o fator de correção das propriedades das moléculas na multicamada com relação ao volume do líquido, apresentou algum aumento ou estabilidade. O mesmo comportamento foi reportado por Sormoli et al. (2015) e Lins et al. (2017) em pó de

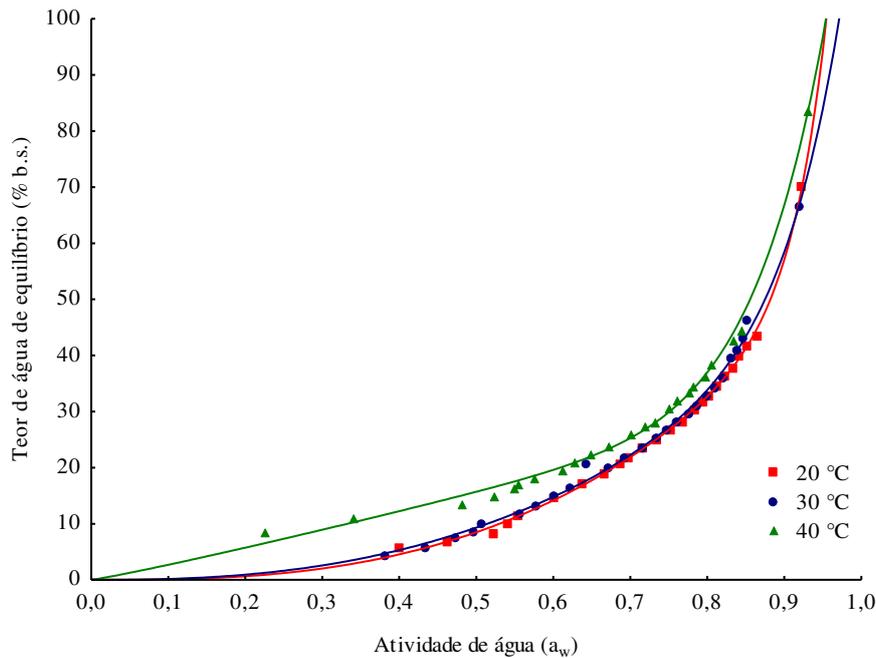
laranja atomizado em *spray dryer* e em polpa de seriguela pulverizada em leito de jorro, respectivamente.

**Tabela 8.** Parâmetros de ajuste dos modelos de GAB, Oswin, BET e Peleg, coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) e desvios percentuais médios (P) das isotermas de adsorção de água nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C do pó de cumbeba obtida por aspersão a 150°C com 10% de maltodextrina.

Modelos	Parâmetros do modelo	Temperatura da isoterma (°C)		
		20	30	40
<b>GAB</b>	X <sub>m</sub>	10,9099	15,2557	8,7320
	C	1,0176	0,6612	0,9793
	K	0,9353	0,8978	0,9600
	R <sup>2</sup>	0,9950	0,9933	0,9989
	P (%)	5,3810	6,3384	2,0773
<b>Oswin</b>	A	11,1959	11,6274	14,7183
	B	0,7505	0,7422	0,6686
	R <sup>2</sup>	0,9887	0,9790	0,9980
	P (%)	9,5029	13,5534	2,7991
<b>BET</b>	X <sub>m</sub>	6,0859	6,3191	6,7883
	C	25,7667	12,0465	7,3663
	n	10,3321	6,7864	2,0653
	R <sup>2</sup>	0,9587	0,9427	0,9380
	P (%)	14,5150	17,8234	9,6220
<b>Peleg</b>	k <sub>1</sub>	59,3897	75,4611	111,4130
	n <sub>1</sub>	2,8063	13,8205	10,4291
	k <sub>2</sub>	134,05	53,2918	33,3360
	n <sub>2</sub>	22,2044	2,5183	1,0935
	R <sup>2</sup>	0,9989	0,9956	0,9959
	P (%)	2,4892	3,6192	4,2821

De acordo com Blahovec (2004), as isotermas dos pós de cumbeba se classificam como do Tipo III, em razão dos valores de  $0 < k \leq 1$  e  $0 \leq C \leq 2$  nas três temperaturas estudadas.

Na Figura 2 são apresentadas as isotermas de adsorção de água nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C da polpa em pó de cumbeba obtida em secagem por aspersão, ajustadas pelo modelo de Peleg. Verifica-se menor influência do aumento de temperatura entre 20 e 30° C sobre as isotermas, com as curvas representando essas temperaturas praticamente coincidindo em todas as faixas de atividade de água, diferentemente da curva referente a 40° C, com maiores teores de água de equilíbrio em toda a faixa avaliada.



**Figura 2.** Isotermas de adsorção de água nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C da polpa em pó de cumbeba ajustada pelo modelo de Peleg.

Ribeiro et al. (2019) reportaram comportamento semelhante ao estudarem o comportamento higroscópico do pó de acerola obtido por aspersão nas temperaturas de 25, 35 e 45°C.

## CONCLUSÕES

A polpa de cumbeba em pó é fonte de potássio, magnésio, cálcio e manganês, fibra bruta e apresenta capacidade antioxidante;

A polpa em pó produzida em secagem por aspersão apresentou 12 compostos fenólicos e a liofilizada, 16 compostos, destacando-se o ácido gálico e a hesperidina na secagem por aspersão e a catequina e o ácido caftárico na liofilização;

A cinética de degradação dos compostos fenólicos foi bem ajustada por modelo de ordem zero, resultando em tempos de meia vida entre 12 e 16 dias em temperaturas de 35 a 15° C;

As polpas em pó obtidas em secagem por aspersão geraram isotermas do tipo III, com bons ajustes pelos modelos de Peleg e GAB.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.7, n.1, p.11-20, 2007.

ANVISA. Agencia Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC n. 269, de 22 de setembro de 2005, que dispõe sobre o Regulamento Técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais. **Diário Oficial da Republica Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2005.

AOAC. **Crude Fiber Analysis in Feeds by Filter Bag Technique Ba 6a-05**. 2009.

ARUWA, C. E.; AMO, S.; KUDANGA, T. Phenolic compound profile and biological activities of Southern African *Opuntia ficus-indica* fruit pulp and peels. *Food Science and Technology*, v. 111, n.1, p. 337–344, 2019.

AZEREDO, H. M. C.; FARIA, J. A. F.; BRITO, E. S. Fundamentos de cinética de degradação e estimativa de vida de prateleira. In: AZEREDO, H. M. C. **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. Fortaleza: Editora Técnica, 2004.p. 77-95.

BENNEMANN, G. D.; BOTELHO, R. V.; TORRES, Y. R.; CAMARGO, L. A.; KHALIL, N. M.; OLDONI, T. L. C.; SILVA, D. H. Compostos bioativos e atividade antirradicalar em farinhas de bagaço de uvas de diferentes cultivares desidratadas em liofilizador e em estufa. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, e2017205, 2018.

BEZERRA, T. S.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A.; MAIA, G. A.; CLEMENTE, E. Avaliação físico-química e aplicação de modelos matemáticos na predição do comportamento de polpas de manga desidratadas em pó. **Revista Ceres**, v. 58 n. 3, p. 278-283, 2011.

BLAHOVEC, J. Sorption isotherms in materials of biological origin mathematical and physical approach. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n.4, p. 489–495, 2004.

BRAGA, M. B.; VEGGI, P. C.; CODOLO, M. C.; GIACONIA, M. A.; RODRIGUES, C. L.; BRAGA, A. R. C. Evaluation of freeze-dried milk-blackberry pulp mixture: Influence of adjuvants over the physical properties of the powder, anthocyanin content and antioxidant activity. **Food Research International**, v. 125, n.1, p.2-12, 2019.

BRASIL. Portaria n° 27, de 13 de janeiro de 1998. Aprova o Regulamento Técnico referente à Informação Nutricional Complementar (declarações relacionadas ao conteúdo de nutrientes), constantes do anexo desta Portaria. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 1998.

CATELAM, K. T.; TRINDADE, C. S. F.; ROMERO, J. T. Isotermas de adsorção de água e calor de sorção isostérica de polpa de maracujá desidratada, seca por pulverização e liofilizada, com aditivos e leite desnatado. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n. 6, p.1196-1203, 2011.

CHAVES, V. C.; BOFF, L.; VIZZOTTO, M.; CALVETE, E.; REGINATTO, F. H.; SIMÕES, C. M. O. Berries grown in Brazil: anthocyanin profiles and biological properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.98, n.11, p.4331–4338, 2018.

COMUNIAN, T. A.; MONTERREY-QUINTERO, E. S.; THOMAZINI, M.; BALIEIRO, J. C. C.; PICCONE, P.; PITTIA, P.; FAVARO-TRINDADE, C. S. Assessment of production efficiency, physicochemical properties and storage stability of spray-dried chlorophyllide, a natural food colourant, using gum Arabic, maltodextrin and soy protein isolate-based carrier systems. **International Journal of Food Science and Technology**, v.46, n.6, p.1259-1265, 2011.

CAPRISTE, G. H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorptional equilibrium data for starch-containing foodstuffs. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 47, n. 5, p. 1501-1507, 1982.

DANTAS, R. L.; SILVA, S. M.; DANTAS, A. L.; GUIMARÃES, G. H. C.; LIMA, R. P.; NASCIMENTO, R. S.; SILVA, M. C. A.; SILVA, R. S.; SANTOS, D.; MENDONÇA, R. M. N. Bioactive compounds and antioxidant activity of Tacinga

inamoena (K. Schum.) fruit during maturation. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 17, p. 1511- 1518, 2016.

DUTRA, M. C. P.; SOUZA, J. F.; VIANA, A. C.; OLIVEIRA, D.; PEREIRA, G. E.; LIMA, M. S. Rapid determination of the aromatic compounds methyl-anthranilate, 2'-aminoacetophenone and furaneol by GC-MS: Method validation and characterization of grape derivatives. **Food Research International**, v.107, n. 1, p. 613-618, 2018.

FARIA, A.; CALHAU, C.; DE FREITAS, V.; MATEUS, N. Procyanidins as antioxidants and tumor cell growth modulators. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 54, n. 6, p. 2392-2397, 2006.

FARIA, G. S.; JARDIM, F. B. B.; SILVA, A. C.; COSTA, L. L.; ABDALLA, D. R. Caracterização química da casca de jabuticaba (*myrciaria jabuticaba*) liofilizada e sua aplicação em leite fermentado potencialmente simbiótico. **JCBS**, v. 2, n.1, p. 02-09, 2016.

FERREIRA, C. D.; PENA, R. S. Comportamento higroscópico da farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, n.1, p.251-255, 2003.

FORMIGA, A. S.; COSTA, F. B.; SILVA, M. S.; PEREIRA, E. M.; BRASIL, Y. L. Aspectos físicos e químicos de frutos de Quipá (Tacinga inamoena). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 5, p. 25-29, 2016.

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.

ISHWARYA, S. P.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C.; STAPLEY, A. G. F. Spray-freezedrying: A novel process for the drying of foods and bioproducts. **Trends in Food Science and Technology**, v. 41, n. 2, p. 161–181, 2015.

KIM, A. N., LEE, K. Y., KIM, H. J., CHUN, J., KERR, W. L., & CHOI, S. G. The Effects of Added Water and Grinding Temperature on Stability and Degradation Kinetics of

Antioxidant Activity, Phenolic Compounds, and Ascorbic Acid in Ground Apples. **Journal of food science**, v. 83, n. 12, p. 3019-3026, 2018.

LABUZA, T.P. **Shelf-life dating of foods**. Westport: Food & Nutrition, 1982. 500p.

LIMA, V. J.; SILVA, A. R. A.; VILLACA, C. L. P. B.; RIBEIRO, A. L. A. avaliação do impacto da inclusão do farelo da casca do pequi (*caryocar coriaceum* wittm.) em dietas de matrizes suínas em gestação. **Acta Kariri Pesquisa e Desenvolvimento**, v.2, n.1, p.20-28, 2017.

LINS, A. D. F.; ROCHA, A. P. T.; GOMES, J. P.; FEITOSA, R. M.; ARAUJO, G. T.; SANTOS, D. C. Adsorption isotherms of the red mombin powder produced in spouted bed dryer. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 8, p. 562-567, 2017.

MEDEIROS, J. L.; ALMEIDA, T. S.; NETO, J. J. L.; FILHO, L. C. P. A.; RIBEIRO, P. R. V.; BRITO, E. S.; MORGANO, M. A.; SILVA, M. G.; FARIAS, D. F. Chemical composition, nutritional properties, and antioxidant activity of *Licania tomentosa* (Benth.) fruit. **Food Chemistry**, v.313, 126117, 2020.

MORAIS, D. C. M.; ABREU, D. J. M.; MENDES, D. C. S.; ALENCAR, U. R.; AMORIM, K. A.; DAMIANI, C. Análise de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante de casca e polpa de maçã e suas respectivas farinhas. *Revista desafios*, v. 6, p.5-9, 2019.

MOREIRA, T. B.; ROCHA, E. M. F. F.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Comportamento das isotermas de adsorção do pó da polpa de manga liofilizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1093-1098, 2013.

NETA, L. M. T. S.; JESUS, M. S.; SILVA, J. L. A.; ARAUJO, H. C. S.; SANDES, R. D. D.; SHANMUGAM, S.; NARAIN, N. Effect of spray drying on bioactive and volatile compounds in soursop (*Annona muricata*) fruit pulp. **Food Research International**, v.124, p. 70–77, 2019.

ORQUEDA, M. E.; ZAMPINI, I. C.; TORRES, S.; ALBERTO, M. R.; RAMOS, L. L. P.; SCHMEDA-HIRSCHMANN G.; ISLA, M. I. Chemical and functional characterization of skin, pulp and seed powder from the Argentine native fruit mistol (*Ziziphus mistol*). Effects of phenolic fractions on key enzymes involved in metabolic syndrome and oxidative stress. **Journal of Functional Foods**, v.37, n.1, p.531-540, 2017.

OZSEN, D.; ERGE, H. S. Cinética de degradação de compostos bioativos e alteração na atividade antioxidante da polpa de morango silvestre (*Fragaria vesca*) durante o aquecimento. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, p. 2261 – 2267, 2013.

PADILHA, C. V. S.; MISKINIS, G. A.; SOUZA, M. E. A. O.; PEREIRA, G. E.; OLIVEIRA, D.; BORDIGNON-LUIZ, M. T.; LIMA, M.S. Rapid determination of flavonoids and phenolic acids in grape juices and wines by RP-HPLC/DAD: Method validation and characterization of commercial products of the new Brazilian varieties of grape. **Food Chemistry**, v. 228, n. 1, p.106-115, 2017.

PEREIRA, G. A.; ARRUDA, H. S.; MORAIS, D. R.; ARAUJO, N. M. P.; PASTORE, G. M. Mutamba (*Guazuma ulmifolia* Lam.) fruit as a novel source of dietary fibre and phenolic compounds. **Food Chemistry**, v. 310, 125857, 2020.

REKAS, A.; ŚCIBISZ, I.; SIGER, A.; WRONIAK, M. The effect of microwave pretreatment of seeds on the stability and degradation kinetics of phenolic compounds in rapeseed oil during long-term storage. **Food chemistry**, v. 222, p. 43-52, 2017.

RIBEIRO, L. C.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A. Hygroscopic behavior of acerola powder obtained by spraydrying. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 41, e35382, 2019.

ROOHBAKHSH, A.; PARHIZ, H.; SOLTANI, F.; REZAEI, R.; IRANSHAHI, M. Molecular mechanisms behind the biological effects of hesperidin and hesperetin for the prevention of cancer and cardiovascular diseases. **Life Sciences**, v.124, n.1, p.64-74, 2015.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia Científica: Determinação

da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre ABTS<sup>+</sup>. Embrapa Agroindústria Tropical-**Comunicado técnico 128**, p. 1-4, 2007b.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre DPPH. Embrapa Agroindústria Tropical-**Comunicado técnico 127**, p. 1-4, 2007a.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J. SAURA-CALIXTO, F.; MANCINI-FILHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 121, p. 996–1002, 2010.

SAIDANI, F.; GIMÉNEZ, R.; AUBERT, C.; CHALOT, G.; BÉTRAN, J. A.; GOGORCENA, Y. Phenolic, sugar and acid profiles and the antioxidant composition in the peel and pulp of peach fruits. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 62, n.1, p.126-133, 2017.

SILVA, R. N. G.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; FEITOSA, R. M. Isotermas de adsorção de umidade do umbu-cajá em pó. *Revista Educação Agrícola Superior*, v.30, n.1, p.33-36, 2015.

SILVA, R. N. G.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; GALDINO, P. O. Armazenamento de umbu-cajá em pó. **Ciência Rural**, v35, n.5, p.1179-1184, 2005.

SORMOLI, M. E.; LANGRISH, T. A. G. Moisture sorption isotherms and net isosteric heat of sorption for spray-dried pure orange juice powder. **Food Science and Technology**, v.62, n.1, p.875-882, 2015.

SOUZA, A. C. M.; GAMARRA-ROJA, G.; ANDRADE, S. A C.; GUERRA, N. B. Características físicas, químicas e organolépticas de quipá (*Tacinga inamoena*, cactaceae). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 2, p. 292-295, 2007.

SUMMEN, M. A.; ERGE, H. S. Thermal degradation kinetics of bioactive compounds and visual color in raspberry pulp. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 38, n.1, p.551–557, 2014.

TZE, N. L.; HAN, C. P.; YUSOF, Y. A.; LING, C. N.; TALIB, R. A.; TAIP, F. S.; AZIZ, M. G. Physicochemical and nutritional properties of spray-dried pitaya fruit powder as natural colorant. **Food Science and Biotechnology**, v.21, n.3, p.675-682, 2012.

USDA. United States Department of Agriculture. **Dietary Reference Intakes (DRIs): Estimated Average Requirements**. Food and Nutrition Board, Institute of Medicine, National Academies. 2010. Disponível em <[http://www.iom.edu/Activities/Nutrition/SummaryDRIs/~media/Files/Activity%20Files/Nutrition/DRIs/5\\_Summary%20Table%20Tables%201-4.pdf](http://www.iom.edu/Activities/Nutrition/SummaryDRIs/~media/Files/Activity%20Files/Nutrition/DRIs/5_Summary%20Table%20Tables%201-4.pdf)>. Acesso em: 13 jan. 2020.

WATERHOUSE, A. Folin-ciocalteau micro method for total phenol in wine. **American Journal of Enology and Viticulture**, p. 3-5, 2006.

ZHANG, L.; LING, W.; YAN, Z.; LIANG, Y.; GUO, C.; OUYANG, Z.; WANG, X.; KUMARAVEL, K.; YE, Q.; ZHONG, B.; ZHANG, J. Effects of storage conditions and heat treatment on the hesperidin concentration in Newhall navel orange (*Citrus sinensis* Osbeck cv. Newhall) juice. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 85, p. 1-6, 2020.

## 5. CONCLUSÃO GERAL

A polpa de cumbeba in natura apresentou teor de água, sólidos solúveis totais, proteínas, lipídios e açúcares totais compatíveis com polpas de frutas de consumo tradicional; a relação entre sólidos solúveis totais e acidez total titulável mostrou-se elevada, indicando uma prevalência do sabor doce; o teor de flavonoides e de fenólicos totais revelaram-se elevados, com baixos valores de ácido ascórbico, antocianinas totais e betalaínas. O extrato com melhor desempenho no sequestro de radicais livres pela metodologia DDPH foi em solvente metanol-acetona, enquanto que pela metodologia ABTS o melhor resultado foi observado em extrato aquoso.

A liofilização proporcionou os maiores rendimentos na secagem. Nas secagens por aspersão os rendimentos mais elevados foram obtidos nas maiores temperaturas e com as maiores proporções do adjuvante de secagem. As amostras em pó com menores atividades de água e teor de água foram obtidas com a liofilização e na secagem por aspersão a 190° C. A liofilização e a secagem em temperaturas menores, bem como maiores concentrações de maltodextrina produziram amostras em pó mais claras e com maior intensidade de amarelo; nas menores concentrações do adjuvante e temperaturas mais altas foram obtidas amostras com maior intensidade de vermelho; As amostras de cumbeba em pó se apresentaram como fonte de compostos bioativos, com bons valores de compostos fenólicos totais;

Nas secagens por aspersão obteve-se polpas de cumbeba em pó com maiores teores de sólidos solúveis totais, maior acidez total titulável, maiores teores de ácido ascórbico, compostos fenólicos totais, flavonoides, antocianinas e betacianinas; Nas secagens por aspersão, temperaturas mais altas favoreceram os teores de sólidos solúveis totais, acidez total titulável e ácido ascórbico; temperaturas de secagem mais baixas favoreceram os teores de compostos fenólicos totais, flavonoides, antocianinas, betaxantinas e betacianinas.

As polpas em pó com maiores adições de maltodextrina apresentaram-se mais claras, com maior intensidade de amarelo e menor intensidade de vermelho; As secagens por aspersão originaram pós com maiores molhabilidade, solubilidade, higroscopicidade e densidade real. Na liofilização observou-se pós com maior porosidade e menor ângulo de repouso.

O aumento na proporção do adjuvante de secagem acarretou em maior molhabilidade, menor higroscopicidade, menores densidades aparente, compactada e

real. As polpas em pó apresentaram melhor fluidez nas secagens por aspersão em menor temperatura (150° C), e quando liofilizadas e adicionadas com o menor percentual (10%) de maltodextrina. Os pós produzidos nas secagens por aspersão apresentaram partículas arredondadas e aglomeradas, com menores dimensões associadas à temperatura mais baixa; O pó liofilizado apresentou partículas laminares e com formato irregular.

A polpa de cumbeba em pó é fonte de potássio, magnésio, cálcio e manganês, fibra bruta e apresenta capacidade antioxidante. A polpa em pó produzida em secagem por aspersão apresentou 12 compostos fenólicos e a liofilizada, 16 compostos, destacando-se o ácido gálico e a hesperidina na secagem por aspersão e a catequina e o ácido caftárico na liofilização. A cinética de degradação dos compostos fenólicos foi bem ajustada por modelo de ordem zero, resultando em tempos de meia vida entre 12 e 16 dias em temperaturas de 35 a 15° C. As polpas em pó obtidas em secagem por aspersão geraram isotermas do tipo III, com bons ajustes pelos modelos de Peleg e GAB.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUDELO, C.; BARROS, L.; SANTOS-BUELGA, C.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N.; FERREIRA, I. C. F. R. Phytochemical content and antioxidant activity of grapefruit (Star Ruby): A comparison between fresh freeze-dried fruits and different powder formulations. **Food Science and Technology**, v. 80, n. 1, p. 106-112, 2017.

AHMED, J.; SHIVHARE, U. S.; SANDHU, K. S. Thermal degradation kinetics of carotenoids and visual color of papaya puree. **Journal of Food Science**, v. 67, n.7, p. 2692-2695, 2002.

ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; OLIVEIRA, E. N. A. de. Armazenamento de pitanga em pó. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 1, p. 83-91, 2014.

AYALA, A. A. A.; SERNA C. L.; MOSQUERA V. E. S. Liofilización de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). **Vitae**, v. 17, n. 2, p. 121-127, 2010.

AZEREDO, H. M. C. Encapsulação: aplicação à tecnologia de alimentos **Alimentos e Nutrição**, v. 16, n. 1, p. 89-97, 2005.

BARRETT, D. M.; LLOYD, B. Advanced preservation methods and nutrient retention in fruits and vegetables. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, n. 1, p. 7–22, 2012.

BETANCOURT, C.; CEJUDO-BASTANTE, M. J.; HEREDIA, F. J.; HURTADO, N. Pigment composition and antioxidant capacity of betacyanins and betaxanthins fractions of *Opuntia dillenii* (Ker Gawl) haw cactus fruit. **Food Research International**, v. 101, n. 1, p. 173-179, 2017.

BEZERRA, M.; ARAUJO, A.; SANTOS, K.; CORREIA, R. Caprine frozen yoghurt produced with fresh and spray dried jambolan fruit pulp (*Eugenia jambolana* Lam) and *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* BI-07. **Food Science and Technology**, v. 62, n. 2, p. 1099-1104, 2015.

BHUSARI, S. N.; MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, v. 266, n. 1, p. 354–364, 2014.

BRASIL. Ministério da saúde. Secretária de Vigilância Sanitária. Portaria N° 540 de 1997. Aprovar os Regulamentos Técnicos para Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade, para refresco, refrigerante, preparado ou concentrado líquido para refresco ou refrigerante, preparado sólido para refresco, xarope e chá pronto para o consumo. Diário Oficial da República Federativa do Brasil de 17 de Novembro de 1998, Seção 1, Página 90.

BRAZEL, C. S. Microencapsulation: offering solutions for the food industry. **Cereal Foods World**, v. 44, n. 6, p. 388-393, 1999.

BUCHNER, N.; KRUMBEIN, A.; ROHN, S.; KROH, L. W. Effect of thermal processing on the flavonols rutin and quercetin. **Rapid Communications in Mass Spectrometry**, v. 20, n. 21, p. 3229-3135, 2006.

BURDURLU, H. S.; KOCA, N.; KARADENIZ, F. Degradation of vitamin C in citrus juice concentrates during storage. **Journal of Food Engineering**, v. 74, n.2, p. 211-216, 2006.

CANUTO, H. M. P.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Hygroscopic behavior of freeze-dried papaya pulp powder with maltodextrina. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 36, n. 1, p. 179-185, 2014.

CAVALCANTE, A.; TELES, M.; MACHADO, M. Cactos do semiárido do Brasil: guia ilustrado – Campina Grande: INSA, 2013.103p. ISBN : 978-85-64265-05-91. Cactos – Brasil. 2. Guia Cactos - semiárido - Brasil. I. Teles, Marcelo. II. Machado, Marlon. III. Instituto Nacional do Semiárido.

CEBALLOS, A. M.; GIRALDO, G. I.; ORREGO, C. E. Effect of freezing rate on quality parameters of freeze dried soursop fruit pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 2, p. 360-365, 2012.

CHENG, A. W.; XIE, H. X.; QI, Y.; LIU, C.; GUO, X.; SUN, J. Y.; LIU, L. N. Effects of storage time and temperature on polyphenolic content and qualitative characteristics of freeze-dried and spray-dried bayberry powder. **Food Science and Technology**, v. 78, n. 1, p. 235-240, 2017.

CHOPDA, C. A.; BARRETT, D. M. Optimization of guava juice and powder production. **Journal of Food Processing Preservation**, v. 25, n. 1, p. 411-430, 2001.

CHUN, H. H.; KIM, M. S.; CHUNG, K. S.; WON, M.; SONG, K. B. Dehydration of blueberries using maltodextrin and the physicochemical properties of dried blueberries. **Horticulture, Environment and Biotechnology**, v. 53, n. 6, p. 565-570. 2012.

CONEGERO, J.; RIBEIRO, L. C.; MONTEIRO, A. R. G.; COSTA, J. M. C. Hygroscopic trend of lyophilized 'mangaba' pulp powder. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, n. 5, p. 356-360, 2017.

COSTA, J. N.; FIGUEIRÊDO, R. W.; SOUSA, P. H. M.; GONZAGA, M. L. C.; CONSTANT, P. B. L.; SOARES, D. J. Study of the stability of passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) powder from organic farming. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, n. 2, p.705-716, 2013.

CORDEIRO, M. H. M.; SILVA, J. M.; MIZOBUTSI, G. P.; MIZOBUTSI, E. H.; MOTA, W. F. Caracterização física, química e nutricional da pitaiá-rosa de polpa vermelha. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 1, p. 20-26, 2015.

DANTAS, R. L.; SHUNEMANN, A. P.; SILVA, S. M.; MELO, R. S.; SILVA, R. S.; SOUZA, F. A. R. M. Quality and descriptive terminology of *tacinga inamoena* (k. Schum.) Fruits. **Acta Horticulturae (ISHS)**, v. 1, n. 58, p. 143-149, 2015.

DAZA, L. D.; FUJITA, A.; FÁVARO-TRINDADE, C. S.; RODRIGUES-RACT, J. N.; GRANATO, D.; GENOVESE, M. I. Effect of spray drying conditions on the physical properties of Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) fruit extracts. **Food and Bioproducts Processing**, v. 97, n. 1, p. 20-29, 2016.

DJENDOUBI, N. M.; BOUDHRIQUA, N.; KECHAOU, N.; COURTOIS, F.; BONAZZI, C. Influência da temperatura de secagem do ar na cinética, nas propriedades físico-químicas, no conteúdo fenólico total e no ácido ascórbico das peras. **Processamento de Alimentos e Bioprodutos**, v. 90, n. 3, p. 433-441, 2012.

DUARTE, E. L.; CARLOS, L. A.; RODRIGUES, C. G.; ANDRADE, R. M.; OLIVEIRA, K. G. Influência da liofilização sobre os carotenoides de frutos do cerrado e comportamento higroscópico dos pós-lioofilizados. **Perspectivas online: ciências biológicas e da saúde**, v. 23, n. 7, p. 22-33, 2017.

DURU, B.; TURKER, N. Changes in physical properties and chemical composition of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) during maturation. **Journal of the Professional Association for Cactus**, v. 5, n. 1, p. 22–33, 2005.

EZHILARASI, P. N.; INDRANI, D.; JENA, B. S.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Freeze drying technique for microencapsulation of Garcinia fruit extract and its effect on bread quality. **Journal of Food Engineering**, v. 117, n. 4, p. 513-520, 2013.

FAZAEI, M.; EMAM-DJOMEH, Z.; KALBASI ASHTARI, A.; OMID, M. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, n. 4, p. 667-675, 2012.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia de processamento de alimentos: princípios e prática**. 2ª. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

FERNANDES, L. M. S.; VIEITES, R. L.; LIMA, G. P. P.; BRAGA, C. L.; AMARAL, J. L. Caracterização do fruto de pitaia orgânica. **Biodiversidade**, v. 16, n. 1, p. 167-178, 2017.

FERRARI, C. C.; GERMER, S. P. M.; DUTRA ALVIM, I.; VISSOTTO, F. Z.; AGUIRRE, J. M. Influence of carrier agents on the physicochemical properties of blackberry powder produced by spray drying. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 6, p. 1237-1245, 2012.

FORNY, L.; MARABI, A.; PALZER, S. Wetting, disintegration and dissolution of agglomerated water soluble powders. **Powder Technology**, v. 206, n. 1, p. 72-78, 2011.

FORMIGA, A. S.; COSTA, F. B.; SILVA, M. S.; PEREIRA, E. M.; BRASIL, Y. L. Aspectos físicos e químicos de frutos de Quipá (*Tacinga inamoena*). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 5, p. 25-29, 2016.

GEORGE, J. P.; DATTA, A. K. Development and validation of heat and mass transfer models for freeze-drying of vegetable slices. **Journal of Food Engineering**, v. 52, n.1, p. 89-93, 2002.

GHARSALLAOUI, A.; ROUDART, G.; CHAMBIN, O.; VOILLEY, A.; SAUREL, R. GODOY, L. C.; FRANCO, M. L. R. S.; FRANCO, N. P.; SILVA, A. F.; ASSIS, M. F.; SOUZA, N. E.; MATSUSHITA, M.; VISENTAINER, J. V. Análise sensorial de caldos e canjas elaborados com farinha de carcaças de peixe defumadas: aplicação na merenda escolar. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, Supl.1, p. 86-89, 2007.

GARCÍA-CRUZ, L.; DUEÑAS, M.; SANTOS-BUELGAS, C.; VALLE-GUADARRAMA, S.; SALINAS-MORENO, Y. Betalains and phenolic compounds profiling and antioxidant capacity of pitaya (*Stenocereus spp*) fruit from two species (*S. pruinosus* and *S. stellatus*). **Food Chemistry**, v. 234, n. 1, p. 111-118, 2017.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B.; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de alimentos: Princípios e aplicações**. Ed. 1. 2009. 511 f.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B. da; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações**. São Paulo: Nobel, 2009. 319-320p

GAVA, A. J. **Tecnologia em Alimentos: princípios e aplicações**. São Paulo: Nobel, 2009. GEA Niro Research Laboratory. **GEA Niro analytical methods**.

GENGATHARAN, A.; DYKES, G. A.; CHOO, W. The effect of pH treatment and refrigerated storage on natural colourant preparations (betacyanins) from red pitahaya and their potential application in yoghurt. **Food Science and Technology**, v. 80, n. 1, p. 437-445, 2017.

GONG, K.; SHI, A.; LIU, H.; LIU, L.; HU, H.; ADHIKARI, B.; WANG, Q. Emulsifying properties and structure changes of spray and freeze-dried peanut protein isolate. **Journal of Food Engineering**, v. 170, n. 1, p. 33-40, 2016.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Spray drying of tomato pulp: effect of feed concentration. **Drying Technology**, v. 22, n. 10, p. 2309-2330, 2004.

HARNKARNSUJARIT, N.; CHAROENREIN, S. Influence of collapsed structure on stability of  $\beta$ -carotene in freeze-dried mangoes. **Food Research International**, v. 44, n. 10, p. 3188-3194, 2011.

HERRERA-HERNÁNDEZ, M. G.; GUEVARA-LARA, F.; REYNOSO-CAMACHO, R.; GUZMÁN-MALDONADO, S. H. Effects of maturity stage and storage on cactus berry (*Myrtillocactus geometrizans*) phenolics, vitamin C, betalains and their antioxidant properties. **Food Chemistry**, v. 129, n. 4, p. 1744-1750, 2011.

HUANG, J.; ZHANG, M. Effect of three drying methods on the drying characteristics and quality of okra. **Drying Technology**, v. 34, n. 8, p. 900-911, 2016.

JANGAM, S. V.; LAW, C. L.; MUJUMDAR, A. S. (2010). *Drying of Foods, Vegetables and Fruits*. **Singapur: Universidad Nacional de Singapur**, v. 1, Singapur: Universidade Internacional de Singapur, 2010. 232p.

JAFARI, S. M.; ASSADPOOR, E.; HE, Y.; BHANDARI, B. Encapsulation efficiency of food flavors and oils during spray drying. **Drying Technology**, v. 26, p. 816- 835, 2008.

JULIANO, F. F.; SILVA, P. P. M.; CASEMIRO, R. C.; COSTA, M. H.; SPOTO, M. H. F. Polpa de camu-camu liofilizada e armazenada em diferentes embalagens. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 8, n. 2, p. 1374-1384, 2014.

JUN, H. I.; CHA, M. N.; YANG, E. I.; CHOI, D. G.; KIM, Y. S. Physicochemical properties and antioxidant activity of Korean cactus (*Opuntia humifusa*) cladodes. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 54, n. 3, p. 288-295, 2013.

KIM, D. O.; PADILLA-ZAKOUR, O. I. Jam processing effect on phenolics and antioxidant capacity in anthocyanin-rich fruits: Cherry, plum, and raspberry. **Journal of Food Science**, v. 69, n. 9, p. 395-400, 2004.

LEE, K. H.; WU, T. Y.; SIOW, L. F. Spray drying of red (*Hylocereus polyrhizus*) and white (*Hylocereus undatus*) dragon fruit juices: physicochemical and antioxidante properties of the powder. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 48, n. 1, p. 2391–2399, 2013.

LIM, K.; MA, M.; DOLAN, K. D. Effects of Spray Drying on Antioxidant Capacity and Anthocyanidin Content of Blueberry By-Products. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 7, p. 156-164, 2011.

LIMA, C. A.; FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V.; COHEN, K. O.; GUIMARÃES, T. G. Características físico-químicas, polifenóis e flavonoides amarelos em frutos de espécies de pitaias comerciais e nativas do cerrado. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 2, p. 565-570, 2013.

LISBÔA, C. G. C.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Armazenamento de figo-da-índia em pó. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.2, p.216–221, 2012.

LIU, X.; LIU, J.; BI, J.; CAO, F.; DING, Y.; PENG, J. Effects of high pressure homogenization on physical stability and carotenoid degradation kinetics of carrot beverage during storage. **Journal of Food Engineering**, v. 263, n.1, p.63-69, 2019.

LOPEZ-QUIROGA, E.; ANTELO, L. T.; ALONSO, A. A. Time-scale modeling and optimal control of freeze-drying. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 4, p. 655-666, 2012.

LOUREIRO, M. N.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; OLIVEIRA, E. N. A. Armazenamento de buriti em pó: Efeito da embalagem nas características físicas e químicas. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 5, p. 1092-1100, 2013.

LUCENA, C. M.; LUCENA, R. F. P.; COSTA, G. M.; CARVALHO, T. K. N.; COSTA, G. G. S. C.; ALVES, R. R. N.; PEREIRA, D. D.; RIBEIRO, J. E. S.; ALVES, C. A. B.; QUIRINO, Z. G. M.; NUNES, E. N. Use and knowledge of *Cactaceae* in Northeastern Brazil. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, v. 9, n. 62, p. 2-11, 2013.

KARAM, M. C.; PETIT, J.; ZIMMER, D.; DJANTOU, E. B.; SCHER, J. 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.

KHARRASSI, Y. E.; MAZRI, M. A.; BENYAHIA, H.; BENAOUA, H.; NASSER, B.; MZOURI, E. H. E. Fruit and juice characteristics of 30 accessions of two cactus pear species (*Opuntia ficus-indica* and *Opuntia megacantha*) from different regions of Morocco. **Food Science and Technology**, v. 65, n. 1, p. 610-617, 2016.

KHATABI, O.; HANINE, H.; ELOTHMANI, D.; HASIB, A. Extraction and determination of polyphenols and betalain pigments in the Moroccan Prickly pear fruits (*Opuntia ficus-indica*). **Arabian Journal of Chemistry**, v. 9, n. 1, p. 278-281, 2016.

KIM, E. H. J.; CHEN, X. D.; PEARCE, D. Surface composition of industrial spray-dried milk powders. 2. Effects of spray drying conditions on the surface composition. **Journal of Food Engineering**, v. 94, n. 2, p. 169-181, 2009.

KIM, A. N., LEE, K. Y., KIM, H. J., CHUN, J., KERR, W. L., & CHOI, S. G. The Effects of Added Water and Grinding Temperature on Stability and Degradation Kinetics of Antioxidant Activity, Phenolic Compounds, and Ascorbic Acid in Ground Apples. **Journal of food science**, v. 83, n. 12, p. 3019-3026, 2018a.

KIM, A.; KIM, H.; CHUN, J.; HEO, H. J.; KERR, W. L.; CHOI, S. Degradation kinetics of phenolic content and antioxidant activity of hardy kiwifruit (*Actinidia arguta*) puree at different storage temperatures. **Food Science and Technology**, v. 89, n.1, p.535-541, 2018b.

KINGWATEE, N.; APICHARTSRANGKOON, A.; CHAIKHAM, P.; WORAMETRACHANON, S.; TECHARUNG J.; PANKASEMSUK T. Spray drying *Lactobacillus casei* 01 in lychee juice varied carrier materials. **Food Science and Technology**, v. 62, n. 1, p. 847 – 853, 2015.

KUROZAWA, L. E.; MORASSI, A. G.; VANZO, A. A.; PARK, K. J.; HUBINGER, M. D. Influence of spray drying conditions on physicochemical properties of chicken meat powder. **Drying Technology**, v. 27, p. 1248-1257, 2009.

KYRIACOU, M. C.; EMMANOUILIDOU, M. G.; SOTERIOU, G. A. Asynchronous ripening behavior of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) cultivars with respect to physicochemical and physiological attributes. **Food Chemistry**, v. 211, n. 1, p. 598-607, 2016.

MAHENDRAN, T. Physico-chemical properties and sensory characteristics of dehydrated guava concentrate: effect of drying method and maltodextrin concentration. **Tropical Agricultural Research & Extension**, v. 13, n.2, p. 48-54. 2010.

GUZMÁN-MALDONADO, S. H.; HERRERA-HERNÁNDEZ, G.; HERNÁNDEZ-LÓPEZ, D.; REYNOSO-CAMACHO, R.; GUZMÁN-TOVAR, A.; VAILLANT, F.; BRAT, P. Physicochemical, nutritional and functional characteristics of two underutilised fruit cactus species (*Myrtillocactus*) produced in central Mexico. **Food Chemistry**, v. 121, n. 2, p. 381-386, 2010.

MATTA, V. M.; CABRAL, L. M. C.; SILVA, L. F. M. Suco de acerola microfiltrado: avaliação da vida-de-prateleira. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 2, p. 293-297, 2004.

MARTIN, L. G. P. **Estudo da secagem de polpa de cupuaçu por aspersão**. 2013. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, SP.

MARTÍNEZ, F. M. L.; RAMÍREZ, J. R.; TORRES, L. L. M.; LAGUNAS, L. L. M.; BERNAD, M. J. B. Effects of drying conditions on the rheological properties of reconstituted mucilage solutions (*Opuntia ficus-indica*). **Carbohydrate Polymers**, Kidlington, v. 84, n. 1, p. 439-445, 2011.

MORAIS, E. C.; PATIAS, S. G. O.; FERREIRA, N. S. S.; PIKANÇO, N. F.; RODRIGUES, E. C.; NASCIMENTO, E.; FARIA, R. A. P. G. Compostos bioativos e características físico-químicas de polpa de araticum *in natura* e pasteurizada. **Brazilian Journal of Food Technology**, 20, e2016142, 2017.

MELGAR, B.; DIAS, M. I.; CIRIC, A.; SOKOVIC, M.; GARCIA-CASTELLO, E. M.; RODRIGUEZ-LOPEZ, A. D.; BARROS, L.; FERREIRA, I. By-product recovery of *Opuntia spp.* peels: Betalainic and phenolic profiles and bioactive properties. **Industrial Crops & Products**, v. 107, n. 1, p. 353–359, 2017.

MÉNDEZ, L. P.; FLORES, F. T.; MARTÍN, J. D.; RODRÍGUEZ, E. M. R.; ROMERO, C. D. Physicochemical characterization of cactus pads from *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica*. **Food Chemistry**, v. 188, n. 1, p. 393–398, 2015.

MENEZES, A. R. V.; JÚNIOR, A. S.; CRUZ, H. L. L.; ARAUJO, D. R.; SAMPAIO, D. D. Estudo comparativo do pó da acerola verde (*Malphigia emarginata* D.C) obtido em estufa por circulação de ar e por liofilização. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 11, n. 1, p. 1-8, 2009.

MENEZES, M. O. T.; TAYLOR, N. P.; LOIOLA, M. I. B. Flora do Ceará, Brasil: Cactaceae. **Rodriguésia**, v. 64, n. 4, p. 757-774, 2013.

MORAGA, G.; IGUAL, M.; MARTÍNEZ, E. G.; MOSQUERA, L. H.; NAVARRETE, N. M. Effect of relative humidity and storage time on the bioactive compounds and

functional properties of grapefruit powder. **Journal of Food Engineering**, v. 112, n. 3, p. 191-199, 2012.

MOREIRA, G. E. G.; AZEREDO, H. M. C.; MEDEIROS, M. F. D.; BRITO, E. S.; SOUZA, A. C. R. Ascorbic acid and anthocyanin retention during spray drying of acerola pomace extract. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 34, n. 1, p. 915-925, 2010.

MOREIRA, T. B.; ROCHA, E. M. F. F.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Comportamento das isotermas de adsorção do pó da polpa de manga liofilizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1093-1098, 2013.

MOURA, S. C. S. R.; BERBARI, S. A.; GERMER, S. P. M.; ALMEIDA, M. E. M.; FEFIM, D. A. Determinação da vida-de-prateleira de maçã-passa por testes acelerados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 1, p. 141-148, 2007.

MOSER, P.; TELIS, V. R. N.; NEVES, N. A.; GARCÍA-ROMERO, E.; GÓMEZ-ALONSO, S.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I. Storage stability of phenolic compounds in powdered BRS Violeta grape juice microencapsulated with protein and maltodextrin blends. **Food Chemistry**, v. 214, n. 1, p. 308-318, 2017.

MOUSSA-AYOUB, T. E.; EL-SAMAHY, S. K.; ROHN, S.; KROH, L. W. Flavonols, betacyanins content and antioxidant activity of cactus *Opuntia macrorhiza* fruits. **Food Research International**, v.44, n. 7, p. 2169-2174, 2011.

MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Parameter optimization for spray drying of tamarind pulp using response surface methodology. **Powder Technology**, v. 279, n. 1, p. 179-184, 2015.

OBEROI, D. P. S.; SOGI, D. S. Effect of drying methods and maltodextrin concentration on pigment content of watermelon juice powder. **Journal of Food Engineering**, v. 165, n. 1, p. 172–178, 2015.

OZSEN, D.; ERGE, H. S. Cinética de degradação de compostos bioativos e alteração na atividade antioxidante da polpa de morango silvestre (*Fragaria vesca*) durante o aquecimento. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, p. 2261 – 2267, 2013.

OLIVEIRA, A. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; BRITO, J. G. Estabilidade da polpa do *Cereus jamacaru* em pó durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 147–153, 2015.

OLIVEIRA, F. M. N.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Análise comparativa de polpas de pitanga integral, formulada e em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 8, n. 1, p. 25-33, 2006.

OLIVEIRA, G. S.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A. Caracterização e comportamento higroscópico do pó da polpa de cajá liofilizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 18, n. 10, p. 1059–1064, 2014.

OLIVEIRA, M. I. S.; TONON, R. V.; NOGUEIRA, R. I. Estabilidade da polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores. **Brazilian Journal Food Technology**, v. 16, n. 4, p.310-318, 2013.

OLSEN, H.; AABY, K.; BORGE, G. I. A. Characterization and quantification of flavonoids and hydroxycinnamic acids in curly kale (*Brassica oleracea* L. Convar. *acephala* Var. *sabellica*) by HPLC–DAD–ESI– MSn . **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 7, p. 2816–2825, 2009.

ORDOÑEZ, J. A. **Tecnologia de Alimentos: componentes dos alimentos e processos**. 1ª ed. Porto Alegre: Editora Atmed, 2005. 294 p

OTÁLORA, M. C.; CARRIAZO, J. G.; ITURRIAGA, L.; NAZARENO, M. A.; OSORIO C. Microencapsulation of betalains obtained from cactus fruit (*Opuntia ficus-indica*) by spray drying using cactus cladode mucilage and maltodextrin as encapsulating agents. **Food Chemistry**, v. 187, n. 1, p. 174–181, 2015.

PARK, H. J.; LEE, Y.; EUN, J. B. Physicochemical characteristics of kimchi powder manufactured by hot air drying and freeze drying. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 5, n. 1, p. 193-198, 2016.

PATIL, V.; CHAUHAN, A. K.; SINGH, R. P. Optimization of the spray-drying process for developing guava powder using response surface methodology. **Powder Technology**, v. 253, n. 1, p. 230–236, 2014.

PENNINGTON, J. A. T.; FISHER, R. A. Food component profiles for fruit and vegetable subgroups. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 23, n. 5, p. 411–418, 2010.

PROVESI, J. G.; DIAS, C. O.; AMANTE, E. R. Changes in carotenoids during processing and storage of pumpkin puree, **Food Chemistry**, v. 128, n. 1, p. 195-202, 2011.

QUEK, S. Y.; CHOK, N. K.; SWEDLUND, P. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. **Chemical Engineering and Processing**, v. 46, n. 5, p. 386-392, 2007.

REKAS, A., ŚCIBISZ, I., SIGER, A., & WRONIAK, M. The effect of microwave pretreatment of seeds on the stability and degradation kinetics of phenolic compounds in rapeseed oil during long-term storage. **Food chemistry**, v. 222, p. 43-52, 2017.

REYES, L. F.; CISNEROS-ZEVALLOS, L. **Cinética de degradação e cor de antocianinas em extratos aquosos de batatas de polpa roxa e vermelha (*Solanum tuberosum* L.)**. *Química dos Alimentos*, v.100, n.1, p. 885– 894, 2007.

RIBEIRO, C. P.; AGUIRRE, J. M. Secagem por aspersão de polpa de amora-preta usando maltodextrina como agente carreador. **Brazilian Journal of Food technology**, v. 15, n. 2, p. 157-165, 2012.

RIBEIRO, L. C.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A. Hygroscopic behavior of lyophilized acerola pulp powder. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 269–274, 2016.

RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ, J. A.; VICTORIA, M. T. C.; BARRAGÁN-HUERTA, B. E. Betaxanthins and antioxidant capacity in *Stenocereus pruinosus*: Stability and use in food. **Food Research International**, v. 91, n.1, p. 63-71, 2017.

ROKKA, S.; RANTAMÄKI, P. Protecting probiotic bacteria by microencapsulation challenges for industrial applications. **European Food Research Technology**, v. 231, n. 1, p. 1-12, 2010.

RUFINO, M. S. M. **Propriedades funcionais de frutas tropicais brasileiras não tradicionais**. 2008. 237 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Faculdade de Agronomia, Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró, 2008.

SANTHALAKSHMY, S.; BOSCO, S. J. D.; 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.

SANTIAGO, M. C. P. A.; NOGUEIRA, R. I.; PAIM, D. R. S. F.; GOUVÊA, A. C. M. S.; GODOY, R. L. O.; PEIXOTO, F. M.; PACHECO, S.; FREITAS, S. P. Effects of encapsulating agents on anthocyanin retention in pomegranate powder obtained by the spray drying process. **Food Science and Technology**, v. 73, n. 1, p. 551-556, 2016.

SCALBERT, A.; WILLIAMSON, G. (2000). Dietary intake and bioavailability of polyphenols. *The Journal of Nutrition*, 130 (8S Suppl), 2073S-85S. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10917926>

SATO, S. T. A.; RIBEIRO, S. C. A; SATO, M. K.; SOUZA, J. N. S. Caracterização física e físico-química de pitayas vermelhas (*Hylocereus costaricensis*). **Journal of Bioenergy and Food Science**, v.1, n. 2, p. 46-56, 2014.

SANTOS, A. P.; REBOUÇAS, T. N. H.; SOUZA, J. C. C.; BONOMO, R. C. F.; SILVA, L. M. Caracterização e avaliação da qualidade de sopas desidratadas elaboradas com farinha de batata durante o tempo de armazenamento. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 57-68, 2010.

SANTOS, A. A. C.; FLORÊNCIO, A. K. G. D.; ROCHA, E. M. F. F.; COSTA, J. M. C. Avaliação físico-química e comportamento higroscópico de goiaba em pó obtida por *spray-dryer*. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 3, p. 508-514, 2014.

SANTOS, D. C.; ROCHA, A. P. T.; GOMES, J. P.; OLIVEIRA, E. N. A.; ALBUQUERQUE, E. M. B.; ARAUJO, G. T. Storage of ‘umbu-cajá’ pulp powder produced by lyophilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 12, p.1118-1123, 2016.

SHAARUDDIN, S.; GHAZALI, H. M.; MIRHOSSEINI, S. H.; MUHAMMAD, K. Stability of betanin in pitaya powder and confection as affected by resistant maltodextrin. **Food Science and Technology**, v. 84, n. 1, p. 129-134, 2017.

SHISHIR, M. R. I.; CHEN, W. Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. **Trends in Food Science & Technology**, v. 65, n. 1, p. 49-67, 2017.

SILVA, V. KUROZAWA, L. E.; PARK, K. J. HUBINGER, M. D. Influence of carrier agents on the physicochemical properties of mussel protein hydrolysate powder. **Drying Technology**, v. 30, n. 6, p. 653-663, 2012.

SONG, C. S.; NAM, J. H.; KIM, C. J.; RO, S. T. Temperature distribution in a vial during freeze-drying of skim milk. **Journal of Food Engineering**, v. 67, n. 4, p. 467-475, 2005.

SONG, J.; WEI, Q.; WANG, X.; LI, D.; LIU, C.; ZHANG, M.; MENG, L. Degradation of carotenoids in dehydrated pumpkins as affected by different storage conditions. **Food Research International**, v. 107, n.1, p.130-136, 2018.

SOUSA, S. L.; MORAIS, B. A.; RIBEIRO, L. C.; COSTA, J. M. C. Stability of cashew apple juice in powder dehydrated in spouted bed. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 7, p. 678-682, 2016.

SOUZA, A. C. M.; GAMARRA-ROJAS, G.; ANDRADE, S. A. C.; GUERRA, N. B. Características físicas, químicas e organolépticas de quipá (*Tacinga inamoena*, *Cactaceae*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 2, p. 292-295, 2007.

SUI, Y.; YANG, J.; YE, Q.; LI, H.; WANG, H. Infrared, convective, and sequential infrared and convective drying of wine grape pomace. **Drying Technology**, v. 32, n. 6, p. 686-694, 2014.

STOKLOSA, A. M.; LIPASEK, R. A.; TAYLOR, L. S.; MAUER, L. J. Effects of storage conditions, formulation, and particle size on moisture sorption and flowability of powders: A study of deliquescent ingredient blends. **Food Research International**, v. 49, n. 2, p. 783-791, 2012.

TAYLOR, N.; SANTOS, M.R.; LAROCCA, J.; ZAPPI, D. *Cactaceae* in **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB70>>. Acesso em: 15 out. 2017.

TELIS, V. R. N.; MARTINEZ-NAVARRETE, N. 2012. Biopolymers used as drying aids in spray-drying and freeze-drying of fruit juices and pulps. **In** Biopolymer Engineering in Food Processing (V.R.N. Telis, ed.) pp. 279–326, CRC Press, Boca Raton.

TONON, R. V.; BRABET, C.; PALLET, D.; BRAT, P.; HUBINGER, M. D. Physicochemical and morphological characterisation of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) powder produced with different carrier agents. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 44, n. 10, p. 1950-1958, 2009a.

TONON, R. V.; BARONI, A. F.; BRABET, C.; GIBERT, O.; DOMINIQUE, P.; HUBINGER, M. D. Water sorption and glass transition temperature of spray dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice. **Journal of Food Engineering**, v. 94, n. 3-4, p. 215-221, 2009b.

TONON, R. V.; FREITAS, S. S.; HUBINGER, M. D. Spray drying of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice: Effect of inlet air temperature and type of carrier agent. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 35, n. 5, p. 691-700, 2011.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Aplicação da secagem por aspersão para a obtenção de produtos funcionais com alto valor agregado a partir do açaí. **Inclusão Social**, v. 6, n. 2, p.70-76, 2013.

TZE, N. L.; HAN, C. P.; YUSOF, Y. A.; LING, C. N.; TALIB, R. A.; TAIP, F. S.; AZIZ, M. G. Physicochemical and nutritional properties of spray-dried pitaya fruit powder as natural colorant. **Food Science and Biotechnology**, v. 21, n. 3, p. 675-682, 2012.

VARDIN, H.; YASAR, M. Optimisation of pomegranate (*Punica Granatum* L.) juice spray-drying as affected by temperature and maltodextrin content. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 1, p. 167–176, 2012.

VERGARA, C.; SAAVEDRA, J.; SÁENZ, C.; GARCÍA, P.; ROBERT, P. Microencapsulation of pulp and ultrafiltered cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) extracts and betanin stability during storage. **Food Chemistry**, v. 157, n. 1, p. 246–251, 2014.

VIEIRA, A. P. **Efeitos das Condições de Congelamento Sobre Atributos de Qualidade de Fatias de Abacaxi Liofilizado**. 2010, 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, São José do Rio Preto: SP, Janeiro 2010.

VITALI, A. A.; QUAST, D. G. Vida-de-prateleira de alimentos. In: MOURA, S. C. S. R., GERMER, S. P. M. **Reações de Transformação e Vida-de-Prateleira de Alimentos Processados** 3<sup>a</sup> ed., Campinas: ITAL, 2004. Cap. 3. 49-57 p.

WEI, W.; MO, C.; GUOHUA, C. Issues in Freeze Drying of Aqueous Solutions. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, v. 20, n. 3, p. 551-559, 2012.

XIAO, T.; GUO, Z.; BI, X.; ZHAO, Y. Polyphenolic profile as well as anti-oxidant and anti-diabetes effects of extracts from freeze-dried black raspberries. **Journal of Functional Foods**, v. 31, n. 1, p. 179–187, 2017.

YAHIA, E. M.; MONDRAGON-JACOBO, C. Nutritional components and anti-oxidant capacity of ten cultivars and lines of cactus pear fruit (*Opuntia* spp.). **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2311-2318, 2011.

YAMASHITA, C.; CHUNG, M. M. S.; SANTOS, C.; MAYER, C. R. M.; MORAES, I. C. F.; BRANCO, I. G. Microencapsulation of an anthocyanin-rich blackberry (*Rubus* spp.) by-product extract by freeze-drying. **Food Science and Technology**, v. 84, n. 1, p. 256-262, 2017.

ZORIC, Z.; PELAIC, Z.; PEDISIC, S.; GAROFULIC, I. E.; KOVACEVIC, D. B.; UZELAC, V. D. Effect of storage conditions on phenolic content and antioxidant capacity of spray dried sour cherry powder. **Food Science and Technology**, v. 79, n. 1, p. 251-259, 2017.

ZOTARELLI, M. F.; PORCIUNCULA, B. D. A.; LAURINDO, J. B. A convective multi-flash drying process for producing dehydrated crispy fruits. **Journal of Food Engineering**, v.108, n.4, p.523-531, 2012.