



**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 EM PROCESSAMENTO E ARMAZENAMENTO  
DE PRODUTOS AGRÍCOLAS**

**SECAGEM DA POLPA DE CUMBEBA**

**ADELINO DE MELO GUIMARÃES DIÓGENES**

**Campina Grande - Paraíba  
FEVEREIRO - 2018**

**SECAGEM DA POLPA DE CUMBEBA**

**ADELINO DE MELO GUIMARÃES DIÓGENES**

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

**Campina Grande - Paraíba**

**FEVEREIRO – 2018**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

D591s Diógenes, Adelino de Melo Guimarães.  
Secagem da polpa de cumbeba / Adelino de Melo Guimarães Diógenes.  
– Campina Grande, 2018.  
220 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de  
Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2018.

"Orientação: Profa. Dra. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo, Prof. Dr.  
Alexandre José de Melo Queiroz".

Referências.

1. *Tacinga inamoena*. 2. Quipá. 3. Secagem em Camada de Espuma. 4.  
Liofilização. 5. Armazenamento. 6. Isotermas de Adsorção de Água. I.  
Figueirêdo, Rossana Maria Feitosa de. II. Queiroz, Alexandre José de  
Melo. III. Título.

CDU 631.96:66.047(043)



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE

**ADELINO DE MELO GUIMARÃES DIÓGENES**

**“SECAGEM DA POLPA DE CUMBEBA”**

**APROVADO: 27 de fevereiro de 2018**

**BANCA EXAMINADORA**

*Rossana M<sup>a</sup> F. de Figueirêdo*

**Dra. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo**  
Orientadora - UAEA/UFCG

*Alexandre J. M. Queiroz*

**Dr. Alexandre José de Melo Queiroz**  
Orientador - UAEA/UFCG

*Ana Regina Campos*

**Dra. Ana Regina Nascimento Campos**  
Examinadora - UAE/UFCG

*Plúvia Oliveira Galdino*

**Dra. Plúvia Oliveira Galdino**  
Examinadora - UATA/UFCG

*Adriano Sant'Ana Silva*

**Dr. Adriano Sant'Ana Silva**  
Examinador - UATA/UFCG

*“Não acrediteis na secura e no endurecimento do coração humano. Ele cede, mesmo a contragosto, ao verdadeiro amor” (Fénelon, 1861).*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo azo concebido.

À espiritualidade amiga, pela elã.

Aos meus pais, Maria Gorete e Francisco Guimarães, pela dedicação.

À minha tia e mãe Coia (Socorro Guimarães) por ser a pedra fundamental da minha educação.

Aos meus irmão, em especial Júnior, pelo companheirismo.

A professora Rossana Figueirêdo e ao professor Alexandre Queiroz pelas instruções e amizade.

Aos meus quase irmãos Ronaldo Pessoa, Livia Lisbôa, Ana Charles e Pedro Henrique (*in memorian*) pelo sodalício afável e incentivo.

Aos amigos e amigas que foram meus condiscípulos nas pesquisas: Alison Bruno, Aury Calou, Bruno Adelino, Daniela Dantas, Débora Rafaely, Deise Castro, Dyego Santos, Ernane Nogueira, Ely Carneiro, Francislayne Santos, Inácia Moreira, Israel Galvão, Jacinete Lima, Jemima Lisbôa, Juliana Ferreira, João Paulo, Karolina Araújo, Kelliane Nascimento, Marcela Nobre, Maria José, Raphaela Maceio, Regilane Feitosa, Shirliane Ferreira, Silvana Nazareth e Sonara França.

A banca avaliadora que colaboraram no enriquecimento da Tese: Plúvia Galdino, Adriano e Ana Regina.

Ao IFPE campus Afogados da Ingazeira, na pessoa do professor Ezenildo Lima, pelo afastamento concedido durante o doutorado.

Aos amáveis antepassados (*in memorian*), como meu bisavô Ulysses Diógenes, meu avô Cosme Diógenes, e minhas avós Francisca Guimarães e Carmelina Melo que, por seus esforços e batalhas incessantes, propagaram gerações fazendo de mim o que sou hoje.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	vi
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	vii
<b>RESUMO.....</b>	xiv
<b>ABSTRACT.....</b>	xv
<b>1 – INTRODUÇÃO.....</b>	1
1.1 – Objetivos.....	2
1.1.1 – Geral.....	2
1.1.2 – Específicos.....	2
<b>2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	4
2.1 – Cumbeba.....	4
2.1.1 – Composição química.....	6
2.2 – Secagem.....	8
2.2.1 – Secagem em camada de espuma.....	8
2.2.1.1 – Aditivos utilizados na secagem em camada de espuma..	9
2.2.1.2 – Estabilidade da espuma.....	11
2.2.1.3 – Cinética de secagem.....	12
2.2.2 – Liofilização.....	13
2.3 – Propriedades físicas e químicas do pó.....	14
2.4 – Isotermas de adsorção de água.....	15
2.5 – Armazenamento.....	16
<b>3 – MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	18
3.1 – Local de realização do trabalho.....	18
3.2 – Matérias-primas.....	18
3.3 – Processamento dos frutos.....	19
3.4 – Caracterização físico-química da polpa de cumbeba integral, da espuma selecionada e dos pós.....	20
3.4.1 – Atividade de água ( $a_w$ ).....	20
3.4.2 – Acidez total titulável (ATT), açúcares redutores (AR), cinzas, proteína bruta, sólidos solúveis totais (SST) e teor de água.....	20
3.4.3 –Minerais.....	20

3.4.4 – Ácido ascórbico.....	21
3.4.5 – pH.....	21
3.4.6 – Antocianinas e flavonoides totais.....	21
3.4.7 – Carotenoides totais.....	21
3.4.8 – Compostos fenólicos totais.....	22
3.4.9 – Betalainas: Betaxantinas e betacianinas.....	22
3.4.10 – Cor.....	23
3.5 – Preparo das espumas.....	24
3.5.1 – Preparo das formulações para secagem em camada de espuma...	24
3.5.2 – Parâmetros para seleção da espuma.....	24
3.5.2.1 – Densidade .....	24
3.5.2.2 – Estabilidade .....	24
3.5.2.3 – Expansão volumétrica ( <i>over-run</i> ).....	25
3.6 – Secagem da espuma.....	25
3.6.1 – Liofilização .....	25
3.6.2 – Secagem em camada de espuma.....	26
3.6.2.1 – Cinética de secagem.....	26
3.7 – Caracterização física dos pós.....	30
3.7.1 – Densidade absoluta.....	30
3.7.2 – Densidade aparente.....	30
3.7.3 – Densidade compactada.....	30
3.7.4 – Porosidade.....	30
3.7.5 – Fator de Hausner (FH).....	31
3.7.6 – Índice de Carr (IC).....	31
3.7.7 – Ângulo de repouso (°).....	32
3.7.8 – Solubilidade.....	32
3.7.9 – Molhabilidade .....	32
3.7.10 – Higroscopicidade.....	33
3.8 – Seleção do melhor pó de cumbeba pelo método de secagem em camada de espuma.....	33
3.9 – Isotermas de adsorção de água .....	33
3.10 – Armazenamento do melhor pó de cumbeba obtido pelo método de secagem em camada de espuma e do pó obtido por liofilização.....	35

3.11 – Análise estatística.....	35
<b>4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>37</b>
4.1 – Avaliação das espumas das diferentes formulações.....	37
4.1.1 – Estabilidade .....	37
4.1.2 – Densidade e expansão volumétrica ( <i>over-run</i> ).....	38
4.2 – Caracterização físico-química da polpa de cumbeba integral e da formulação selecionada .....	41
4.3 – Cinética de secagem.....	49
4.4 – Caracterização química, física e físico-química dos pós de cumbeba obtidos pelo método de secagem em camada de espuma.....	58
4.4.1 – Atividade de água ( $a_w$ ).....	58
4.4.2 – Teor de água.....	59
4.4.3 – Acidez total titulável (ATT).....	60
4.4.4 – pH.....	61
4.4.5 – Açúcares redutores (AR).....	62
4.4.6 – Sólidos solúveis totais (SST).....	63
4.4.7 – Cinzas.....	64
4.4.8 – Ácido ascórbico.....	65
4.4.9 – Proteína bruta.....	66
4.4.10 – Luminosidade ( $L^*$ ).....	67
4.4.11 – Intensidade de vermelho ( $+a^*$ ).....	68
4.4.12 – Intensidade de amarelo ( $+b^*$ ).....	69
4.4.13 – Ângulo de tonalidade ( $h$ ).....	70
4.4.14 – Croma ( $C^*$ ).....	71
4.4.15 – Antocianinas.....	72
4.4.16 – Flavonoides.....	73
4.4.17 – Carotenoides.....	74
4.4.18 – Compostos fenólicos.....	75
4.4.19 – Betalaínas.....	76
4.4.20 – Molhabilidade.....	78
4.4.21 – Higroscopicidade.....	79
4.4.22 – Solubilidade.....	81
4.4.23 – Ângulo de repouso ( $^\circ$ ).....	82

4.4.24 – Densidade aparente.....	83
4.4.25 – Densidade compactada.....	84
4.4.26 – Densidade absoluta.....	85
4.4.27 – Porosidade.....	87
4.4.28 – Fator de Hausner (FH).....	88
4.4.29 – Índice de Carr (IC).....	89
4.5 – Caracterização dos pós de cumbeba obtidos pelos métodos de secagem em camada de espuma e liofilização.....	90
4.6 – Isotermas de adsorção de água.....	104
4.6.1 – Isotermas de adsorção a 25 °C dos pós de cumbeba obtidos por secagem em camada de espuma com 0,5 cm de espessura.....	104
4.6.2 – Isotermas de adsorção a 25 °C dos pós de cumbeba obtidos por secagem em camada de espuma com 1,0 cm de espuma.....	107
4.6.3 – Isotermas de adsorção a 25 °C dos pós de cumbeba obtidos por secagem em camada de espuma com 1,5 cm de espessura.....	109
4.6.4 – Isotermas de adsorção de água dos pós de cumbeba liofilizada.....	112
4.6.5 – Isotermas de adsorção de água do melhor pó de cumbeba obtido na secagem em camada de espuma.....	115
4.7 – Armazenamento do melhor pó de cumbeba obtida por secagem em camada de espuma.....	117
4.7.1 – Atividade de água ( $a_w$ ).....	117
4.7.2 – Teor de água.....	119
4.7.3 –Acidez total titulável (ATT).....	120
4.7.4 – pH.....	122
4.7.5 – Ácido ascórbico.....	123
4.7.6 – Cor.....	125
4.7.6.1 – Luminosidade ( $L^*$ ).....	125
4.7.6.2 – Intensidade de vermelho ( $+a^*$ ).....	126
4.7.6.3 – Intensidade de amarelo ( $+b^*$ ).....	128
4.7.7 – Flavonoides.....	129
4.7.8 – Betaxantinas.....	131
4.7.9 – Solubilidade.....	133

4.8 – Armazenamento do pó de cumbeba liofilizado .....	135
4.8.1 – Atividade de água.....	135
4.8.2 – Teor de água.....	136
4.8.3 – Acidez total titulável (ATT).....	138
4.8.4 – pH.....	140
4.8.5 – Ácido ascórbico.....	141
4.8.6 – Cor.....	143
4.8.6.1 – Luminosidade (L*).....	143
4.8.6.2 – Intensidade de vermelho (+a*).....	144
4.8.6.3 – Intensidade de amarelo (+b*).....	146
4.8.7 – Flavonoides.....	147
4.8.8 – Betaxantinas.....	149
4.8.9 – Solubilidade.....	150
<b>5 – CONCLUSÕES .....</b>	<b>153</b>
<b>6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>156</b>
<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>205</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>216</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> – <i>Tacinga cactos</i> .....	5
<b>Figura 2.2</b> – Fruto de cumbeba .....	5
<b>Figura 3.1</b> – Fruto de cumbeba [ <i>Tacinha inamoena</i> (K. Schum.) N. P. Taylor e Stuppy] .....	18
<b>Figura 3.2</b> – Fluxograma do processamento para obtenção da polpa de cumbeba.....	19
<b>Figura 3.3</b> – Frutos maduros de cumbeba .....	20
<b>Figura 4.1</b> – Teor de água das espumas da polpa de cumbeba em função do tempo de secagem para diferentes espessuras da camada (a - 0,5 cm; b - 1,0 cm; c -1,5 cm) e temperaturas de secagem (d - 50 °C; e- 60 °C; f - 70 °C).....	50
<b>Figura 4.2</b> – Taxas de secagem da espuma da polpa de cumbeba em função do tempo para as diferentes temperaturas (a - 50 °C; b- 60 °C; c - 70 °C) e espessuras .....	52
<b>Figura 4.3</b> – Efeito combinado da temperatura do ar e da espessura das amostras na difusividade efetiva das espumas da polpa de cumbeba.....	56
<b>Figura 4.4</b> – Isotermas de adsorção de água a 25 °C dos pós de cumbeba obtidos na secagem em camada de espuma com espessura de 0,5 cm com ajustes ao modelo de GAB.....	106
<b>Figura 4.5</b> – Isotermas de adsorção de água a 25 °C dos pós de cumbeba obtidos na secagem em camada de espuma com espessura de 1,0 cm com ajustes ao modelo de GAB.....	109
<b>Figura 4.6</b> – Isotermas de adsorção de água a 25 °C dos pós de cumbeba obtidos na secagem em camada de espuma com espessura de 1,5 cm com ajuste ao modelo de Peleg.....	112
<b>Figura 4.7</b> – Isotermas de adsorção de água a 20, 30 e 40 °C dos pós de cumbeba obtidos na liofilização com ajustes ao modelo de Peleg.....	114
<b>Figura 4.8</b> – Isotermas de adsorção de água a 20, 30 e 40 °C dos pós de cumbeba obtidas na secagem em camada de espuma a 70°C e espessura de 1,5 cm, com ajustes ao modelo de GAB.....	116

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1-</b> Concentração de aditivos nas formulações para elaboração de espumas com a polpa de cumbeba integral.....	24
<b>Tabela 3.2</b> – Modelos matemáticos utilizados para estimar as curvas de cinética de secagem das espumas.....	27
<b>Tabela 3.3</b> – Modelos de isotermas de adsorção.....	34
<b>Tabela4.1</b> – Estabilidade, expresso como volumen drenado em mL, das espumas das diferentes formulações com a polpa de cumbeba após 90 minutos em função do tempo de batimento.....	38
<b>Tabela4.2</b> – Valores médios da densidade e expansão volumétrica ( <i>over-run</i> ) das espumas da polpa de cumbeba das diferentes formulações em função do tempo de batimento.....	39
<b>Tabela 4.3</b> – Valores médios e desvios padrão dos parâmetros químicos e físicos da polpa de cumbeba integral e da espuma da formulação F2 (2,5% de emustab e 1,5% de liga neutra).....	42
<b>Tabela 4.4</b> – Coeficientes de determinação ( $R^2$ ), desvios quadráticos médios (DQM) e qui- quadrado ( $\chi^2$ ) para os modelos ajustados aos dados experimentais da secagem das espumas da polpa de cumbeba.....	54
<b>Tabela 4.5</b> – Energias de ativação das espumas da polpa de cumbeba.....	57
<b>Tabela 4.6</b> – Valores médios da atividade de água ( $a_w$ ) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma.....	58
<b>Tabela 4.7</b> – Valores médios do teor de água (% b. u.) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma.....	59
<b>Tabela 4.8</b> – Valores médios da acidez total titulável (% ácido cítrico) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma.....	60
<b>Tabela 4.9</b> – Valores do pH dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma.....	61

<b>Tabela 4.10</b> – Valores médios dos açúcares redutores (%) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma.....	62
<b>Tabela 4.11</b> –Valores médios dos sólidos solúveis totais (°Brix) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma.....	63
<b>Tabela 4.12</b> – Valores médios de cinzas (%) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma.....	64
<b>Tabela 4.13</b> –Valores médios do ácido ascórbico (mg/100 g) dos pós de cumbeba para as três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma.....	65
<b>Tabela 4.14</b> – Valores médios da proteína bruta (%) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma.....	66
<b>Tabela 4.15</b> – Valores médios de luminosidade (L*) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma.....	67
<b>Tabela 4.16</b> –Valores médios de intensidade de vermelho (+a*) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma.....	68
<b>Tabela 4.17</b> –Valores médios de intensidade de amarelo (+b*) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma.....	69
<b>Tabela 4.18</b> – Valores médios do ângulo de tonalidade (h) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma.....	70
<b>Tabela 4.19</b> – Valores médios do croma (C*) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma.....	71
<b>Tabela 4.20</b> – Valores médios de antocianinas (mg/100 g) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma.....	72

<b>Tabela 4.21</b> – Valores médios de flavonoides (mg/100 g) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma.....	73
<b>Tabela 4.22</b> – Valores médios de carotenoides (mg/100 g) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camada de espuma.....	74
<b>Tabela 4.23</b> – Valores médios de fenólicos (mg/100 g) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma.....	75
<b>Tabela 4.24</b> – Valores médios de betaxantinas (mg/100 g) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma.....	76
<b>Tabela 4.25</b> – Valores médios de betacianinas (mg/100 g) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma.....	77
<b>Tabela 4.26</b> – Valores médios da taxa de molhabilidade ( $\text{g}/\text{min}^{-1}$ .) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma.....	78
<b>Tabela 4.27</b> – Valores médios da higroscopicidade (%) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma.....	79
<b>Tabela 4.28</b> – Valores médios da solubilidade (%) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma.....	81
<b>Tabela 4.29</b> – Valores médios do ângulo de repouso ( $^{\circ}$ ) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma.....	82
<b>Tabela 4.30</b> –Valores médios da densidade aparente ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma.....	84
<b>Tabela 4.31</b> – Valores médios da densidade compactada ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma.....	85

<b>Tabela 4.32</b> – Valores médios da densidade absoluta ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma.....	86
<b>Tabela 4.33</b> – Valores médios da porosidade (%) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma.....	87
<b>Tabela 4.34</b> – Valores médios do fator de Hausner (FH) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma.....	88
<b>Tabela 4.35</b> – Valores médios do índice de Carr (IC) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma.....	90
<b>Tabela 4.36</b> – Valores médios e desvios padrão da caracterização física dos pós de cumbeba, obtidos pelos métodos de camada de espuma a 70 °C e 1,5 cm de espessura e por liofilização.....	91
<b>Tabela 4.37</b> – Valores médios e desvios padrão da caracterização física dos pós de cumbeba, obtidos pelos métodos de camada de espuma a 70 °C e espessura de 1,5 cm e em liofilizado.....	99
<b>Tabela 4.38</b> –Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P%) dos modelos ajustados aos dados de adsorção de água a 25 °C dos pós de cumbeba obtido na secagem em camada da espuma em diferentes temperaturas e 0,5 cm de espessura.....	105
<b>Tabela 4.39</b> –Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P%) dos modelos ajustados os dados de adsorção de água a 25 °C dos pós de cumbeba obtido na secagem em camada da espuma em diferentes temperaturas e com 1,0 cm de espessura.....	107
<b>Tabela 4.40</b> –Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P%) dos modelos ajustados aos dados de adsorção de água a 25 °C dos pós de cumbeba obtidos na secagem em camada da espuma em diferentes temperaturas e com 1,5 cm de espessura.....	110

<b>Tabela 4.41</b> – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P%) dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água a 20, 30 e 40 °C dos pós de cumbeba obtidos por liofilização.....	113
<b>Tabela 4.42</b> – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P%) dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água a 20, 30 e 40 °C dos pós de cumbeba obtidos na secagem em camada da espuma a 70 °C e 1,5 cm de espessura.....	115
<b>Tabela 4.43</b> – Valores médios da atividade de água ( $a_w$ ) dos pós de cumbeba obtido na secagem em camada de espuma a 70 °C e 1,5 cm de espessura em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%.....	117
<b>Tabela 4.44</b> – Valores médios do teor de água (% b. u.) dos pós de cumbeba obtido na secagem em camada de espuma a 70 °C e 1,5 cm de espessura em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%.....	119
<b>Tabela 4.45</b> – Valores médios da acidez total titulável (% ácido cítrico) dos pós de cumbeba obtido na secagem em camada de espuma a 70 °C e 1,5 cm de espessura em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%.....	121
<b>Tabela 4.46</b> – Valores do pH dos pós de cumbeba obtida na secagem em camada de espuma a 70 °C e 1,5 cm de espessura em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%.....	122
<b>Tabela 4.47</b> – Valores médios do ácido ascórbico (mg/100 g) dos pós de cumbeba obtido na secagem em camada de espuma a 70 °C e 1,5 cm de espessura em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%.....	124
<b>Tabela 4.48</b> – Valores médios da luminosidade ( $L^*$ ) dos pós de cumbeba obtido na secagem em camada de espuma a 70 °C e 1,5 cm de espessura em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%.....	125
<b>Tabela 4.49</b> – Valores médios da intensidade de vermelho ( $+a^*$ ) dos pós de	

cumbeba obtido na secagem em camada de espuma a 70 °C e 1,5 cm de espessura em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%.....	127
<b>Tabela 4.50</b> – Valores médios de intensidade de amarelo (+b*) dos pós de cumbeba obtido na secagem em camada de espuma a 70 °C e 1,5 cm de espessura em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%.....	128
<b>Tabela 4.51</b> – Valores médios dos flavonoides (mg/100 g) dos pós de cumbeba obtida na secagem em camada de espuma a 70 °C e 1,5 cm de espessura em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%.....	130
<b>Tabela 4.52</b> – Valores médios das betaxantinas (mg/100 g) dos pós de cumbeba obtido na secagem em camada de espuma a 70 °C e 1,5 cm de espessura em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%.....	132
<b>Tabela 4.53</b> – Valores médios da solubilidade (%) dos pós de cumbeba obtido na secagem em camada de espuma a 70 °C e 1,5 cm de espessura em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%.....	133
<b>Tabela 4.54</b> – Valores médios da atividade de água ( $a_w$ ) dos pós de cumbeba liofilizado em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%.....	135
<b>Tabela 4.55</b> – Valores médios do teor de água (%) dos pós de cumbeba liofilizado em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%.....	137
<b>Tabela 4.56</b> – Valores médios da acidez total titulável (% ácido cítrico) dos pós de cumbeba liofilizado em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%.....	139
<b>Tabela 4.57</b> – Valores médios do pH dos pós de cumbeba liofilizado em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%.....	140
<b>Tabela 4.58</b> – Valores médios do ácido ascórbico (mg/100 g) dos pós de cumbeba liofilizado em função do tempo e temperatura de	

armazenamento e umidade relativa de 83%.....	141
<b>Tabela 4.59</b> – Valores médios da luminosidade (L*) dos pós de cumbeba liofilizado em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%.....	143
<b>Tabela 4.60</b> – Valores médios da intensidade de vermelho (+a*) dos pós de cumbeba liofilizado em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%.....	145
<b>Tabela 4.61</b> – Valores médios de intensidade de amarelo (+b*) dos pós de cumbeba liofilizado em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%.....	146
<b>Tabela 4.62</b> – Valores médios dos flavonoides (mg/100 g) dos pós de cumbeba liofilizado em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%.....	147
<b>Tabela 4.63</b> – Valores médios das betaxantinas (mg/100 g) dos pós de cumbeba liofilizado em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%.....	149
<b>Tabela 4.64</b> – Valores médios da solubilidade (%) dos pós de cumbeba liofilizado em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%.....	151

DIÓGENES, A. M. G. Secagem da polpa de cumbeba. 2018. 220 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

## RESUMO

Estimativas indicam que o número de espécies de cactáceas conhecidas no Brasil corresponde a aproximadamente 13% da biota mundial. Uma parte dessa diversidade está no semiárido nordestino conhecido como Caatinga. No entanto, estas espécies são pouco exploradas, especialmente em relação ao uso de frutos, como a cumbeba. O presente estudo formulou três diferentes espumas com a polpa de cumbeba [*Tacinga inamoena* (K. Schum.) N.P. Taylor e Stuppy] variando a concentração de Emustab® (3, 2,5 e 2%) e Liga Neutra® (2, 1,5 e 1%) em função do tempo de batimento (5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos). A espuma formulada (F2) com polpa de cumbeba e com adição de 2,5% de Emustab® e 1,5% de Liga Neutra e tempo de batimento de 15 minutos foi a que obteve melhor estabilidade e expansão volumétrica (*over-run*) e menor densidade, sendo então, submetida a secagem em camada de espuma nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C e espessuras da camada de 0,5, 1 e 1,5 cm, e no liofilizador (espessura da camada de 1,5 cm) para obtenção de produtos em pó. O modelo de Midilli foi o que melhor se ajustou aos dados da cinética de secagem em camada de espuma. O tempo de secagem, a difusividade efetiva e a energia de ativação aumentaram com a elevação da temperatura de secagem e com o aumento da espessura da camada da espuma. A polpa de cumbeba integral, a espuma selecionada (F2) e os pós oriundos do método de secagem em camada de espuma e da liofilização foram avaliados quanto aos parâmetros químicos, físicos e físico-químicos. Observou-se a redução do teor de água e do pH, a elevação dos compostos bioativos, da acidez e do teor de ácido ascórbico com o aumento da temperatura de secagem. O pó de cumbeba secado em camada de espuma a 70 °C com 1,5 cm de espessura foi escolhido como o melhor e quando comparado com o pó de cumbeba liofilizada, obtiveram-se resultados melhores, com maiores teores dos compostos bioativos, solubilidade, molhabilidade e menor porosidade. Os modelos de GAB, Oswin e Peleg podem ser utilizados para estimar as isotermas de adsorção de água dos pós de cumbeba e estas foram classificadas como tipo II. O melhor pó de cumbeba secado em camada de espuma e o pó liofilizado foram armazenados a 30 e 40 °C, ocorrendo, com o decorrer do tempo, um aumento do teor de água, da atividade de água e do conteúdo de flavonoides e uma redução da solubilidade, ácido ascórbico e betaxantinas.

**Palavras chaves:** *Tacinga inamoena*, quipá, secagem em camada de espuma, liofilização, armazenamento, isotermas de adsorção de água.

## ABSTRACT

Estimates indicate that the number of cactus species known in Brazil corresponds to approximately 13% of the world biota. A part of this diversity is in the northeastern semi-arid region called Caatinga. However, these species are little explored, especially in relation to the use of fruits, such as cumbeba. The present study has formulated three different foams with cumbeba pulp [*Tacinga inamoena* (K. Schum.) N.P. Taylor and Stuppy] just varying the concentration of Emustab® (3, 2.5 and 2%) and Neutral® (2, 1.5 and 1%) based on the beat time (5, 10, 15, 20, 25 and 30 minutes). The formulated foam (F2) with cumbeba pulp and with addition of 2.5% of Emustab® and 1.5% of Neutral Alloy and time of 15 minutes was the one that obtained better stability and volumetric expansion (over-run) and lower density, then it was submitted to drying in a foam layer at temperatures of 50, 60 and 70 °C and layer thicknesses of 0.5, 1 and 1.5 cm, and in the lyophilizer (layer thickness of 1, 5 cm) to obtain powdered products. Midilli model was the best that fit for the kinetics of foam layer drying. The drying time, the effective diffusivity and the activation energy increased with the increase of the drying temperature and with the increase of the thickness of the foam layer. The total cumbeba pulp, selected foam (F2) and powders from the foam-layer drying and freeze-drying method were evaluated for chemical, physical and physicochemical parameters. The reduction of the water content and the pH, the increase of the bioactive compounds, the acidity and the ascorbic acid content were observed with the increase of the drying temperature. The cumbeba foam-dried powder at 70 °C with 1.5 cm thick was chosen as the best and when compared to lyophilized cumbeba powder, better results were obtained with higher bioactive compounds contents, solubility, wettability, and lower porosity. GAB, Oswin and Peleg models can be used to estimate the water adsorption isotherms of cumbeba powders and they were classified as type II. The best foam-dried cumbeba powder and freeze-dried powder were stored at 30 and 40 °C, with increasing water content, water activity and flavonoid content over time, and a reduction solubility, ascorbic acid and betaxanthines.

**Keywords:** *Tachyon inamoena*, quipá, foam layer drying, lyophilization, storage, water adsorption isotherms.

## 1 – INTRODUÇÃO

No Nordeste brasileiro existem várias espécies de cactáceas nativas; parte desta diversidade está no semiárido, inseridas no bioma da Caatinga. Neste bioma, espécies como mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.), xiquexique [*Pilosocereus gounellei* (F.A.C. Weber) Byles e G.D.Rowley], coroa de frade [*Melocactus bahiensis* (Britton e Rose) Werderm.], facheiro [*Pilosocereus pachycladus* F. Ritter] crescem de forma natural entre rochas, em terrenos arenosos e solos áridos, onde produzem frutos de grande diversidade de sabores, mesmo sem qualquer seleção genética (LUCENA et al., 2013; SILVA et al., 2009).

Frutos de espécies de cactáceas nativas, consumidos na forma *in natura*, ou o cladódio no caso de alguns do gênero *Opuntia*, são usados na alimentação humana e animal (NAZARENO e PADRÓN-PEREIRA, 2011). No entanto, alguns destes alimentos não são utilizados devido ao desconhecimento nutricional, desperdiçando-se, assim, parte da variedade alimentar local (NASCIMENTO et al., 2011).

Uma destas espécies subexplorada é a cumbeba [*Tacinga inamoena* (K. Schum.) N.P. Taylor e Stuppy]. Fruto nativo da caatinga, apresenta forma arredondada, contém pequenos acúleos em toda sua casca e a cor variando do verde para amarelo, e deste, ao amarelo-alaranjado. O fruto apresenta 35,7% do seu peso como polpa carnosa (BRITO PRIMO et al., 2009; DANTAS et al., 2015a; DANTAS et al., 2015b). Estes frutos, ainda, se caracterizam por possuírem em sua composição ácido ascórbico, carotenoides, antocianinas, compostos fenólicos e betalaínas (SOUSA, 2017; DANTAS et al., 2015b).

Sendo um produto perecível, onde seu teor de água pode variar de 77,57 a 87,87% (SOUSA, 2017), a cumbeba pode ser submetida a um processo tecnológico a fim de aumentar sua vida útil, garantindo assim sua chegada a outros mercados consumidores. Uma das possíveis alternativas para o aproveitamento da cumbeba é a secagem ou desidratação.

Dentre os vários métodos, a liofilização e a secagem em camada de espuma podem ser utilizadas no intuito de reduzir o teor de água destes frutos, transformando-os em produtos porosos de fácil reidratação (BORRMANNA et al., 2013; PAVAN et al., 2012; THUWAPANICHAYANAN et al., 2012).

O princípio da liofilização consiste, basicamente, na remoção total da água através da sublimação a baixas pressões em alimento previamente congelado (VIEIRA et al., 2012)

No método de secagem em camada de espuma são adicionados emulsificantes e estabilizantes às polpas de frutas, transformando-as em uma espuma por meio de batidura e pela ação do calor esta espuma é convertida em pó (AUISAKCHAIYOUNG e ROJANAKORN, 2015; CHAUX-GUTIÉRREZ et al., 2017). A secagem em camada de espuma, comparada com os demais métodos de secagem, tem a vantagem de ser mais simples e de menor custo (CARVALHO et al., 2017a), além disso, apresenta alta velocidade de secagem e boa qualidade dos produtos obtidos (HARDY e JIDEANI, 2017). Este método tem sido empregado, com sucesso, na produção de suco e/ou polpa de frutas em pó, como abacaxi (KADAM et al., 2012a), cereja (CHAVES et al., 2013), e melão (SALAHY et al., 2017).

Estes métodos são adequados para secagem de polpas de frutas aquosas, como a cumbeba, que pode vir a ser uma matéria-prima aproveitada comercialmente como um produto diferenciado, típico do semiárido brasileiro.

Os pós alimentícios geralmente são produtos estáveis para o armazenamento, embalagem e transporte. Além destas vantagens, os pós de frutas podem ser utilizados como ingredientes em formulações de fácil reconstituição, tais como sucos, e são de fácil utilização em operação de adição e mistura em escala industrial (CALISKAN e DIRIM, 2013).

Diante do exposto, é de suma importância estudar o potencial de uma espécie da flora nativa do semiárido brasileiro por meio da transformação da sua polpa em pós através dos métodos de secagem em camada de espuma e liofilização e avaliar a estabilidade dos mesmos durante o armazenamento.

## **1.1 – Objetivos**

### **1.1.1 – Objetivo geral**

✓ Secar a polpa de cumbeba [*Tacinga inamoena* (K. Schum.) N.P. Taylor e Stuppy] no liofilizador e pelo método de camada de espuma.

### **1.1.2 - Objetivos específicos**

✓ Caracterizar a polpa de cumbeba integral quanto aos parâmetros físicos, químicos e físico-químicos;

- ✓ Elaborar formulações a partir da polpa de cumbeba integral com diferentes concentrações dos aditivos Emustab® e Liga Neutra® para obtenção de espuma;
- ✓ Selecionar a melhor espuma de acordo com os parâmetros físicos de estabilidade, densidade e expansão volumétrica (*over-run*) da espuma;
- ✓ Caracterizar a espuma selecionada quanto aos parâmetros físicos, químicos e físico-químicos e comparar com a polpa integral;
- ✓ Desidratar a espuma selecionada pelo método de secagem em camada de espuma em três temperaturas do ar de secagem (50, 60 e 70 °C) e em três espessuras da camada de espuma (0,5, 1,0 e 1,5 cm) e ajustar os modelos matemáticos de Newton, Page, Henderson e Pabis, Exponencial Dois Termos, Thompson, Logarítmico, Aproximação da Difusão, Henderson e Pabis modificado, Dois Termos e Midilli às curvas de cinética de secagem em camada de espuma;
- ✓ Desidratar a espuma selecionada no liofilizador;
- ✓ Caracterizar as amostras em pó de cumbeba secadas em camada de espuma e no liofilizador quanto aos parâmetros físicos, químicos e físico-químicos;
- ✓ Determinar as isotermas de adsorção de água dos pós de cumbeba secados em camada de espuma na temperatura de 25 °C e ajustar os modelos matemáticos de GAB, Oswin e Peleg às isotermas de adsorção de água;
- ✓ Selecionar o melhor pó de cumbeba obtido na secagem em camada de espuma de acordo com as características físicas, químicas e físico-químicas e compará-las com os pós de cumbeba obtidos na liofilização;
- ✓ Determinar as isotermas de adsorção de água, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, do melhor pó de cumbeba secado em camada de espuma e o liofilizado e ajustar os modelos matemáticos de GAB, Oswin e Peleg aos dados experimentais;
- ✓ Armazenar o melhor pó de cumbeba obtido na secagem em camada de espuma e no liofilizador durante 90 dias e avaliá-los a cada 15 dias quanto aos parâmetros de pH, acidez total titulável, ácido ascórbico, atividade de água, teor de água, solubilidade, cor, betaxantinas e flavonoides.

## 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 – Cumbeba

A região Nordeste do Brasil apresenta ambiente de contrastes, sendo representada pelos biomas: caatinga, cerrado, mata atlântica e floresta amazônica. Trata-se de uma região com diversidade de espécies nativas com potencial alimentício (humano e animal), medicinal, produção de forragem, óleos e fibras (NASCIMENTO et al., 2015; RAMOS, 2008).

Dentre estes biomas está a caatinga: constituída de uma vegetação adaptada aos baixos índices pluviométricos e diferentes estruturas de vegetação. Suas áreas são dominadas tanto por espécies de porte arbóreo, formando matas abertas, como por espécies de porte herbáceo/arbustivo, representadas por espécies da família *Cactaceae*, adaptadas a altas temperaturas e ao clima seco (DUQUE, 2004).

As *Cactaceae* compreendem 124 gêneros e 1.438 espécies. O Brasil representa o terceiro maior centro de diversidade de *Cactaceae*, principalmente na região Nordeste, onde são registrados 39 gêneros e 254 espécies (SOUZA e CAVALCANTE, 2013; TAYLOR et al., 2015).

O gênero *Opuntia*, da família das *Cactaceae* (cactus), contém mais de 300 (trezentas) espécies. Deste número de espécies, estima-se que o homem utiliza entre 10 e 12 espécies para produção de forragens ou cochonilha, plantas ornamentais, cercas-vivas e consumo do fruto (LUCENA et al., 2012; YAHIA, 2011).

Assim como o *Opuntia* cactus o gênero *Tacinga* cactus (Figura 2.1), é subarbusto rupícola ou terrícola e xerofítica; cresce principalmente em zonas áridas e semiáridas, como o Nordeste brasileiro (MEIADO et al., 2012; TAYLOR et al., 2015).



**Figura 2.1** – *Tacinga cactos*

De acordo com Menezes et al. (2013) a *Tacinga inamoena* é um arbusto com até 35 cm de altura com cladódio cilíndrico complanado, segmentado em artículos fusiformes a elipsoides, ou raramente elípticos a obovados (30–70 × 15–30 mm). Possui ramificações irregulares, folhas reduzidas em ramos novos, ausentes em ramos maduros, espinhos ausentes, gloquídeos presentes, flores sésseis, rotadas a hipocrateriformes (40 × 25–30 mm), pericarpelo verde, com gloquídeos e perigônio vermelho (Figura 2.1). Sua importância como um sistema de produção de alimentos inclui seus frutos e partes vegetais (BRITO PRIMO et al., 2009).

Algumas espécies de frutos nativos de cactus ainda são muito subutilizadas. Como exemplo podemos citar o fruto de cumbeba [*Tacinga inamoena* (K. Schum.) N. P. Taylor e Stuppy] (Figura 2.2), espécie popularmente conhecida como quipá (DANTAS et al., 2015b).



**Figura 2.2** – Fruto de cumbeba

Os frutos apresentam-se globosos (15 mm de diâmetro), com pericarpo variando do amarelo ao laranja fosco, com porção basal avermelhada fosca; 15–20 aréolas no pericarpo, com gloquídeos; polpa funicular amarelada onde estão dezenas de sementes imersas (espessura de 3 mm) envolvidas pelo arilóide fibro-carnoso (MENEZES et al., 2013).

### 2.1.1 – Composição química

Um fator importante para fornecer informações sobre componentes nutricionais nos alimentos é a composição química (VALENTE et al., 2011). Uns dos componentes químicos estudados e observados em frutos de cactáceas são os agentes antioxidantes (JUN et al., 2013). De acordo com Vidal e Freitas (2015), antioxidantes são substâncias que podem evitar, prevenir ou retardar os danos oxidativos que os radicais livres causam às células, lipídeos, proteínas e ácidos nucleicos.

Dantas (2015c) cita que o crescente interesse em pesquisar o aspecto funcional nos frutos e nos cladódios da família das cactáceas se justifica devido ao potencial uso destes antioxidantes nas áreas da medicina, farmacologia, cosmética e nutrição.

Vários pesquisadores avaliaram a composição química dos frutos de cactáceas do gênero *Opuntia* ssp., por exemplo, encontrando diferentes componentes: betacianinas, betaxantinas (DEHBI et al., 2013; GANDÍA-HERRERO e GARCÍA-CARMONA, 2013; BOK-MI et al., 2012), fenólicos totais, flavonoides (SUH et al., 2014; XIAOAN et al., 2017), carotenoides (FERNÁNDEZ-LÓPEZ et al., 2010), açúcares (MIZRAHI, 2014), ácidos graxos, vitaminas, aminoácidos (EL MOSTAFA et al., 2014; PATEL, 2013), fibras (OSUNA-MARTÍNEZ et al., 2014), minerais (CHA et al., 2013), carboidratos (ZHONG et al., 2010), taninos (RABHI et al., 2013; SOUZA et al., 2015b), tocoferol e ácido ascórbico (MORALES et al., 2012), apesar de apresentarem perfil quantitativo diferenciado entre casca, polpa e semente (SUMAYA-MARTÍNEZ et al., 2011; YEDDES et al., 2013).

De acordo com Dantas et al. (2015b), os frutos de cumbeba [*Tacinga inamoena* (K. Shum.)] apresentam baixa acidez e acumulam durante a maturação carotenoides e betalaínas, estando estes compostos mais presentes na casca do que na polpa. Entretanto, foi na polpa que se observou incremento contínuo de compostos fenólicos, de 11,21 para 29,84 mg EAG/100 g).

Estudo realizado com o fruto de cumbeba por Souza et al. (2007) mostrou que a composição química apresenta teores de cálcio, magnésio e potássio com valores na ordem de 587,04 mg, 257,02 mg e 318,01 mg, respectivamente.

Dantas et al. (2015a) analisando o fruto da *T. inamoena*, verificaram um teor de sólidos solúveis de 14,7%, acidez total titulável baixa (0,62 g de ácido cítrico/100 g), proporção SS/AT de 23,71, de ácido ascórbico de 42,1 mg/100 g e betaxantinas de 9,7 mg/100 g. Ainda segundo os autores, este fruto exibe características físico-químicas e sensoriais que podem torná-lo adequado para o processamento, bem como para o consumo *in natura*.

Extraindo composto fenólicos de casca de *Opuntia ficus-indica* Mill para utilizarem como agente antioxidante em margarinas, Chougui et al. (2015) comprovaram que o extrato de *Opuntia ficus-indica* Mill desempenhou um papel importante contra a oxidação, similar aos desempenhados pela quercetina e BHA (butil hidroxianisol). Os autores ainda observaram que concentrações de 50 ppm do extrato incorporado às margarinas apresentou maior desempenho do que a vitamina E, geralmente utilizado a 100 ppm.

Kuti (2004) ao estudar quatro variedades da cactácea *Opuntia* (*O. ficus-indica*, *O. lindheimeri*, *O. streptacantha* e *O. stricta* var. *stricta*), atribuiu a capacidade antioxidante dos frutos aos conteúdos de flavonoides, ácido ascórbico e carotenoides, indicando que os frutos destas cactáceas são uma rica fonte de antioxidantes naturais para alimentação humana.

Castellar et al. (2012) estudaram a produção de antioxidantes durante o amadurecimento de *Opuntia stricta* (Haw.) e verificaram que a concentração de antioxidantes aumentaram a medida que o fruto amadurecia, com destaque para as betacianinas e betaxantinas. Também foram observados o L-ácido ascórbico e a L-tirosina.

Analisando as características físico-químicas dos frutos de duas espécies de pitaya (*Hylocereus undatus* e *Selenicereus setaceus*) Lima et al. (2014) observaram que os sólidos solúveis foram maiores nas porções medianas e centrais dos frutos. De acordo com estes autores, esta diferença na composição química se deve a variabilidade genética dos frutos de pitaya.

Brito Primo et al. (2009) observaram conteúdos significativos para sólidos solúveis, acidez e ácido ascórbico presente na porção comestível do figo-da-índia (*Opuntia ficus-indica* Mill). No entanto, os aspectos de qualidade dessa variedade mudou conforme o local de produção e o estágio de maturação.

Estudos ainda apontam que as condições climáticas (irradiação solar, condições hídricas), o tipo de solo (nutrição mineral) (EL FITI et al., 2013), método de cultivo (ROTHMAN et al., 2012), estágio de maturação ou a conservação pós-colheita podem influenciar na composição química e nas propriedades funcionais do figo-da-índia (*Opuntia ficus-indica* Mill) (HERRERA-HERNÁNDEZ et al., 2011; MOUSSA-AYOUB et al., 2014). Os fatores diversidade e variabilidade dos frutos também contribuem para a mudança dos atributos de qualidade físicos e físico-químicos entre as espécies e suas variedades (YAHIA e MONDRAGON-JACOBO, 2011; WIT et al., 2010; SILVA et al., 2015c).

## **2.2 – Secagem**

O processo de secagem utiliza ar quente para a transferência de calor para o alimento e a consequente vaporização da água contida nesse processo. As vantagens da desidratação atribuídas a este método são: aumento da vida útil do produto, facilidade no transporte, comercialização e armazenamento e reduzida perdas de nutrientes, além de outros benefícios (CELESTINO, 2010).

Muitos pesquisadores utilizaram diferentes métodos de secagem para produzir um produto com baixo teor de água estudando vários materiais biológicos: Santos et al. (2013a) utilizaram secagem em leito de jorro para obter pó da polpa de caju nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C; Oliveira et al. (2014) conseguiram desidratar cajá pelo processo de liofilização a uma temperatura de de - 38 °C por 24 h; Melo et al. (2013) secaram a polpa do mandacaru em camada de espuma nas temperaturas de 70, 80 e 90 °C com três diferentes espessuras de camada de espuma (0,5; 1,0 e 1,5 cm); Caparino et al. (2012) obteve pó da polpa de manga por secagem por aspersão com temperaturas do ar de secagem de entrada de 190 °C e de saída de 90 °C.

### **2.2.1 – Secagem em camada de espuma**

A secagem em camada de espuma é um processo muito empregado na desidratação de alimentos sensíveis ao calor, a exemplo das polpas de frutas, proporcionando retenção das propriedades nutricionais e sensoriais da fruta *in natura*. Este método exige poucos equipamentos e envolve tempos de processamento mais curtos se comparados com a liofilização, por exemplo (ALEXANDRE et al., 2014).

A secagem em camada de espuma, ou *foam mat drying*, é considerada um processo simples e de baixo custo que apresenta a particularidade de adicionar, geralmente, a sucos ou polpas de frutas, agentes emulsificantes e estabilizantes, os quais são transformados em uma espuma estável pela incorporação de ar em sua estrutura, por meio de agitação, batedura ou aeração; desta forma, o alimento é convertido em uma espuma estável durante todo o processo (FELLOWS, 2006; MELO et al., 2013).

Após a obtenção da espuma esta é espalhada em uma superfície, utilizando-se uma camada com espessura em torno de 2 a 5 mm. Quando exposta à corrente de ar quente e seca, devido à maior área de superfície exposta ao ar e ao movimento do teor de água pelas forças capilares através da película líquida que separa as bolhas da espuma, resulta em um produto poroso e quebradiço, de fácil moagem e transformação em pó com boas propriedades de reidratação (BARRETO, 2011; DANTAS, 2010; SILVA et al., 2008).

Melo et al. (2013) ao secarem a polpa do fruto do mandacaru em camada de espuma, verificaram que a espessura da camada da espuma e a temperatura de secagem influenciaram no tempo de secagem, sendo o processo mais rápido para a menor espessura (0,5 cm) e temperatura mais elevada (90 °C).

### **2.2.1.1 – Aditivos utilizados na secagem em camada de espuma**

Segundo a legislação brasileira (Portaria N° 540 - SVS/MS, de 27 de outubro de 1997), aditivo alimentar é qualquer substância empregada na fabricação de um alimento, sem propósito de nutrir, com o objetivo de modificar as características físicas, químicas, biológicas ou sensoriais, durante a fabricação, processamento, preparação, tratamento, embalagem, acondicionamento, armazenagem, transporte ou manipulação de um alimento (BRASIL, 1997).

De acordo com esta finalidade, aditivos como as gomas arábica, guar e xantana, a maltodextrina e a proteína do leite são alguns tipos de materiais mais comuns usados em microencapsulação nas secagens por aspersão e em camada de espuma, por exemplo. Estes aditivos apresentam muitas características desejáveis para ser um bom agente de encapsulação: alta solubilidade, baixa viscosidade e boas propriedades emulsificantes (CARNEIRO et al., 2013).

A escolha do material a ser utilizado no processo de secagem 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).

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

Um alimento em pó de alta qualidade pode ser obtido através da melhor seleção do método de formação da espuma (aeração, agitação e batimento), agentes de formação da mesma, estabilizadores, tempo, método e temperatura de secagem (SANGAMITHRA et al., 2015).

Os principais emulsificantes utilizados pelas indústrias alimentícias são os ésteres de ácidos lácticos e os monoglicerídeos, como o Emustab®. Este, um produto à base de monoglicerídeos destilados, monoestearato de sorbitana e polisorbato 60, é muito utilizado para secagem em camada de espuma (BARRETO, 2011).

Outro aditivo utilizado para secagem em camada de espuma é a Liga Neutra®: produto à base de sacarose e dos espessantes carboximetil-celulose e goma guar. Este favorece as características físicas das emulsões e suspensões otimizando a homogeneização dos ingredientes, além de aumentarem sua viscosidade (SILVA, 2014).

Estas substâncias auxiliam o alimento a não separarem suas fases e melhoram as condições reológicas formando um gel de viscosidade desejável (GAVA et al., 2008).

Roncheti (2014) utilizou o agente emulsificante Emustab® para produção de espuma de cenoura no processo de secagem em camada de espuma, onde o estabilizante apresentou redução da densidade e estabilidade satisfatórias em todos os níveis de concentração testados (2,5, 5, 7,5 e 10%).

Kandasamy et al. (2014) estudaram a otimização da secagem em camada de espuma de polpa de mamão incorporando a esta metil-celulose (0,75%), glicerol-monoestearato (3%) e albumina (15%) para formação de espuma. As formulações foram batidas por 20 minutos, secadas em temperaturas de 60, 65 e 70 °C e altura da camada de espuma de 2, 4, 6, 8 e 10 mm. De acordo com estes autores, as análises físico-químicas mostraram uma redução significativa no ácido ascórbico, pH, acidez,  $\beta$ -caroteno e no total de açúcares para as amostras em pó secadas à 65 e 70 °C e altura da espuma de 4 a 10 mm. Ainda de acordo com estes autores, a melhor avaliação sensorial de atributos da qualidade foi para o pó com 3% de glicerol-mono-estearato, espessura de 4 mm de espuma e secadas à 60 °C, produzindo a camada de espuma ideal.

### **2.2.1.2 – Estabilidade da espuma**

A densidade é a propriedade mais importante na escolha do agente espumante para a desidratação em camada de espuma, pois é a redução da densidade, causada pela incorporação de ar durante a agitação da polpa com o aditivo, que caracteriza a formação da espuma (SOUZA, 2011).

Segundo Kadam et al. (2010), a secagem de produtos de espuma é mais rápida do que os produtos não espumados devido ao aumento das áreas interfaciais dos produtos de espumas (baixa tensão interfacial, filme interfacial mecanicamente forte, repulsão das duplas camadas elétricas, volume pequeno da fase dispersa, gotículas pequenas e viscosidade newtoniana elevada) responsáveis pela sua velocidade de secagem induzida.

Porém, se a espuma é instável, o colapso da estrutura porosa ocorre, resultando na deterioração da qualidade dos produtos de espuma (THUWAPANICHAYANAN et al., 2012).

Damodaran et al. (2010) relataram que a estabilidade das espumas depende de dois fatores principais: a tendência dos filmes líquidos sofrerem drenagem e se tornarem mais finos e a tendência à ruptura em consequência de perturbações aleatórias. Para aumentar a estabilidade é necessário o uso de aditivos.

No entanto, a utilização de aditivos deve coexistir na camada interfacial com as funções específicas no processamento e nas propriedades do produto final. Para a utilização ótima dos aditivos é necessário o conhecimento das características físicas e físico-químicas da matéria-prima (teor de sólidos solúveis, atividade de água, mobilidade lateral, propriedades reológicas, etc) e o tipo/concentração do agente estabilizante e suas características interfaciais (formação de filme, capacidade para alterar a conformação estrutural, etc.) (PATINO et al., 2008).

Breda et al. (2013) avaliaram o efeito da secagem em camada de espuma na retenção da vitamina C em polpa de cajá-manga, elaborada a partir de quatro formulações utilizando três agentes espumantes combinados, em diferentes concentrações: pectina cítrica, Emustab® e Liga Neutra®. Os resultados mostraram que os agentes formadores de espuma influenciaram na retenção da vitamina C, onde a polpa desidratada contendo 1,5% de Emustab® e 1,0% de pectina obteve maior retenção da vitamina (28,55%).

Silva (2014) pesquisou o efeito combinado de dois aditivos (gelatina e agar-agar) para melhorar a formulação de espuma obtida da polpa de goiaba, analisando as seguintes variáveis dependentes: massa específica, fração do volume drenado, tempo de queda da

primeira gota, estabilidade e expansão da espuma. A espuma contendo concentrações menores dos estabilizantes apresentou melhores resultados em um maior tempo de queda da primeira gota (42,5 min), aumentando, assim, a estabilidade da espuma.

### **2.2.1.3 – Cinética de secagem**

A análise de cinética de secagem fornece informações sobre o fenômeno complexo que envolve simultaneamente a transferência de calor e massa, podendo abranger ainda a transferência de quantidade de movimento (FERREIRA e PENA, 2010).

De acordo com Prakotmak et al. (2010) o efeito da temperatura no teor de teor de água é muito rápido durante o período inicial de secagem, uma vez que diminui gradualmente a medida que se aproxima do teor de água de equilíbrio. O mesmo fenômeno foi observado por Furtado et al. (2010) onde a influência da temperatura na cinética da secagem de polpa de seriguela é mínima; no entanto, a secagem à 80 °C atingiu o equilíbrio mais rápido, em comparação com as temperaturas de 60 e 70 °C.

Os métodos de cálculo da cinética de secagem são aplicados de modo diferente, cujo período de taxa decrescente de secagem é quase sempre o único observado para a secagem de produtos agrícolas e alimentícios (PARK et al., 2004).

Para a modelagem dessas curvas de equilíbrio higroscópico, têm sido utilizadas relações matemáticas semiteóricas (Lewis, Page, Page Modificado, Henderson e Pabis, Logarítmico, Dois-termos, Dois-termos exponencial, Difusional, e os modelos de Verma et al.), e empíricas (modelos de Wang e Singh), uma vez que nenhum modelo teórico desenvolvido tem sido capaz de prever com precisão o teor de água de equilíbrio dos alimentos em todas as faixas de temperatura e teor de água relativa do ar, apesar de sua validade estar restrita às condições sob as quais os dados experimentais foram obtidos (McMINN, 2006).

Madureira et al. (2011) observaram a influência que a temperatura teve sobre os tempos de secagens em camada de espuma de figo-da-índia nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. Estes autores relataram que o incremento de 10 °C nas temperaturas de secagem acarretou reduções de tempo na ordem de 13% e de 18%, respectivamente, entre 50 e 60 °C e entre 60 e 70 °C. As cinéticas de secagem foram ajustadas por meio dos modelos de Lewis, Page, Henderson e Pabis, Logarítmico e Midilli; todos esses modelos proporcionaram bons ajustes aos dados experimentais, com destaque para o modelo de

Page apresentando os maiores coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e menores desvios quadráticos médios (DQM).

Sousa et al. (2011), estudaram a secagem em camada fina de polpa de oiti nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C em estufa com circulação forçada de ar. Para a representação da cinética de secagem em camada fina foram empregados os modelos matemáticos de Dois termos, Logarítmico, Page, Henderson e Pabis e Midilli. Mediante os resultados obtidos, estes autores observaram que o aumento da temperatura diminuiu o tempo de secagem da polpa de oiti. Dentre os modelos aplicados o de Page e o de Midilli apresentaram os maiores valores de  $R^2$  e os menores valores de DQM para as faixas de temperatura estudada.

### **2.2.2 – Liofilização**

Um dos processos mais utilizados para a obtenção de pós de origem vegetal é a liofilização. Esta faz com que a água contida no produto passe do estado sólido para o estado gasoso sem passar pelo estado líquido, ocorrendo desta forma, o processo de sublimação (IBARZ e BARBOSA-CÁNOVAS, 1999).

De acordo com Branco Van Cleef et al. (2010), o processo de sublimação é conseguido, estando as amostras congeladas, pelo auxílio da produção de vácuo, reduzindo a pressão circunvizinha e diminuição gradativa da temperatura, mantendo intacta as paredes celulares que seriam destruídas na evaporação.

Apesar dos custos do equipamento e da operação (ALEXANDRE et al., 2014; ESPÍRITO SANTO, 2011), a liofilização reduz as desnaturações oxidativa e proteica, assim como a perda de voláteis e vitaminas termosensíveis; o produto pode ser reconstituído com grande facilidade; oferta de um novo produto no mercado; aumento da vida útil do produto; facilidade no transporte, comercialização e armazenamento (CELESTINO, 2010; MARTIN, 2013).

Várias pesquisas foram realizadas no intuito de obter diversos produtos liofilizados a partir de toranja (Star Ruby) (AGUDELO et al., 2017), carambola (SAIKIA et al., 2015), suco de melão (OBEROI e SOGI., 2015), graviola (CEBALLOS et a., 2012), *blend* de abacaxi com acerola (SILVA et al., 2016c), polpa de beterraba (HUANG et al., 2017); polpa de acerola (RIBEIRO et al., 2016), amora (*Morus nigra* L.) (CHEN et al., 2017), maracujá (CAMPOMORI et al., 2014) e morango (PROSAPIO e NORTON, 2017).

### 2.3 – Propriedades físicas e químicas do pó

As propriedades dos alimentos em pó podem ser classificadas como físicas ou químicas. As principais propriedades físicas incluem: forma da partícula, densidade e porosidade, características da superfície, dureza, diâmetro e tamanho da partícula. As propriedades físicas normalmente são interdependentes, sendo assim, a modificação na distribuição do tamanho da partícula ou teor de água pode resultar na mudança simultânea de densidade volumétrica e escoamento do alimento em pó (AZEREDO, 2005; BARBOSA-CÁNOVAS et al., 2005; O'HAGAN et al., 2005).

A medida da densidade volumétrica é fundamental nas operações de armazenamento, processamento, embalagem e distribuição dos produtos em pó, pois quanto maior a densidade, menor o volume de embalagem e o espaço necessário para o armazenamento dos mesmos; além disso, implicam em menor quantidade de ar entre as partículas de pó, evitando a oxidação do produto ao longo do armazenamento (BARBOSA-CÁNOVAS et al., 2005).

Por outro lado, as propriedades químicas estão relacionadas à composição dos alimentos e às interações dos seus constituintes com os solventes, ou outros componentes do alimento, e são exemplificadas pelas propriedades de instantaneização e *stickiness* (FÁVARO-TRINDADE et al., 2008).

De acordo com Tonon et al. (2010) as características finais do produto em pó em um processo de secagem por aspersão, por exemplo, dependem de algumas variáveis do processo, tais como: características do líquido atomizado (viscosidade, tamanho das partículas e taxa de fluxo), tipo e mecanismo de funcionamento do aspersor e as características do ar de secagem.

Vardin e Yasar (2012) ao estudarem a secagem por aspersão de suco de romã concentrado, observaram que a elevação da temperatura de entrada do fluido no aspersor é responsável pelas alterações físico-químicas do pó resultante, aumentando o tempo de solubilidade e diminuindo a densidade e o teor de água do pó.

Medeiros e Lannes (2010) avaliaram fisicamente (compactação, densidade, ângulo de repouso, isoterma de adsorção de teor de água, tamanho de partícula, molhabilidade e teor de água crítica relativa) o cacau em pó e seus substitutos (farinha tostada de alfarroba, cupuaçu em pó, aromas em pó e casca de semente de cacau) que podem integrar às formulações de alimentos como biscoito e bolos. Estes autores concluíram que os produtos analisados apresentaram diferentes propriedades físicas daquelas do cacau, diferenciando

na molhabilidade, sendo estas refletidas nas formulações em que serão aplicados e no melhor tipo de embalagem a ser utilizada.

## 2.4 – Isotermas de adsorção de água

Os atributos de estabilidade e a vida de prateleira dos produtos agroindustriais não estão diretamente relacionados ao teor de água, mas sim à propriedade chamada atividade de água, que é a medida do grau em que a água está ligada ao alimento e está indisponível para as atividades químicas, microbiológicas e enzimáticas (BAHLOUL et al., 2008; RAHMAN e LABUZA, 2007).

A atividade de água ( $a_w$ ) reflete o teor de água livre e é definida como a razão entre a pressão parcial de vapor de água do material e a pressão de vapor da água pura na mesma temperatura (NOSHAD et al., 2012). Seu estudo é feito através das isotermas de sorção.

As isotermas de sorção, obtidas a partir de dados de adsorção e dessorção, que representam a relação de equilíbrio entre o teor de água no alimento e a atividade de água a uma dada temperatura e pressão (ASCHERI et al., 2007; CHOUDHURY et al., 2011; KUROZAWA et al., 2009), são ferramentas importantes no dimensionamento do processo de secagem de alimentos, determinando a seleção do material de embalagem e as condições de armazenamento (BEJAR et al., 2012; KNANI et al., 2012; TONON et al., 2009).

Várias tentativas têm sido realizadas no sentido de descrever as isotermas de sorção matematicamente. Enquanto que alguns modelos são derivados diretamente de conceitos teóricos da termodinâmica, outros são a forma de extensão ou modificação desses modelos (NOSHAD et al., 2012). No entanto, a maioria dos diferentes modelos (empíricos, semi-empíricos ou teóricos), apenas é preciso num limitado intervalo de atividade de água ou para alguns tipos de alimentos, dificultando a decisão do modelo correto (FURMANIAK et al., 2009).

Os modelos de isotermas de sorção mais estudados para alimentos são: modelo de Guggenheim-Anderson-De-Boer (GAB), baseados na teoria da multicamada; modelo Brunauer-Emmet-Teller (BET), para obter o valor do teor de água da monocamada; modelo de Halsey, que representa o modelo semi-empírico; e os modelos empíricos de Oswin, Henderson e Peleg (ANDRADE et al., 2011).

Alcântara et al. (2009) determinaram as isotermas de adsorção do pedúnculo seco do caju (*Anacardium occidentale* L.) nas temperaturas usuais de fermentação (25, 30, 35 e

40 °C) e ajustaram os modelos de BET, GAB, Oswin, Henderson e Smith as isotermas, com o modelo de GAB apresentando os melhores ajustes.

Tonon et al. (2009), produziram pós de açaí em secagem por aspersão utilizando diferentes materiais como agentes encapsulantes (maltodextrina DE=10, maltodextrina DE=20, goma arábica e amido de tapioca), verificaram que os modelos de GAB e BET descreveram bem as isotermas de adsorção de água do açaí em pó.

## **2.5 – Armazenamento**

Para o armazenamento de alimentos existem condições ideais que variam de acordo com cada produto e que correspondem a como esses produtos podem ser armazenados pelo maior espaço de tempo possível sem perda de seus constituintes. O período de armazenamento depende, principalmente, do ganho de teor de água e está relacionado com a atividade biológica causadora da deterioração dos alimentos (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

A quantidade de água livre disponível é retirada com a finalidade de diminuir esta atividade biológica e prolongar sua vida útil, a fim de garantir estabilidade durante a armazenagem estudando os mecanismos que o deterioram (SANTOS et al., 2013b; LISBÔA et al., 2012).

Contudo, não é apenas o teor de água que define a estabilidade do armazenamento. Existem fatores que comprometem a vida útil do produto como as condições de processamento (fatores extrínsecos), carga microbiológica inicial presente no alimento (fatores intrínsecos), tempo e temperatura de armazenamento, conservantes utilizados e tipos de embalagens. Dentre os citados, seguramente, a temperatura é mais determinante, pois pode acelerar a oxidação dos nutrientes e alterar as propriedades nutricionais e sensoriais dos produtos (OLIVEIRA et al., 2013b).

As diversas reações enzimáticas e não enzimáticas, catalisadas pela água livre disponível, luz, oxigênio e altas temperaturas, comprometem a qualidade dos produtos desidratados. De maneira geral, tais produtos, quando embalados de forma a serem protegidos evitam o contato com o oxigênio e o ganho de teor de água, apresentando maior vida de prateleira (SILVA et al., 2005). Desta forma, um outro fator relevante para o armazenamento de produtos, principalmente os secos, são os tipos de embalagens que são acondicionados, pois favorecem a manutenção da qualidade do produto (SOUSA et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2015).

Os produtos desidratados em pó, como as polpas de frutas, requerem proteção contra a entrada de teor de água e oxigênio e a perda de aromas voláteis. Os pós são geralmente embalados em laminados termo-seláveis contendo uma camada ou camadas de alumínio com polietileno. O armazenamento acelerado é uma forma de prever as alterações em pós alimentícios, pois envolve alta teor de água e temperatura, e pode ser usado para desenvolver relações de tempo de armazenamento, absorção de água, degradação de cor e vitaminas e redução da acidez. Com isso, a permeabilidade do material da embalagem e temperatura serão úteis para projetar o tempo de vida de pós de frutas durante o armazenamento (LISBÔA et al., 2012; JANGAM et al., 2010; JAYA e das, 2005)

É importante salientar que considera-se vida útil o espaço de tempo no qual o produto mantém um nível de qualidade pre-determinado sob condições específicas de armazenamento. Assim sendo, busca-se a otimização de alguns fatores como temperatura, teor de água relativa, entre outros (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

### **3 – MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 – Local de realização do trabalho**

O trabalho foi conduzido 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), PB e no Laboratório de Processamento de Frutos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE) do *campus* Afogados da Ingazeira, PE.

#### **3.2 – Matérias-primas**

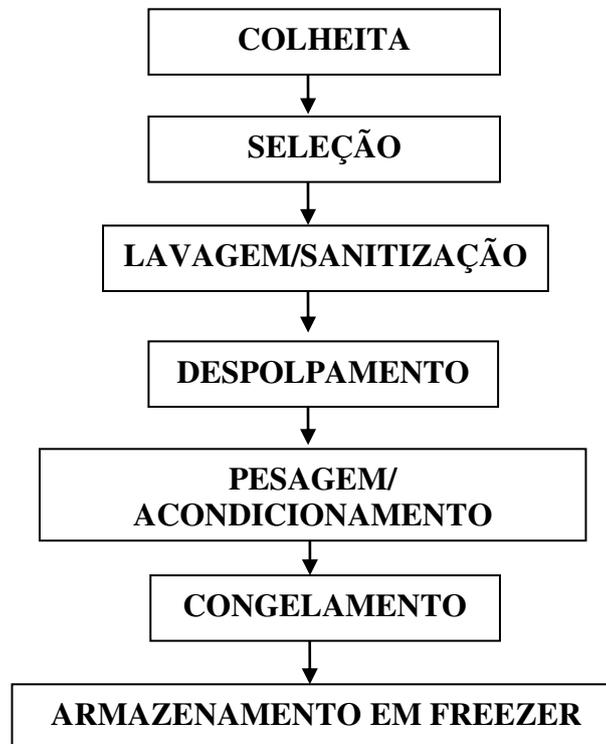
Foram utilizadas como matérias-primas cumbebas [*Tacinga inamoena* (K. Schum.) N.P. Taylor e Stuppy] (Figura 3.1), colhidas no município de Afogados da Ingazeira – PE; e como aditivos para formação da espuma o emulsificante e estabilizante Emustab da marca Du Porto® (composto à base de monoglicerídeos de ácidos graxos destilados, monoesterato de sorbitana, lecitina, estabilizante carragena e conservante sorbato de potássio); e o espessante Liga Neutra da marca Du Porto® (composto à base de açúcar e dos espessantes goma guar e carboximetilcelulose), adquiridos no comércio da cidade de Campina Grande, PB.



**Figura 3.1** – Fruto de cumbeba [*Tacinga inamoena* (K. Schum.) N.P. Taylor e Stuppy]

### 3.3 – Processamento dos frutos

Na Figura 3.2 encontra-se o fluxograma do processamento dos frutos, para obtenção da polpa de cumbeba integral.



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

Os frutos foram colhidos no estágio de maturação maduro, apresentando cor da casca amarela-alaranjada (Figura 3.3). Em seguida, foram colocados em caixas de polietileno e levados ao laboratório de processamento de frutos do IFPE *campus* Afogados da Ingazeira, PE. A seleção foi feita manualmente para eliminar os frutos que apresentaram danos físicos ou aspecto de podridão. Após seleção, os frutos foram submetidos às seguintes etapas: primeira lavagem em água corrente para retirada de sujidades; uso de detergente neutro e esfregação com escova para retirada de sujidades e espinhos; segunda lavagem em água corrente; imersão em solução de hipoclorito de sódio a 100 ppm por 30 minutos. O despulpamento foi realizado em despulpadeira de aço inoxidável, onde permitiu a separação das sementes e casca da polpa. Logo em seguida, as polpas foram homogeneizadas e acondicionadas em sacos de polietileno de baixa densidade com capacidade de 1 kg e congeladas em câmara frigorífica a -18 °C. Após congelamento, as polpas foram transportadas em caixas térmicas para à UFCG/LAPPA, onde foram armazenadas em freezer à -18 °C.



**Figura 3.3** – Frutos maduros de cumbeba

### **3.4 – Caracterização físico-química da polpa de cumbeba integral, da espuma selecionada e dos pós**

Foram realizadas as seguintes análises em triplicata: teor de água; cinzas; proteína bruta; açúcares redutores; acidez total titulável; sólidos solúveis totais; minerais (Na, Mg, P, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn); atividade de água; cor ( $L^*$ ,  $+a^*$ ,  $+b^*$ ,  $C^*$ ,  $h$ ); ácido ascórbico; pH; antocianinas; flavonoides; carotenoides; compostos fenólicos; e betaxantinas.

#### **3.4.1 – Atividade de água**

Foi determinada por medida direta em medidor Aqualab, modelo 3TE, fabricado por Decagon Devices na temperatura de 25 °C.

#### **3.4.2 – Acidez total titulável (ATT), açúcares redutores (AR), cinzas, proteína bruta, sólidos solúveis totais (SST) e teor de água**

Foram determinadas de acordo com as normas analítica do Instituto Adolfo Lutz (2008).

#### **3.4.3 – Minerais**

Os minerais foram identificados e quantificados por Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva, EDX-7000 da marca Shimadzu. As amostras na forma de cinzas foram colocadas em cubetas cobertas por um filme de polipropileno de 5  $\mu\text{m}$  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.

#### **3.4.4 – Ácido ascórbico**

A determinação desta análise seguiu o método de Tillmans (AOAC, 2000) modificado por Benassi e Antunes (1998).

#### **3.4.5 – pH**

O pH foi determinado através do método potenciométrico, com o medidor de pH da marca Tecnal modelo TEC-2, previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0.

#### **3.4.6 – Antocianinas e flavonoides totais**

Foram determinadas segundo a metodologia descrita por FRANCIS (1982), pesando-se 1g da amostra com adição de 10 ml da mistura etanol-HCl, macerado por 1 minuto. O extrato foi recolhido em um tubo de ensaio por 24 h sob refrigeração. Após este período, filtrou-se o extrato em algodão seguindo deleitura no espectrofotômetro a 374 nm para flavonoides e 535 nm para antocianinas. Os resultados foram expressos em mg/100 g calculados através da Equações 3.1 e 3.2:

$$\text{Antocianinas totais} = \text{Absorbância} \times \text{Fator de diluição}/98,2 \quad (3.1)$$

$$\text{Flavonoides} = \text{Absorbância} \times \text{Fator de diluição}/76,6 \quad (3.2)$$

#### **3.4.7 – Carotenoides totais**

Foram determinadas de acordo com a metodologia descrita por Lichtenthaler (1987), utilizando-se aproximadamente 1 g da polpa e se acrescentando 10 mL de acetona 80%, sob agitação, por 2 min; em seguida filtrou-se a solução em ambiente escuro e a leitura foi realizada em espectrofotômetro a 663 nm (Clorofila a – Equação 3.3), 646 nm

(Clorofila b – Equação 3.4) e 470 nm. O teor de carotenoides foi calculado de acordo com a Equação 3.5 e expresso em mg/100 g.

$$\text{Clorofila a (Ca)} = 12,25 \times A_{663} - 2,79 \times A_{646} \dots\dots\dots(3.3)$$

$$\text{Clorofila b (Cb)} = 21,50 \times A_{646} - 5,10 \times A_{663} \dots\dots\dots (3.4)$$

$$\text{Carotenoides (C)} = [1000 \times A_{470} - (1,82 \times \text{Ca} + 85,02 \times \text{Cb})] / 198 \dots\dots\dots(3.5)$$

Em que:

C - carotenoides;

A 470, 646 e 663 - leitura no espectrofotômetro (nm);

Ca - teor de clorofila a;

Cb - teor de clorofila b.

### 3.4.8 – Compostos fenólicos totais

Seguiu-se a metodologia de Waterhouse (2006), utilizando o reagente de Folin-Ciocalteu, carbonato de cálcio, metanol e ácido gálico. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro no comprimento de onda de 765 nm.

### 3.4.9 – Betalaínas: betaxantinas e betacianinas

As betalaínas (betacianinas e betaxantinas) foram determinadas de acordo com Castellar et al. (2003) com modificações. Os extratos foram preparados utilizando a proporção etanol:água (80:20) como solução de extração. As amostras foram pesadas, cerca de 1 g, e maceradas em 10 mL de etanol a 80%, sendo agitadas e armazenadas em geladeira por 24 h. Após isso, as amostras foram centrifugadas a 3.500 rpm durante 10 minutos a 24 °C. Depois, reservou-se o sobrenadante em uma proveta e adicionou-se, ao resíduo, mais 10 mL de etanol a 80%, que foi submetido ao mesmo procedimento descrito anteriormente. Os dois sobrenadantes foram combinados mesma na proveta e o volume final ajustado para 25 mL com etanol a 80%. Antes de fazer a leitura das absorbâncias dos extratos, medidas no espectrofotômetro a 535 nm e 480 nm, para determinar os betacianinas e betaxantinas, respectivamente, as amostras sofreram, novamente, agitação. A quantificação do teor das amostras seguiu a Equação 3.6:

$$\text{Betac./Betax. [mg/100gFW]} = [(A \times DF \times MW \times V \times 100 / \epsilon \times L \times SW)] \dots\dots\dots(3.6)$$

Em que:

- A - absorbâncias a 535 ou 480 nm;
- DF - fator de diluição;
- MW - peso molecular;
- V - volume do extrato
- € - coeficiente de extinção;
- L - largura da curva espectrofotômetro (1 cm);
- 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.

### 3.4.10 – Cor

A determinação da cor das amostras foi realizada obtendo-se os parâmetros  $L^*$ ,  $+a^*$  e  $+b^*$  que foram medidos com espectrofotômetro portátil Hunter Lab Mini Scan XE Plus, modelo 4500 L, 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).

Para as leituras, foram utilizando-se o sistema com luminosidade D65, um ângulo de observação de  $10^\circ$  e com calibração com placa branca com o seguinte padrão: X = 80,5; Y = 85,3; Z = 90,0.

A partir dos valores de  $+a^*$  e  $+b^*$ , foram calculados os valores de croma ( $C^*$ ) (Equação 3.7) e ângulo de tonalidade (h) (Equação 3.8)

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (3.7)$$

$$h = \tan^{-1}(a^*/b^*) \quad (3.8)$$

### 3.5 – Preparo das espumas

#### 3.5.1 – Preparo das formulações para secagem em camada de espuma

Elaboraram-se três formulações com a polpa de cumbeba integral adicionando-se os aditivos Emustab® e Liga Neutra® (Tabela 3.1) com o objetivo de escolher a melhor formulação com características adequada à secagem, segundo os parâmetros físicos das espumas (item 3.5.2). As misturas foram submetidas à agitação em batedeira doméstica, nos tempos de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos.

**Tabela 3.1** – Concentração de aditivos nas formulações para elaboração de espumas com a polpa de cumbeba integral

Formulações	Concentração de aditivos (%)	
	Emustab®	Liga Neutra®
<b>F1</b>	3	2
<b>F2</b>	2,5	1,5
<b>F3</b>	2	1

#### 3.5.2 – Parâmetros para seleção das espumas

##### 3.5.2.1 – Densidade

Avaliou-se o efeito do tempo de batimento (5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos) das formulações testadas sobre a densidade das espumas produzidas. As densidades das espumas em cada tempo foram determinadas em picnômetro de alumínio de 100 mL pela relação entre a massa e volume.

##### 3.5.2.2 – Estabilidade

As estabilidades das espumas foram determinadas baseando-se na técnica preconizada por Baptista (2002). Foi montado um sistema constituído de *becker* e filtro de tela, colocando-se 15 g da espuma sobre o filtro de tela à temperatura ambiente. Esse sistema foi mantido em repouso por 90 minutos, realizando-se pesagens do filtrado a cada 5 minutos. Todas as análises foram realizadas em triplicata. Os resultados foram inseridos

na Equação 3.9 obtendo-se a fração do volume que se desprende da espuma no intervalo de tempo considerado.

$$\Theta(\%) = V_d/V_i \times 100 \quad (3.9)$$

Em que:

$V_d$  - volume do líquido drenado (mL) após 90 minutos;

$V_i$  - volume inicial da espuma colocada no funil (mL);

$\Theta$  - fração de volume drenado (%).

### 3.5.2.3 – Expansão volumétrica (*over-run*)

A expansão volumétrica (*over-run*) foi determinada de acordo com a Equação 3.10 (FELLOWS, 2006):

$$Over - run = \frac{\rho_p - \rho_e}{\rho_e} 100 \quad (3.10)$$

Em que:

*Over-run* - expansão volumétrica (%);

$\rho_p$  - densidade da polpa formulada ( $\text{g/cm}^3$ );

$\rho_e$  - densidade da espuma ( $\text{g/cm}^3$ ).

## 3.6 – Secagem da espuma

Foi selecionada a espuma que se manteve estável conforme os valores de densidade, estabilidade e expansão volumétrica (*over-run*), descritas no item 3.5.2. Por conseguinte, a espuma foi submetida a secagem em liofilizador e em camada de espuma.

### 3.6.1 – Liofilização

Depois de formulada a espuma, esta foi acondicionada nas bandejas do liofilizador, em uma camada com espessura de 1,5 cm, medida com paquímetro, e congelada em freezer a  $-18\text{ }^\circ\text{C}$  por 72 h. Passado este período, as bandejas foram colocadas diretamente no liofilizador de bancada da marca Liobras, modelo L101 a  $-54\text{ }^\circ\text{C}$  por 120 h. Após o

processo, as amostras foram desenformadas, maceradas e alocadas em embalagens laminadas para posterior utilização nos ensaios analíticos.

### **3.6.2 – Secagem em camada de espuma**

Na estufa, a espuma selecionada foi submetida à secagem em camada de espuma na estufa com circulação forçada de ar, em bandejas de aço inoxidável, onde as espessuras das camadas da espuma variaram de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, medidas com um paquímetro, e as temperaturas do ar de secagem de 50, 60 e 70 °C. Em seguida, os produtos secos foram retirados das bandejas e triturados/homogeneizados em processador doméstico para se obter os pós e acondicionados em embalagens de laminadas para posterior caracterização.

#### **3.6.2.1 – Cinética de secagem**

A espuma foi distribuída em camada fina (0,5, 1,0, e 1,5 cm) em bandejas de aço inoxidável, sendo, em seguida, conduzidas à secagem, em triplicata, em estufa com circulação forçada de ar nas temperaturas de 50, 60, e 70 °C e velocidade do ar de  $1,0 \pm 0,1$  m s<sup>-1</sup>. Monitorou-se a perda de água através de pesagens em tempos regulares de 5, 10, 20, 30 e 60 minutos, até que as amostras atingissem massa constante. Quando isso ocorreu, determinou-se o teor de água final a fim de se calcular as razões do teor de água (Equação 3.11) e construção das curvas de cinética de secagem em função dos tempos de secagem.

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (3.11)$$

Em que:

RX - razão de água (adimensional);

X - teor de água, b.s.;

X<sub>i</sub> - teor de água inicial, b.s.;

X<sub>e</sub> - teor de água de equilíbrio, b.s.

Os modelos matemáticos (Tabela 3.2) de Newton (Equação 3.12), Page (Equação 3.13), Henderson e Pabis (Equação 3.14), Exponencial de Dois Termos (Equação 3.15), Thompson (Equação 3.16), Logarítmico (Equação 3.17), Aproximação da Difusão

(Equação 3.18), Henderson e Pabis modificado (Equação 3.19), Dois Termos (Equação 3.20) e Midilli (Equação 3.21) foram utilizados para ajustar os dados experimentais das cinéticas de secagem das espumas, usando-se o programa computacional Statistica versão 7.0 através de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton.

**Tabela 3.2** – Modelos matemáticos utilizados para estimar as curvas de cinética de secagem das espumas

Designação	Modelo	Eq.
Newton	$RX = \exp(-kt)$	(3.12)
Page	$RX = \exp(-kt^n)$	(3.13)
Henderson e Pabis	$RX = a \exp(-kt)$	(3.14)
Exponencial de Dois Termos	$RX = a \exp(-kt) + (1-a)\exp(-kat)$	(3.15)
Thompson	$RX = \exp(-a(a^2 + 4bt)^{0.5})/2b$	(3.16)
Logarítmico	$RX = a \exp(-kt) + c$	(3.17)
Aproximação da Difusão	$RX = a \exp(-kt) + (1-a)\exp(-kbt)$	(3.18)
Henderson e Pabis modificado	$RX = a \exp(-kt) + b \exp(-kt) + c \exp(-kt)$	(3.19)
Dois Termos	$RX = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	(3.20)
Midilli	$RX = a \exp(-kt^n) + bt$	(3.21)

RX - razão de teor de água, adimensional; k - constantes de secagem; a, b, c, k<sub>0</sub>, k<sub>1</sub>, n - coeficientes dos modelos; t - tempo de secagem (min).

Utilizaram-se como critérios de ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais a magnitude do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) (Equação 3.22), desvios quadráticos médios (DQM) (Equação 3.23) e qui-quadrado (χ<sup>2</sup>) (Equação 3.24).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N [(RX_{exp,i} - \overline{RX}_{pred,i}) (RX_{pred,i} - \overline{RX}_{pred,i})]^2}{\sum_{i=1}^N (RX_{exp,i} - \overline{RX}_{pred,i})^2 \sum_{i=1}^N (RX_{pred,i} - \overline{RX}_{pred,i})^2} \quad (3.22)$$

Em que:

R<sup>2</sup> – coeficiente de determinação;

RX<sub>exp</sub> – razão de teor de água experimental;

$\overline{RX}_{pred,i}$  – média da razão de teor de água experimental;

$RX_{pred}$  – razão de teor de água predita pelo modelo;

$\overline{RX}_{pred,i}$  – media da razão de teor de água predita pelo modelo; e

$N$  – número de observações.

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum (RX_{pred} - RX_{exp})^2}{n}} \quad (3.23)$$

Em que:

$DQM$  – desvio quadrático médio;

$RX_{pred}$  – razão de teor de água predita pelo modelo;

$RX_{exp}$  – razão de teor de água experimental; e

$N$  – número de observações.

$$\chi^2 = \frac{1}{N-n} \sum_{i=1}^N (RX_{exp,i} - RX_{pred,i})^2 \quad (3.24)$$

Em que:

$\chi^2$  – qui-quadrado;

$RX_{pred}$  – razão de teor de água predita pelo modelo;

$RX_{exp}$  – razão de teor de água experimental

$N$  – número de observações; e

$n$  – número de constantes do modelo.

De posse dos dados de teor de água (b.s.) das amostras em cada tempo de secagem, calcularam-se as taxas de secagem, de acordo com a Equação 3.25.

$$TX = \frac{X_{t+dt} - X_t}{dt} \quad (3.25)$$

Em que:

$TX$  - taxa de secagem (g de água/g de matéria seca);

$X_{t+dt}$  - teor de água em  $t + dt$ , (g de água/g de matéria seca);

$X_t$  - teor de água em um tempo específico, (g de água/g de matéria seca);

$dt$  - tempo de secagem, minutos

Os coeficientes de difusão efetivos foram determinados ajustando-se o modelo matemático da difusão líquida com aproximação de quatro termos (Equação 3.26) aos dados experimentais da cinética de secagem das espumas em diferentes temperaturas, considerando-se a distribuição da água inicial uniforme e ausência de resistência térmica. Este modelo é a solução analítica para a segunda lei de Fick considerando-se a forma geométrica das espumas como aproximada de uma placa plana.

$$RX = \frac{X - X_e}{X_1 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[ - (2n+1)^2 \pi^2 D \frac{t}{4L^2} \right] \quad (3.26)$$

Em que:

- D - coeficiente de difusão efetivo,  $m^2 s^{-1}$ ;
- n - número de termos da equação;
- L - dimensão característica (meia espessura da espuma);
- t - tempo, s.

A relação entre os coeficientes de difusão efetivos e as temperaturas de secagem foram descritas por meio da equação de Arrhenius (Equação 3.27).

$$D = D_o \exp \left( - \frac{E_a}{R(T + 273,15)} \right) \quad (3.27)$$

Em que:

- $D_o$  - fator pré-exponencial,  $m^2 s^{-1}$ ;
- $E_a$  - energia de ativação,  $kJ mol^{-1}$ ;
- R - constante universal dos gases,  $8,314 J mol^{-1} K^{-1}$ ;
- T - temperatura,  $^{\circ}C$ .

Os parâmetros da equação de Arrhenius foram obtidos linearizando-se a Equação 3.28 com a aplicação de logaritmo natural, de acordo com a Equação. 3.28.

$$\ln D = \ln D_o - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T + 273,15} \quad (3.28)$$

Em que:

- $\ln D_o$  - logarítmico neperiano do fator pré-exponencial,  $m^2 s^{-1}$ ;
- $E_a$  - energia de ativação,  $J mol^{-1}$ ;

R - constante universal dos gases,  $8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ;

T - temperatura, °C.

### **3.7 – Caracterização física dos pós**

Os pós de cumbeba obtidos na secagem em camada de espumada e na liofilização foram submetidos, em triplicata, as análises físicas de densidade aparente, densidade compactada, densidade absoluta, porosidade, solubilidade, higroscopicidade, molhabilidade, índice de Carr (IC), fator de Hausner (FH) e ângulo de repouso.

#### **3.7.1 – Densidade absoluta**

Foi determinada utilizando-se picnômetro de vidro de 25 mL a temperatura de 25 °C, usando hexano como líquido imiscível.

#### **3.7.2 – Densidade aparente**

A determinação da densidade aparente foi realizada em triplicata pesando-se a amostra em uma proveta graduada de 10 mL; posteriormente foi calculada a relação entre massa da amostra e volume da proveta.

#### **3.7.3 - Densidade compactada**

Para determinação da densidade compactada ( $\rho_{ap}$ ) utilizou-se a metodologia de Tonon et al. (2013); para determinação da densidade compactada pesou-se uma massa de pó até completar o volume de 10 mL na proveta; em seguida, foi compactado batendo-se a proveta 50 vezes sobre a bancada; a densidade foi calculada pela relação entre a massa e o volume ocupado pela amostra compactada na proveta.

#### **3.7.4 – Porosidade**

A porosidade foi calculada usando-se a Equação 3.29, a partir da relação entre a densidade aparente e a densidade absoluta.

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_{abs}}\right) 100 \quad (3.29)$$

Em que:

$\varepsilon$  - porosidade (%);

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

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

### 3.7.5 – Fator de Hausner (FH)

O fator de Hausner (FH) que consiste na razão entre a densidade compactada e a densidade aparente segundo a metodologia de Hausner (1967) está correlacionado com a fluidez de um pó ou material granulado. O fator de Hausner do pó foi calculado pela Equação (3.30).

$$FH = \frac{\rho_{comp}}{\rho_{ap}} \quad (3.30)$$

Em que:

FH - fator de Hausner (adimensional);

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

$\rho_{ap}$  - densidade aparente ( $\text{g/cm}^3$ ).

### 3.7.6 – Índice de Carr (IC)

Foi determinado conforme a metodologia de Bhusari et al. (2014). O índice de Carr ou de compressibilidade é um parâmetro relacionado à capacidade de empacotamento do pó, determinado por meio da Equação 3.31.

$$IC = \frac{\rho_{comp} - \rho_{ap}}{\rho_{comp}} \times 100 \quad (3.31)$$

Em que:

IC - índice de Carr (%);

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

$\rho_{ap}$  - densidade aparente ( $\text{g/cm}^3$ ).

### 3.7.7 – Ângulo de repouso (°)

Para a determinação do ângulo de repouso das amostras, utilizaram-se 10 g de pó que foram colocados em funil com diâmetro conhecido e vedado na saída; a seguir o pó foi liberado para escoamento sobre uma placa de petri. A altura entre o funil e a placa de Petri foi constante (5 cm) para todos os pós. O ângulo de repouso estático foi determinado de posse da altura do montante formado e o seu diâmetro (BHANDARI et al., 1998), calculando-se de acordo com a Equação 3.32.

$$\Theta = \frac{\arctg 2h}{D} \quad (3.32)$$

Em que:

- Θ – ângulo de repouso (°);
- h - altura da pilha formada (cm);
- D - diâmetro da pilha (cm).

### 3.7.8 – Solubilidade

Determinou-se a solubilidade dos pós de acordo com a metodologia descrita por Schoch (1964) com modificações. A solubilidade foi calculada de acordo com a Equação 3.33.

$$SOL = \frac{MR}{MA} 100 \quad (3.33)$$

Em que:

- SO – solubilidade (%);
- MR – massa do resíduo da evaporação (g);
- MA – massa da amostra (g).

### 3.7.9 – Molhabilidade

A molhabilidade foi determinada através da metodologia descrita por Shubert (1993), na qual cerca de 1 g da amostra em pó é vertida em um béquer de 250 mL contendo 100 mL de água destilada a temperatura ambiente, verificando-se, com auxílio de

cronômetro o tempo necessário para a completa imersão do pó. O cálculo da taxa de molhabilidade foi realizado conforme Equação 3.34.

$$M = \frac{m}{t} \quad (3.34)$$

Em que:

M – molhabilidade (g/min)

m – massa da amostra (g)

t – tempo (min)

### 3.7.10 – Higroscopicidade

A higroscopicidade foi determinada em triplicata de acordo com a metodologia proposta por Cai e Corke (2000), modificado por Silva et al. (2012b), onde 1 g do pó, foi acondicionado em recipiente hermético contendo solução saturada de NaCl (teor de água relativa de 75,3%). Após uma semana, as amostras foram pesadas e a higroscopicidade expressa em g de teor de água absorvida por g de sólidos.

### 3.8 – Seleção do melhor pó de cumbeba pelo método de secagem em camada de espuma

Foi considerado o melhor pó de cumbeba obtido pelo método de secagem em camada de espuma, para todas as condições de secagem (item 3.6.2), o que reteu maiores valores de ácido ascórbico, flavonoides, antocianinas, carotenoides, compostos fenólicos, betaxantinas e betacianinas.

### 3.9 – Isotermas de adsorção de água

Foram determinadas as isotermas de adsorção de água das amostras em pó verificando-se o teor de água de equilíbrio versus atividade de água, em triplicata, utilizando-se o equipamento *Aqualab* modelo 3TE da Decagon Devices. Para os pós obtidos pelo método de camada em espuma, de acordo com item 3.6.2, foram determinadas as isotermas de adsorção de água à 25 °C.

Para o melhor pó selecionado pelo método de camada de espuma e para o pó obtido no liofilizador, segundo critérios do item 3.9, foram determinadas as isotermas de adsorção à 20, 30 e 40 °C.

Alcançado o equilíbrio, as amostras foram levadas para estufa a uma temperatura de 105 °C durante 24 h para obtenção de sua massa seca, utilizada no cálculo do teor de água de equilíbrio.

O teor de água de equilíbrio ( $X_e$ ), expresso em percentagem (%), em base seca, foi determinado pela relação entre a massa de água ( $m_e$ ) e a massa seca ( $m_s$ ) das amostras.

Os modelos de GAB (Equação 3.38), Oswin (Equação 3.39) e Peleg (Equação 3.40), apresentados na Tabela 3.9, foram ajustados às isotermas de adsorção de água das amostras em pó utilizando-se o programa Statistica 7.0, através de regressão não linear pelo método de estimativa Quase-Newton.

**Tabela 3.3** – Modelos de isotermas de sorção de água

Modelo	Equação
GAB	$X_e = \frac{X_m C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)} \quad (3.35)$
Oswin	$X_e = a \left( \frac{a_w}{(1 - a_w)} \right)^b \quad (3.36)$
Peleg	$X_e = K_1 a_w^{n_1} + K_2 a_w^{n_2} \quad (3.37)$

Onde:  $X_e$  - teor de água de equilíbrio;  $a_w$  - atividade de água;  $X_m$  - teor de água na monocamada molecular; C, K - parâmetros que dependem da temperatura e natureza do produto; a, b - parâmetros de ajuste do modelo;  $k_1, k_2, n_1, n_2$  - constantes do modelo.

Os critérios usados para determinar o melhor modelo ajustado aos dados experimentais à das isotermas de adsorção de água foram os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvios percentuais médio (P), calculados conforme a Equação 3.38 (LINS et al., 2017).

$$P = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left| \frac{(X_{\text{exp}} - X_{\text{teor}})}{X_{\text{exp}}} \right| \quad (3.38)$$

Em que:

P - desvio percentual médio (%);

$X_{exp}$  - valores obtidos experimentalmente;

$X_{teor}$  - valores preditos pelo modelo;

n - número de dados experimentais.

### **3.10 – Armazenamento do melhor pó de cumbeba obtido pelo método de secagem em camada de espuma e do pó obtido por liofilização**

A melhor amostra do pó de cumbeba em camada de espuma e liofilizado, foram acondicionadas em três embalagens flexíveis laminadas, com aproximadamente 20 g, lacradas na seladora térmica e em seguida colocadas em recipientes de vidro hermético, contendo solução saturada de cloreto de potássio (KCl) correspondendo à teor de água relativa média de 83%; em seguida, os potes foram acondicionados nas câmaras tipo BOD nas temperaturas controladas de 30 e 40 °C. As amostras colocadas nestes ambientes foram analisadas a cada 15 dias durante 90 dias, em triplicata, determinando-se: o teor de água, atividade de água, acidez total titulável, ácido ascórbico, cor ( $L^*$ ,  $+a^*$ ,  $+b^*$ ), solubilidade, flavonoides e betaxantinas, de acordo com as metodologias dos itens 3.4 e 3.7.

### **3.11 – Análise estatística**

Para os dados experimentais obtidos na caracterização das espumas foi realizado um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 6x3, com 6 tempos de batimento, 3 formulações e 3 repetições.

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 da espuma selecionada e a polpa integral e entre o melhor pó da secagem em camada de espuma e o pó liofilizado.

Para os dados experimentais obtidos na caracterização das amostras em pó, foi realizado um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x3, com 3 temperaturas de secagem (50, 60 e 70 °C), 3 espessuras da camada (0,5, 1,0 e 1,5 cm) e 3 repetições.

Para a análise dos parâmetros avaliados no armazenamento foi utilizado delineamento inteiramente casualizado, disposto em esquema fatorial 7 x 2 (tempo de armazenamento, e temperatura) e 3 repetições.

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

## 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 – Avaliação das espumas das diferentes formulações

#### 4.1.1 – Estabilidade

Inicialmente foi avaliada a estabilidade das espumas em temperatura ambiente medindo-se após 90 minutos o volume drenado das mesmas, para os diferentes tempos de batimento das espumas. Verifica-se na Tabela 4.1 que as três formulações avaliadas F1 (polpa + 3% Emustab + 2% Liga neutra), F2 (polpa + 2,5% Emustab + 1,5% Liga neutra) e F3 (polpa + 2% Emustab + 1% Liga neutra), a F3 drenou líquido em todos os tempos de batimento, diminuindo o volume a medida que aumentava o tempo de batimento; a F2 só apresentou volume drenado para os tempos de batimento de 5 e 10 minutos; enquanto isso, a F1 só apresentou drenagem para a espuma com o tempo de batimento de 5 minutos

**Tabela 4.1** – Estabilidade, expresso como volume drenado em mL, das espumas das diferentes formulações com a polpa de cumbeba após 90 minutos em função do tempo de batimento

Tempo de batimento (min)	Volume drenado (mL)		
	F1	F2	F3
5	0,1 aC	0,2 aB	0,5 aA
10	0,0 bC	0,1 bB	0,4 bA
15	0,0 bB	0,0 cB	0,2 cA
20	0,0 bB	0,0 cB	0,2 cA
25	0,0 bB	0,0 cB	0,1 dA
30	0,0 bB	0,0 cB	0,1 dA

DMS para colunas = 0,02; DMS para linhas = 0,01; CV = 6,23%. Obs.: Valores seguidos pelas mesmas letras, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. F1: polpa + 3% Emustab + 2% Liga neutra; F2: polpa + 2,5% Emustab + 1,5% Liga neutra; F3: polpa + 2% Emustab + 1% Liga neutra.

Nas formulações em que houve volume drenado em função do tempo de batimento observa-se que não houve sinergismo suficiente para obter as características desejadas em relação a viscosidade e derretimento das espumas. Assim, a F1 e F2, por terem uma maior quantidade de aditivos (estabilizante e emulsificante), em comparação a F3, retiveram

melhor a água do produto devido a sua porção hidrofílica diminuir a força existente entre as duas partes da emulsão (COSTA, 2006).

Freitas (2016) observou 100% de estabilidade durante duas horas para as espumas formadas com polpa de manga ubá (*Mangifera indica L.*) com Emustab® e liga neutra®, preparadas separadamente nas concentrações de 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 e 2,5%, para o tempo de batimento de 15 minutos.

Mafra et al. (2015) verificaram através do teste de estabilidade, que a espuma formulada com polpa de acerola, 0% de Emustab, 0% de liga neutra, 4% de albumina e 0% de pectina, foi a única que coalesceu no intervalo de tempo de 1 minuto, e a espuma composta de polpa de acerola, 0% de Emustab, 2% de liga neutra, 4% de albumina e 2% de pectina, apresentou a melhor estabilidade, indicando a importância da combinação dos aditivos na formação de uma espuma estável.

#### **4.1.2 – Densidade e expansão volumétrica (*over-run*)**

Junto com o teste de estabilidade (drenagem do líquido da espuma), a densidade e o *over-run* são parâmetros que determinam a melhor espuma a ser desidratada, a fim de não haver um colapso em sua estrutura e prejudicar a qualidade do pó. Então, na Tabela 4.2 tem-se os valores médios de densidade e expansão volumétrica (*over-run*) das espumas das três formulações (F1, F2 e F3) em função dos diferentes tempos de batimento (5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos).

Os valores das densidades das espumas das diferentes formulações apresentaram tendência de redução à medida que o tempo de batimento aumentou e também houve tendência de redução com o aumento da concentração dos aditivos. Feitosa et al. (2017) relataram comportamento idêntico ao analisarem a incorporação de aditivos (1,5% de Emustab e 0,5% de liga neutra) à polpa de murta integral verificando que o aumento do tempo de batimento acarretou na redução da densidade da espuma de 0,42 (g/cm<sup>3</sup>), no tempo de batimento de 5 minutos, para 0,22 g/cm<sup>3</sup> no tempo de batimento de 20 minutos (g/cm<sup>3</sup>).

**Tabela 4.2** – Valores médios da densidade e expansão volumétrica (*over-run*) das espumas da polpa de cumbeba das diferentes formulações em função do tempo de batimento

Tempo batimento (min)	Formulações					
	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )			Expansão volumétrica (%)		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3
5	0,31 aB	0,26 aC	0,41 aA	211,50 dB	270,50 bA	143,33 dC
10	0,25 bB	0,26 abB	0,34 bA	281,73 cA	277,00 bA	191,73 cB
15	0,23 bcB	0,23 bcB	0,32 bA	313,31 bA	309,85 aA	208,20 cB
20	0,22 cB	0,23 bcB	0,28 cA	328,78 bA	317,18 aA	261,26 aB
25	0,19 dC	0,23 cB	0,29 cA	399,23 aA	317,81 aB	241,12 bC
30	0,20 dC	0,25 abcB	0,29 cA	383,01 aA	281,37 bB	240,91 bC

Obs.: Valores seguidos pelas mesmas letras minúsculas para colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. F1: polpa + 3% Emustab + 2% Liga neutra; F2: polpa + 2,5% Emustab + 1,5% Liga neutra; F3: polpa + 2% Emustab + 1% Liga neutra.

Parafrazeando Miranda (2014), a diminuição da densidade com o acréscimo do tempo de batimento acontece devido à incorporação de ar durante à etapa de agitação, uma vez que a alta velocidade de agitação promove um aumento na taxa de cisalhamento, favorecendo a divisão das bolhas de ar, resultando na incorporação de maior quantidade de gás à mistura e, portanto na diminuição da densidade da espuma de polpa

Galdino (2015) analisando a densidade da espuma de polpa de atemoia (*Annona cherimola* Mill., *Annona squamosa* L.) com variadas concentrações de Emustab e Liga Neutra, percebeu que a maior densidade (0,8 g/cm<sup>3</sup>) se deu também com a menor concentração de Emustab (1%) e Liga Neutra (1%) e a menor densidade (0,6 g/cm<sup>3</sup>) na formulação com maior concentração dos aditivos (2% de Emustab e 2% de Liga Neutra), ambas para o tempo de batimento de 15 minutos.

Observa-se que os menores valores de densidade foram alcançados com 25 minutos de batimento para F1 (0,19 g/cm<sup>3</sup>), 15 minutos de batimento para a F2 (0,23 g/cm<sup>3</sup>) e 20 minutos de batimento para F3 (0,28 g/cm<sup>3</sup>).

Comparando-se as densidades entre F1 e F2, nos tempos de batimento que compreendem de 10 a 20 minutos, verifica-se que as médias foram estatisticamente iguais,

apesar da F1 ter uma maior concentração de aditivos. Com isso, nestas condições constata-se que a maior concentração de aditivos não influenciou nas densidades.

Da mesma forma que na densidade, o *over-run* apresentou tendência de aumento com o incremento do tempo de batimento e de aditivos. Observa-se que a maior expansão (*over-run*) das espumas ocorreu no tempo de 25 minutos para F1 (399,23%), 15 minutos para F2 (309,85%), e 20 minutos de batimento para F3 (261,23%). Novamente, assim como na densidade, não houve diferença na expansão da espuma nos tempos de batimento de 10, 15 e 20 minutos entre F1 e F2.

Carvalho (2014) ao formular, individualmente, a polpa de abóbora com albumina, Emustab, Liga Neutra e maltodextrina, em quatro concentrações (2,5, 5,0, 7,5 e 10%) para cada aditivo, consagrou a espuma com maior expansão volumétrica (*over-run*) a incorporada à polpa 10% de Emustab (425,89%), taxa bem superior ao deste trabalho, e a com menor *over-run* a espuma formulada com 5% de maltodextrina (0,72%).

Trabalhos científicos relatando a diminuição da densidade e o aumento do *over-run* com o aumento do tempo de batimento foram descritos por: Franco et al. (2015) ao baterem durante 20 minutos suco de yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. e Endl.) H. Rob.], com 10% de maltodextrina, encontrando valores de 0,16 g.cm<sup>-3</sup> de densidade e 566,43% de expansão volumétrica; Ng e Sulaiman (2018) verificaram para a espuma de beterraba (*Beta vulgaris*) com 10% de gelatina densidade de 0,54 g.cm<sup>-3</sup> e *over-run* de 87,78%; Kandasamy et al. (2012), para a espuma da polpa de mamão papaia (*Carica papaya* L.) acrescida de 3% de monoestearato de glicerol e batida por 10 minutos, encontraram densidade de 0,52 g.cm<sup>-3</sup> e expansão volumétrica de 98%.

A espuma ideal para realização do processo de secagem é aquela que melhor interage com os três parâmetros: densidade (em uma faixa de 0,1 a 0,6 g/cm<sup>3</sup>), expansibilidade (acima de 100%) e estabilidade (até 1,25 mL), caso contrário haverá facilidade de dissolução da espuma o que pode comprometer o processo de secagem no que tange o teor de água e o rendimento final dos pós (SOARES et al., 2001).

Analisando-se conjuntamente os três parâmetros (densidade, expansão volumétrica e estabilidade) avaliados das espumas, observa-se que a formulação F3 foi a que apresentou o pior desempenho, com as maiores densidades, menores expansões volumétrica e pior estabilidade.

Selecionou-se a F2 (polpa + 2,5% Emustab + 1,5% Liga Neutra) para os experimentos de secagem em razão de ter apresentado menor densidade com menor quantidade de aditivos em relação a F1, maior expansão volumétrica em relação a F3, e

próximo a F1, e estabilidade melhor do que F3, além de ser estatisticamente igual a F1. A menor densidade da espuma pode acelerar o movimento de retirada da água durante a secagem, em razão da maior área superficial para o ar de secagem (NG e SULAIMAN, 2018).

Em relação ao tempo de batimento, o tempo de 15 minutos foi selecionado para a formação da espuma F2, em razão de ter apresentado médias estatisticamente iguais em termos de densidade e expansão volumétrica (*over-run*), aos tempos de batimento maiores (20, 25 e 30 minutos), evitando, desta forma, que os compostos voláteis se degradassem pela ação física do batimento no processo de formação da espuma e pelos fatores extrínsecos (luz, oxigênio e temperatura) (TUWAPANICHAYANAN et al., 2012). Além do mais, o tempo de batimento prolongado acarretou no colapso da estrutura da espuma como comprovado pela tendência de aumento da densidade e diminuição da expansão da espuma.

Comportamento semelhante foi relatado por Melo (2008) para a espuma da polpa do fruto do mandacaru (*Cereus jamacaru* P.) com 0,5% de extrato de soja, em que houve um aumento da expansão volumétrica até 10 minutos de batimento, seguida de uma diminuição até o tempo de 30 minutos.

Um outro fator para se selecionar é que a amostra F2 no tempo de batimento de 15 minutos possuía menor concentração de Emustab e Liga Neutra, desempenhando a mesma função que a formulação com mais aditivos (F1), pois o intuito da indústria alimentícia é produzir alimentos estáveis com o menor conteúdo de aditivos e economia de energia.

#### **4.2 – Caracterização físico-química da polpa de cumbeba integral e da formulação selecionada**

Na Tabela 4.3 têm-se os valores médios e os desvios padrão dos parâmetros químicos e físicos avaliados na polpa de cumbeba integral e na espuma da formulação F2 (2,5% de Emustab e 1,5% de Liga neutra). Estes parâmetros foram analisados com o intuito de avaliar a influência dos aditivos na polpa e o tempo de batimento. Verificou-se que a adição dos aditivos influenciou em todos os resultados da espuma.

**Tabela 4.3** – Valores médios e desvios padrão dos parâmetros químicos e físicos da polpa de cumbeba integral e da formulação F2 (2,5% de Emustab e 1,5% de Liga Neutra)

Parâmetros	Polpa integral	Espuma F2
Teor de água (% b.u.)	89,40 ± 0,33 a	86,04 ± 0,06 b
Atividade de água (a <sub>w</sub> )	0,986 ± 0,020 a	0,983 ± 0,001 a
pH	4,20 ± 0,00	4,27 ± 0,00
Acidez total titulável (% ac. cítrico)	0,43 ± 0,01 a	0,38 ± 0,01 b
Ácido ascórbico (mg/100 g)	3,62 ± 0,47 a	3,46 ± 0,37 a
Sólidos solúveis totais (°Brix)	7,00 ± 0,00 b	11,0 ± 0,0 a
Açúcares redutores (% glicose)	4,92 ± 0,02 b	31,00 ± 0,50 a
Cinzas (%)	0,67 ± 0,02 a	0,39 ± 0,06 b
Na (mg/100 g)	41,05	-
Mg (mg/100 g)	287,82	-
P (mg/100 g)	9,61	-
K (mg/100 g)	193,73	-
Ca (mg/100 g)	172,80	-
Mn (mg/100 g)	4,01	-
Fe (mg/100 g)	0,77	-
Cu (mg/100 g)	0,04	-
Zn (mg/100 g)	0,17	-
Proteínas (%)	0,62 ± 0,03 a	0,74 ± 0,07 a
Luminosidade (L*)	41,55 ± 0,09 b	82,41 ± 0,17 a
Intensidade de vermelho (+a*)	15,51 ± 0,02 a	4,96 ± 0,03 b
Intensidade de amarelo (+b*)	39,87 ± 0,24 a	29,2 ± 0,70 b
Antocianinas (mg/100 g)	0,76 ± 0,01 a	0,16 ± 0,01 b
Carotenoides (mg/100 g)	0,182 ± 0,00 a	0,18 ± 0,00 a
Flavonoides (mg/100 g)	13,00 ± 0,02 a	7,34 ± 0,00 b
Fenólicos (mg/100 g)	220,91 ± 0,69 a	187,60 ± 0,52 b
Betaxantinas (mg/100 g)	1,39 ± 0,00 a	0,73 ± 0,00 b
Betacianinas (mg/100 g)	1,42 ± 0,02 a	0,25 ± 0,01 b

Obs.: médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observou-se um decréscimo significativo de 3,76% no teor de água da espuma em relação à polpa de cumbeba integral. Foi observado o teor de água mais baixo na espuma da polpa de cumbeba, visto que a adição de Emustab e Liga Neutra têm como propriedade aumentar o teor de sólidos solúveis totais e os açúcares redutores devido a sua constituição (SOUSA et al., 2015). O conteúdo encontrado neste estudo foi superior ao obtido por Furtado et al. (2014) de 44,18% de teor de água na espuma da polpa de abacaxi concentrada (60 °Brix) com 1,5% de Emustab e próximo aos valores encontrados por Silva et al. (2015a) para a polpa e a espuma do umbu (2,5% Liga neutra e 5,0% de Emustab), obtendo médias de 89,04 e 86,09%, respectivamente.

Comparando a polpa de cumbeba integral com outras polpas de frutos de cactáceas, notou-se que o teor de água deste trabalho foi um pouco mais elevado e a atividade de água apresentou um valor intermediário em relação à literatura, em relação a polpa integral do mandacaru com teor de água de 87,76% e  $a_w$  de 0,99 (NUNES et al., 2013); polpa de pitaiá com teor de água de 86,87% e  $a_w$  de 0,930 (SOUSA, 2015); polpa de cumbeba com teor de água de 82,60% (NASCIMENTO et al., 2011); e polpa de figo-da-índia com  $a_w$  de 0,976 (GALDINO et al., 2016a).

Verifica-se que a atividade de água ( $a_w$ ) não foi influenciada pela incorporação dos aditivos (Emustab 2,5% e liga neutra, 1,25%) à polpa de cumbeba. Fato também verificado por Freitas (2016) ao notar que a presença dos aditivos não tiveram contribuição significativa na atividade de água da espuma ( $a_w = 0,977$  para a polpa integral de manga ubá e  $a_w = 0,973$  para a espuma formulada com 2,5% de Emustab) o que pode ter sido devido à pequena concentração de aditivo e somando-se a isso ao fato deste aditivo ter um teor de sólidos solúveis baixo (1,5 °Brix) limitando sua capacidade de diminuição da atividade de água (PINTO et al., 2009).

Os valores do pH muito próximo indicam que a concentração dos aditivos utilizados na espuma não foram suficientes para apresentarem grandes variações entre as amostras, enquanto para a acidez total titulável (ATT) detectou-se um decréscimo de 11,63% na acidez da espuma em relação à polpa integral.

Diógenes et al. (2015) constataram um decréscimo de aproximadamente 75% na ATT da polpa de manga (*Mangifera indica* L.) Haden formulada com 30% de maltodextrina (DE=10) em relação à polpa integral e aumento do pH em cerca de 3%, indicando que a maltodextrina reduziu na polpa formulada a concentração dos ácidos orgânicos presentes. Pinto et al. (2009), ao estudarem as propriedades das espumas da polpa de jenipapo (*Genipa americana* L.) formuladas por diferentes concentrações de

Emustab (5, 10, 15 e 20%), encontraram para o pH um leve incremento de 3,38 a 3,69, em relação à polpa, com diferenças entre todas as concentrações.

Comparando-se o pH e a ATT da polpa de cumbeba integral com polpas de outras cactáceas, tem-se valor superior para a polpa do mandacaru integral com pH de 4,41 (NUNES et al., 2013); teor dentro da faixa da polpa de pitaia com a ATT variando entre 0,306 e 0,429% (LI et al., 2017); para a polpa de pitaia valor próximo de 4,45 para o pH e superior para a acidez de 3,38% (SOUSA, 2015); também valores próximos em polpas de pitaias orgânicas com pH de 4,74 e acidez de 0,26% (FERNANDES et al., 2017). Variações no pH e na ATT são influenciadas pelo estágio de maturação, uma vez que em frutos maduros existe aumento do pH e redução da acidez (SUGAI, 2002).

O ácido ascórbico quantificado não apresentou variações significativas de acordo com teste de Tukey a 5% de probabilidade, apesar de ser notado uma redução na espuma formulada (3,46 mg/100 g) em relação a polpa de cumbeba integral (3,62 mg/100 g).

Constata-se que o teor de ácido ascórbico da polpa de cumbeba e na espuma foram pequenos, porém teores inferiores foram encontrados por Oliveira et al. (2017) na polpa integral de manga (*Mangifera indica* L.) Rosa (0,40 mg/100 g) e na formulação da polpa com 30% de maltodextrina (0,33 mg/100 g).

Valores superiores foram quantificados na polpa do mandacaru (4,28 mg/100 g) e na espuma da polpa (8,69 mg/100 g) por MELO (2008). CORIA CAYUPÁN et al. (2011), em três diferentes espécies de cactáceas (*Opuntia spp.*, *Opuntia ficus-indica* e *Opuntia megacantha*), encontraram valores de ácido ascórbico variando entre 25,0 e 57,0 mg/100 g.

Foi relatado por Moussa-Ayoub et al. (2016), em suco de *Opuntia dillenii*, conteúdo de ácido ascórbico na ordem de 55,80 mg/100 g e KUNYANGA et al. (2014) encontraram, em polpa de *Opuntia stricta*, 57,03 mg/100 g de ácido ascórbico. De acordo com CHITARRA e CHITARRA (2005), o conteúdo de ácido ascórbico é influenciado pela variedade e estágio de maturação do fruto, condições e tempo de armazenamento da polpa.

Os sólidos solúveis totais (SST), expressos em °Brix, e os açúcares redutores (AR) apresentaram incrementos significativos na espuma da polpa de cumbeba em relação à polpa integral. Isso aconteceu em consequência da incorporação dos aditivos que contêm em sua estrutura moléculas de carboidratos naturais ou modificados quimicamente que atuam positivamente nos atributos de qualidade e elevam os teores de açúcares e sólidos solúveis totais (ATEF et al., 2012).

Feitosa (2014) analisando os SST (°Brix) da espuma contendo polpa de murta com 1,5% de Emustab e 0,5% de liga neutra verificou aumento de 25% no valor de SST em relação à polpa integral, concordando com os resultados da espuma da polpa de cumbeba.

Comparando os teores de SST (7 °Brix) e AR (4,92%) da polpa de cumbeba integral com os dados da literatura, constata-se que foram inferiores aos da polpa de *Opuntia ficus-índica* Mill. cv. “Gigante” cultivada em diferentes localidades com o conteúdo de SST variando entre 12,60 a 12,75 °Brix e os AR entre 8,40 a 8,70% (ALMEIDA et al., 2013) e aos do fruto da palma forrageira Gigante, que de acordo com o estágio de maturação variaram entre 9,83 a 13,13 °Brix (NUNES et al., 2012). Em meio a tantas contradições de resultados Chik et al. (2011) explicam que os sólidos solúveis totais e a concentração de açúcares são influenciados pela parte do fruto, espécie, estágio de maturação e local de cultivo.

O teor de cinzas apresentou diferença significativa entre as amostras, sendo observado um decréscimo nas cinzas da espuma formulada de 41,79%. Redução das cinzas também foi verificada por Sousa et al. (2015) na polpa de atemoia formulada em relação à polpa integral, sendo este decréscimo de cerca de 129,3% e por Moura (2015) na polpa de pitaia branca formulada com 15% de maltodextrina (0,42%), também, em relação à polpa integral (0,45%).

Confrontando com outras polpas, o teor de cinzas da polpa de cumbeba integral foi maior que o da polpa da pitaia orgânica (0,07%) (FERNANDES et al., 2017) e do fruto da palma (*Opuntia ficus indica* L. Mill) (0,40%) (OLIVEIRA et al., 2011). Conteúdos congêneres de cinzas foram encontrados por Sousa (2017) de 0,68% no fruto do facheiro (*Pilosocereus pachycladus* subesp. *pernambucoensis*) e de 0,66% no fruto xiquexique (*Pilosocereus gounellei*) e valor maior, de 0,85%, no fruto de cumbeba (*Tacinga inamoena*).

Na quantificação dos minerais, os macronutrientes em maiores concentrações foram (Mg) magnésio (287,82 mg/100 g), (K) potássio (193,73 mg/100 g) e (Ca) cálcio (172,80 mg/100 g), seguido de (Na) sódio (41,05 mg/100 g) e (P) fósforo (9,61 mg/100 g). Teores inferiores destes minerais foram encontrados por Souza et al. (2007) para a polpa de cumbeba, com valores de Mg (64,24 mg/100 g), de K (87,90 mg/100 g), de Ca (232,11 mg/100 g), de P (47,55 mg/100 g) e de Na (1,38 mg/100 g).

Jerônimo (2016) determinando o perfil mineral da polpa de pitaia vermelha, destacou os teores de K (3,09 mg/100 g), Mg (2,23 mg/100 g), Na (0,14mg/100 g), Ca

(0,04 mg/100 g) e, em menor concentração, o P (0,003 mg/100 g), muito aquém dos valores da polpa de cumbeba integral.

Referindo-se aos micronutrientes, o mais significativo foi o (Mn) manganês com média de 4,0 mg/100 g, seguido, em menor concentração, pelo (Fe) ferro (0,77 mg/100 g), (Zn) zinco (0,17 mg/100 g) e (Cu) cobre (0,04 mg/100 g). Desta forma, os teores de Mg e Mn encontrados em 100 g da polpa de cumbeba integral suprem a necessidade diária recomendada para adultos que, segundo Brasil (2005a), é de 230 e de 1,8 mg/100 g, respectivamente.

As médias obtidas no presente estudo foram inferiores das quantificadas por Cordeiro et al. (2015), ao encontrarem teores médios de Fe (33,758 mg/100 g), Zn (11,626 mg/100 g) e Mn (11,393 mg/100 g) em frutos de pitaiá.

Abdel-Hameed et al. (2014) analisaram duas variedades de polpa de *Opuntia ficus indica* Mill, amarela e vermelha, e encontraram valores de Fe (0,23 e 0,20 mg/100 g), Cu (0,23 e 0,20 mg/100 g), Na (5,04 e 5,02 mg/100 g) e K (20,88 e 21,59 g/100 g), respectivamente para cada cor de polpa.

El-Mostafa et al. (2014) ao analisarem o conteúdo de minerais de frutos de *Opuntia ficus-indica*, encontraram valores de Ca de 27,6 mg/100 g, Mg de 27,7 mg/100 g, Na de 0,8 mg/100 g, K de 161 mg/100 g e Fe de 1,5 mg/100 g. Então, verifica-se que os minerais da polpa de cumbeba encontram-se numa faixa harmônica com a literatura.

As proteínas não apresentaram variações significativas entre a polpa de cumbeba integral (0,62%) e a espuma formulada (0,74%). Contrariamente os resultados obtidos por Oliveira et al. (2006) mostraram diferença significativa entre a polpa de pitanga (*Eugenia uniflora* L.) integral (0,56%) e a formulação da polpa de pitanga com adição de 15% de maltodextrina (0,12%).

Sousa et al. (2015) relataram redução do valor proteico da polpa de atemoia integral, de 1,36%, para 0,43% na polpa formulada com 25% de maltodextrina. Valor superior ao deste trabalho foi relatado no estudo de Hernández-Urbiola et al. (2011) para o fruto da *Opuntia ficus indica* (7,07 g/100 g). Valores próximos foram mencionados por Nascimento et al. (2011) para a polpa de cumbeba com teor de proteína de 0,97 g/100 g e por Barba et al. (2017) para o fruto da *Opuntia* spp. com 0,7 g/100 g.

Mudanças nos parâmetros da cor (L\*, +a\* e +b\*) foram significativamente diferentes em relação aos valores logrados para a polpa de cumbeba integral e sua espuma. A adição dos agentes emulsificantes/estabilizantes influenciaram significativamente no valor da luminosidade (L\*) elevando a claridade em aproximadamente 98,34% na espuma;

as intensidades de vermelho (+a\*) e amarelo (+b\*) foram reduzidas na espuma em 68,02% e 26,76%, respectivamente, em comparação com polpa de cumbeba integral. Notou-se na espuma a massiva predominância de +b\* sobre +a\* e incremento de L\*.

De acordo com Lee et al. (2013), quanto maior o valor de L\* mais a claridade tende ao branco, o que se deve, em parte, à cor dos emulsificantes e estabilizantes. Segundo Barreto (2011), a incorporação e aprisionamento do ar, no processo de formação da espuma, leva a diminuição da massa específica, expansão do volume e aumento da percepção de tonalidades mais claras em relação à polpa integral. A luminosidade (L\*), similarmente, aumentou na espuma formulada com polpa de atemoia incorporada com 1,5% de Emustab e 1,5% de Liga Neutra (70,80) em relação à polpa integral (56,25) e os valores de +a\* e +b\* reduziram (GALDINO, 2015).

Moura (2015) também encontrou valores de L\* maiores na formulação de pitaia vermelha com 30% de maltodextrina (7,50) do que na polpa integral do mesmo fruto (0,41). Allegra et al. (2015) analisando os parâmetros de cor da polpa de *Opuntia ficus-indica* constatarem valores de L\*(45,1) e +a\*(18,2) superiores ao da polpa de cumbeba integral (L\*: 42,55; + a\*: 15,51; +b\*: 39,87).

Parâmetros da cor inferiores ao da polpa de cumbeba integral foram identificados por Galdino et al. (2016a) em que constatarem valores de 17,26 para L\*, 11,12 para +a\* e 25,98 para +b\* na polpa de figo-da-índia e por Rodríguez-Sánchez et al. (2017) com valores de L\*, +a\* e +b\* na ordem de 17,90, 33,60 e 28,21, respectivamente, em polpa de pitaia amarela.

Com a incorporação dos aditivos houve uma redução das antocianinas de cerca de 78,95% na espuma formulada em relação à polpa de cumbeba integral. Feitosa et al. (2017) verificaram a redução do conteúdo de antocianinas em polpa de murta integral de 44,49 mg/100 g para 31,15 mg/100 g na espuma formulada (polpa, 1,5% de Emustab e 0,5% de liga neutra), relacionando este decréscimo com à adição de aditivos e a exposição pela ação da luz e do oxigênio incorporado pelo batimento na formação da espuma.

A média do valor das antocianinas obtida para a polpa de cumbeba integral está acima dos resultados de Formiga et al. (2016) e de Lima (2016) para a polpa da mesma fruta, correspondendo a 0,05 e 0,52 mg/100 g, respectivamente. As antocianinas são importantes, pois desempenham variadas funções nas plantas: atuam como antioxidantes, protegem da ação da luz, são usadas como mecanismo de defesa e função biológica (SHARMA et al., 2016).

Os carotenoides quantificados não apresentaram diferença estatística entre a polpa de cumbeba integral e na espuma formulada. Comparando-se com polpas de cumbeba de outras pesquisas, observa-se diferenças nos resultados inferiores detectados por Sousa (2017) para o conteúdo de carotenoides de 0,128 mg/100 g; por Lima (2016) de 0,05 mg/100 g e por Dantas et al. (2016) de 0,03 mg/100g. Os teores de carotenoides estão entre os componentes de alimentos mais afetados por fatores genéticos e ambientais (RODRIGUEZ-AMAYA, 2015) o que pode justificar as diferenças dos resultados.

O conteúdo de flavonoides também foi reduzido na espuma formulada em razão da incorporação dos aditivos, este decréscimo foi de cerca de 43,54% em relação à polpa integral. Valor superior de flavonoides foi descrito por Matias et al. (2014), para o suco da polpa do *Opuntia ficus-indica* (54,07 mg/100 g); e valores inferiores foram quantificados por Formiga et al. (2016) para a polpa de cumbeba com 1,66 mg/100 g e por Lima et al. (2013) para a polpa da pitaita com teores variando entre 0,9 e 6,0 mg/100 g. Os flavonoides têm se mostrado eficazes contra oxidação, incluindo o oxigênio e radicais livres na promoção da saúde (MOUSSA-AYOUB et al., 2011).

Observou-se que a formação da espuma reduziu significativamente em 15,08% os compostos fenólicos em relação à polpa. A média quantificada da polpa de cumbeba integral foi de 220,91 mg/100 g e está na faixa de valores obtida por Sumaya-Martínez et al. (2011) quando analisaram os compostos fenólicos de 18 cultivares de figo-da-índia (púrpura, vermelho, amarelo e branco) de seis regiões mexicanas em que os valores variaram de 138 a 670 mg/100 g.

No entanto, Osorio-Esquivel et al. (2011) verificaram, ao analisar o pericarpo, o mesocarpo e o endocarpo de frutos da *Opuntia joconostle*, perfil de compostos fenólicos na ordem 200,70 mg/100 g, 138 mg/100 g e 100,2 mg/100 g, respectivamente, e como os compostos fenólicos ajudam a proteger a planta contra os raios ultravioleta e atua na defesa contra patógenos, isso pode ser a causa do alto conteúdo de fenólico encontrado no pericarpo, em comparação com o conteúdo em mesocarpo e endocarpo, complementaram os autores.

Dantas et al. (2015) averiguaram que os compostos fenólicos das porções do mesocarpo e da polpa, individualmente, não diferiram para a cumbeba, apresentando um conteúdo de cerca de 20 mg/100 g, sendo inferior ao deste estudo.

A discrepância dos valores pode ser atribuídos aos diferentes métodos de extração dos compostos fenólicos (STINTZING et al., 2005) e até mesmo pela separação prévia dos fenólicos de outros compostos que podem interferir na leitura dos resultados (SUMAYA-

MARTÍNEZ et al., 2011). Os compostos fenólicos são importantes, pois detêm funções estruturais e de proteção em plantas, contribuem para o sabor, cor, adstringência e o amargor de frutas e legumes (SOTO et al., 2011), além de exercer atividade antioxidante (IGNAT et al., 2011).

As betalaínas, que correspondem as betaxantinas e betacianinas, são pigmentos naturais presentes em algumas classes de plantas, frutas e flores. Esses pigmentos têm despertado a atenção de pesquisadores, consumidores e da indústria em razão do seu poder tintorial, estabilidade e atividade antioxidante (BUTERA et al., 2002).

Santiago (2015) reportou valores de betacianinas em polpa de pitaia vermelha (23,12 mg/100 g) e na formulação composta por polpa de pitaia vermelha e 25% de maltodextrina (14,42 mg/100 g) superiores aos deste trabalho com uma redução, também, do conteúdo de betacianinas na formulação em relação a polpa, assim como aconteceu na espuma deste estudo.

Robert et al. (2015) formularam um blend com a polpa de *Opuntia ficus-indica* e tiveram como resultados 0,45 mg/100 g de betacianinas e 0,18 g/100 g de betaxantinas. Longaray (2014) remete esta diminuição nas formulações à ruptura dos vacúolos vegetal onde se encontram as betalaínas pela ação da batedeira que age na formação da espuma, ficando, desta forma propensas à degradação pela luz e oxigênio.

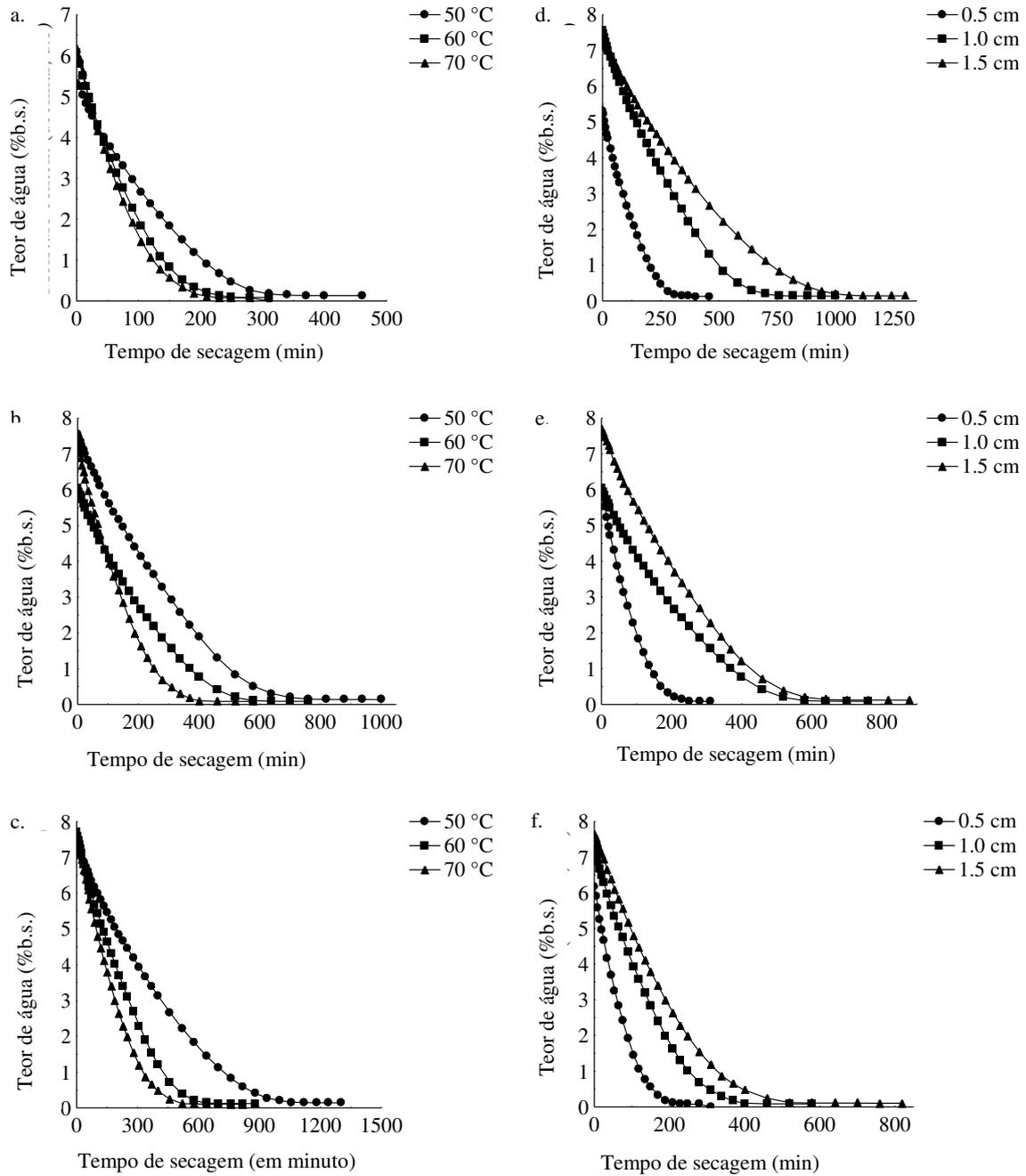
Comparando os valores dos compostos bioativos da polpa de cumbeba integral com a polpa de pitaia amarela, percebe-se conteúdo superior de betaxantina (2,08 mg/100 g) e inferior de betacianina (0,27 mg/100 g) (RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ et al., 2017).

Por sua vez, Dantas et al. (2016) dissertaram que a quantidade de betacianinas e betaxantinas variaram de acordo com a porção da fruta e estágio de maturação, como por exemplo: as betacianinas presentes na polpa são inferiores a da casca da fruta. Na fase de maturação 4 (coloração amarelada com nuances rosa) estes valores aumentaram de 0,31 para 0,71 mg/100 g na casca e de 0,08 a 0,17 mg/100 g na polpa, sendo o mesmo comportamento observado quanto ao teor de betaxantina (com maior concentração na casca: 0,56 mg/ 100 g), com a fruta mostrando predominantemente cor amarela.

### **4.3 – Cinética de secagem**

Figura 4.1 são mostradas as curvas experimentais das cinéticas de secagem em camada de espuma da polpa de cumbeba com espessuras da camada de 0,5, 1,0 e 1,5 cm e

temperaturas do ar de secagem de 50, 60 e 70 °C, descritas pela evolução do teor de água em função do tempo de secagem.



**Figura 4.1** –Teor de água das espumas da polpa de cumbeba em função do tempo de secagem para diferentes espessuras da camada (a - 0,5 cm; b - 1,0 cm; e c -1,5 cm) e temperaturas de secagem (d - 50 ° C; e- 60 ° C; e f - 70 ° C)

Observa-se que o teor de água das espumas diminuiu continuamente com o tempo de secagem, ressaltando, ainda, que com o aumento da temperatura de secagem (Figura

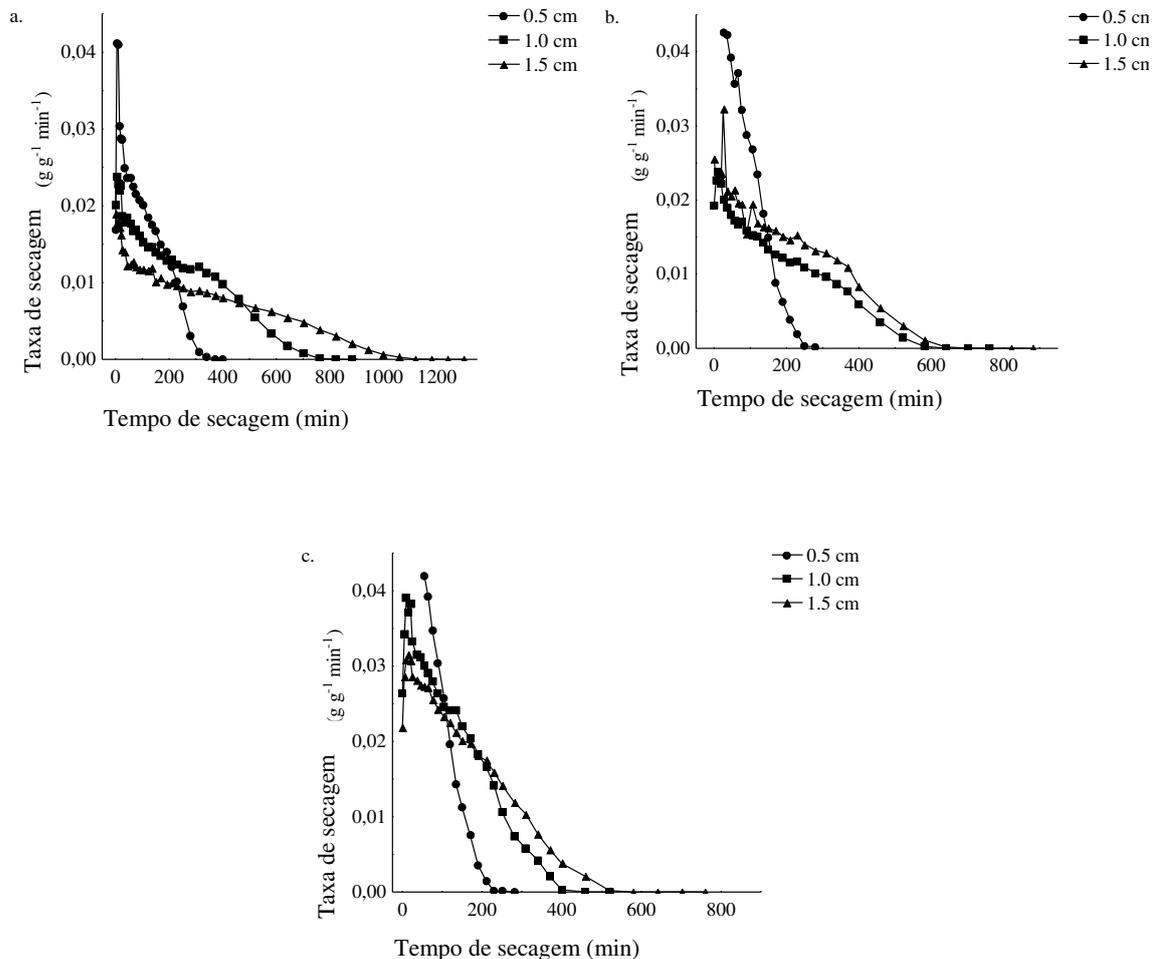
4.1a, b, c) e a diminuição da espessura da camada (Figura 4.1d, e, f), os tempos necessários para atingir o teor de água de equilíbrio foram menores, a saber: os tempos de secagem foram de 460, 310 e 280 min, na espessura de 0,5 cm e temperaturas de 50, 60 e 70 °C, com teor de água final de 13,18, 8,19 e 7,60% (b.s.), respectivamente; para a espessura de 1,0 cm, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, os tempos de secagem foram de 880, 760 e 580 min, com teor de água final de 13,76, 8,81 e 8,50% (b.s.), respectivamente; enquanto que para a espessura de 1,5 cm e nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, os tempos de secagem foram de 1240, 880 e 820 min, com teor de água final de 14,19, 12,16 e 10,39% (b.s.), respectivamente.

O mesmo comportamento da cinética de secagem foi observado por Guimarães et al. (2017) ao avaliarem a cinética de secagem em camada de espuma da polpa de manga (*Mangifera indica* L.) cv. Keitt incorporada com 1% de Emustab® e 1% de Liga Neutra®, para o tempo de batimento de 20 min, desidratada em estufa com circulação forçada de ar em diferentes temperaturas (50; 60 e 70 °C) e espessuras de camada de espuma (0,5; 1,0 e 1,5 cm), verificaram que a temperatura e a espessura influenciaram no tempo de secagem, com os menores tempos de secagem observados na maior temperatura e na menor espessura.

Várias outras pesquisas usando a mesma faixa de temperatura e agentes formadores de espuma, verificaram que as espumas formuladas com polpa de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) (SOUSA et al., 2017), atemoia (GALDINO et al., 2016a), abacate (*Persea americana*) (ALVES e RODOVALHO, 2016), manga cv. Haden (SILVA FILHO et al., 2016) e fruto da palma (SANTOS et al., 2016a) tiveram seus teores de água reduzidos com o maior tempo de secagem, a medida que se elevava a temperatura de secagem e diminuía a espessura da camada da espuma.

O incremento na temperatura e diminuição da espessura resultou no aumento da taxa de transferência de calor para o interior da espuma (ÇENGEL e GHAJAR, 2012), o que provocou o aumento da mobilidade das moléculas de água (CHAUX-GUTIÉRREZ et al., 2017); além disso, a redução da espessura diminuiu a distância que a água tem para percorrer do interior até a superfície da espuma (DJAENI et al., 2015), facilitando, assim, a sua remoção e, por consequência, reduzindo o tempo de secagem. Resultados similares foram relatados na literatura para a secagem em camada de espuma de polpa de melão (*Momordica charantia* L.) (ASOKAPANDIAN et al., 2016), suco de tamarindo (*Tamarindus indica* L.) (EKPONG et al., 2016) e polpa de atemoia (GALDINO et al., 2016b).

As taxas de secagem em função do tempo da espuma da polpa de cumbeba, nas diferentes condições de secagem, são mostradas na Figura 4.2.



**Figura 4.2** – Taxas de secagem da espuma da polpa de cumbeba em função do tempo para as diferentes temperaturas (a - 50 ° C, b- 60 ° C, c- 70 ° C) e espessuras

Para todas as temperaturas e espessuras estudadas houve maior taxa de secagem no início do processo, onde destaca-se um curto período de aceleração, mas, apenas observado, para as três espessuras da espuma, na temperatura de 50 °C (Figura 4.2a). Esse comportamento só foi constatado para as temperaturas de 60 e 70 °C apenas nas espessuras de 1,0 e 1,5 cm (Figuras 4.2b e 2c), respectivamente. Isso ocorre porque nas maiores temperaturas as amostras com menor espessura são rapidamente desidratadas, não conseguindo fornecer um suprimento constante de água à superfície (DOYMAZ, 2004).

O processo de secagem das espumas ocorreu no período de taxa decrescente com o tempo, sem haver o período de taxa de secagem constante, fenômeno que pode ser explicado devido a perda de conectividade entre a superfície exposta e o líquido no interior

do material, resultado do recuo da interface de fluido no interior do material (meio poroso), causado pela redução da difusão molecular de água (FANTINEL et al., 2017), mecanismo de transporte dominante, em que a taxa de secagem é governada pela resistência interna ao movimento das moléculas de água do interior para a superfície do produto (BABALIS e BELESSIOTIS, 2004; FRANCO et al., 2017).

Resultados semelhantes foram encontrados na secagem em camada de espuma de suco concentrado de uva (*Vitis vinifera* L.) (GUPTA e ALAM, 2014), de polpa de melão (SALAHY et al., 2015) e de polpa de tomate (*Solanum lycopersicum*) (SRAMEK et al., 2015), onde houve um período decrescente e constante da taxa de secagem.

Na Tabela 4.4 têm-se os coeficientes dos modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais das curvas de cinética de secagem em camada de espuma da polpa de cumbeba, em diferentes temperaturas e espessuras, e os valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrado ( $\chi^2$ ) utilizados para determinar a qualidade do ajuste.

Verifica-se que todos os modelos utilizados apresentaram valores de  $R^2$  maiores que 0,980, com valores de DQM e  $\chi^2$  inferiores a 0,0448 e 0,0021, respectivamente. Dentre os modelos testados, o de Midilli apresentou os maiores valores de  $R^2$  (0,9972-0,9990), menores valores de DQM (0,0112-0,0185) e de  $\chi^2$  (0,0002-0,0004) em todas as espessuras da camada da espuma e em todas as temperaturas, com exceção da camada de 1,5 cm na temperatura de 60 °C, onde o melhor modelo foi o da Aproximação da Difusão.

Bons ajustes obtidos com o modelo de Midilli são com frequência relatados na literatura, como, por exemplo, na secagem convectiva em camada fina de polpa de beterraba (GOKHALE e LELE, 2011), na secagem em camada de espuma da polpa de graviola (*Annona muricata*) (BAPTESTINI et al., 2015), na secagem de frutos de acerola (*Malpighia emarginata*) (D'ANDREA et al., 2015) e na secagem em camada de espuma da polpa de atemoia (GALDINO et al., 2016b).

A constante de secagem 'k' dos modelos de Newton, Page, Henderson e Pabis, Exponencial dois termos, Aproximação da difusão, Henderson e Pabis modificado, Dois termos e Midilli tenderam a aumentar com o aumento da temperatura de secagem e a diminuir com o aumento da espessura da camada de espuma, uma vez que temperaturas mais elevadas levam a maiores taxas de secagem. O parâmetro 'k' representa o efeito das condições de secagem externas, que tende a aumentar à medida que a temperatura do ar aumenta (SANTOS et al., 2017a).

**Tabela 4.4** – Coeficientes de determinação ( $R^2$ ), desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrado ( $\chi^2$ ) para os modelos ajustados aos dados experimentais da secagem das espumas da polpa de cumbeba

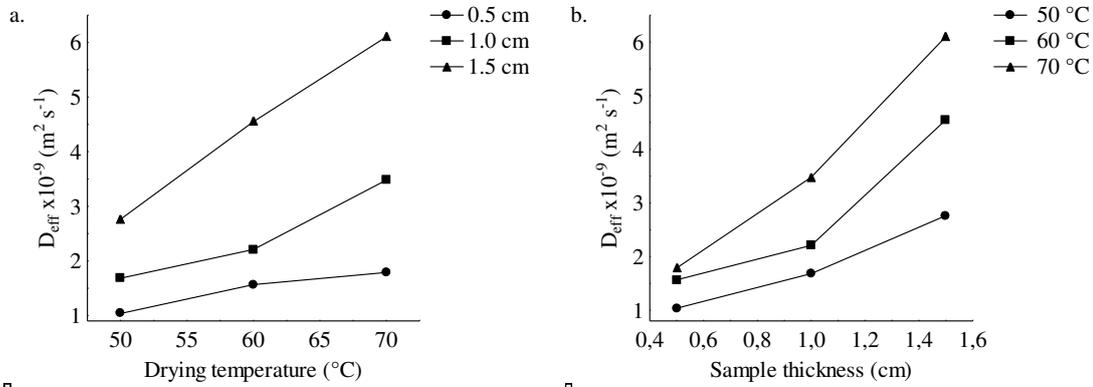
Modelo	Temp. (°C)	Espessura da camada (cm)	Parametros do modelo	$R^2$	DQM	$\chi^2$
Newton	50	0,5	k: 0,0079	0,9853	0,0428	0,0019
		1,0	k: 0,0033	0,9830	0,0446	0,0021
		1,5	k: 0,0024	0,9859	0,0419	0,0002
	60	0,5	k: 0,0118	0,9874	0,0393	0,0016
		1,0	k: 0,0043	0,9870	0,0391	0,0016
		1,5	k: 0,0039	0,9854	0,0425	0,0019
	70	0,5	k: 0,0135	0,9882	0,0383	0,0017
		1,0	k: 0,0066	0,9845	0,0444	0,0020
		1,5	k: 0,0052	0,9874	0,0406	0,0017
Page	50	0,5	k: 0,0025; n: 1,2350	0,9957	0,0232	0,0006
		1,0	k: 0,0010; n: 1,2109	0,9939	0,0268	0,0008
		1,5	k: 0,0006; n: 1,2131	0,9948	0,0259	0,0007
	60	0,5	k: 0,0043; n: 1,2240	0,9970	0,0190	0,0004
		1,0	k: 0,0014; n: 1,2056	0,9955	0,0228	0,0006
		1,5	k: 0,0011; n: 1,2293	0,9950	0,0247	0,0006
	70	0,5	k: 0,0048; n: 1,2375	0,9982	0,0148	0,0003
		1,0	k: 0,0017; n: 1,2737	0,9974	0,0181	0,0004
		1,5	k: 0,0013; n: 1,2591	0,9982	0,0153	0,0002
Henderson e Pabis	50	0,5	a: 1,0443; k: 0,0083	0,9882	0,0383	0,0016
		1,0	a: 1,0318; k: 0,0034	0,9851	0,0418	0,0019
		1,5	a: 1,0168; k: 0,0072	0,9873	0,0403	0,0017
	60	0,5	a: 1,0439; k: 0,0125	0,9900	0,0349	0,0013
		1,0	a: 1,0317; k: 0,0045	0,9889	0,0361	0,0014
		1,5	a: 1,0343; k: 0,0041	0,9875	0,0393	0,0016
	70	0,5	a: 1,0519; k: 0,0143	0,9915	0,0325	0,0014
		1,0	a: 1,0518; k: 0,0071	0,9885	0,0382	0,0016
		1,5	a: 1,0487; k: 0,0056	0,9909	0,0345	0,0013
Exponencial de 2 Termos	50	0,5	a: 1,7579; k: 0,0111	0,9954	0,0239	0,0006
		1,0	a: 1,7535; k: 0,0047	0,9939	0,0268	0,0008
		1,5	a: 1,7340; k: 0,0033	0,9949	0,0256	0,0007
	60	0,5	a: 1,7506; k: 0,0165	0,9969	0,0195	0,0004
		1,0	a: 1,7287; k: 0,0060	0,9956	0,0226	0,0005
		1,5	a: 1,7503; k: 0,0056	0,9950	0,0249	0,0007
	70	0,5	a: 1,7708; k: 0,0190	0,9979	0,0160	0,0003
		1,0	a: 1,8023; k: 0,0096	0,9969	0,0198	0,0004
		1,5	a: 1,7929; k: 0,0076	0,9979	0,0165	0,0003
Thompson	50	0,5	a: -464,982; b: 1,9214	0,9851	0,0430	0,0020
		1,0	a: -588,053; b: 1,4036	0,9829	0,0448	0,0021
		1,5	a: -712,785; b: 1,3149	0,9858	0,0426	0,0019
	60	0,5	a: -377,329; b: 2,1202	0,9872	0,0395	0,0017
		1,0	a: -769,019; b: 1,8307	0,9869	0,0392	0,0016
		1,5	a: -532,336; b: 1,4582	0,9852	0,0427	0,0019
	70	0,5	a: -438,664; b: 2,4363	0,9881	0,0386	0,0020
		1,0	a: -508,795; b: 1,8468	0,9844	0,0446	0,0021
		1,5	a: -593,769; b: 1,7694	0,9873	0,0407	0,0018
Logarítmico	50	0,5	a: 1,1302; k: 0,0066; c: -0,1089	0,9958	0,0226	0,0006
		1,0	a: 1,1953; k: 0,0024; c: -0,1894	0,9966	0,0198	0,0004
		1,5	a: 1,1595; k: 0,0018; c: -0,1575	0,9972	0,0189	0,0004
	60	0,5	a: 1,1125; k: 0,0101; c: -0,0912	0,9966	0,0204	0,0005
		1,0	a: 1,1396; k: 0,0035; c: -0,1290	0,9968	0,0194	0,0004

Aproximação da Difusão	70	1,5	a: 1,1302; k: 0,0033; c: -0,1156	0,9951	0,0244	0,0007	
		0,5	a: 1,0985; k: 0,0123; c: -0,0647	0,9962	0,0216	0,0007	
		1,0	a: 1,1271; k: 0,0058; c: -0,0945	0,9950	0,0252	0,0007	
	50	1,5	a: 1,1005; k: 0,0048; c: -0,0651	0,9950	0,0255	0,0007	
		0,5	a: -0,1288; k: 0,0573; b: 0,1561	0,9915	0,0325	0,0012	
		1,0	a: -6,6210; k: 0,0062; b: 0,9127	0,9945	0,0252	0,0007	
	60	1,5	a: -14,580; k: 0,0043; b: 0,9593	0,9954	0,0240	0,0006	
		0,5	a: -12,652; k: 0,0061; b: 1,0513	0,9972	0,0183	0,0004	
		1,0	a: -25,349; k: 0,0021; b: 1,0294	0,9975	0,0171	0,0003	
	70	1,5	a: -71,321; k: 0,0020; b: 1,0101	0,9995	0,0079	0,0001	
		0,5	a: -7,8441; k: 0,0248; b: 0,9233	0,9983	0,0142	0,0003	
		1,0	a: -7,6219; k: 0,0128; b: 0,9166	0,9974	0,0179	0,0004	
Henderson e Pabis Modificado	50	1,5	a: -7,2622; k: 0,0101; b: 0,9144	0,9983	0,0148	0,0002	
		0,5	a: 0,3489; k: 0,0083; b: 0,3477; c: 0,3477	0,9882	0,0383	0,0017	
		1,0	a: 0,3452; k: 0,0034; b: 0,3433; c: 0,3433	0,9851	0,0418	0,0020	
	60	1,5	a: 0,3461; k: 0,0025; b: 0,3404; c: 0,3404	0,9873	0,0403	0,0018	
		0,5	a: 0,3525; k: 0,0125; b: 0,3456; c: 0,3456	0,9900	0,0349	0,0015	
		1,0	a: 0,3461; k: 0,0045; b: 0,3427; c: 0,3427	0,9889	0,0361	0,0015	
	70	1,5	a: 0,3458; k: 0,0041; b: 0,3442; c: 0,3442	0,9875	0,0393	0,0018	
		0,5	a: 0,3512; k: 0,0143; b: 0,3503; c: 0,3503	0,9915	0,0325	0,0016	
		1,0	a: 0,3528; k: 0,0071; b: 0,3494; c: 0,3494	0,9885	0,0382	0,0017	
	Dois Termos	50	1,5	a: 0,2630; k: 0,0060; b: 0,3530; c: 0,3530	0,9909	0,0345	0,0014
			0,5	a: 0,6795; k <sub>0</sub> : 0,0083; b: 0,3648; k <sub>1</sub> : 0,0083	0,9882	0,0383	0,0017
			1,0	a: 0,3721; k <sub>0</sub> : 0,0034; b: 0,6597; k <sub>1</sub> : 0,0034	0,9851	0,0418	0,0020
60		1,5	a: 0,3469; k <sub>0</sub> : 0,0025; b: 0,6800; k <sub>1</sub> : 0,0025	0,9873	0,0403	0,0018	
		0,5	a: 0,5242; k <sub>0</sub> : 0,0125; b: 0,5196; k <sub>1</sub> : 0,0125	0,9900	0,0349	0,0015	
		1,0	a: 0,5162; k <sub>0</sub> : 0,0045; b: 0,5154; k <sub>1</sub> : 0,0045	0,9889	0,0361	0,0015	
70		1,5	a: 0,2916; k <sub>0</sub> : 0,0041; b: 0,7427; k <sub>1</sub> : 0,0041	0,9875	0,0393	0,0018	
		0,5	a: 0,0894; k <sub>0</sub> : 0,0143; b: 0,9624; k <sub>1</sub> : 0,0143	0,9915	0,0325	0,0016	
		1,0	a: 0,6798; k <sub>0</sub> : 0,0071; b: 0,3719; k <sub>1</sub> : 0,0071	0,9885	0,0382	0,0017	
Midilli		50	1,5	a: 0,1191; k <sub>0</sub> : 0,0056; b: 0,9296; k <sub>1</sub> : 0,0056	0,9909	0,0345	0,0014
			0,5	a: 0,9785; k: 0,0023; n: 1,2353; b: 0,0000	0,9976	0,0173	0,0004
			1,0	a: 0,9845; k: 0,0012; n: 1,1545; b: 0,0000	0,9975	0,0169	0,0003
	60	1,5	a: 0,9860; k: 0,0010; n: 1,1263; b: 0,0000	0,9979	0,0163	0,0003	
		0,5	a: 0,9759; k: 0,0038; n: 1,2391; b: 0,0000	0,9985	0,0133	0,0002	
		1,0	a: 0,9806; k: 0,0014; n: 1,1882; b: 0,0000	0,9980	0,0153	0,0003	
	70	1,5	a: 0,9793; k: 0,0011; n: 1,2166; b: 0,0000	0,9972	0,0185	0,0004	
		0,5	a: 0,9817; k: 0,0042; n: 1,2546; b: 0,0000	0,9990	0,0112	0,0002	
		1,0	a: 0,9815; k: 0,0015; n: 1,2831; b: 0,0000	0,9985	0,0136	0,0002	
			1,5	a: 0,9856; k: 0,0012; n: 1,2650; b: 0,0000	0,9988	0,0123	0,0002

A constante ‘n’ no modelo da Page e Midilli, que está relacionada com a resistência interna do material à secagem (PEREZ et al., 2013), aumentou com o incremento da temperatura, sugerindo que as condições externas têm maior influencia na desidratação da das polpas de cumbeba em pó.

A mudança dos valores da difusividade ( $D_{ef}$ ) relacionado com a temperatura e a espessura da camada de espuma da polpa de cumbeba foram ilustrados na Figura 4.3. Os valores de  $D_{ef}$  variaram de  $1,037 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  (0,5 cm-50 °C) a  $6,103 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  (1,5 cm-70 °C), sendo, portanto, influenciados pela condição de secagem. Observa-se uma tendência de aumento da difusividade efetiva com o incremento na temperatura e da espessura da espuma. Isso pode ser explicado (CHEN et al., 2015; ABBASI e AZIZPOUR,

2016) pelo aumento da taxa de transferência de calor, entre a espuma e o ar de secagem, que ocorre devido o aumento da temperatura, o que resulta em maior agitação das moléculas de água, facilitando a sua difusão até à superfície da espuma.



**Figura 4.3** – Efeito combinado da temperatura do ar e da espessura das amostras na difusividade efetiva das espumas da polpa de cumbeba.

Com o aumento da espessura ocorre a diminuição da entropia (SALAH I et al., 2017) e formação de uma espuma com estrutura interna mais organizada e uniforme (THUWAPANICHAYANAN et al., 2012; AZIZPOUR et al., 2016; EKPONG et al., 2016), o que resulta em um sistema mais eficiente, em relação ao transporte molecular de água, em consequência tem-se uma maior difusividade.

Vários autores verificaram que os valores dos coeficientes de difusividade efetiva aumentaram com o aumento da temperatura, como: Das et al. (2015) ao adicionaram 2, 3 e 4% de monoestearato de glicerol à polpa de abóbora para formação de espuma e secando-as nas espessuras de 0,5 e 0,7 cm e temperaturas de 50 e 60  $^{\circ}\text{C}$ , obtiveram valores médios da difusividade efetiva entre  $2,026 \times 10^{-9}$  a  $6,079 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ .

Sousa et al. (2017) estudando a secagem da polpa de pequi em diferentes condições de temperatura (50, 60, 70 e 80  $^{\circ}\text{C}$ ) e espessura (0,5; 1,0 e 1,5 cm), verificaram que os valores da difusividade aumentaram com a temperatura e com o aumento da espessura da camada variando difusividade de  $0,93 \times 10^{-8}$  para  $3,93 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ; Asokapandian et al. (2015) verificaram na secagem em camada de espuma de melão adicionado de proteína isolada de soja (5, 7,75 e 10%) e carboximetil celulose (0, 0,5 e 1,0%), nas temperaturas de 50, 60 e 70  $^{\circ}\text{C}$ , que difusão líquida aumentou com a elevação da temperatura apresentando valores de  $4,139 \times 10^{-10}$ ,  $5,470 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  e  $6,730 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ , respectivamente.

A partir da inclinação da curva de Ln da difusividade (Equação 3.28) calcularam-se as energias de ativação (Tabela 4.5) das espumas da polpa de cumbeba. Quando associada ao processo de secagem, a energia de ativação pode ser entendida como a energia que deve ser fornecida ao produto para que a difusividade da água se inicie, podendo ser usada como um indicador de potencial energia de interação entre partículas (OLIVEIRA et al., 2010; KONDOR e HOGAN, 2017).

**Tabela 4.5** – Energias de ativação das espumas da polpa de cumbeba

Espessura da camada (cm)	Equação	Energia ativação (kJ mol <sup>-1</sup> )
0,5	$D_{eff} = (1.2880 \times 10^{-5}) \exp\left(-\frac{3032.5046}{T + 273.15}\right)$	25,21
1,0	$D_{eff} = (4.0785 \times 10^{-4}) \exp\left(-\frac{4017.0737}{T + 273.15}\right)$	33,40
1,5	$D_{eff} = (2.3555 \times 10^{-3}) \exp\left(-\frac{4403.3859}{T + 273.15}\right)$	36,61

Observa-se que a energia de ativação para a difusão líquida das espumas, nas diferentes condições de secagem, aumentou com o aumento da espessura. Fato este observado por Koukouch et al. (2017) ao secarem resíduo de azeitona (*Olea europaea*) nas temperaturas de 40, 60 e 80 °C e espessuras da camada de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, onde obtiveram valores médios da energia de ativação de 19,6235, 23,9884 e 30,6916 kJ mol<sup>-1</sup>, respectivamente. Salahi et al. (2015) também verificaram aumento da energia de ativação, de 31,714 para 33,043 kJ/mol<sup>-1</sup>, com o aumento da espessura da espuma de 0,3 para 0,5 cm, respectivamente, na secagem em camada de espuma de polpa de melão formulada com albumina (1, 2 e 3 mg/100 g) e goma xantana (0,05, 0, 13 e 0,2 mg/100 g), secas nas temperaturas de 40, 55 e 70 °C.

#### 4.4 – Caracterização química, física e físico-química dos pós de cumbeba obtidos pelo método de secagem em camada de espuma

##### 4.4.1 – Atividade de água ( $a_w$ )

Na Tabela 4.6 tem-se as médias e desvios padrão da atividade de água dos pós de cumbeba. Observam-se variações gradativas das amostras, em que a atividade de água ( $a_w$ ) diminuiu com a redução da espessura da camada e com o aumento da temperatura de secagem.

**Tabela 4.6** – Valores médios da atividade de água ( $a_w$ ) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada da espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	0,254±0,001 aC	0,291±0,001 aB	0,294±0,001 aA
60	0,206±0,001 bC	0,242±0,003 bB	0,248±0,001 bA
70	0,196±0,001 cC	0,204±0,002 cB	0,217,001 cA

DMS para colunas = 0,003; DMS para linhas = 0,003; MG = 0,24; CV = 0,63%; DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Comportamento semelhante foi verificado por Silva Filho et al. (2016) em estudo com secagem em camada de espuma para obtenção da polpa de manga Haden em pó, no qual observaram que aumentos na temperatura de secagem de 50 para 70°C, nas espessuras de camada de 0,5; 1,0 e 1,5 cm, acarretaram reduções na atividade de água na ordem de 21,01; 12,29 e 4,69%, respectivamente.

Castro-Muñoz et al. (2015), ao secarem sucos clarificados de polpa de figo-da-índia, encapsulados com quatro concentrações de gelatina (0,125, 0,250, 0,375 e 0500 g/100 g) e cinco de maltodextrina (0,5, 0,625, 0,750, 0,875 e 1,0 g/100 g) usando secador por aspersão, variando a temperatura de secagem de 110 a 140 °C, obtiveram valores de atividade de água entre 0,190 e 0,260, semelhantes ao deste trabalho.

Lisbôa et al. (2012), ao secarem a polpa de figo-da-índia em camada de espuma adicionado de 0,5% de Super Liga Neutra, 2% de Emustab e 5% de extrato de soja a 90 °C, verificaram que a atividade de água variou de 0,311 a 0,391. SHAARUDDIN et al. (2017)

relataram valor semelhante (0,320), ao secar em secador por aspersão a 150 °C, suco de pitaita adicionado de 25 % de maltodextrina.

De acordo com Azerêdo (2012), as amostras caracterizam-se como um produto não perecível, uma vez que  $a_w$  manteve-se inferior a 0,6, nível que diminui a deterioração causada por microrganismos e reações bioquímicas.

#### 4.4.2 – Teor de água

Na Tabela 4.7 são apresentadas as médias e desvios padrão referente aos teores de água das amostras dos pós de cumbeba. Observa-se que as menores médias foram obtidas nas polpas secadas em camadas de 0,5 cm d espuma em todas as temperaturas de secagem (50 °C – 9,63%, 60 °C – 7,56% e 70 °C – 7,05%). Com o aumento de temperatura observam-se uma redução do teor de água de 2,58, 1,98 e 1,46% para as espessuras de camada de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, respectivamente.

**Tabela 4.7** – Valores médios do teor de água dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada da espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	9,63±0,38 aA	9,84±0,13 aA	10,86±0,28 aA
60	7,56±0,25 bB	8,10±0,03 bB	10,72±0,04aA
70	7,05±0,13 bB	7,86±0,15 bAB	9,40±0,01 bA

DMS para colunas = 1,02; DMS para linhas = 2,01; MG = 9,0; CV = 10,75%; DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O menor teor de água descrito para este experimento é possível, de acordo com Silva (2008), devido a facilidade em que o gradiente de difusão e transferência de massa migra do centro para a superfície do produto, e desta para o meio em que se encontra, auxiliando, assim, a remoção da água. E ainda, na mesma linha de pesquisa, Ferrari et al. (2012c) comenta que uso de temperaturas mais altas implica em uma maior taxa de transferência de calor para as partículas, o que leva a uma maior evaporação de água do produto, resultando em pós com teor de água mais baixo, assim como camadas de produtos mais delgadas.

Santos et al. (2015) observaram redução significativa nos teores de água em pós de cajus obtidos em leito de jorro, totalizando 16,55, 14,09 e 12,37 % nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, respectivamente.

Gomes et al. (2017a), verificaram que as polpas em pó de acerola secas em camada de espuma a 60, 70 e 80°C apresentaram maior redução do teor de água com o aumento da temperatura, sendo o menor teor de água, de 18,83%, obtido para a temperatura de 80°C e o maior, de 25,66%, para a temperatura de 60°C.

#### 4.4.3 – Acidez total titulável (ATT)

Na Tabela 4.8 tem-se as médias e desvios padrão dos valores da acidez total titulável (ATT) dos pós de cumbeba.

**Tabela 4.8** – Valores médios da acidez total titulável (% ácido cítrico) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada da espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	2,41±0,03 cC	2,57±0,00 cB	2,90±0,04 bA
60	2,71±0,01 bB	2,83±0,01 bAB	2,93±0,08 bA
70	2,96±0,02 aB	3,06±0,02 aB	3,24±0,09 aA

DMS para colunas = 0,12; DMS para linhas = 0,12; MG = 2,83; CV = 2,42%; DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Analisando-se as linhas, observou-se que, de um modo geral, a acidez aumentou com o aumento da espessura da camada, onde os maiores valores são encontrados nos pós secos com 1,5 cm. Analisando-se as colunas, tem-se o efeito da temperatura sobre a ATT das amostras: os incrementos foram de 22,8, 19,1 e 11,7% para polpas a 0,5, 1,0 e 1,5 cm, respectivamente, onde os maiores teores foram encontrados na temperatura de 70°C, com valores que diferem estatisticamente dos determinados nas demais temperaturas.

O aumento da ATT com a temperatura de secagem também foi observado no trabalho de Gomes et al. (2017a) ao caracterizarem a polpa da acerola em pó obtida pelo método de secagem em camada de espuma, em que estes autores apresentaram incrementos de 1,65, 2,01 e 2,13% para as temperaturas de 60, 70 e 80°C, diferenciando-se as amostras estatisticamente entre si.

As médias mais elevadas obtidas nas temperaturas mais altas devem-se ao fato de que as camadas de espuma mais espessas e as maiores temperaturas de secagem produziram pós com menor teor de água, concentrando os ácidos orgânicos, concordando com Oliveira et al. (2015).

Resultados divergentes também são relatados como os de Santos et al. (2017a), que constataram que o aumento da temperatura de secagem resultou em diminuição dos valores da ATT (50 °C – 2,67%, 60 °C – 2,54% e 70 °C – 2,25%) pela redução de íons H<sup>+</sup> em solução, devido à degradação de ácidos orgânicos, em casca de pitaia.

#### 4.4.4 – pH

Observa-se na Tabela 4.9 os valores de pH das amostras dos pós de cumbeba, onde se verifica o menor valor de 4,53 para a camada de 1,5 cm de espessura seca a 70 °C e o maior valor na camada de 0,5 cm de espessura para a temperatura de 50 °C. São os resultados esperados, tendo em vista o comportamento inverso do pH em relação ao da ATT, conforme descrito em Chitarra e Chitarra (2005).

**Tabela 4.9** – Valores do pH dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada da espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	4,81±0,06	4,76±0,00	4,74±0,04
60	4,70±0,01	4,67±0,01	4,62±0,01
70	4,62±0,00	4,61±0,00	4,53±0,01

O pH dos pós de cumbeba estão na faixa de valores encontrados por Oliveira et al. (2015), de 4,55, ao estudarem a estabilidade do pH da polpa em pó de *Cereus Jamacaru* formulada com 10% de maltodextrina, obtida em secagem por aspersão.

Breda et al. (2012), ao analisarem o pó da polpa de guavira, formulada com 1% de pectina, 2% de Emustab e 1% de liga neutra, obtido pelo processo de secagem em camada de espuma nas espessuras de 2 mm e secas a 74 °C, encontraram valor de 4,78 para o pH, superando assim o encontrado neste trabalho.

Kadam et al. (2012b), estudando o pH do pó de tomate seco obtido pelo método de secagem em camada de espuma, observaram valores variando entre 4,13 e 4,76. De acordo

com os autores, o pH mostrou uma tendência crescente com o aumento dos níveis de concentração dos agentes espumantes utilizados (carboximetilcelulose, a 0,0, 0,25, 0,5, 0,75 e 1%; albumina, a 0,0, 0,5, 1,0, 1,5 e 2%; leite, a 0, 3, 5, 7 e 9%), porém não teve um comportamento definido em relação às temperaturas de secagem (65, 75 e 85 °C). Freitas (2016), verificou que o pH foi reduzido de 4,50, na temperatura de 50 °C, para 4,47 à 70 °C, em pó de manga ubá seco em camada de espuma, formulada com maltodextrina, Emustab, liga neutra e albumina.

De um modo geral, valores de pH inferiores a 5 são desejáveis por inibir a polifenoxidase, principal enzima que causa escurecimento em produtos vegetais (LIPASEK et al., 2011). Os menores valores do pH, a elevação da acidez e os baixos conteúdos do teor de água e da atividade de água garantem a qualidade microbiológica dos pós de cumbeba obtidos, principalmente, na condição de 70 °C.

#### 4.4.5 – Açúcares redutores (AR)

Na Tabela 4.10 mostra-se as médias e desvios padrão referentes aos teores de açúcares redutores das amostras em pó de cumbeba.

**Tabela 4.10** – Valores médios dos açúcares redutores (%) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada da espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	31,10±0,38 bA	30,33±0,49 cA	29,85±0,64 bA
60	32,12±0,47 bA	31,92±0,41 bA	31,27±0,19 aA
70	35,25±1,22 aA	34,20±0,46 aA	32,27±1,06 aB

DMS para colunas = 1,41; DMS para linhas = 1,41; MG = 32,03; CV = 2,12%; DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Observa-se que as médias não diferiram entre si com relação à espessura da camada, exceto para a espuma seca a 1,5 cm de espessura à 70 °C, onde foi encontrado um menor valor em relação às demais: 32,27%. A influência da temperatura de secagem resultou em incrementos nos teores de 13,3, 12,7 e 8,1% para as temperaturas de 50, 60 e 70°C, respectivamente. Isso acontece, segundo Cordeiro et al. (2015) e Santos et al.

(2010), devido a concentração dos sólidos solúveis constituídos em sua maior parte por açúcares.

Valores inferiores foram divulgados por Santos et al. (2013a) ao estudarem o pó de caju obtido pela secagem em leito de jorro, formulado com 10% de maltodextrina, nos quais verificaram que os açúcares redutores aumentaram significativamente com a elevação da temperatura de secagem (50 °C, 24,34%; 60 °C, 26,11% e 70 °C, 28,56%).

Lisboa et al. (2012) verificaram teor superior de açúcares redutores (39,07%), em comparação com os pós de cumbeba, no pó elaborado a partir de polpa integral de figo-da-índia composta de aditivos (0,5% de Super Liga Neutra, 2% de Emustab e 5% extrato de soja) e seco com espessura da camada de 0,8 cm a uma temperatura de 90 °C, em estufa com circulação de ar.

Kandasamy et al. (2014), estudando a secagem de polpa de papaya em camada de espuma, incorporando três agentes espumantes em concentrações variadas (metilcelulose a 0,25, 0,5, 0,75 e 1%; glicerolmono-estearato a 1, 2, 3 e 4%; e albumina a 5, 10,15 e 20%), variando, também, a temperatura do ar de secagem (60, 65 e 70 °C) e a espessura da camada de espuma (2, 4, 6, 8 e 10 mm), constataram uma variação nos teores de açúcares redutores para todas as condições expostas, com a temperatura de 60 °C resultando nos maiores valores: média de 36,21%.

#### 4.4.6 – Sólidos solúveis totais (SST)

Na Tabela 4.11 tem-se as médias e desvios padrão dos sólidos solúveis totais (SST), expresso em °Brix, do pó de cumbeba.

**Tabela 4.11** – Valores médios dos sólidos solúveis totais (°Brix) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada da espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	59,80±0,56 cA	57,88±0,40 bB	54,14±0,08 cC
60	68,84±1,23 bA	68,78±0,25 aA	63,57±1,35 bB
70	70,95±1,14 aA	69,69±0,51 aA	65,51±0,51 aB

DMS para colunas = 1,66; DMS para linhas = 1,66; MG = 64,35; CV = 1,24% DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Observa-se que a espessura da camada exerceu influência nos valores de SST, onde as maiores médias são encontradas nos tratamentos com 0,5 cm em todas as temperaturas. Com relação à temperatura, as maiores médias são observadas em todos os casos a 70 °C para todas as espessuras.

El-Said et al. (2010), ao secarem a casca do figo-da-índia em estufa com circulação de ar forçado a 55 °C por 12 horas para obtenção de pó, encontraram, em suas análises, teores de 14,80 °Brix. Galdino (2011) obteve valores de 15,93 e 24,83 °Brix para pós de figo-da-índia formulado com 25, 30 e 35% de maltodextrina, secados por aspersão em temperaturas de 170, 180 e 190 °C. Assim, ambos os autores relataram valores inferiores aos observados para os pós de cumbeba em todas as condições estudadas.

Diógenes et al. (2015) ressaltam que as diferenças dos conteúdos de SST devem-se não somente a secagem, mas também aos agentes espumantes utilizados e a concentração usada para as formulações.

De acordo com Farias (2013) os sólidos solúveis, constituídos dos açúcares solúveis, aminoácidos, ácidos orgânicos e pigmentos dissolvidos no suco celular ou nos vacúolos, são influenciados pelo estágio de maturação, o que, associados às variações de teor de água, justificam as diferenças do conteúdo de SST.

#### 4.4.7 – Cinzas

A Tabela 4.12 refere-se às médias e desvios padrão dos teores de cinzas do pó de cumbeba.

**Tabela 4.12** – Valores médios de cinzas (%) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada da espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	5,08±0,09 bA	5,06±0,13 aA	4,77±0,22 aB
60	5,22±0,08 abA	5,18±0,09 aA	4,67±0,07 aB
70	5,36±0,17 aA	5,02±0,13 aB	4,83±0,13 aB

DMS para colunas = 0,27; DMS para linhas = 0,27; MG = 5,02; CV = 2,61%; DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os maiores teores, em torno de 5,36%, encontram-se nos pós com 0,5 cm de espessura e temperatura de 70°C.

Os valores quantificados nos pós de cumbeba são superiores ao verificados por Breda et al. (2013) e Carvalho et al. (2017a). Os primeiros autores, analisando o efeito da desidratação em camada de espuma da polpa de cajá-manga (*Spondias dulcis*), formulada com 1,5% de Emustab e 1% de pectina, e secas com uma espessura de camada de 0,5 cm a 70 °C, verificaram que os teores de cinzas variaram de 2,49 a 2,60%; enquanto isso, os segundos autores encontraram teor de cinzas na proporção de 2,22 a 2,96% ao caracterizarem o pó de umbu-caja, formulado com leite de cabra e maltodextrina (5, 10 e 15%), seco em secador por aspersão. El-Said et al. (2010) observaram valor de cinzas na ordem 8%, superior ao pó de cumbeba, em pós de casca de figo-da-índia.

As diferenças nos teores de cinzas podem ser relacionados aos tipos e quantidades adicionadas dos agentes espumantes e as condições de secagem, em relação aos autores citados.

#### 4.4.8 – Ácido ascórbico

As médias e desvios padrão do teor de ácido ascórbico para os pós de cumbeba são apresentadas na Tabela 4.13.

**Tabela 4.13** – Valores médios do ácido ascórbico (mg/100 g) dos pós de cumbeba para as três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada da espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	58,54±3,54 bA	53,13±1,86 cA	46,72±2,09 cB
60	61,54±1,61 bA	61,30±0,68 bA	60,90±3,27 bA
70	70,72±4,01 aB	74,94±3,80 aB	83,70±1,99 aA

DMS para colunas = 5,84; DMS para linhas = 5,84; MG = 63,49; CV = 4,41%; DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Observa-se a tendência de aumento da concentração de ácido ascórbico com a elevação da temperatura de secagem, alcançando o valor máximo na temperatura de 70 °C para a camada de 1,5 cm (83,70 mg/100 g). Isso, provavelmente, ocorreu devido ao menor tempo de secagem do produto a temperaturas mais elevadas, colaborando com a inativação

de algumas enzimas oxidativas, como a ácido ascórbico oxidase, as quais degradam o ácido ascórbico (FURTADO et al., 2010). O acúmulo do ácido ascórbico pode estar associado a retirada de água com o processo de secagem em temperaturas mais elevadas, onde os ácidos são concentrados.

Este aumento da temperatura de secagem, também, promoveu uma maior concentração do ácido ascórbico em pesquisa realizada por Santos et al. (2017a) ao produzirem pó de cascas de pitaiá branca secas em estufa com circulação de ar forçada, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, com valores de 11,38, 14,79 e 16,11 mg/100 g, respectivamente.

Os valores determinados neste presente estudo são superiores aos encontrados por Brenda et al (2013) e Wilson et al (2014), os quais reportam valores de 10,79 mg/100 mL e 61,72 mg/100g de vitamina C em pós de ciriguela e cajá-manga, respectivamente. Considerando que a recomendação de consumo humano para adultos de 45 mg/dia de vitamina C (NEPA, 2011), tem-se que a em pó de cumbeba pode ser considerada rica em vitamina C.

#### 4.4.9 – Proteína bruta

Na Tabela 4.14 tem-se as médias e desvios padrão referente aos teores de proteína bruta do pó de cumbeba.

**Tabela 4.14** – Valores médios da proteína bruta (%) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada da espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	5,01±0,16 bA	4,11±0,05 cB	4,07±0,10 bB
60	6,11±0,07 aA	5,51±0,25 aB	4,99±0,12 aC
70	4,47±0,07 cB	4,67±0,17 bB	5,16±0,01 aA

DMS para colunas = 0,27; DMS para linhas = 0,27; MG = 4,90; CV = 2,27%; DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Observam-se variações nos valores médios do teor de proteínas, mas sem que se identifique tendências com a temperatura de secagem ou com a espessura da camada, de

forma que os valores mais altos foram identificados tanto na temperatura intermediária de 60° C como nas espessuras de 0,5 e de 1,5 cm.

Sousa (2016) ao obter pó da polpa de pequi por secagem convectiva em três espessuras da camada (0,5; 1,0 e 1,5 cm) e em quatro temperaturas de secagem (50, 60, 70 e 80 °C) observou que os valores das proteínas dos pós variaram de 5,97 a 8,17%, com o maior valor na condição de secagem de 50 °C para todas as espessuras.

El-Said et. al. (2010) encontraram teores de proteínas em torno de 4,5%, valores bem próximos ao deste trabalho, ao secaram a polpa de figo-da-índia em estufa a 55 °C por 12 horas.

#### **4.4.10 – Luminosidade (L\*)**

Na Tabela 4.15 encontram-se as médias e desvios padrão referentes ao parâmetro de cor luminosidade (L\*) dos pós de cumbeba.

**Tabela 4.15** – Valores médios de luminosidade (L\*) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada da espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
<b>50</b>	63,00±0,62 aA	62,05±0,13 aB	59,80±0,81 aC
<b>60</b>	60,82±0,27 bA	59,90±0,09 bB	57,16±0,48 bC
<b>70</b>	60,16±0,23 bA	57,29±0,15 cB	55,55±0,29 cC

DMS para colunas = 0,86; DMS para linhas = 0, 86; MG = 59,52; CV = 0,69% DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Observa-se que os pós com os maiores valores de luminosidade foram os obtidos na temperatura de secagem de 50 °C. Estes valores decresceram à medida que foi aumentando a espessura da camada de espuma (0,5 cm – 63; 1,0 cm – 62,05; 1,5 cm – 59,80), provavelmente pelo maior tempo de exposição ao calor. O mesmo comportamento aconteceu para os pós obtidos nas temperaturas de 60 e 70 °C. A exposição a temperaturas mais elevadas também fez com que as amostras perdessem luminosidade em relação a temperatura de 50 °C, em todas as espessuras da camada de espuma. Observa-se assim que a a combinação de maior tempo de exposição associada a temperaturas mais elevadas

contribuíram para a formação de pigmentos escuros, gerando reações de escurecimento não enzimático.

Salahi et al. (2015), usando a técnica de secagem em camada de espuma para obter pós da polpa de melão nas temperaturas de 40, 55 e 70 °C, em duas espessuras da camada (3 e 5 mm), usando albumina e goma xantana como agente espumante, observaram resultados semelhantes.

Lisbôa et al. (2012) comprovaram, ao secar o figo-da índia em camada de espuma (0,8 cm a 90 °C), que a luminosidade foi afetada pelo aquecimento, atingindo valores mais baixos que a polpa integral.

Outro fator que pode colaborar com o escurecimento dos pós são as proteínas, facilitando, assim, as reações de Maillard ou a formação de furfural metil hidroxilose (EL-SAID et. al., 2010). Para além disso, temos a degradação dos carotenoides na presença de temperatura elevada, acidez do meio, presença de oxigênio e presença de íons metálicos.

#### 4.4.11 – Intensidade de vermelho (+a\*)

Na Tabela 4.16 tem-se os valores médios e desvios padrão da intensidade de vermelho (+a\*) dos pós de cumbeba.

**Tabela 4.16** – Valores médios de intensidade de vermelho (+a\*) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada da espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
<b>50</b>	11,57±0,11 bC	12,05±0,11 bB	12,54±0,19 cA
<b>60</b>	11,93±0,05 aB	12,61±0,04 aA	12,90±0,38 bA
<b>70</b>	12,08±0,14 aC	12,87±0,08 aB	13,51±0,00 aA

DMS para colunas = 0,34; DMS para linhas = 0, 34; MG = 12,45; CV = 1,29%; DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Verifica-se uma tendência de maiores valores da intensidade de vermelho (+a\*) com a elevação da temperatura, assim como com o aumento da espessura da camada da espuma. Comparando com a polpa formulada (4,96), o valor baixo é devido ao acréscimo de aditivos e batimento.

Santhalakshmy et al. (2015) observaram o mesmo comportamento para o pó da polpa de jambolão (*Syzygium cumini*) obtido na secagem por aspensão nas temperaturas de 140, 145, 150 e 160 °C.

Sousa (2015) relaciona valores baixos da intensidade de vermelho (+a\*) com baixos teores de betacianinas, que conferem uma tonalidade vermelho-púrpura. A intensidade de vermelho (+a\*) determinada em seu trabalho com pós de pitáia (em torno de 30) foi superior a determinada nos pós de cumbeba.

De um modo geral, os baixos valores de L\* e os altos valores de +a\* podem ser explicados devido ao fenômeno de escurecimento enzimático, associado ao teor de água e diferentes pigmentos que constituem o produto, como as betalaínas (HASNAOUI et. al., 2011), e isso pode estar associado as maiores temperaturas de secagem e espessuras, em que as reações são mais intensas.

#### 4.4.12 – Intensidade amarelo (+b\*)

Na Tabela 4.17 encontram-se as médias e desvios padrão referentes às determinações de intensidade amarelo (+b\*) dos pós de cumbeba.

**Tabela 4.17** – Valores médios de intensidade de amarelo (+b\*) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada da espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	44,66±0,79 aB	45,65±1,14 bB	47,85±0,26 aA
60	44,83±0,19 aB	46,13±0,22 bB	48,59±0,31 aA
70	45,86±0,48 aB	48,21±1,44 aA	49,26±0,16 aA

DMS para colunas = 1,49; DMS para linhas = 1,49; MG = 46,78; CV = 1,53%; DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Observa-se de uma forma geral que a intensidade de amarelo aumentou com a espessura da camada e que não foi afetada pela variação da temperatura de secagem. Valores superiores de intensidade de amarelo (+b\*) podem ser atribuídos a teores superiores de betalaínas (25%), os quais, segundo Cejudo-Bastante et. al. (2015), conferem uma tonalidade amarela (+b\*). O aumento da tonalidade pode estar associado a retirada de

água conferindo cor amarela. Reações químicas também podem contribuir com o aumento da coloração amarela devido a destruição e ou concentração de pigmentos.

Galdino et al. (2016a) obtiveram valores muito próximos aos deste trabalho para intensidade de amarelo ( $+b^* = 42,08$ ) em polpa de fígo-da-índia formulada com 35% de maltodextrina e seca em secador por aspersão a 190 °C para obtenção do pó.

#### 4.4.13 – Ângulo de tonalidade (h)

Na Tabela 4.18 são mostradas as médias e desvios padrão do ângulo de tonalidade ( $^\circ$ ) das amostras em pó de cumbeba. Ângulos de 0° ou 360° representam tonalidade vermelha, enquanto que os ângulos 90°, 180° e 127° representam amarelo, verde e azul, respectivamente (PATHARE et al., 2013). Observa-se que as amostras apresentam valores aproximados em todas as temperaturas e espessuras, não demonstrando ter sofrido efeito dessas variáveis.

**Tabela 4.18** – Valores médios do ângulo de tonalidade (h) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada da espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	75,47±0,38 aA	75,10±0,39 aA	75,31±0,18 aA
60	75,10±0,08 aA	74,71±0,13 aA	75,13±0,46 abA
70	75,25±0,14 aA	75,05±0,50 aA	74,66±0,05 bA

DMS para colunas = 0,61; DMS para linhas = 0,61; MG = 75,09; CV = 0,39%; DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Ferreira et al. (2014), relataram uma tonalidade próxima ao amarelo em polpa de cajá em pó obtida com adição de 15% de maltodextrina à polpa integral e seca em leite de jorro a 82 °C. O valor do ângulo de tonalidade (h) foi de 91,46, indicando que a cor amarela, foi, provavelmente, majoritária por conta de pigmentos como os carotenoides amarelos.

Shaaruudin et al. (2017), estudando a estabilidade das betalaínas em pó de pitaya vermelha, observaram um ângulo de tonalidade (h) superior a 340, afirmando que a tonalidade vermelha da amostra está associada a intensidade de  $+b^*$  devido a presença de betacianinas.

Tontul e Topuz (2017) secaram suco de romã formulado com mel e leite em pó na proporção de 8:1:1 adicionando a esta mistura amido e hidrocoloides procedendo e, em seguida, secando em estufa nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C para obtenção de pó. Foi observado que o ângulo de tonalidade aumentou com a elevação da temperatura (50 °C – 30,91; 60 °C – 33,22; 70 °C – 36,31), devido ao escurecimento não enzimático provocado por reações de Maillard.

#### 4.4.14 – Cromo (C\*)

Na Tabela 4.19 são mostradas as médias e desvios padrão do croma (C\*) das amostras em pó de cumbeba.

**Tabela 4.19** – Valores médios do croma (C\*) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada da espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	46,14±0,74 aB	47,22±1,10 bB	49,47±0,28 bA
60	46,38±0,18 aC	47,83±0,36 bB	50,27±0,28 abA
70	47,43±0,48 aB	49,90±1,17 aA	51,08±0,16 aA

DMS para colunas = 1,43; DMS para linhas = 1,43; MG = 48,41; CV = 1,41%; DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O parâmetro croma (C\*) revela a intensidade da cor, ou seja, quanto maior seu valor, maior é a intensidade da cor percebida (PATHARE et al., 2013). Observa-se, na Tabela 4.19, que as cores mais intensas foram obtidas para os pós de cumbeba secos a 70 °C (0,5 cm – 47,43; 1,0 cm – 49,90; 1,5 cm – 51,08), com maior valor do croma e, assim, maior saturação da cor. Em resumo, quanto maior a temperatura e mais espessa a camada, maior os valores de C\*.

De acordo Herbach et al. (2006) e Shaaruddin et al. (2017), isso é reflexo dos tipos de betacianinas presentes na amostra que, devido a superfície, relativamente, lisa dos pós, permitiram melhor reflectância da luz. No entanto, Vergara et al. (2014) relataram valores inferiores de croma (C\*), entre 18,2 a 18,7, em pó microencapsulado de fígo da Índia.

Santhalakshmy et al. (2015) relacionam o parâmetro croma (C\*) com a temperatura de secagem, indicando uma menor percepção da cor devido à degradação substancial de pigmentos em temperaturas mais elevadas.

#### 4.4.15 – Antocianinas

Na Tabela 4.20 são apresentados os teores de antocianinas dos pós de cumbeba. Não é possível definir um comportamento para o teor de antocianinas dependente das variáveis (espessura da camada e temperatura de secagem). De um modo geral, observou-se uma baixa quantidade de antocianinas nos pós de cumbeba, sendo que na espessura de 1,5 cm e temperatura de 70 °C determinou-se o maior valor: 5,35 mg/100 g. De acordo com Vizzotto (2012), o pigmento predominante dos pós amarelos pode ser causado pela presença de antocianinas, precursores das cores vermelha, azul e violeta.

**Tabela 4.20** – Valores médios de antocianinas (mg/100 g) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada da espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	3,90±0,09 aA	3,00±0,24 bB	2,81±0,00 cB
60	3,43±0,19 bB	4,42±0,32 aA	3,36±0,16 bB
70	3,35±0,25 bC	4,67±0,09 aB	5,35±0,09 aA

DMS para colunas = 0,38; DMS para linhas = 0,38; MG = 3,81; CV = 4,82%; DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Abbasi e Azizpour et al. (2016), ao estudarem o comportamento do suco de cereja (*Prunus cerasus* L.) submetido a secagem em camada de espuma na estufa com circulação de ar forçado nas temperaturas de 50, 65 e 80 °C, e espessura de 3 mm, usando como coadjuvantes albumina (1, 2 e 3 g/100 g) e metilcelulose (1, 1,5 e 2 g/100 g), encontraram valores de antocianinas que variaram de 1 a 2,63 mg/100, onde estes valores não demonstraram um comportamento dependente das temperaturas, assim como neste trabalho com os pós de cumbeba.

Alguns trabalhos mencionam valores superiores de antocianinas, como Muzaffar et al. (2016) que encontraram de 136,13 a 155,17 mg/100 g de antocianinas em pós de suco de romã secados em secador por aspersão a 170 e 190 °C e Carvalho et al. (2016) que

verificaram a concentração de 44,78 a 51,02 g/100 g de antocianinas nos sólidos totais presentes em pós de jussara (*Euterpe edulis* M.) obtidos em secador por aspersão a 160 °C.

De acordo com Shwartz et al. (2010) proantocianidinas e taninos, podem ser convertidos em antocianidinas coloridas durante o processamento, principalmente quando há ácidos e altas temperaturas usadas. O aumento da concentração de antocianinas pode ser atribuída à melhor proteção alcançada quando maiores concentrações do agente carreador são usadas.

#### 4.4.16 – Flavonoides

Na Tabela 4.21 estão apresentados os teores de flavonoides dos pós de cumbeba.

**Tabela 4.21** – Valores médios de flavonoides (mg/100 g) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada da espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	100,78±0,00 cA	95,99±0,41 cB	90,50±0,12 cC
60	102,91±0,00 bC	108,42±0,12 bA	105,78±0,31 bB
70	139,66±0,12 aC	142,05±0,32 aB	146,33±0,31 aA

DMS para colunas = 0,49; DMS para linhas = 0,49; MG = 114,71; CV = 0,21%; DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Nota-se que os maiores níveis de flavonoides foram encontrados na temperatura de 70 °C, para todas as espessuras de camada da espuma (0,5 cm – 139,66; 1,0 cm – 142,05; 1,5 cm – 146,33), indicando que a elevação da temperatura contribuiu para a elevação destes teores.

Moussa-Ayoub et al. (2015) também relatam aumentos com a temperatura no teor total de flavonoides de polpa de figo da Índia ao estudarem a extrusão destes frutos nas temperaturas de 100, 140 e 160 °C. Ainda de acordo com os autores, a desnaturação de componentes da parede celular, aos quais os flavonóis estão ligados, pode contribuir para um aumento no conteúdo total destes.

#### 4.4.17 – Carotenoides

Na Tabela 4.22, tem-se os teores dos carotenoides totais dos pós de cumbeba. Com relação à temperatura, pode-se observar aumentos com a elevação da temperatura e que as maiores médias encontram-se na temperatura de 70°C, provavelmente devido ao menor tempo de secagem em comparação com as outras temperaturas, degradando menos os carotenoides. Taticchi et al. (2017) comentam que o tratamento térmico pode reduzir ou aumentar o conteúdo dos carotenoides, alterando as propriedades bioativas deste composto.

**Tabela 4.22** – Valores médios de carotenoides (mg/100 g) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada da espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	0,185±0,00 cA	0,172±0,00 cB	0,170 ±0,00 cC
60	0,255±0,00 bB	0,303±0,00 bA	0,236±0,00 bC
70	0,262±0,00 aC	0,329±0,00 aB	0,335±0,00 aA

DMS para colunas = 0,002; DMS para linhas = 0,002; MG = 0,25; CV = 0,34%; DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

El-Said et al. (2010) encontraram valores de 12,76 mg/100 g de carotenoides em pós de casca de figo da Índia obtidos em estufa a uma temperatura de 55 °C, valor superior ao observado para os pós de cumbeba em todas as condições estudadas.

Wilson et al. (2014) constataram que a diminuição do conteúdo de carotenoides teve relação com o aumento da concentração de albumina e da temperatura devido a natureza fotossensível do composto, onde registram que os teores totais de carotenoides nos pós de manga, formulado com albumina em cinco concentrações (0, 3, 5, 7 e 9%) e obtidos pelo método de secagem em espuma em três temperaturas (65, 75 e 85 °C), apresentaram-se entre 16,59 e 4,25 mg /100 g.

O aumento do conteúdo de carotenoides pode estar associado a isomeração dos *trans*-carotenoides para isômeros *cis*, ocasionando uma falsa percepção de uma maior retenção de carotenoides com o aumento da temperatura de secagem, uma vez que a análise utilizada quantificava e não qualificava-os. Este fenômeno foi relatado por Rojas-Garbanzo et al. (2011) ao estudarem polpa de pêssigo (*Prunus persica* L.), *in natura* e

processada termicamente na forma de farinha, constatando um aumento de isômeros *cis* de 29,3% do teor de carotenoides totais do segundo produto em relação ao primeiro.

De acordo com Rodrigues-Amaya et al. (2015), estes isômeros não são bioacessíveis, pois são produtos de oxidação enzimática, de hidrólise e de lixiviação de sólidos pelo rompimento celular, alterando a atividade biológica e, conseqüentemente, as propriedades bioativas deste composto.

#### 4.4.18 – Compostos fenólicos

Na Tabela 4.23 têm-se os valores médios referentes aos compostos fenólicos dos pós de cumbeba. Observa-se que os pós de cumbeba com os maiores valores de compostos fenólicos foram obtidos na temperatura de secagem de 70 °C, sendo que estes valores decresceram à medida que foi aumentando a espessura da camada de espuma (0,5 cm – 1334,48 mg/100 g; 1,0 cm – 1302,12 mg/100 g; 1,5 cm – 1113,90 mg/100 g), provavelmente devido ao maior teor de água presente em espessuras maiores.

**Tabela 4.23** – Valores médios dos compostos fenólicos (mg/100 g) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada da espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	678,93±8,59 cA	660,68±8,99 cA	552,59±7,48 cB
60	1072,64±4,82 bA	985,18±7,78 bB	691,44±0,00 bC
70	1334,48±9,00 aA	1302,12±4,63 aA	1113,90±5,73 aB

DMS para colunas = 37,41; DMS para linhas = 37,41; MG = 931,90; CV = 1,93%; DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Valores relacionados à quantidade de composto fenólicos em pós de cumbeba não foram encontrados na literatura, mas outros pós de frutos de cactáceas estão disponíveis, como Ho et al. (2015) ao estudarem a secagem do suco do fruto da *Rhodomyrtus tomentosa* em secador por aspersão, utilizando como agente encapsulante a maltodextrina, para produção de pós. Os autores verificaram que a utilização da maltodextrina e as temperaturas mais elevadas (de 150 para 180 °C) diminuíram o teor de teor de água do pó e aumentaram a retenção dos compostos fenólicos (365 mg/100 g).

No estudo de Lobo et al. (2017) verificou-se que o aumento da temperatura de secagem foi acompanhado de aumento nos compostos fenólicos, em polpa de manga formulada com carboximetilcelulose e lecitina de soja, pelo método de camada de espuma, nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, nos quais os maiores valores de fenólicos referentes a cada temperatura, foram de 93,90, 101,43 e 116,93 g/100 g.

Saéñz et al. (2009) observaram que a temperatura de secagem não influenciou no conteúdo de fenólicos de extratos de fígo-da-índia encapsulados com maltodextrina (de 6 a 30%) e inulina (de 3 a 15%) e secos em spray-dryer nas temperaturas de 120, 140 e 160 °C, cujos valores variaram entre 1820 mg/100 g a 2410 mg/100 g. Os autores afirmam, baseados em vários ensaios, que a interação teor de SST/agente encapsulante/água é responsável por esta influência.

Li et al. (2017) também verificaram o aumento dos compostos fenólicos com o aumento da temperatura em armazenamento de frutos de pitáia, sendo que a diminuição destes compostos só ocorreria se a taxa de degradação fosse maior que a taxa de biossíntese, o que acontece em produtos minimamente processados.

#### 4.4.19 – Betalaínas

Nas Tabelas 4.24 e 4.25 estão apresentadas as médias e desvios padrão referentes às betalainas, que compreendem as betaxantinas e betacianinas, respectivamente, dos pós de cumbeba. A espessura da camada de espuma sobre este parâmetro não exerceu influência, ao passo que a elevação da temperatura exerceu aumento dos seus teores, atingindo na camada de 1,5 cm de espessura a 70 °C o máximo valor.

**Tabela 4.24** – Valores médios de betaxantinas (mg/100 g) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada da espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	13,24±0,17 cA	10,94±0,42 cB	8,96±0,51 cC
60	14,94±0,00 bB	16,67±0,14 bA	14,00±0,00 bC
70	15,60±0,29 aC	17,51±0,34 aB	20,00±0,20 aA

DMS para colunas = 0,1; DMS para linhas = 0,1; MG = 14,65; CV = 0,25%; DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

As betacianinas (Tabela 4.25) tiveram um comportamento inverso ao das betaxantinas: não sofreram influência bem estabelecida da temperatura de secagem, mas foram reduzidas com o aumento da espessura da camada da espuma, em todas as temperaturas estudadas.

**Tabela 4.25** – Valores médios de betacianinas (mg/100 g) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada da espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	4,78±3,42 bA	3,13±1,04 bB	3,02±1,08 bB
60	4,80±0,00 abA	4,27±0,76 aB	3,80±1,71 aC
70	4,93±0,66 aA	4,24±1,33 aB	2,96±0,62 cC

DMS para colunas = 0,14; DMS para linhas = 0,14; MG = 3,99; CV = 1,64%; DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A respeito dos dois compostos, pigmentos amarelos (betaxantinas) e vermelhos (betacianinas), pode-se explicar seu comportamento pelo agente carreador utilizado, o qual pode ter auxiliado na preservação das betaxantinas criando uma crosta na superfície das partículas que evitaria sua degradação por hidrólise ou oxidação, como explicado por Gandía-Herrero et al. (2010) e Vergara et al. (2014) em suas pesquisas sobre a estabilidade de betalainas em pós de figo-da-índia durante o armazenamento. Mello et al. (2015), concorda com os autores citados, afirmando que as betalaínas são resistentes ao aquecimento até 100 °C.

Robert et al. (2015), em seu trabalho com encapsulamento de figo-da-índia, utilizou proteínas e polissacarídeos como agentes encapsuladores, verificaram valores de betaxantinas e betacianinas muito inferiores ao deste trabalho: de 0,18 e 0,45 mg/100 g, respectivamente.

Vergara et al. (2014) encontraram valores de betaxantinas na ordem de 3,3 a 4,3 e de 7,2 a 8,2 mg/100 g de betacianinas em extratos ultrafiltrados de figo-da-índia secos em secador por aspersão e armazenados a 60 °C.

Castro-Muñoz et al. (2015) encontraram valores de 11 a 35 mg/100 g de betalaínas em pós de polpa de figo-da-índia encapsulados com cinco concentrações de gelatina

(0,125, 0,250, 0,375 e 0500 g/100 g) e maltodextrina (0,5, 0,625, 0,750, 0,875 e 1,0 g/100 g) e secado em secador por aspersão a 110, 117,5, 125, 132 e 140 °C.

As diferenças de valores, dos trabalhos citados em relação à polpa de cumbeba deste trabalho, podem estar relacionadas, entre outros fatores, aos diferentes estágios de maturação do fruto (MOUSSA-AYOUB et al., 2011)

#### 4.4.20 – Molhabilidade

Na Tabela 4.26 estão apresentadas as médias e desvios padrão referente a taxa de molhabilidade das amostras dos pós de cumbeba.

**Tabela 4.26** – Valores médios da taxa de molhabilidade (g/min) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada da espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	0,44±0,002 cB	0,60±0,04 cB	0,81±0,06 cA
60	0,99±0,10 bB	1,21±0,07 bA	1,28±0,04 bA
70	1,27±0,03 aC	1,51±0,19 aB	2,15±0,04 aA

DMS para colunas = 0,17; DMS para linhas = 0,17; MG = 1,14; CV = 7,13%; DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Percebe-se que os aumentos da espessura da camada de espuma e da temperatura promoveram aumentos das taxas de molhabilidade em 188% para os pós de cumbeba a 0,5 cm de espessura, de 152% para os pós de cumbeba a 1,0 cm de espessura e 165% para pós de cumbeba a 1,5 cm de espessura, indicando a redução do tempo necessário para o completo desaparecimento dos pós da superfície do líquido em repouso.

A respeito do tempo, o que se espera é um pó instantâneo onde as partículas molhem o mais rápido possível. Sierra et al. (2017) observaram valores entre 78 a 324 segundos para a polpa da manga encapsulada com maltodextrina. Rodrigues (2011) relatou um tempo de molhabilidade entre 375 a 5230 segundos para extratos de folha de café em pó.

Caliskan e Dirim (2016) afirmaram que maiores taxas de molhabilidade facilitam a reidratação pelo aumento da capilaridade. A melhor taxa foi obtida na amostra da camada

de espuma na espessura de 1,5 cm e temperatura de 70 °C, pois necessitou de um minuto para impregnar 2,15 g; enquanto a pior taxa de molhabilidade registrada foi na amostra obtida em camada de espuma na espessura de 0,5 cm e temperatura de 50 °C, onde foi preciso um minuto para molhar 0,44 g. Desta forma, temos as melhores taxas de molhabilidade relacionadas ao menor teor de água.

Gomes et al. (2017) estudando acerola em pó formulada com 95% de polpa e adicionada de 3% de Emustab e 2% de liga neutra, secada com uma espessura da camada de espuma de 0,6 cm em estufa com circulação de ar à 60, 70 e 80°C, verificaram que a elevação da temperatura de secagem aumentou a molhabilidade na ordem 0,246, 0,314 e 0,452 g/minutos, respectivamente.

Oliveira et al. (2015), com a polpa de *Cereus jamacaru*, elaboraram duas formulações com 10% de maltodextrina e diferentes dextroses equivalente (DE=10 e 14), e secaram em secador por aspersão a 170 °C para obtenção de pó. De acordo com os autores, as taxas de molhabilidade foram de 0,0067 e 0,0090 para DE 10 e DE 14, respectivamente, valores inferiores, portanto, aos deste trabalho.

#### 4.4.21 – Higroscopicidade

Na Tabela 4.27 estão apresentadas as médias e desvios padrão referente à higroscopicidade das amostras em pó de cumbeba. Observa-se que todos os valores, tanto comparando as temperaturas como as espessuras, mantiveram-se estatisticamente iguais em todas as amostras.

**Tabela 4.27** – Valores médios da higroscopicidade (%) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada da espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	79,77±0,51 aA	80,11±1,82 aA	80,32±1,21 aA
60	79,60±1,29 aA	79,99±0,06 aA	80,26±0,004 aA
70	79,54±0,01 aA	79,87±0,002 aA	80,00±0,03 aA

DMS para colunas = 2,25; DMS para linhas = 2,25; MG = 79,94; CV = 1,35%; DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

De acordo com a classificação proposta por GEA Niro Research Laboratory (2003), a cumbeba em pó obtida mediante secagem em camada de espuma é extremamente higroscópica (>25%).

A alta higroscopicidade dos pós de cumbeba é explicado por Tonon et al. (2013) pelo efeito de altas temperaturas de secagem resultarem em pós com teores de água mais baixos e maior facilidade em adsorverem água, ou seja, mais higroscópicos. Outro fator importante é o peso molecular do agente carreador, que por ser constituído de carboidratos deixou as amostras com até 35% de açúcares redutores, produzindo um material com alta higroscopicidade.

Silva Júnior (2013) estudaram a influência da concentração de maltodextrina (14 e 26%) e da temperatura de secagem (110 e 170 °C) do secador por aspersão na higroscopicidade da polpa de ciriguela em pó, verificando que os valores da higroscopicidade variaram de 15 a 19,88% e o agente carreador foi a variável que mais influenciou a higroscopicidade, sendo que os menores valores foram obtidos com maiores concentrações de maltodextrina. A temperatura do ar também influenciou a higroscopicidade das amostras do pó de cumbeba, uma vez que os menores valores obtidos foram em temperaturas mais elevadas. Estas variáveis influenciaram o teor de água das partículas: quanto maior o teor de água das partículas, menor a sua higroscopicidade.

Castro-Muñoz et al. (2015) relataram que a higroscopicidade aumentou com um aumento de temperatura na entrada do ar de secagem (de 19,34 a 28,13%), permitindo uma maior eliminação da água, reduzindo a teor de água dos pós e, inversamente, aumentando a captação de água das moléculas em pós de polpa de figo-da-índia encapsulados com gelatina (0,125, 0,250, 0,375 e 0500 g/100 g) e maltodextrina (0,5, 0,625, 0,750, 0,875 e 1,0 g/100 g) em várias concentrações e obtidas em secador por aspersão nas temperaturas de 110, 117,5, 125, 132 e 140 °C.

Cavalcante et al. (2017) ao estudarem a polpa de graviola formulada com maltodextrina (variando entre 10 e 24%) e seca em secador por aspersão a 148, 154, 169, 184 190 °C, obtiveram pó em que as médias de higroscopicidade variaram de 7,56 a 13,12%, resultando em pós ligeiramente hisgroscópicos, valores menores que nos pós de cumbeba.

#### 4.4.22 – Solubilidade

Na Tabela 4.28 tem-se as médias e desvios padrão da solubilidade dos pós de cumbeba.

**Tabela 4.28** – Valores médios da solubilidade (%) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada da espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	52,34± aA	51,98± aA	52,27± bA
60	53,09± aA	52,86± aA	54,29± aA
70	52,25± aB	53,39± aB	55,01± aA

DMS para colunas = 1,48; DMS para linhas = 1,48; MG = 53,06; CV = 1,34%; DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

De um modo geral, a solubilidade das amostras não sofreram influência nem da espessura da camada, nem da temperatura de secagem, sendo o menor valor na camada de espuma da espessura de 1,0 cm e temperatura de 50 °C (51,98) e o maior valor na camada de espuma da espessura de 1,5 cm e temperatura de 70 °C (55,01%). Kuck e Noreña (2016) afirmaram que menores tamanhos das partículas garantem maior área superficial disponível para a hidratação e conferem maior solubilidade.

Todas as amostras analisadas detiveram valores de solubilidade próximos, confirmando a padronização adequada das operações para obtenção das espumas formuladas, como a concentração dos agentes carreadores e o tempo de batimento das amostras.

Dieb et al. (2015) ao formularem polpa de graviola com 1% de Emustab e 1% de liga neutra e em seguida secando em camada de espuma nas espessuras de 0,30, 0,45 e 0,60 cm, em três temperaturas (50, 60 e 70°C), encontraram médias de solubilidade que variaram de 75,65 a 86,98%, superiores a solubilidade da em pó de cumbeba.

Oliveira et al. (2013a) utilizaram polpa de morango formulada com diferentes agentes carreadores (maltodextrina DE=5, maltodextrina DE=10, goma arábica e amido modificado) na concentração de 1:2 (polpa de morango: agente carreador) e procedeu a secagem das amostras por atomização na temperatura de 180 °C para obtenção de pós. Os

autores concluem que todas as amostras apresentaram alta solubilidade (entre 87,115 a 91,45%), atribuindo isto aos agentes carreadores que caracterizam-se por sua alta solubilidade em água.

Os valores dos pós de cumbeba foram inferiores aos trabalhos citados, podendo-se atribuir, conforme Caliskan e Dirim (2016), a diferenças nas propriedades e concentrações dos agentes carreadores utilizados, somado a outros fatores como, de acordo com Sogi et al. (2015), açúcares, ácidos orgânicos e componentes solúveis das amostras.

#### 4.4.23 – Ângulo de repouso (°)

Na Tabela 4.29 estão apresentadas as médias e desvios padrão referentes ao ângulo de repouso dos pós de cumbeba.

Percebe-se que tanto a temperatura como a espessura da camada de espuma exercem influência sobre este parâmetro, onde as melhores médias foram observadas nos pós a 1,5 cm (50 °C – 30,09°; 60 °C – 30,50°; 70 °C – 31,65°). Ressalva-se que na temperatura de 70 °C a espessura da camada não apresentou influência sobre o ângulo.

**Tabela 4.29** – Valores médios do ângulo de repouso (°) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras de camadas de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada da espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	38,25±1,65 aA	35,17±0,60 aB	30,09±0,21 bC
60	36,67±0,81 bA	32,24±0,60 bB	30,50±0,23 abC
70	32,38±0,12 cA	32,61±1,14 bA	31,65±0,67 aA

DMS para colunas = 1,23; DMS para linhas = 1,23; MG = 33,28; CV = 1,77%; DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

De acordo com classificação proposta por Shittu e Lawal (2007), sólidos particulados com até 35° de ângulo de repouso possuem boa fluidez ou se classificam como sem coesividade; os de 35 a 45° possuem coesividade fraca; de 45 a 55 ° apresentam coesividade; e, acima de 55 ° são muito coesivos, uma vez que estes apresentam maior dificuldade à incorporação de água. Desta forma, pode-se classificar as polpas de cumbeba

em pó como possuindo boa fluidez (média geral de 33,28°), e conseqüentemente melhor molhabilidade de acordo com Szulc e Lenart (2012).

Medeiros e Lannes (2010) avaliaram fisicamente o cacau em pó e seus substitutos (farinha tostada de alfarroba, cupuaçu em pó, aromas em pó e casca de semente de cacau) e concluíram, através da análise de ângulo de repouso, cujos resultados variaram de 44 a 62 °, que os produtos são pouco coesivos a muito coesivos, dificultando a reconstituição quando colocados na superfície de líquidos.

Szulc e Lenart (2012) reportaram que o ângulo de repouso de leite integral em pó, farelo de arroz, açúcar moído e pós de morango foram 47°, 31°, 53° e 33°, respectivamente. Além disso, diferentes proporções desses pós foram utilizadas para produzir um pó misto para alimentação de bebês, onde o ângulo de repouso dos pós variou de 36 a 45°, em diferentes condições de processamento.

A ausência de um agente carreador com alto peso molecular, ocasiona a formação de pontes líquidas de água entre as partículas dos pós à medida que aumenta o teor de água; ao evaporar, as pontes líquidas tornam-se pontes sólidas, causando aglomeração destas amostras, aumentando, assim, a coesão e dificultando a fluidez, molhabilidade e solubilidade dos pós (JUAREZ-ENRIQUEZ et al., 2017; LI et al., 2016). Outros fatores como a composição química dos pós, tamanho das partículas e características da superfície impactam na fluidez dos pós (AMAGLIANI et al., 2016).

#### **4.4.24 – Densidade aparente**

Na Tabela 4.30 estão as médias e desvios padrão da densidade aparente dos pós de cumbeba. Não se observa um comportamento padrão com o aumento da temperatura e da espessura da camada sobre os valores de densidade aparente, verificando-se que as médias variaram de 0,232 a 0,367 g/cm<sup>3</sup>.

Constata-se que nas espessuras das camadas de 0,5 e 1,0 cm houve uma tendência de redução da densidade aparente com o aumento da temperatura e na espessura da camada de 1,5 cm houve uma tendência de redução da densidade com o aumento da temperatura de secagem.

**Tabela 4.30** – Valores médios da densidade aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem ( $^{\circ}\text{C}$ )	Espessura da camada da espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	0,226 $\pm$ 0,003 bC	0,297 $\pm$ 0,007 bB	0,367 $\pm$ 0,005 aA
60	0,232 $\pm$ 0,002 bB	0,294 $\pm$ 0,001 bA	0,300 $\pm$ 0,003 bA
70	0,256 $\pm$ 0,003 aC	0,317 $\pm$ 0,011 aA	0,297 $\pm$ 0,005 bB

DMS para colunas = 0,011; DMS para linhas = 0,011; MG = 0,287; CV = 1,91%; DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tonon et al. (2011) formularam polpa de açaí adicionando diferentes agentes carreadores (maltodextrina DE10, maltodextrina DE20 e goma arábica) para obtenção de pós na secagem por atomização nas temperaturas de 140, 170 e 200  $^{\circ}\text{C}$ , constatando que os pós mostraram uma tendência de redução na densidade aparente com o aumento da temperatura de secagem, 0,303, 0,284 e 275  $\text{g/cm}^3$ , respectivamente.

Movahhed et al. (2016) produziram pó misto de cenoura e aipo, em um secador por atomização, a partir da mistura de suco de cenoura e aipo, na proporção de 2:1, adicionando de 0,7 a 0,9% de maltodextrina e secando a 120 e 170  $^{\circ}\text{C}$ , verificando que com o aumento da temperatura do ar de secagem houve redução da densidade aparente, de 0,56 para 0,46  $\text{g/cm}^3$ , devido a redução e encolhimento das partículas.

Em geral, segundo Marques et al. (2014), maiores temperaturas do ar de secagem resultam em pós com menor densidade, o que é parcialmente devido à maior velocidade de secagem das partículas, contribuindo para a formação de uma estrutura porosa.

Gomes et al. (2017b) observaram uma tendência de aumento da densidade aparente com o aumento da temperatura de secagem ao secarem a polpa de acerola formulada com 3% de Emustab e 2% de Liga Neutra, dispostas em bandejas com 6 mm de espessura da camada de espuma e secas nas temperaturas de 60, 70 e 80  $^{\circ}\text{C}$ , onde encontraram valores médios para densidade aparente de 0,122, 0,192 e 0,228  $\text{g/cm}^3$ , respectivamente.

#### 4.4.25 – Densidade compactada

Na Tabela 4.31 estão apresentadas as médias e desvios padrão para a densidade compactada dos pós de cumbeba.

**Tabela 4.31** – Valores médios da densidade compactada ( $\text{g/cm}^3$ ) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem ( $^{\circ}\text{C}$ )	Espessura da camada da espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	0,333 $\pm$ 0,004 aC	0,420 $\pm$ 0,01 aB	0,482 $\pm$ 0,004 aA
60	0,334 $\pm$ 0,005 aB	0,405 $\pm$ 0,01 aA	0,389 $\pm$ 0,01 bA
70	0,341 $\pm$ 0,004 aC	0,408 $\pm$ 0,005 aA	0,377 $\pm$ 0,01 bB

DMS para colunas = 0,016; DMS para linhas = 0,016; MG = 0,388; CV = 1,93%; DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Observa-se que não houve influencia significativa do aumento da temperatura nos valores da densidade compactada nas espessuras da camada de espuma de 0,5 e 1,0 cm, ao passo que na espessura da camada de espuma de 1,5 cm houve uma tendência de diminuição deste parâmetro a medida que se elevava a temperatura.

Com relação ao aumento da espessura da camada, constata-se que nas temperaturas de 50 e 60  $^{\circ}\text{C}$  houve uma tendência de aumento da densidade compactada.

Estudo realizado por Sharifi et al. (2015), correlacionaram a diminuição da densidade compactada de 0,48 para 0,38  $\text{g/cm}^3$  ao obterem pó de uva-espim, em secador por aspersão, nas temperaturas de 160 e 180  $^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Caparino et al. (2012) e Ferrari et al. (2012a,b) atribuem tal comportamento aos menores tamanhos das partículas do pó.

A densidade compactada está relacionada com a porosidade, tendo em vista que ao serem compactados os pós sofrem uma redução do volume pelo preenchimento dos espaços entre estas partículas, reduzindo seu volume (CHEVER et al., 2017).

#### 4.4.26 – Densidade absoluta

Na Tabela 4.32 estão apresentadas as médias e desvios padrão da densidade absoluta das amostras dos pós de cumbeba.

**Tabela 4.32** – Valores médios da densidade absoluta ( $\text{g/cm}^3$ ) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem ( $^{\circ}\text{C}$ )	Espessura da camada da espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	1,501 $\pm$ 0,11 aA	1,413 $\pm$ 0,09 aAB	1,265 $\pm$ 0,10 aB
60	1,335 $\pm$ 0,08 abA	1,284 $\pm$ 1,14 aA	1,273 $\pm$ 0,08 aA
70	1,250 $\pm$ 0,05 bA	1,219 $\pm$ 0,07 aA	1,298 $\pm$ 0,14 aA

DMS para colunas = 0,207; DMS para linhas = 0,207; MG = 1,316; CV = 7,54%; DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Analisando-se o efeito das espessuras da camada, os pós de cumbeba secados a 0,5, 1,0 e 1,5 cm não diferiram estatisticamente entre si a 60 e 70  $^{\circ}\text{C}$ . Analisando-se o efeito da temperatura, pode-se dizer, de uma forma geral, que as temperaturas utilizadas exerceram influências discutíveis sobre este parâmetro, em que as variações encontradas foram de 1,219 a 1,501  $\text{g/cm}$ . Na espessura de 0,5 cm o aumento de temperatura reduziu as densidades absolutas, enquanto nas espessuras de 1,0 e 1,5 cm observou-se estabilidade estatística entre os valores.

Os resultados da densidade absoluta dos pós de cumbeba estão de acordo com os obtidos por Tonon et al. (2013), onde os autores não identificaram diferença estatística entre os valores de densidade absoluta que variaram de 1,53, 1,51, 1,49 a 1,51  $\text{g/cm}^3$  em pós de açaí formulados com maltodextrina (DE 10 e 20), goma arábica e fécula de mandioca na proporção de 1:2 (polpa:agente carreador), obtidos por aspersão a 140  $^{\circ}\text{C}$ .

Sousa et al. (2015) trabalharam desidratando formulação elaborada com 50% de polpa de atemoia + 50% de água destilada, adicionada de 25% de maltodextrina em secador por aspersão, com temperatura de entrada do ar de 180  $^{\circ}\text{C}$ , para obtenção de duas amostras em pó como produto final: uma coletada na câmara de secagem e outra no ciclone, determinando a densidade absoluta, que resultou em valores de 1,26 e 1,42  $\text{g/cm}^3$ , respectivamente, com o valor maior correspondendo ao pó mais poroso por conta dos espaços vazios intra-granulares. Estes dados estão na mesma faixa das densidades absolutas da em pó de cumbeba.

De acordo com Fazaeli et al. (2012), a elevação da temperatura do ar de secagem provoca um aumento na solubilidade e uma diminuição dos valores das densidades aparente, compactada e absoluta, além da atividade da água e teor de água, e todos estes parâmetro estão relacionados.

#### 4.4.27 – Porosidade

Na Tabela 4.33 estão apresentadas as médias e desvios padrão referentes a porosidade dos pós de cumbeba.

Verifica-se que houve uma diversificação dos valores da porosidade (de 73,95% na espessura da camada de espuma a 1,0 cm e temperatura de 70 °C a 84,87% na espessura da camada de espuma a 0,5 cm e temperatura de 50 °C). Pode-se verificar que a porosidade diminuiu com o aumento da temperatura nas espessuras 0,5 e 1,0 cm, e aumentou na espessura de 1,5 cm. Da mesma forma, diminuiu com a espessura na temperatura de 50 °C, mantendo-se estável a 60 °C e aumentou a 70 °C, não permitindo, assim, concluir a respeito da influência de temperatura e espessura de camada sobre este parâmetro.

**Tabela 4.33** – Valores médios da porosidade (%) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada da espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	84,87±1,04 aA	78,92±1,80 aB	70,89±2,61 bC
60	82,61±1,00 abA	76,90±2,42 abB	76,38±1,63 aB
70	79,52±1,00 bA	73,95±1,58 bB	76,94±2,72 aAB

DMS para colunas = 3,90; DMS para linhas = 3,90; MG = 77,89; CV = 2,40%; DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Börjesson et al. (2014) discutiram as diversas formas de aglomeração entre as partículas das amostras: diferenças nas forças das partículas geram forças coesivas entre estas; essa correlação se baseia em que a porosidade é uma função da força de adesão entre partículas. Outras propriedades também interferem na adesão entre as partículas, como morfologia do pó e a energia superficial. De um modo geral, a porosidade dos pós aumenta com o aumento do tamanho das partículas.

Os resultados para porosidade dos pós de cumbeba são semelhantes aos obtidos por Ferrari et al. (2012a) e Bhusari et al. (2014) ao reportarem a porosidade na polpa da amora em pó obtida por secador por aspersão (médias de 71 a 72%) e para a polpa de tamarindo em pó, também, obtida em secador por aspersão (médias de 44 a 78%), respectivamente.

Franco et al. (2016) encontraram médias de porosidade de 41 a 61% ao secarem o yacon em camada de espuma nas espessuras 0,5, 1,0 e 1,5 cm.

Os valores relatados não são discrepantes, uma vez que a porosidade indica o volume livre do material, mas não especifica os tamanhos dos poros que compõem esse volume livre (VIGANÓ et al., 2012).

#### 4.4.28 – Fator de Hausner (FH)

Na Tabela 4.34 estão apresentadas as médias e desvios padrão do fator de Hausner dos pós de cumbeba.

**Tabela 4.34** – Valores médios do fator de Hausner (FH) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada da espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	1,47±0,00 aA	1,41±0,02 aB	1,32±0,02 aC
60	1,44±0,02 aA	1,37±0,04 aB	1,30±0,03 aC
70	1,33±0,03 bA	1,29±0,03 bAB	1,27±0,00 aB

DMS para colunas = 0,05; DMS para linhas = 0,05; MG = 1,36; CV = 1,88%; DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Observa-se que os pós de cumbeba secados a 0,5 e 1,0 cm de espessura diferem estatisticamente entre si apenas na temperatura de 70 °C, em detrimento às temperaturas de 50 e 60 °C. A amostra seca com 1,5 cm de espessura de camada diferiu estatisticamente da amostra com 0,5 cm nas três temperaturas estudadas. De uma maneira geral o fator de Hausner sofreu influencia da espessura, diminuindo com o aumento desta. Também foi reduzido com a temperatura, embora tenha se mantido estatisticamente estável na espessura de 1,5 cm.

O fator de Hausner (FH) é usado para avaliar indiretamente as propriedades de fluxo de pós. Materiais que possuem valores para o número de Hausner são classificados da seguinte forma: superiores a 1,60 – de péssima fluidez ou altamente coesivos; entre 1,59 e 1,35 – coesivos ou de pobre fluidez; de 1,35 a 1,19 – fácil escoamento ou razoável fluidez; de 1,19 a 1,0 – de boa a excelente fluidez (QUISPE-CONDORI et al., 2011).

Tomando como referência a classificação de Quispe-Condori et al. (2011), pode-se dizer que as médias quantificadas neste trabalho se classificam como pós coesivos ou de pobre fluidez para as camadas de 0,5 e 1,0 cm de espessura nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C (valores de 1,47, 1,44 e 1,33 e 1,41, 1,37, 1,29, respectivamente); e, pós de fácil escoamento ou razoável fluidez para a camada de 1,5 cm espessura nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C (valores de 1,32, 1,30, 1,27)

Asokapandian et al. (2016) encontraram valores para o FH de 1,18, 1,13 e 1,08, para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, respectivamente, em pós de melão formulados com proteína de soja (5, 7,5 e 10%) e carboximetilcelulose (0, 0,5 e 1%), classificando-os de boa a excelente fluidez. Isto posto, os autores perceberam uma diminuição do FH com o aumento da temperatura de secagem.

Dantas et al. (2009) ao avaliarem as propriedades físicas de pós de misturas de polpas de frutas (manga, seriguela e umbu) obtidos por secagem em leite de jorro e formuladas com palma em pó e oleína de palma, encontraram valores para o fator de Hausner de 1,46 e 1,58, respectivamente, classificando-os como pós de péssima fluidez.

Szulc e Lenart (2012) definem o Fator de Hausner e o ângulo de repouso como fatores de fluidez, medindo os mesmos no estudo de leite em e em pós de morango. O leite em pó apresentou fraca fluidez (1,29) e o morango em pó boa fluidez (1,15).

#### **4.4.29 – Índice de Carr (IC)**

Na Tabela 4.35 têm-se as médias e desvios padrão referentes ao Índice de Carr (IC) das amostras em pó de cumbeba. O aumento da espessura da camada da espuma e a elevação da temperatura de secagem reduziram os valores do IC, em que as médias variaram de 20,99 (na espessura de 1,5 cm da camada de espuma a 70 °C) a 31,98 (na espessura de 0,5 cm da camada de espuma a 50 °C).

**Tabela 4.35** – Valores médios do índice de Carr (IC) dos pós de cumbeba para três temperaturas de secagem e três espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada da espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	31,98±0,01 aA	29,33±1,15 aA	24,00±0,99 aB
60	30,67±1,14 aA	27,33±2,08 aB	23,00±1,73 abC
70	25,00±1,75 bA	22,33±2,09 bAB	20,99±0,01 bB

DMS para colunas = 2,98; DMS para linhas = 2,98; MG = 26,07; CV = 5,48%; DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

De acordo com a classificação proposta por Turchiuli et al. (2005), valores de IC < 10% indicam excelente fluxo; IC de 11 a 15%, fluxo bom; IC de 16 a 20%, fluxo fraco; IC de 21 a 31%, fluxo pobre; IC > 32%, fluxo muito pobre. As médias obtidas dos pós de cumbeba, variaram de 20,99 a 31,98%, classificando-os como de fluxo pobre.

Os resultados do índice de Carr apresentaram relação com o fator de Hausner, que também apontou uma pobre fluidez em 67% dos pós (Tabela 29). Como o índice de Carr e o fator de Hausner permitem a avaliação do escoamento dos pós, a classificação dos autores citados incluem os pós de cumbeba como de difícil fluxo, denotando tendência de aglomeração das partículas dos pós.

Estes valores, entre 20,99 e 31,98, são semelhantes aos resultados encontrados por Jakubczyk et al. (2011) para o índice Carr, os quais variaram de 22 a 26% e 20 a 24% em polpas de tâmaras em pó adicionadas de maltodextrina e goma arábica, respectivamente, e superiores ao valor reportado por Seerangurayar et al. (2017) ao estudarem as características físicas da maçã em pó secadas em camada de espuma com IC de 7 a 15%.

#### 4.5 – Caracterização dos pós de cumbeba obtidos pelos métodos de secagem em camada de espuma e liofilização

Verifica-se na Tabela 4.36 os valores médios e desvios padrão da caracterização química e físico-química dos pós de cumbeba obtidos na secagem em camada de espuma na temperatura de 70 °C e espessura da camada de 1,5 cm e no liofilizador.

**Tabela 4.36** – Valores médios e desvios padrão da caracterização físico-química dos pós de cumbeba obtidos pelos métodos de secagem em camada de espuma a 70 °C e espessura da camada de 1,5 cm e em liofilizador

Parâmetros	Liofilização	Secagem em camada de espuma
Teor de água (% b.u)	9,84±0,03 a	9,40±0,01 b
Atividade de água (a <sub>w</sub> )	0,211±0,00 a	0,218±0,001 a
pH	4,49±0,01	4,53 ± 0,01
Acidez total titulável (% ac. cítrico)	3,68±0,14 a	3,24±0,09 b
Ácido ascórbico (mg/100 g)	31,73±1,95 b	83,70±1,99 a
Açúcares redutores (% glicose)	38,25±0,45 a	32,27±1,06 b
Sólidos solúveis totais (°Brix)	74,16±0,04 a	65,51±0,51 b
Cinzas (%)	4,64±0,04 a	4,83±0,13 a
Proteínas (%)	3,70±0,01 b	5,16±0,01 a
Luminosidade (L*)	75,68±0,06 a	55,55±0,29 b
Intensidade de vermelho (+a*)	6,88±0,04 b	13,51±0,00 a
Intensidade de amarelo (+b*)	45,52±0,12 b	49,26±0,16 a
Croma (C*)	46,03±0,12 b	51,08±0,16 a
Ângulo de tonalidade (°)	81,40±0,05 a	74,66±0,05 b
Antocianinas (mg/100 g)	3,46±0,09 b	5,35±0,09 a
Flavonoides (mg/100 g)	69,98±0,61 b	146,33±0,31 a
Carotenoides (mg/100 g)	0,23±0,00 b	0,33±0,00 a
Fenólicos (mg/100 g)	460,85±3,12 b	1113,90±5,73 a
Betaxantinas (mg/100 g)	14,08±0,18 a	20,00±0,20 b
Betacianinas (mg/100 g)	1,69±0,10 b	2,96±0,62 a

Valores seguidos pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O melhor pó de cumbeba obtido pelo método de secagem em camada de espuma foi a amostra secada nas condições de 70 °C e 1,5 cm de espessura da camada em razão dos altos valores do ácido ascórbico, flavonoides, antocianinas, carotenoides e betaxantinas quando comparado com as outras condições de secagem (0,5, 1,0 e 1,5 cm e 50, 60 e 70 °C). O pó de cumbeba selecionado pelo método de secagem em camada de espuma foi confrontado com o pó de cumbeba obtido por liofilização no intuito de comparar os dois métodos de secagem distintos, onde se tem temperaturas de secagem alta e baixa, respectivamente.

Observa-se que os métodos de secagem testados reduziram o teor de água da polpa de cumbeba em aproximadamente 80%, onde o método de secagem em camada de espuma

apresentou resultado mais baixo (9,40%) do que na liofilização (9,84%), diferindo os valores estatisticamente entre si.

Cano-Higuita et al. (2015) encontraram, secando cascas de uva, o menor teor de água em secador por aspersão, 2,41%, diferindo estatisticamente do valor observado no liofilizador: 2,57%. Baeghballi et al. (2016) secaram suco de romã, formulado com 35% de goma arábica, por aspersão e liofilização, relatando que os conteúdos de água foram menores no pó obtido em secador por aspersão do que no pó liofilizado, de 2,92% a 8,55%, respectivamente. Os autores atribuem a teor de água do pó liofilizado ao tempo de congelamento das amostras e ao processo em si.

De acordo com Ezhilarasi et al. (2013) produtos submetidos a temperaturas mais baixas do que -40 °C resultam em congelamento rápido do conteúdo de água e, portanto, os poros na camada externa são menores, o que pode dificultar a transferência de massa e agir como uma barreira contra a sublimação, resultando em uma retenção da teor de água e aumentando seu valor.

A redução do teor de água promoveu, também, uma redução significativa da atividade de água ( $a_w$ ), a saber, de 0,986 na polpa *in natura* para 0,218 e 0,211 nos pós de cumbeba obtidos método em camada de espuma e no liofilizador, respectivamente, apesar destes métodos de secagem não diferirem estatisticamente.

Gurak et al. (2013) encontraram  $a_w$  de 0,430 para suco de uva microencapsulado com maltodextrina e seco por liofilização, enquanto Nishiyama et al. (2016) reportaram  $a_w$  de 0,223 para pó de suco de uva formulado com 15% de Emustab, 2% de liga neutra e 15% de maltodextrina, seco a 80 °C em camada de espuma com 0,4 cm de espessura. Pode-se assim observar, além da influência do método de secagem, a influência do agente encapsulante na manutenção das propriedades físico-químicas do pó.

De acordo com a classificação dada por Azerêdo (2012), valores de atividade de água abaixo de 0,6 são bastante favoráveis à estabilidade do produto, evitando, assim, a deterioração de produtos em pó causada por microrganismos e reações bioquímicas. Por esse critério, os pós de cumbeba provenientes da secagem tem baixa disponibilidade de água necessária para iniciar reações de deterioração.

Os valores médios do pH e da acidez total titulável (ATT), cujos valores são inversamente relacionados, constituem importante fator de preservação da qualidade, auxiliando na manutenção dos produtos contra agentes deteriorantes (CHITARRA e CHITARRA, 2005), sendo desejável para esta finalidade acidez elevada e pH reduzido.

Os pós de cumbeba secados no liofilizador mostraram valores para a acidez e pH de 3,68% e 4,49 e os pós de cumbeba obtidos em camada de espuma apresentaram médias de acidez e pH de 3,24% e 4,53, sendo, portanto, menos ácidas que as polpas de cumbeba em pó liofilizadas.

A diferença da acidez dos pós coletados pode ser explicada (SANTOS et al., 2017a) pela oxidação dos ácidos orgânicos em temperaturas elevadas. Esta informação condiz com os resultados encontrados por Feitosa (2014) ao estudar a transformação da polpa da murta em um produto em pó nas temperaturas de 150, 160 e 170 °C (em secador por aspersão), onde constatou que a ATT foi reduzida de 2,91, passando para 2,54, até 2,14%, conforme o aumento da temperatura.

Diferenças significativas na ATT foram verificadas por Baeghbali et al. (2016) ao secarem suco de romã para obtenção de pó em liofilizador e em secador por aspersão, com valores de 1,49 e 1,37%, nesta ordem, assim como valores respectivos do pH de 3,50 e 3,68. Com os dados da acidez e do pH pode-se afirmar que o pó de cumbeba liofilizado é classificado como ácido (entre 4 e 4,5) e o pó de cumbeba procedente da camada de espuma como pouco ácido ou de baixa acidez (.4,5) (NEPA, 2011).

Verificou-se diferença significativa no conteúdo de ácido ascórbico entre os tratamentos, apresentando ampla variação no conteúdo deste: níveis mais baixos na liofilização (31,73 mg/100g) e mais que o dobro na camada de espuma (83,70 mg/100g), conforme Tabela 4.36.

Em comparação com a polpa integral, ocorreu um aumento de ácido ascórbico de 28% (liofilizador) para 65% (em camada de espuma). A concentração de ácido ascórbico era prevista, pois, ao se retirar água da polpa *in natura* ocorre a concentração de ácidos orgânicos; além do mais, a característica estrutural dos pós de cumbeba oriundos da camada de espuma, também podem ter contribuído para a melhor preservação ácido ascórbico, de acordo com as explicações relatadas anteriormente por teóricos, se bem que não podemos afirmar pois não foi feito neste estudo a microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Alguns pesquisadores obtiveram resultados inversos, ou seja, diminuição comparativa do teor de ácido ascórbico entre liofilização e secagem convectiva como Paula (2015) ao comparar o conteúdo de ácido ascórbico da polpa de mangaba em pó (*Hancornia speciosa* Gomes) liofilizada e obtida por secagem em estufa, com o da polpa *in natura*, perceberam que houve redução de 59,45% para os pós provenientes de secagem em estufa e aumento de 77,5% para o pó proveniente do processo de liofilização.

Conteúdos de ácido ascórbico superiores aos pós de cumbeba foram mencionados por Canuto et al. (2014) ao liofilizar polpa de mamão papaia adicionada de maltodextrina para retenção de pó, reportando valores compreendidos entre 241,1, 418,1 e 580,1 mg/100 g, relacionando os altos conteúdos de ácido ascórbico a baixa temperatura aliada a ação do vácuo.

Em referência a Legislação, o pó de cumbeba obtido em camada de espuma apresentaram níveis de ácido ascórbico superiores a recomendação diária (45 mg/100 g) preconizada por BRASIL (2005a), podendo ser considerada como potencial fonte deste nutriente.

Em relação ao teor de sólidos solúveis totais (SST), expresso em °Brix, os pós de cumbeba liofilizado (74,16 °Brix) e secados pelo método de camada de espuma (65,51 °Brix), pode haver vínculo com os teores de açúcares redutores (AR), cujos valores médios diferirem entre si: de 32,27% para estufa e 38,25% para o método de liofilização.

Essa diferença de valores de AR entre os dois métodos de secagem pode ser explicada por reações de Maillard quando açúcares caramelizam ao serem submetidos a altas temperaturas e exposições prolongadas das mesmas.

Santos et al. (2017a) relatam que o teor de açúcares redutores decresceram na casca de pitaia com o incremento da temperatura de 8,56% (a 50 °C) para 5,56% (a 70 °C), presumivelmente devido a reação de Maillard, que culmina com a degradação dos açúcares redutores quando se complexam com aminoácidos livres, sintetizando produtos de cor escura.

Comparando os resultados de AR da amostra do pó de cumbeba liofilizado com os obtidos por SILVA et al. (2016a) em polpa de figo-da-índia em pó liofilizada, elaborada com 30% de maltodextrina, nota-se valores aproximados de AR (40,92%).

O resultado dos SST do pó de cumbeba liofilizado (74,16 °Brix) está em uma faixa intermediária de valores reportados na literatura para polpas liofilizadas, como 42,33 °Brix em pó de murici formulado com 10% de maltodextrina (SANTOS et al., 2017a), 70 °Brix em *blends* em pó de caju com leite de cabra (SILVA et al., 2016b), 80 °Brix para pó de figo-da-índia adicionado de 30% de maltodextrina (SILVA et al., 2016a) e 99 °Brix em polpa de mangaba em pó com 30% de maltodextrina. Os valores superiores de SST de tais amostras, em comparação com o pó de cumbeba, estão relacionados aos valores relativamente elevados de acidez, cinzas e proteínas determinados na cumbeba.

Pode-se observar que o teor de cinzas não diferiu estatisticamente entre si nos dois métodos de secagem utilizados, já que foi usada a mesma formulação, mas os valores de

4,64% no pó de cumbeba liofilizado e 4,83% no pó de cumbeba obtido em secagem de camada de espuma superam em cerca de sete vezes a polpa integral, com valor de 0,67% o que se atribui à remoção da água nas secagens, acarretando concentração dos constituintes.

Santos et al. (2013a) fizeram a mesma constatação ao compararem o teor de cinzas da polpa integral de caju (0,28%) com o pó de caju, conseguido a partir da adição de 10% de maltodextrina à polpa, e seco em leito de jorro nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, obtendo valores de cinzas de 1,44, 1,45 e 1,57%, respectivamente, valores estes inferiores aos determinados neste trabalho com as polpas de cumbeba em pó, assim como para as amostras preparadas com polpa de murici adicionadas de 5 e 10% de maltodextrina e liofilizadas para obtenção de pó contendo 2,13 a 2,81% de cinzas, conforme Santos et al. (2017b).

Em relação ao teor de proteínas bruta, os resultados obtidos nos métodos de liofilização e camada de espuma diferiram estatisticamente entre si, resultando em valores de 3,70 a 5,16%, respectivamente.

Resultados diversos foram encontrados por Miranda (2014) ao utilizar dois métodos para obter pó de biribá (*Rollinia deliciosa*): secagem em camada de espuma e liofilização. Na estufa foram usadas temperaturas de 40, 50 e 60 °C para secar polpa de biribá formulada com Emustab, liga neutra e maltodextrina nas proporções de 1,5, 2,5 e 3,5%. No liofilizador usou-se somente a polpa integral. Após as secagens, os valores das proteínas do pó liofilizado foi de 3,24% e para os pós secos em camada de espuma variaram de 2,08 a 2,31%, onde o autor aponta que a maior concentração no pó liofilizado pode estar ligado ao processo de desnaturação das proteínas submetidas a altas temperaturas no processo de secagem em camada de espuma.

Em relação à cor, observa-se que os tratamentos apresentaram valores significativamente diferentes. Os pós de cumbeba obtidos por liofilização apresentaram uma luminosidade (L\*) maior que os pós de cumbeba obtidos pela secagem em camada de espuma: 75,68 e 55,55, respectivamente. O acréscimo de aditivos de tonalidade clara à polpa e a ausência, na liofilização, de aquecimentos que podem promover escurecimento por reações de Maillard (LEE et. al., 2013; TONTUL e TOPUZ, 2017), provavelmente contribuíram para manter a cor mais clara.

Segundo Kuck e Noreña (2016) o congelamento, ao formar cristais de gelo, altera a estrutura dos poros após a sublimação da água, tornando a superfície dessas partículas mais clara. Analisando os dois métodos de secagem, houve incremento da L\* em relação à polpa

de cumbeba (41,55), o que indicou que a adição dos agentes carreadores usados neste trabalho aumentou a percepção da luminosidade.

Sousa et al. (2015) notou mesmo comportamento na polpa de atemoia formulada com maltodextrina e secas em secador por aspersão, onde a  $L^*$  variou de 42,29 para polpa *in natura* a 57,42 no pó. Não obstante, estudo comparativo de Kuck e Noreña (2016) entre secagens a baixas temperaturas (liofilização) e altas temperaturas (aspersão) com extrato de casca de uva, mostraram uma diferença nos resultados da luminosidade, uma vez que o pó liofilizado foi mais escuro (entre 20 e 22) frente aos pós pulverizados (entre 37 e 40). Esta diferença pode estar relacionada a cor do produto e ao tamanho dos poros que altera a estrutura destes após a sublimação da água.

Um aumento do valor de  $+b^*$  (intensidade de amarelo) no pó de cumbeba obtido na camada de espuma (49,26), em relação ao pó de cumbeba obtido no liofilizado (45,52), significa que houve um acréscimo da percepção da coloração amarela devido, certamente, a concentração de pigmentos amarelos (betaxantinas e carotenoides).

Em relação ao parâmetro intensidade de vermelho ( $+a^*$ ), o processo de liofilização provocou alteração desta tonalidade diminuindo-a (6,88) em relação ao pó de cumbeba obtido na secagem em camada de espuma (13,51). Essa variação na intensidade  $+a^*$  pode ser consequência das altas temperaturas durante a secagem, como oxidações e reação de Maillard, formando compostos de coloração marrom (BOBBIO e BOBBIO, 2001).

Os resultados obtidos por Souza et al. (2015a) indicaram que os pós de casca de uva, encapsulados com 10% de maltodextrina, tiveram valores de  $+a^*$  e  $-b^*$  maiores nos pós secos por pulverização do que nos pós liofilizados, indicando uma tendência ao azul e ao vermelho, característica das antocianinas.

Comportamento semelhante foi aferido por Baeghbali et al. (2016) ao analisar os parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $+a^*$ ,  $+b^*$ ) do suco de romã em pó reconstituído que sofreram alteração conforme os métodos de secagem empregados. De acordo com os autores, a amostra liofilizada apresentou maior luminosidade (31,7) do que a amostra seca em secador por aspersão (26,7), assim também como nos valores de intensidade de vermelho ( $+a^*$ ), 32 e 29,7 e amarelo ( $+b^*$ ), 36,3 e 33, para pó liofilizado e em estufa respectivamente.

As amostras produzidas na camada de espuma também apresentaram valores mais elevados de croma ( $C^*$ ), na faixa de 51,08, em comparação com as amostras produzidas por liofilização, com média de 46,08. Comportamento análogo foi relatado por Kuck e

Noreña (2016), onde o  $C^*$  foi maior nas amostras em pó de casca de uvas secas por pulverização (47,27) do que por liofilização (29,08).

Para o ângulo de tonalidade (h) os valores foram de 81,40 (pó proveniente da liofilização) e 74,66 (pó proveniente da camada de espuma). Sousa (2016) observou que os valores do ângulo h do pequi em pó seco em camada de espuma variaram de 219,33 a 131,43°, apresentando coloração amarela, ao longo do tempo de secagem.

Malacrida et al. (2013) investigaram a microencapsulação de óleo de açafrao por meio da liofilização com amido modificado e gelatina e verificaram que os valores do ângulo de tonalidade (h), 79,9°, e do croma ( $C^*$ ), 69,8, foram superiores aos dos pós liofilizados da polpa de cumbeba.

Castro-Muñoz et al. (2015) verificaram valores menores para h, de 15,06 a 29,66 ° e  $C^*$ , de 18,75 a 43, 29, em suco de fígo-da-índia em pó encapsulado por secador por aspersão usando gelatina e maltodextrina.

Na Tabela 4.36 expõe-se, de uma forma geral, os valores mais elevados de antocianinas, flavonoides, carotenoides, betaxantinas, betacianinas, fenólicos e ácido ascórbico, nas amostras em pó de cumbeba obtidas em camada de espuma, em comparação com as amostras liofilizadas. Pode-se deduzir que o conteúdo destes perfis estão relacionados com a morfologia, distribuições e tamanhos diferentes das partículas.

De acordo com Cano-Higueta et al. (2015) e Chen et al. (2013), amostras secadas em altas temperaturas possuem partículas esféricas e regulares, mostrando superfícies lisas sem rachaduras ou fraturas, que é essencial para garantir baixa permeabilidade aos gases, melhor proteção e retenção do material do núcleo. Ao contrário, a liofilização pode levar a partículas irregulares, semelhantes a superfícies de vidro afiadas e quebradas.

Os resultados do pó de cumbeba obtido por liofilização sugerem que os agentes espumantes utilizados neste trabalho levaram a menor retenção de voláteis nos pós liofilizados, pois estas partículas ficaram mais porosas e soltas, sofrendo maiores perdas de compostos e pigmentos do que na amostra seca na estufa. No mais, o processo de maceração do pó de cumbeba liofilizado pode ter exposto o núcleo interno para o meio ambiente.

Malacrida et al. (2013), também, relataram uma retenção maior de bioativos nas secagem de curcuma com alta temperatura (secador por aspersão), enquanto que para a liofilização a retenção diminuiu; os autores atribuem isso a formação da matriz encapsulante causada pelo agente carreador (gelatina e maltodextrina) e a irregularidade do tamanho das partículas.

Souza et al. (2015a) reportaram um aumento das antocianinas nas amostras em pó de casca de uva secas por aspersão (de 90,83 a 97,35%) em relação às produzidas em liofilizador (52,26%); segundo os autores, a maior concentração desse bioativo pode ser explicada pela ação de escurecimento enzimático, especificamente a caramelização do agente carreador, produzindo compostos escuros que são detectados no conteúdo total de antocianinas. Em contrapartida, os mesmos autores viram os conteúdos de compostos fenólicos decaírem de 571,10 para 511,9 mg/100 g nos pós liofilizados e nos pós obtidos em secador por aspersão, nesta sequência.

No estudo de Lobo et al. (2017) verificou-se o mesmo comportamento de retenção do conteúdo de compostos fenólicos comparando secagens em liofilizador e em estufa: uma maior concentração deste compostos em temperatura mais elevada. Os autores identificaram conteúdo deste bioativo, com valor máximo de 116,93 mg/100 g, ao secarem a espuma da polpa de manga formulada com concentrações distintas de carboximetilcelulose e lecitina de soja, na temperatura de 80 °C; enquanto na secagem por liofilização, as amostras tiveram médias de 60,79 mg/100 g.

Carvalho et al. (2017b) verificaram que a secagem por liofilização reteve melhor os flavonoides (62,58 mg/100 g) do que a secagem em camada de espuma a temperatura 70 °C (58,10 mg/100 g) na obtenção do suco de jambolão em pó.

A literatura aponta (RAGAEI et al., 2014; ABDEL-AAL e RABALSKI, 2013) que o processo térmico causa mudanças físicas e químicas nos alimentos, tal como a ruptura da parede celular ligada às estruturas esterificadas (oligossacarídeos ou polissacarídeos) e interações destas com o ambiente inter e extra-celular. Em razão disso, (HAMROUNI-SELLAMI et al., 2013) os compostos fenólicos podem ser liberados, dependendo do tipo presente e sua localização na célula, causando aumento no conteúdo de fenólicos livres nas amostras em pó, por exemplo.

De qualquer forma, Formiga et al. (2016), ao estudarem os aspectos físico-químicos dos frutos de cumbeba (*Tacinga inamoena*), identificaram que a maioria dos compostos bioativos presentes nestes frutos estão abaixo dos valores encontrados para os pós correlatos, como: flavonoides, aproximadamente 1,7 mg/100 g para a polpa, 69,98 e 146,33 mg/100 g para os pós obtidos por liofilização e em camada de espuma, respectivamente; conteúdo de compostos fenólicos de 81, 460,85 e 1113,90 mg/100 g para a polpa, pós liofilizados e em camada de espuma, respectivamente; e valores de antocianinas de 0,05, 3,46 e 5,35 mg/100 g para polpa, pós liofilizado e em camada de

espuma, nesta ordem. Isso indica que a secagem das espumas da polpa de cumbeba por estes dois métodos de secagem concentraram tais elementos existentes na polpa integral.

Horuz et al. (2012) citou que este aumento está relacionado ao menor conteúdo de água e a inativação de enzimas polifenoloxidasas pela ação do calor durante a secagem, o que aumenta o teor de fenólicos totais.

Encontra-se na Tabela 4.37, os valores médios e desvios padrão da caracterização física dos pós de cumbeba obtidos por liofilização e pelo método de secagem em camada de espuma a 70 °C e com 1,5 cm espessura.

**Tabela 4.37** – Valores médios e desvios padrão da caracterização física dos pós de cumbeba obtidos pelo método de secagem em camada de espuma a 70 °C e 1,5 cm de espessura e por liofilização

<b>Parâmetros</b>	<b>Liofilização</b>	<b>Secagem em camada de espuma</b>
Densidade absoluta (g/cm <sup>3</sup> )	1,427±0,21 a	1,310±0,14 a
Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0,097±0,00 b	0,297±0,005 a
Densidade compactada (g/cm <sup>3</sup> )	0,157±0,16 b	0,377±0,01 a
Porosidade (%)	92,90±1,40 a	76,94±2,72 b
Fator de Hausner (FH)	1,56±1,56 a	1,27±0,00 b
Índice de Carr (IC)	36,00±1,00 a	20,99±0,01 b
Molhabilidade (g/min)	0,09±0,00 b	2,15±0,04 a
Higroscopicidade (%)	79,69±0,13 a	80,00±0,03 a
Ângulo de repouso (°)	---	31,65±0,67
Solubilidade (%)	48,12±1,26 b	55,01±0,12 a

Valores seguidos pela mesma letra nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As diferenças de valores nas densidades absoluta, aparente e compactada, além da porosidade (Tabela 4.37), sugerem que estão associadas aos processos envolvidos (tempo de secagem e temperaturas) em cada método de secagem (camada de espuma e liofilização), considerando-se que a maior densidade absoluta está associada ao maior teor de água da amostra liofilizada.

Há concordância de Baeghbali et al. (2016) com este trabalho ao constatarem uma densidade absoluta da amostra liofilizada a mais alta (430,01 kg/m<sup>3</sup>) frente a amostra

obtida em secagem por aspersão ( $322,1 \text{ kg/m}^3$ ) de suco de romã em pó, tratado com 35% de goma arábica, entendendo os autores, que esse resultado foi influenciado pelo maior teor de água.

Caparino et al. (2012) e Lancha et al. (2012) relataram que os pós obtidos a altas temperaturas possuem partículas estruturais menores que os pós produzidos por baixas temperaturas, caso da liofilização.

Chen et al. (2012) afirmaram que partículas maiores são formadas na liofilização devido às baixas temperaturas empregadas são resultantes da falta de forças para quebrar o líquido congelado em gotículas ou, então, associadas (AGUILERA e LILLFORD, 2008) a dispersão dos espaços vazios após sublimação. Desta forma, uma estrutura altamente porosa se forma na espuma provocada pela aceleração da transferência de massa (IZQUIERDO-LOPEZ et al., 2017).

Diante do exposto, pode-se supor que a formação de partículas maiores nos produtos liofilizados podem ter contribuído para valores de densidade aparente mais baixos que, conseqüentemente, houve uma elevação da porosidade no pó liofilizado (92,90 contra 76,94%, do pó de cumbeba obtido em camada de espuma) pelo aumento dos espaços intra-granulares (CAPARINO et al., 2012) e temperatura de transição do material em seu estado vítreo (ACHANTA e OKOS, 2000). Em consequência da maior porosidade, a densidade absoluta avolumou-se de  $1,31 \text{ g/cm}^3$  no pó seco na estufa para  $1,43 \text{ g/cm}^3$  no pó liofilizado.

A existência de poros maiores no interior das partículas também influenciou a densidade compactada. As partículas dos pós com dimensões menores, obtidos pelo método de secagem em camada de espuma, ao serem compactadas, tenderam a reduzir o volume pelo preenchimento dos espaços entre elas aumentando a densidade ( $0,38 \text{ g/cm}^3$ ) (TONON, 2009; CHEVER et al., 2017).

O pó de cumbeba liofilizado também sofreu alteração ( $0,16 \text{ g/cm}^3$ ) com a aplicação da pressão, sendo justificado por Ferrari et al. (2012a,b) pela quantidade de partículas grandes que não se rearranjaram no recipiente em que estavam acondicionados. Porém, os valores das densidades compactadas, já citados, foram superiores aos da densidade aparente em razão da redução dos espaços vazios entre as partículas proporcionadas pela compactação dos pós.

Ao comparar os dados das densidades do pó de cumbeba produzido em camada de espuma com a literatura disponível, percebe-se que a elevação da temperatura resultou em menores densidades, como relatado por Santhalakshmy et al. (2015) ao adicionarem à polpa de jambo quatro concentrações de maltodextrina (15, 20, 25 e 30%) e secar nas

temperaturas de 140, 145, 150 e 155 °C em secador por aspersão para obtenção de pós, os autores analisaram diferentes propriedades físicas, entre as quais porosidade e as densidades aparente, compactada e absoluta.

Os valores da porosidade mostraram diferenças não significativas entre as amostras do pó de cumbeba, variando de 90,77 a 92,60%; a menor densidade aparente (0,24 g/mL) foi na temperatura de 150 °C; a maior densidade compactada foi de 0,48 g/mL (a 145 °C) e, finalmente, a densidade absoluta teve o maior valor (5,17 g/mL) na menor temperatura.

Samborska e Bieńkowska (2013), em estudos sobre a secagem por pulverização (160 e 200 °C) de soluções de mel adicionadas de dextrina e maltodextrina reportaram os melhores resultados para densidades aparente (0,52 g/cm<sup>3</sup>) e compactada (0,54 g/cm<sup>3</sup>) no pó obtido na condição de secagem a 200 °C, formulado com maltodextrina.

Os valores para a higroscopicidade dos pós de cumbeba por liofilização (79,69%) e na camada de espuma (80%) são estatisticamente iguais, embora haja um leve decréscimo em favor do pó liofilizado. Tonon et al. (2009) relataram que esta diferença esteja relacionada ao tamanho da partícula: quanto maior o tamanho da partícula, menor a área de superfície exposta e menor a absorção de água.

Chranioti et al. (2016) afirmaram que a menor higroscopicidade foi conferida pela liofilização, ao secaram extrato de *Stevia rebaudiana* em estufa (23,05%) e no liofilizador (22,90%). Outro fator associado a alta higroscopicidade está relacionado a açúcares de baixo peso molecular, a ácidos orgânicos com baixa temperatura de transição vítrea e teor de água elevado (BHUSARI et al., 2014; FERNANDES et al., 2014).

Kuck e Noreña (2016) secaram extrato de casca de uva em secador por aspersão e em liofilizador, onde as higroscopicidade de 16,61% e 11,67%, correspondentes aos métodos de secagem citados sofreram influência do maior teor de teor de água. Samborska et al. (2015) perceberam substancial redução da higroscopicidade, de 85% para 65%, à proporção em que diminuía o teor de água em pós de mel formuladas com maltodextrina e secas a 180 °C por pulverização.

Khazaei et al. (2014) não encontraram relação entre o teor de água e a higroscopicidade em antocianinas de pétalas de açafão microencapsuladas com goma arábica e maltodextrina secas por liofilização. Analisando os dados do presente trabalho pode-se classificar os pós de cumbeba, obtidos na liofilização e na camada de espuma, como extremamente higroscópicos, seguindo a classificação proposta pela Gea Niro Research Laboratory (2003): pó não higroscópico, <10%; pó ligeiramente higroscópico,

10,1 – 15,0%; pó higroscópico, 15,1 – 20,0%; pó muito higroscópico, 20,1 – 25,0%; pó extremamente higroscópico, >25,0%.

O método de secagem teve uma influência significativa na solubilidade dos pós de cumbeba. A secagem em camada de espuma resultou em pó com maior solubilidade do que a liofilizada: 55,01% e 48,12%, respectivamente; isso se deve, provavelmente, ao maior teor de teor de água da amostra liofilizada.

Souza et al. (2015) afirmaram que quanto menor o tamanho de partícula, maior a superfície disponível para hidratação, o que está diretamente relacionado com a porosidade e a molhabilidade dos pós.

Kuck e Noreña (2016) relataram comportamento semelhante ao deste estudo ao realizarem microencapsulação de extrato fenólico de cascas de uva pelos métodos de liofilização e secagem por aspersão, em que as amostras obtidas no secador por aspersão (94,3 a 97,99%) detiveram maiores solubilidades em comparação às amostras liofilizadas (85,96 a 88%).

Ribeiro et al. (2016) obtiveram por liofilização solubilidade de 94,08% em pó de manga formulado com 19% maltodextrina (DE=20). A alta solubilidade do pó pode estar relacionada ao processo de congelamento e à aplicação de vácuo, gerando produtos amorfos que podem ter estrutura celular quebrada, fazendo com que grandes quantidades de sólidos se dissolvam e se tornem parte do sobrenadante ao se reidratarem (CANUTO et al., 2014). De acordo com Goula e Adamopoulos (2005) o acréscimo da solubilidade está associado com a diminuição do teor de água e às condições operacionais do secador.

Diante dos valores médios da molhabilidade, verifica-se, na Tabela 4.37, que o pó de cumbeba obtido pelo método de secagem em camada de espuma levou um minuto para dissolver 2,15 g de pó. Entretanto, o pó de cumbeba obtido por liofilização precisou de um minuto para ter dissolvido 0,1 g de pó, resultado muito inferior ao obtido para o pó secado em camada de espuma. Caliskan e Dirim (2016) descreveram a molhabilidade como a capacidade de penetração da água no pó por meio das forças capilares.

Gomes et al. (2017) acharam valor da molhabilidade inferior ao do pó de cumbeba: em torno de 0,314 g/minutos para acerola em pó formulada com 95% de polpa de acerola e adicionada de 3% de Emustab e 2% de liga neutra e secada com uma espessura da camada de espuma de 0,6 cm em estufa com circulação de ar à 70 °C.

Os métodos de secagem para obtenção dos pós de cumbeba também interferiram nas propriedades de fluxo medidas pelo fator de Hausner (FH), índice de Carr (IC) e ângulo de repouso (°). Pode-se observar na Tabela 4.37 que os pós de cumbeba obtidos por

camada de espuma apresentaram os melhores valores para porosidade, densidades FH, IC e ângulo de repouso em comparação com os obtidos na liofilização, devido (CHEN et al., 2013) a menor estrutura e forma regular das suas partículas e isso esta diretamente relacionado com a melhor fluidez e menor coesividade dos pós, pois de acordo com Wells (2005) quanto mais arredondada é uma partícula, menores serão os espaços de ar dentro das misturas dos pós, facilitando, assim, o seu rolamento e, conseqüentemente, seu escoamento.

Os resultados do índice de Carr apresentaram relação com o fator de Hausner e o ângulo de repouso, conforme classificações propostas por Quispe-Condori et al. (2011), Turchiuli et al. (2005) e Shittu e Lawal (2007). Seguindo a classificação dos autores citados, os pós de cumbeba, produzidos em camada de espuma, se classificam como sendo de razoável a difícil fluidez, por conta da tendência em formar aglomerados; no caso do pó de cumbeba obtido por liofilização, sempre segundo as classificações descritas anteriormente, se classificam como de péssima fluidez. Isso se confirma pelo ângulo de repouso, cuja determinação não foi possível pela metodologia de Bhandari et al. (1998) devido a aglomeração das partículas do pó no funil, impedindo o fluxo.

Laokuldilok e Kanha (2015) secaram extrato de antocianina a partir de farelo de arroz negro, adicionando maltodextrina (DE=10) para produção de pó a partir de secagens em liofilizador e secador por aspersão a 140, 160, e 180 °C, percebendo que a secagem em alta temperatura ocasionou melhor fluidez dos pós, com ângulo de repouso variando entre 27, 25 e 23 °, conforme aumentava a temperatura no secador por aspersão, enquanto foi medido um ângulo de repouso de 42,50 ° para o pó liofilizado. Os autores explicam que o uso de uma temperatura mais alta durante a secagem por pulverização removeu mais o teor de água das partículas tornando sua superfície mais lisa e minimizando a fixação de cada partícula melhor do que uma superfície enrugada, típica de produtos aglomerado, o que, provavelmente, aconteceu com o pó de cumbeba liofilizado.

A forma inversa ocorreu na pesquisa de Seerangurayar et al. (2017) ao produzirem pó de tâmara (*Phoenix dactylifera* L.) com dois agentes carreadores (maltodextrina DE 10 e goma arábica), em dois níveis de concentração (40 e 50%) e em três estádios de maturação do fruto (verde, de vez e maduro) pelo método de camada de espuma, a uma espessura de 1,5 cm. O efeito destes agentes sobre a fluidez e as propriedades microestruturais da tâmara em pó foram investigadas, onde o pó de tâmara produzido com 50% de goma arábica teve melhores resultados: menor teor de teor de água (7,1%), ângulo de repouso (32°), densidade aparente (0,6 g/cm<sup>3</sup>), densidade compactada (0,8 g/cm<sup>3</sup>),

densidade absoluta ( $1,5 \text{ g/cm}^3$ ), índice de Carr (20%) e fator Hausner (1,3), isso vinculado a partículas relativamente pequenas ( $47 \pm 20 \text{ mm}$ ) em comparação com os pós produzidos com maltodextrina. A análise microestrutural de partículas de pó revelou que os agentes transportadores foram imperativos para obter pó de fluxo livre. Em geral, os pós de tâmara produzidos com 50% de goma arábica tiveram fluidez relativamente boa e menor coesão.

Os resultados melhores conseguidos por Seerangurayar et al. (2017), em comparação com o pó de cumbeba liofilizado, podem estar associados com o tipo e concentração do agente espumante, pois este também está relacionado ao peso molecular dos polímeros, bem como ao conteúdo de água do material (AL-ASSAF et al., 2015).

Os trabalhos registrados na literatura confirmam que altas temperaturas, aliadas a adição e concentração de um agente carreador com maior peso molecular, impactam na estrutura dos pós, determinando sua consistência e propriedades de fluxo, acarretando em menor coesão e melhor fluidez.

Trabalhos como o de Cano-Higuita et al. (2015) concluem que partículas congeladas, possuem a mesma estrutura morfológica: tamanho variável não definido, significativamente maiores do que os pós secos por altas temperaturas. Anandharamakrishnan e Tapley (2010) afirmaram que isto é resultado da formação de cristais de gelo durante o processo de congelamento, seguido por sublimação durante a secagem, produzindo então, uma estrutura porosa.

#### **4.6 – Isotermas de adsorção de água**

##### **4.6.1 – Isotermas de adsorção de água a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ dos pós de cumbeba obtidos por secagem de camada de espuma com 0,5 cm de espessura**

Na Tabela 4.38 tem-se os valores dos parâmetros dos modelos de GAB, Peleg e Oswin ajustados aos dados experimentais de adsorção de água do pó de cumbeba obtido na secagem em camada de espuma, desidratada sob diferentes temperaturas ( $50, 60$  e  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ ) e com 0,5 cm de espessura, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvios percentuais médios (P), para a temperatura de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Observa-se que todos os modelos se ajustaram bem aos dados experimentais, apresentando os coeficientes de determinação ( $R^2 \geq 0,99$ ) e desvios percentuais médios ( $P < 3,76\%$ ), podendo ser utilizados para predizer as isotermas de adsorção de água do pó de cumbeba. Constata-se que, de maneira geral, o modelo que melhor representou os dados

experimentais foi o de GAB, apresentando os maiores coeficientes de determinação e os menores desvios percentuais médios para todas as temperaturas estudadas. Islam et al. (2016), verificaram que o modelo de GAB representou o melhor  $R^2$  (0,98) na determinação de isotermas de adsorção de suco de laranja em pó em secador por aspersão.

Verifica-se que para os parâmetros do modelo de GAB, tanto o C quanto o K diminuíram conforme se elevou a temperatura de 50 para 70 °C. O parâmetro K representa o fator de correção das propriedades das moléculas na multicamada com relação ao volume do líquido, enquanto a constante de sorção C é função das interações entre os sítios ativos do produto e as moléculas de água (ALEXANDRE et al., 2007).

**Tabela 4.38** – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados as isotermas de adsorção de água a 25 °C dos pós de cumbeba obtidos na secagem em camada de espuma em diferentes temperaturas e com 0,5 cm de espessura da camada

Modelo	Temp. (°C)	Parâmetro			$R^2$	P (%)	
		$X_m$	C	K			
GAB	50	11,2696	38,3821	0,9601	0,9995	2,29	
	60	11,2438	9,5642	0,9506	0,9997	1,44	
	70	10,9621	9,8317	0,9554	0,9998	1,72	
Oswin	Temp. (°C)	A	B	$R^2$	P (%)		
Oswin	50	20,7706	0,6229	0,9985	3,75		
	60	19,0944	0,6296	0,9993	2,45		
	70	18,6847	0,6414	0,9994	2,70		
Peleg	Temp. (°C)	$k_1$	$n_1$	$k_2$	$n_2$	$R^2$	P (%)
Peleg	50	141,7791	11,2963	44,5876	1,0111	0,9994	2,62
	60	38,5100	0,9737	108,0371	9,0467	0,9993	2,79
	70	39,4999	1,0142	115,5369	9,7035	0,9993	3,08

Quirijins et al. (2005) afirmaram que quanto maior for o valor de C mais forte é a ligação da água na monocamada, indicando que na menor temperatura de secagem a água permanece mais fortemente ligada às amostras. Em relação aos valores do teor de água na

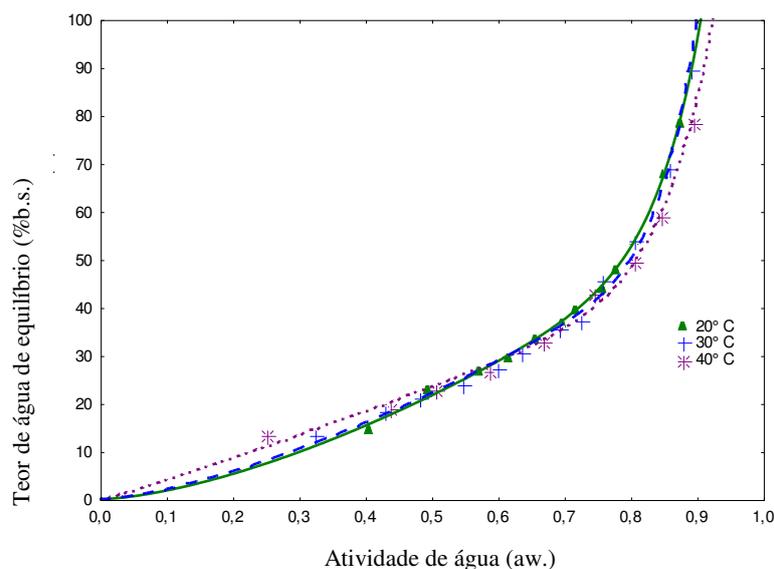
monocamada molecular ( $X_m$ ), estes variaram de 11,2696 a 10,9621 e diminuíram com o aumento da temperatura de secagem. Estes dados estão coerentes com Cano-Higueta et al. (2015) ao predizerem os parâmetros C e K do modelo de GAB na isoterma de adsorção de pó de manga.

As isotermas dos pó de cumbeba foram classificadas como Tipo II em razão de terem apresentado valores de  $0 < K \leq 1$  e  $C > 2$ , para todas as temperaturas de secagem, de acordo com a classificação de Blahovec (2004). Nurhadi e Roos (2017), ao ajustarem o modelo de GAB aos dados experimentais de adsorção de mel em pó reportaram-as como do tipo II.

Os parâmetros do modelo de Peleg  $k_1$ ,  $n_1$ ,  $k_2$  e  $n_2$  apresentaram comportamento indefinido com relação ao aumento da temperatura de secagem do pó de cumbeba. Este modelo foi o que apresentou os maiores valores de  $R^2$ , depois do modelo de GAB, enquanto que o modelo de Oswin apresentou os maiores valores de P na temperatura de 50 °C em relação aos demais modelos testados; contudo, os dois modelos também podem ser utilizados para predizer as isotermas de adsorção do pó de cumbeba.

Para o modelo de Oswin verifica-se que o mesmo apresentou  $R^2 > 0,990$ , o parâmetro A apresentou redução com o aumento da temperatura e o parâmetro B aumentou com o aumento da temperatura, apresentando influencia da temperatura de secagem.

Na Figura 4.4 são apresentadas as isotermas de adsorção de água na temperatura de 25 °C do pó de cumbeba obtido por secagem em camada de espuma com espessura da camada de 0,5 cm, com o modelo de GAB ajustado aos dados experimentais.



**Figura 4.4** – Isotermas de adsorção de água a 25 °C dos pós de cumbeba obtidos na secagem em camada de espuma com espessura de 0,5 cm com ajustes ao modelo de GAB

Em todas as temperaturas de secagem (50, 60 e 70 °C), verifica-se que com o aumento do teor de água de equilíbrio, houve aumento da atividade de água. Nota-se que a amostra seca a 70 °C apresentou os menores teores de água de equilíbrio, sendo menos higroscópica que as demais amostras. No geral, observa-se que todas isotermas apresentaram comportamento bem semelhante quanto à adsorção de água.

**4.6.2 – Isotermas de adsorção a 25 °C dos pós de cumbeba obtidos na secagem em camada de espuma com 1,0 cm de espessura da camada**

Na Tabela 4.39, tem-se os valores dos parâmetros dos modelos de GAB, Oswin e Peleg ajustados aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água a 25 °C do pó de cumbeba obtido na secagem em camada de espuma nas diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C) e com 1,0 cm de espessura, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvios percentuais médios (P).

**Tabela 4.39** – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados as isotermas de adsorção de água a 25 °C do pó de cumbeba obtido na secagem em camada de espuma nas diferentes temperaturas e com 1,0 cm de espessura da camada

Modelo	Temp. (°C)	Parâmetro			$R^2$	P (%)	
		$X_m$	C	K			
GAB	50	11,2904	6,7084	0,9593	0,9995	2,12	
	60	9,8674	13,5514	0,9746	0,9969	3,99	
	70	10,7312	7,5408	0,9584	0,9976	2,62	
Oswin	Temp. (°C)	A	B	$R^2$	P (%)		
	50	18,5162	0,6681	0,9995	1,83		
	60	17,3364	0,6859	0,9961	4,00		
	70	17,7623	0,66624	0,9968	2,70		
Peleg	Temp. (°C)	$k_1$	$n_1$	$k_2$	$n_2$	$R^2$	P (%)
	50	48,4757	1,3235	135,8242	11,8860	0,9992	3,37
	60	50,2683	1,4182	206,9395	16,2552	0,9979	4,49
	70	32,5734	0,8653	111,1286	8,2235	0,9979	3,31

Constata-se que os dados experimentais de adsorção de água foram bem ajustados pelos modelos de GAB, Oswin e Peleg, apresentando coeficientes de determinação acima de 0,99 e os desvios percentuais médios abaixo de 5%, todos passíveis de serem utilizados para prever as isotermas de adsorção do pó de cumbeba.

O modelo que apresentou os menores desvios percentuais médios para as isotermas do pó de cumbeba, obtido na secagem em camada de espuma foi o de GAB para as temperaturas de 60 e 70 °C e o de Oswin para a temperatura de 50 °C.

De acordo com a classificação de Blahovec (2004) as isotermas do pó de cumbeba obtida por secagem em camada de espuma nas temperaturas de 50 e 60 °C, com espessura da camada de espuma de 1,0 cm foram classificadas como Tipo II em razão de terem apresentado valores de  $0 < K \leq 1$  e  $C > 2$  para todas as temperaturas estudadas. Com isso os parâmetros do modelo de GAB indica que o pó de cumbeba para ter uma armazenagem segura deve ter um teor de água menor.

Observa-se, para os parâmetros do modelo de GAB, que a temperatura de secagem para o parâmetro do teor de água da monocamada molecular ( $X_m$ ) não determinou um comportamento definido; contudo, na secagem a 60 °C apresentou o menor  $X_m$ . O parâmetro C apresentou aumento seguido de redução com o aumento da temperatura de secagem, enquanto o parâmetro K apresentou um comportamento indefinido, mas com valores inferiores a 1. Timmermann (2003) afirma que a constante K do modelo de GAB aumenta com a força de interação entre adsorvato-adsorvente e valores maiores que 1 são fisicamente inadequados, indicando uma sorção infinita.

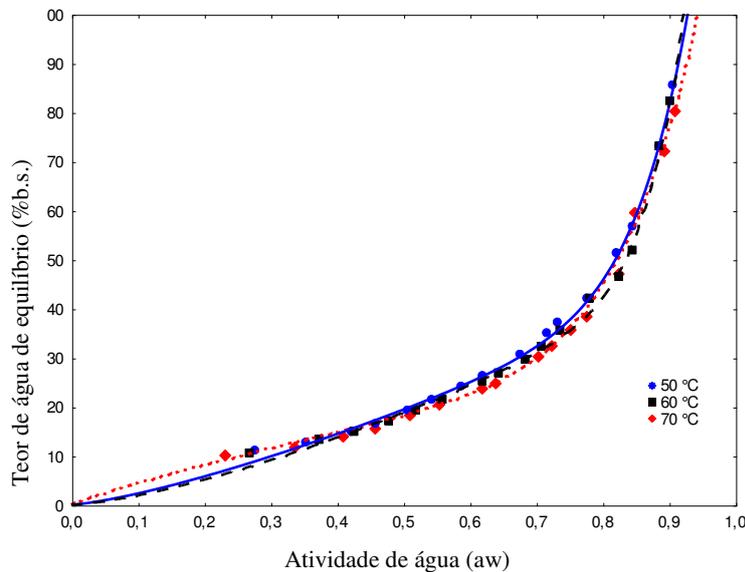
Quanto ao modelo de Peleg, observa-se que os parâmetros  $k_1$ ,  $n_1$ ,  $k_2$  e  $n_2$  não tiveram comportamento definido, apresentando um acréscimo de 50 a 60 °C e um decréscimo na temperatura de 70 °C. Nota-se que o modelo de Peleg apresentou o maior  $R^2$  para as temperaturas de 60 e 70 °C, porém os menores valor de P para as mesma temperaturas.

O modelo de Oswin se ajustou bem aos dados experimentais com coeficientes de determinação acima de 0,99 e baixos desvios percentuais médios, com destaque para o menores desvios percentual na temperatura de 60 e 70 °C. Os parâmetros de A e B apresentaram comportamento indefinido com a variação da temperatura de secagem; mesmo assim, segundo Alcântara et al. (2009) e Blahovec (2004), para representação das isotermas de adsorção de um alimento os parâmetros do modelo de Oswin devem ser  $a > 0$  e  $0 < b < 1$ , indicando que não há ponto de inflexão na curva e, sendo assim, não há mudanças na concavidade das funções, logo, tais parâmetros possuem consistência

matemática e física. Como os modelos de GAB e Peleg apresentaram  $R^2$  superiores a 0,99 para as temperaturas de 60 e 70 °C, sendo que o modelo de GAB apresentou os menores valores percentuais de P, este foi escolhido para representar a curva de isoterma de adsorção de água.

Porém, Campelo (2009) observou que o melhor modelo de ajuste aos dados experimentais de adsorção de água do pó de polpa de figo-da-índia foi o de Peleg, apresentando  $R^2 > 0,99$  e  $P (\%) < 8$ , sendo semelhante ao deste trabalho.

Tem-se na Figura 4.5 as isotermas de adsorção de água, na temperatura de 25 °C, do pó de cumbeba, obtido por secagem em camada de espuma com espessura da camada de 1,0 cm, com o modelo de GAB ajustado aos dados experimentais. Verifica-se que para as temperaturas de 50 e 60 °C, os pontos que representam a adsorção de água estão próximos, indicando pouca influência dessa diferença de temperatura.



**Figura 4.5** – Isotermas de adsorção de água a 25 °C dos pós de cumbeba obtidos na secagem em camada de espuma com espessura de 1,0 cm com ajustes ao modelo de GAB

#### 4.6.3 – Isotermas de adsorção de água a 25 °C dos pós de cumbeba obtidos na secagem em camada de espuma com 1,5 cm de espessura da camada

Na Tabela 4.40, tem-se os valores dos parâmetros dos modelos de GAB, Oswin e Peleg ajustados aos dados experimentais de adsorção de água a 25 °C do pó de cumbeba, obtida na secagem em camada de espuma, desidratada sob diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C) e com 1,5 cm de espessura de camada da espuma, bem como os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvios percentuais médios (P).

**Tabela 4.40** – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados as isotermas de adsorção de água a 25 °C dos pós de cumbeba obtidos na secagem em camada de espuma em diferentes temperaturas e com 1,5 cm de espessura

Modelo	Temp. (°C)	Parâmetro			$R^2$	P (%)	
		Xm	C	K			
GAB	50	9,8703	8,4540	0,9889	0,9977	5,01	
	60	9,3798	6,6605	0,9837	0,9989	4,29	
	70	10,8844	10,4498	0,9740	0,9993	2,32	
Oswin	Temp. (°C)	A	B		$R^2$	P (%)	
	50	16,5527	0,7556		0,9970	3,36	
	60	15,2576	0,7508		0,9985	3,03	
	70	18,6485	0,6963		0,9976	3,14	
Peleg	Temp. (°C)	k <sub>1</sub>	n <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	n <sub>2</sub>	$R^2$	P (%)
	50	316,7148	20,0940	61,8807	1,8351	0,9995	2,54
	60	200,5412	15,7642	50,6230	1,6300	0,9997	1,85
	70	173,3772	13,2528	51,4125	1,3630	0,9992	3,09

Constata-se que os dados experimentais de adsorção de água foram bem ajustados por todos os modelos testados (GAB, Oswin e Peleg), tendo em vista que apresentaram coeficientes de determinação acima de 0,99 e desvios percentuais médios abaixo de 5,02%, podendo ser utilizados para prever as isotermas de adsorção do pó de cumbeba.

O modelo que apresentou os melhores ajustes para as isotermas do pó de cumbeba, obtido na secagem em camada de espuma, com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, foi o de Peleg, com os maiores valores de coeficiente de determinação ( $R^2 > 0,999$ ) e menores desvios percentuais médios (P entre 3,09 e 1,85), para as temperaturas de 50 e 60 °C. Quanto aos parâmetros do modelo, ( $k_1$ ,  $n_1$ ,  $k_2$  e  $n_2$ ), estes apresentaram um decréscimo de seus valores, conforme aumentou a temperatura de secagem. Silva et al. (2015b) estudando as isotermas de umbu-cajá, também, relataram o modelo de Peleg como o que melhor ajustou os dados experimentais.

Constata-se que o modelo de GAB apresentou o maior  $R^2$  e menor P (%) para a temperatura de 70 °C. Verifica-se para o modelo de GAB, que o teor de água na monocamada do pó de cumbeba secado em camada de espuma, diminuiu da temperatura de 50 para 60 °C, voltando a aumentar na temperatura de 70 °C, bem como os valores do parâmetro C. Fabra et al. (2011) determinando isotermas de adsorção de pó de noni, constataram também que o modelo de GAB descreveu melhor o comportamento higroscópico das amostras.

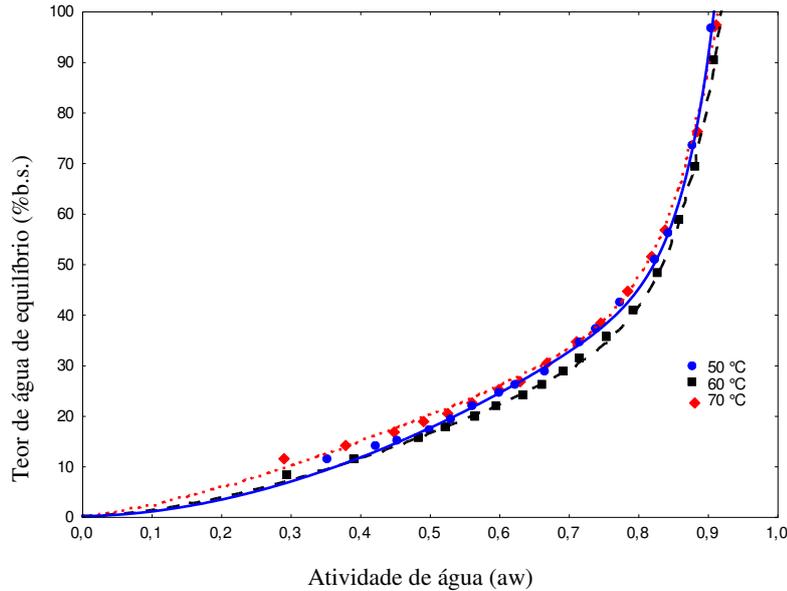
Segundo Park et al. (2008) os valores da monocamada molecular de água, tem relação com as reações químicas que determinam a deterioração dos materiais biológicos, através das áreas expostas da matriz sólida.

Segundo Goula et al. (2008) a quantidade de água na monocamada determina, a uma dada temperatura, a estabilidade e as perdas mínimas de qualidade do alimento, de forma que abaixo de certo valor as taxas de reações de deterioração, exceto oxidação de gorduras insaturadas, são mínimas. O aumento da teor de água na monocamada com aumento da temperatura não é comum a todos os alimentos. Tal comportamento pode ser explicado em certas amostras onde, conforme 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.

Com base na classificação de Blahovec, (2004), é possível afirmar que as isotermas do pó de cumbeba secados em camada de espuma, nas três temperaturas (50, 60, 70 °C), se classificam como do tipo II, pois estas apresentaram valores de  $0 < K \leq 1$  e  $C > 2$ .

O modelo de Oswin também apresentou bons ajustes, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) acima de 0,99, com os valores de A sem comportamento definido e os valores de B diminuindo com a elevação da temperatura.

Na Figura 4.6 são apresentadas as isotermas de adsorção de água a 25 °C do pó de cumbeba obtido na secagem em camada de espuma nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, representadas pelo modelo de Peleg ajustado aos dados experimentais. Em relação às temperaturas, verifica-se que as isotermas apresentaram comportamento muito semelhante, refletindo a pouca diferença entre os dados experimentais.



**Figura 4.6** – Isotermas de adsorção de água a 25 °C dos pós de cumbeba obtidos na secagem em camada de espuma com espessura de 1,5 cm com ajustes ao modelo de Peleg

#### 4.6.4 – Isotermas de adsorção de água do pó de cumbeba liofilizado

Na Tabela 4.41 apresentam-se os valores dos modelos de GAB, Peleg e Oswin ajustados aos dados experimentais de adsorção de água a 20, 30 e 40 °C, do pó de cumbeba obtido por liofilização, com os respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvios percentuais médios (P).

Constata-se um bom ajuste de todos os modelos (GAB, Peleg e Oswin) aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água, com  $R^2 \geq 0,995$  e  $P \leq 4,25\%$  podendo ser utilizados para prever as isotermas de adsorção do pó de cumbeba obtido por liofilização. Entretanto, o modelo de Peleg apresentou, nas temperaturas de 20 e 30 °C, os menores desvios percentuais médios e os maiores  $R^2$ .

No modelo de Peleg, os valores de  $k_1$  e  $n_1$  apresentaram um elevado aumento conforme aumentou a temperatura, voltando a decrescer na temperatura mais alta, enquanto que  $k_2$  e  $n_2$  apresentaram comportamento inverso; Os valores de  $R^2$  acima de 0,998 e de P menores que 3,4% do modelo de Peleg configuram ajustes satisfatórios conforme Lomauro et al. (1985), segundo os quais erros médios relativos (P) inferiores a 10% indicam um bom ajuste do modelo aos dados experimentais.

**Tabela 4.41** – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água a 20, 30 e 40 °C dos pós de cumbeba obtidos por liofilização

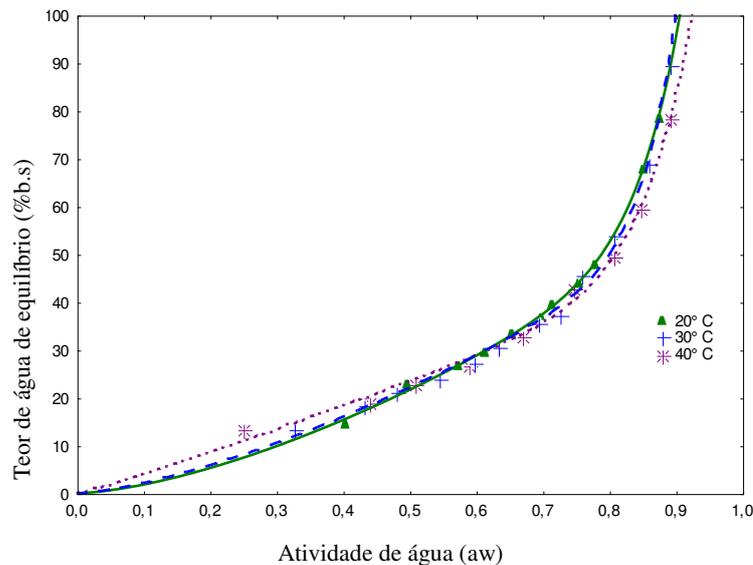
Modelo	Temp. (°C)	Parâmetro			$R^2$	P (%)	
		$X_m$	C	K			
GAB	20	12,4289	9,4417	0,9673	0,9988	3,53	
	30	10,6283	23,6900	0,9930	0,9984	4,25	
	40	11,9100	27,6218	0,9518	0,9990	3,12	
	Temp. (°C)	A	B	$R^2$	P (%)		
Oswin	20	20,7731	0,6866	0,9990	3,11		
	30	19,2071	0,7497	0,9957	7,12		
	40	21,8052	0,6003	0,9990	2,5		
	Temp. (°C)	$k_1$	$n_1$	$k_2$	$n_2$	$R^2$	P (%)
Peleg	20	185,5740	14,2144	62,9086	1,5424	0,9998	1,47
	30	303,6559	17,4978	60,4887	1,4510	0,9989	3,84
	40	50,0765	1,0940	140,9008	12,3821	0,9988	3,17

O modelo de Oswin representou melhor ajuste na temperatura de 40 °C e os parâmetros A e B apresentaram comportamento indefinido com o aumento da temperatura, porém os valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P%) indicaram um bom ajuste. Moreira et al. (2013) observaram  $R^2$  superiores a 0,99 ao adotar o modelo de Oswin na determinação das isotermas de adsorção de pó de manga liofilizada. No entanto, Paglarini et al. (2013) relataram valores dos parâmetros A, B,  $R^2$  inferiores ao desta pesquisa para modelo de Oswin na mesma faixa de temperatura (40 °C) em pó de manga vc. Manteiga.

Observa-se para os parâmetros do modelo de GAB que o parâmetro do teor de água da monocamada molecular ( $X_m$ ) apresentou, de maneira geral, um decréscimo nos valores de acordo com o aumento da temperatura. O parâmetro C aumentou com a elevação da temperatura, enquanto o K não apresentou um comportamento definido com a temperatura, mas apresentou valores inferiores a 1. De acordo com a classificação de Blahovec (2004) as isotermas dos pós de cumbeba liofilizados foram classificadas como Tipo II, por ter apresentado  $0 < k \leq 1$  e  $0 \leq C > 2$ . O mesmo foi observado por Lins et al. (2017), onde as

isotermas do pó de seriguela tiveram comportamento sigmoidal do tipo II, com o modelo de Peleg detendo, em todas as temperaturas (20, 30 e 40 °C) os melhores ajustes aos dados experimentais com coeficientes de determinação superiores a 0,99 e desvios percentuais médios inferiores a 2,0%.

Na Figura 4.7, tem-se a representação das isotermas de adsorção de água do pó de cumbeba liofilizado nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, ajustadas pelo modelo de Peleg, onde constata-se que as curvas ficaram sobrepostas, indicando higroscopiedades semelhantes.



**Figura 4.7** – Isotermas de adsorção de água a 20, 30 e 40 °C dos pó de cumbeba obtidos na liofilização com ajustes ao modelo de Peleg

Observa-se no início da isoterma de adsorção de água do pó de cumbeba que nas  $a_w$  entre 0,1 a 0,4, houve um pequeno aumento do teor de água para um grande aumento da  $a_w$ , indicando que o pó de cumbeba foi menos higroscópico nesta fase. Na parte da curva entre 0,4 e 0,9 de  $a_w$  percebe-se um aumento considerável do teor de água. De acordo com Pereira et al. (2006) esta evolução é característica de produtos polares de alta energia de ligação que podem estar localizados nas partículas do pó de cumbeba. A presença de compostos solúveis, como os açúcares redutores (38,25%) e da maior porosidade do pó de cumbeba provavelmente estão relacionados com a alta higroscopicidade na última fase da isoterma de adsorção.

#### 4.6.5 – Isotermas de adsorção de água do melhor pó de cumbeba obtido na secagem em camada de espuma

Na Tabela 4.42 têm-se os valores dos parâmetros dos modelos de GAB, Peleg e Oswin ajustados aos dados experimentais de adsorção de água a 30, 40 e 50 °C do pó de cumbeba obtido na secagem em camada de espuma a 70 °C e 1,5 cm de espessura, bem como os respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P%).

**Tabela 4.42** – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P%) dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água a 20, 30 e 40 °C dos pós de cumbeba obtidos na secagem em camada de espuma a 70 °C e 1,5 cm de espessura

Modelo	Temp. (°C)	Parâmetros			$R^2$	P (%)	
		$X_m$	C	K			
GAB	20	12,4806	4,4631	0,9445	0,9991	3,02	
	30	11,6800	11,0627	0,9577	0,9995	1,80	
	40	11,4975	15,2166	0,9712	0,9999	0,83	
Oswin	Temp. (°C)	A	B	$R^2$	P (%)		
	20	19,0916	0,6534	0,9992	2,89		
	30	20,0905	0,6446	0,9992	2,78		
	40	20,0179	0,6806	0,9984	3,79		
Peleg	Temp. (°C)	$k_1$	$n_1$	$k_2$	$n_2$	$R^2$	P (%)
	20	117,5020	10,7589	48,8151	1,3271	0,9990	3,63
	30	134,2444	10,9286	46,4876	1,1249	0,9992	3,31
	40	153,6964	10,1294	42,2362	0,9427	0,9991	2,83

É possível observar que os modelos testados podem ser utilizados para prever as isotermas de adsorção de água do pó de cumbeba, nas temperaturas de 20, 30 e 40° C, com valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) dos modelos acima de 0,998 e desvios percentuais médios (P%) abaixo de 3,79. De acordo com o modelo de GAB, verifica-se que o teor de água na monocamada ( $X_m$ ) diminuiu com o aumento da temperatura, enquanto que os parâmetros C e K aumentaram, com os valores de k inferiores a 1.

De acordo com a classificação de Blahovec (2004), as isotermas do pó de cumbeba, obtida na secagem em camada de espuma a 70 °C e com espessura da camada de espuma

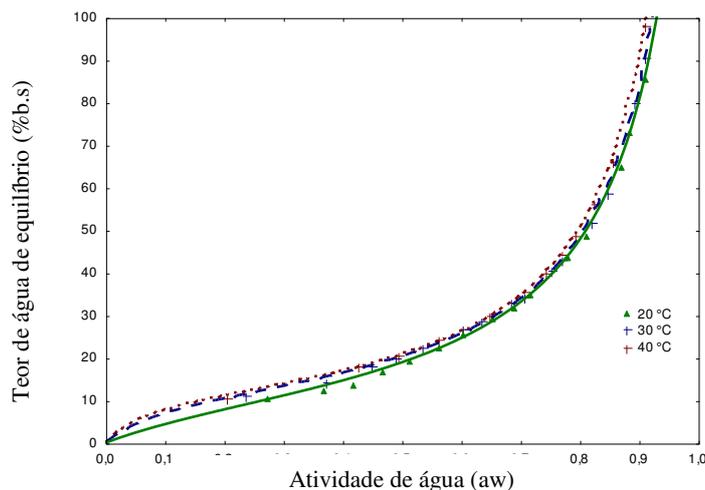
de 1,5 cm, se classificam como do tipo II, em razão de terem apresentado valores de  $0 < K \leq 1$  e  $C > 2$ .

Quanto ao modelo de Oswin, este se ajustou de forma satisfatória aos dados experimentais, com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) maiores que 0,99 na temperatura de 20 °C. Os parâmetros A e B apresentaram comportamentos indefinidos com o aumento da temperatura.

O modelo de Peleg apresentou bons ajustes aos dados experimentais das isotermas do pó de cumbeba obtido por secagem em camada de espuma. O parâmetro  $k_1$  aumentou com a elevação da temperatura, enquanto  $n_1$  sofreu um aumento entre 20 e 30 °C, voltando a diminuir na temperatura de 40 °C. O  $k_2$  e o  $n_2$  decresceram com a elevação da temperatura.

O modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais do pó da secagem em camada de espuma foi o de GAB nas temperaturas de 30 e 40 °C por apresentar os maiores coeficientes de determinação ( $R^2 > 0,999$ ) e os menores desvios percentuais médios ( $P \leq 3,02\%$ ). O modelo GAB também foi o que melhor ajustou as isotermas de adsorção nos trabalhos de Caparino et al. (2013), em pó de manga cv. Carabao; Bezerra et al. (2010) nos pós das polpas de manga cv. Coité e cv. Espada; Bezerra et al. (2011) nos pós das polpas de manga cv. Rosa e cv. Tommy Atkins; e Melo et al. (2011) em polpa de buriti.

Na Figura 4.8 são apresentadas as isotermas de adsorção de água, a 20, 30 e 40 °C, do pó de cumbeba da secagem em camada de espuma a 70 °C e 1,5 cm de espessura com o modelo de GAB ajustado aos dados experimentais.



**Figura 4.8** – Isotermas de adsorção de água a 20, 30 e 40 °C dos pós de cumbeba obtidos na secagem em camada de espuma a 70 °C e com 1,5 cm espessura com ajustes com o modelo de GAB

Verifica-se na temperatura de 20 °C algum distanciamento das curvas das demais temperaturas nas atividades de água mais baixas, aproximando-se gradativamente com o aumento destas, enquanto que as isotermas a 30 e 40 °C mantiveram-se sobrepostas desde o início, indicando uma proximidade nos comportamentos higroscópicos.

#### 4.7 – Armazenamento do melhor pó de cumbeba obtido na secagem em camada de espuma

O melhor pó de cumbeba obtido pelo método de secagem em camada de espuma (70 °C e 1,5 cm de espessura da camada da espuma) foi armazenado em duas temperaturas (30 e 40 °C) e umidade relativa de 83% durante 90 dias, sendo avaliado a cada 15 dias quanto aos parâmetros de atividade de água, teor de água, acidez total titulável, pH, ácido ascórbico, cor, flavonoides, betaxantinas e solubilidade.

##### 4.7.1 – Atividade de água ( $a_w$ )

Têm-se na Tabela 4.43, os valores médios da atividade de água ( $a_w$ ) dos pós de cumbeba armazenados sob diferentes condições de temperatura e umidade relativa de 83%.

**Tabela 4.43** – Valores médios da atividade de água ( $a_w$ ) dos pós de cumbeba obtidos na secagem em camada de espuma a 70 °C e 1,5 cm de espessura em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa média de 83%

Tempo de armazenamento (dias)	Temperatura de armazenamento (°C)	
	30	40
0	0,176±0,01 eA	0,176±0,01 eA
15	0,221±0,01 dB	0,318±0,06 dA
30	0,241±0,01 dB	0,331±0,04 cdA
45	0,284±0,01 cB	0,363±0,01 cA
60	0,339±0,01 bB	0,442±0,00 bA
75	0,343±0,00 bB	0,445±0,01 bA
90	0,439±0,04 aB	0,482±0,00 aA

DMS para colunas = 0,03; DMS para linhas = 0,02; MG = 0,33; CV = 7,58% DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A atividade de água das amostras aumentou significativamente ao longo do armazenamento para ambas as condições de temperaturas avaliadas. Durante os 90 dias de armazenamento, houve um incremento de aproximadamente 149% na atividade de água das amostras submetidas à temperatura de 30 °C; para as amostras mantidas a 40 °C, este aumento foi superior a 173%. O aumento desta variável está diretamente relacionado ao processo de absorção de água pelo pó no período de armazenamento.

Resultados semelhantes foram relatados em vários estudos para diferentes tipos de pós de frutas: Galdino et al. (2016a) observaram ao final dos 40 dias de avaliação, o aumento da  $a_w$  do figo-da-índia em pó, em torno de 115% e 148%, para as temperaturas de armazenamento de 25 e 40 °C, respectivamente; Santos et al. (2016b) obtiveram o incremento para o umbu-cajá em pó formulado com diferentes concentrações de goma arábica (10, 20 e 30%), atingindo ao final dos 180 dias de armazenamento os valores percentuais da  $a_w$  de 71,1, 139,9 e 206,5%, respectivamente. Oliveira et al. (2015) reportaram que o mandacaru em pó apresentou o acréscimo da  $a_w$  de 11,5 e 10,03%, em função das formulações de dextrose (10 e 14%), durante 50 dias de armazenamento.

Os pós de cumbeba armazenado na temperatura de 40 °C apresentaram maior atividade de água em relação à de 30 °C já a partir dos 15 dias de avaliação, permanecendo com os valores superiores até período final de armazenamento; tal fato indica que o aumento da temperatura influenciou significativamente na atividade de água dos pós armazenados, tornando mais rápido o processo de absorção de água pelas amostras. De acordo com Endo et al. (2007) a absorção de água pelo produto está condicionada a fatores como: o tempo de exposição, a teor de água relativa e a temperatura do ambiente, sendo a absorção acentuada em temperaturas mais elevadas devido ao fato da permeabilidade das embalagens aumentar com a temperatura.

Lisbôa et al. (2012) ao armazenarem o figo-da-índia em pó, também relataram que houve o incremento da atividade de água das amostras em função do aumento da temperatura de armazenamento.

Os valores máximos obtidos ao final do armazenamento de 0,439 e 0,482, para os pós de cumbeba submetidos às temperaturas de 30 e 40 °C, respectivamente, encontram-se numa faixa de atividade de água considerada segura, pois, de acordo com Melo Filho e Vasconcelos (2011) a velocidade de crescimento dos microrganismos diminui com a menor atividade de água, podendo até sofrer paralisação completa em atividade de água inferior a 0,6.

#### 4.7.2 – Teor de água

Os teores de água dos pós de cumbeba armazenados sob diferentes condições de temperaturas e umidade relativa média de 83%, encontram-se na Tabela 4.44.

**Tabela 4.44** – Valores médios do teor de água (%) dos pós de cumbeba obtidos na secagem em camada de espuma a 70 °C e 1,5 cm de espessura em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa média de 83%

Tempo de armazenamento (dias)	Temperatura de armazenamento (°C)	
	30	40
0	7,32±0,33 dA	7,32±0,33 dA
15	9,24±0,31 cA	9,23±0,48 dA
30	9,35±0,87 cB	10,30±0,49 cA
45	9,77±0,62 cB	12,06±0,53 bA
60	11,02±0,67 bB	12,17±0,77 bA
75	11,53±0,32 abB	12,86±0,86 abA
90	12,06±0,50 aB	13,57±0,87 aA

DMS para colunas = 0,84; DMS para linhas = 0,55; MG = 10,56; CV = 5,62% DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A análise deste parâmetro indica que os pós de cumbeba sofreram uma elevação em função do período de armazenamento, registrando no tempo inicial um valor médio de 7,32% e atingindo ao final do armazenamento teores de 12,06 e 13,57% para as condições de temperatura de 30 e 40 °C, o que representa aumento percentuais de 65 e 85%, respectivamente. A temperatura de armazenamento também influenciou significativamente no processo de absorção de água das amostras, constatando-se que os maiores índices deste parâmetro foram obtidos para os pós de cumbeba acondicionados a 40 °C.

Os pós de cumbeba armazenados a 30 °C apresentou teores de água inferiores aos obtidos para as amostras armazenadas na temperatura de 40 °C, exceto aos 15 dias de armazenamento em que se mantiveram em igualdade estatística. A partir dos 30 dias de armazenamento, os teores de água das amostras acondicionadas a 40 °C foram superiores

até o período final (90 dias de avaliação), diferindo estatisticamente com relação às médias obtidas para as amostras submetidas a 30 °C. A elevação do teor de água dos pós de cumbeba pode está associada ao tipo de embalagem utilizado, que possivelmente não tenha sido uma barreira eficiente ao oxigênio e ao vapor d'água, em virtude de prováveis oscilações da temperatura e da alta umidade do ambiente de armazenamento.

Comportamento similar foi reportado por Breda et al. (2012), ao verificarem que houve maior absorção de água para amostra de guabira (*Campomanesia adamantium*) em pó submetida ao armazenamento acelerado (35 °C e 90% UR), aumentando cerca de 4,7 vezes em comparação ao produto no tempo zero, enquanto que sob as condições ambiente de 25 °C e 75% UR, esse aumento foi de cerca de 2,5 vezes.

Lisbôa et al. (2012) reportaram resultado divergente, em que, de acordo com os autores, a temperatura de armazenamento não influenciou de forma perceptível na absorção de água das amostras de figo-da-índia em pó, as quais permaneceram estatisticamente iguais durante a maior parte do período de avaliação.

De acordo com os resultados obtidos neste estudo, é possível observar que, apesar dos teores de água terem aumentado em função do tempo e da temperatura de armazenamento, as amostras analisadas permaneceram dentro dos padrões exigidos pela legislação brasileira, RDC 272 de 22 de setembro de 2005 (BRASIL, 2005a), para produtos de frutas secos ou desidratados, cujo valor máximo deve ser inferior a 25%.

#### **4.7.3 – Acidez total titulável (ATT)**

Os valores médios da acidez total titulável dos pós de cumbeba obtidos por secagem em camada de espuma, submetidos ao armazenamento nas temperaturas de 30 e 40 °C e umidade relativa de 83%, encontram-se na Tabela 4.45.

**Tabela 4.45** – Valores médios da acidez total titulável (% ácido cítrico) dos pós de cumbeba obtidos na secagem em camada de espuma a 70 °C e 1,5 cm de espessura em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%

Tempo de armazenamento (dias)	Temperatura de armazenamento (°C)	
	30	40
0	3,58±0,06 aA	3,58±0,06 aA
15	3,57±0,10 aA	3,54±0,07 abA
30	3,52±0,15 abA	3,53±0,10 abA
45	3,50±0,02 abA	3,45±0,06 bcA
60	3,48±0,02 abA	3,41±0,04 cA
75	3,44±0,15 bA	3,38±0,03 cA
90	3,42±0,03 bA	3,37±0,02 cA

DMS para colunas = 0,11; DMS para linhas = 0,07; MG = 3,48; CV = 2,23% DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Pode-se observar que o maior teor de acidez dos pós de cumbeba (3,58 % ácido cítrico) foi medida na fase inicial do armazenamento, ocorrendo reduções ao longo do tempo nas duas temperaturas de armazenamento utilizadas. Lisbôa et al. (2012) também observaram comportamento semelhante ao armazenarem o figo-da-índia em pó sob condições controladas de temperatura e teor de água relativa, cujo valor inicial foi de 1,25%, inferior, portanto, ao encontrado neste estudo.

A redução dos teores de acidez total titulável (ATT) das amostras de cumbeba em pó, em decorrência do período de armazenamento, pode ser atribuída ao processo de absorção de água pelos pós ao longo do armazenamento e consequente diluição dos ácidos orgânicos. Alexandre et al. (2014), também, verificaram a redução deste parâmetro ao realizarem o armazenamento de pitanga em pó, seca em camada de espuma, acondicionada em embalagem flexível multifolhada (PET/PP), durante 60 dias em condições ambiente.

Observa-se ainda, que as temperaturas de armazenamento utilizadas (30 e 40 °C) promoveram uma redução gradual do teor de acidez das amostras, lenta o suficiente para apresentar igualdade estatística entre períodos subsequentes de armazenamento, de modo que não houve influência direta da temperatura sobre a acidez titulável dos pós de cumbeba.

A amostra armazenada a 30 °C manteve-se estatisticamente estável durante os 60 dias iniciais do armazenamento. Após este período, só houve uma redução estatisticamente significativa aos 75 em relação aos 15 dias iniciais, permanecendo estatisticamente inalterada dos 60 até o período final de armazenamento, totalizando uma redução do teor em torno de 4,5%.

Os pós armazenados na temperatura de 40 °C apresentou uma redução mais acentuada para o teor de acidez; a partir dos 45 dias de armazenamento mantendo-se estatisticamente estável a partir de então, com uma redução percentual da acidez de 5,9% no período final de armazenamento.

No final do armazenamento, os valores de acidez de 3,42 e 3,37%, para as temperaturas de 30 e 40 °C, respectivamente, foram superiores aos resultados reportados por Galdino et al. (2016a), que obtiveram os teores de 0,33 e 0,32% para o figo-da-índia em pó armazenado por 40 dias em condições controladas de umidade relativa (83%) e temperatura (25 e 40 °C), respectivamente.

#### 4.7.4 – pH

Na Tabela 4.46, tem-se os valores do pH dos pós de cumbeba obtidos na secagem em camada de espuma, submetidos ao armazenamento nas temperaturas de 30 e 40 °C e umidade relativa de 83%.

**Tabela 4.46** – Valores do pH dos pós de cumbeba obtidos na secagem em camada de espuma a 70 °C e 1,5 cm de espessura em função do tempo e temperatura de armazenamento

Tempo de armazenamento (dias)	Temperatura de armazenamento (°C)	
	30	40
0	4,18±0,03	4,18±0,03
15	4,22±0,05	4,28±0,03
30	4,24±0,02	4,26±0,03
45	4,28±0,01	4,30±0,01
60	4,34±0,02	4,37±0,02
75	4,38±0,01	4,40±0,02
90	4,42±0,01	4,43±0,01

Verifica-se que o menor valor do pH de 4,18, foi obtido no período inicial de armazenamento, sendo inferior ao valor reportado por Oliveira et al. (2015) que foi de aproximadamente 4,5, para o fruto do mandacaru em pó formulado com diferentes concentrações de dextrose e, ao pH de 4,78 determinado por Breda et al. (2012) para a gabioba em pó obtida por secagem camada de espuma, armazenada em ambientes controlados.

Pode-se observar que o pH das amostras armazenadas nas temperaturas de 30 e 40 °C apresentaram comportamento semelhante com tendência de aumento com o tempo de armazenamento. Esse comportamento era esperado devido à redução de acidez das amostras ao longo do armazenamento e que são parâmetros físico-químicos caracterizados por apresentarem comportamento inverso. Alexandre et al. (2014), também verificaram o aumento dos valores do pH da pitanga em pó durante os 60 dias de armazenamento.

No final do armazenamento, foram obtidos valores de pH de 4,42 e 4,43, para os pós de cumbeba armazenados nas temperaturas de 30 e 40 °C, nesta ordem. De acordo com a classificação de Franco e Landgraf (2008), estas amostras são consideradas ácidas ( $\text{pH} \leq 4,5$ ), ou seja, são restritivas para o desenvolvimento de microrganismos.

Apesar de ser considerada pequena a variação entre as temperaturas avaliadas, verifica-se que o pó mantido sob a temperatura de 40 °C apresentou valores superiores para este parâmetro durante o armazenamento, provavelmente o aumento da temperatura pode ter contribuído no processo de alteração da amostra, pois, de acordo com o Instituto Adolfo Lutz (2008) o aumento do pH é uma indicação de que a amostra estava em processo de decomposição por hidrólise ou oxidação ou fermentação, os quais alteram a concentração dos íons de hidrogênio e, por consequência, sua acidez.

#### **4.7.5 – Ácido ascórbico**

Na Tabela 4.47, têm-se os valores médios do ácido ascórbico dos pós de cumbeba armazenados em diferentes condições de temperatura e umidade relativa de 83% durante o período de 90 dias.

**Tabela 4.47** – Valores médios do ácido ascórbico (mg/100 g) dos pós de cumbeba obtidos na secagem em camada de espuma a 70 °C e 1,5 cm de espessura em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%

Tempo de armazenamento (dias)	Temperatura de armazenamento (°C)	
	30	40
0	47,95±1,94 aA	47,95±1,94 aA
15	38,70±1,66 bA	39,63±2,47 bA
30	38,65±1,02 bA	37,97±1,09 bcA
45	36,59±1,02 bcA	37,08±0,52 cA
60	34,96±1,87 cdA	33,16±2,23 dB
75	33,16±2,23 dA	30,01±1,12 eB
90	29,43±1,02 eA	29,12±0,54 eA

DMS para colunas = 2,27; DMS para linhas = 1,50; MG = 36,74; CV = 4,36% DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O teor de ácido ascórbico sofreu uma redução progressiva em função do período de armazenamento. Conegero et al. (2017a) avaliando a estabilidade da polpa de mangaba em pó obtida por liofilização, acondicionada em embalagens laminadas e plásticas, com e sem vácuo, durante 90 dias de armazenamento em temperatura ambiente, também relataram a degradação do ácido ascórbico ao longo do armazenamento.

Oliveira et al. (2015) ao avaliarem a estabilidade da polpa do fruto de mandacaru em pó formulado com diferentes concentrações de dextrose durante 50 dias de armazenamento, verificaram que a quantidade de ácido ascórbico apresentou uma tendência de redução entre o tempo inicial e o tempo final, atingindo perdas de 23,41% (DE = 10) e 26,58% (DE = 14). Este comportamento foi similar ao determinado neste estudo, embora tenham sido constatadas reduções superiores, de 38,6% e 39,2%, para as condições de armazenamento nas temperaturas de 30 e 40 °C, respectivamente.

De modo geral, observa-se que os menores conteúdos de ácido ascórbico foram obtidos para nas amostras armazenadas sob a temperatura de 40 °C, exceto nos períodos de 15 e 45 dias de avaliação, onde os valores deste parâmetro foram iguais aos das amostras acondicionadas a 30 °C. Pode-se dizer, portanto, que o aumento da temperatura de armazenamento no nível empregado não exerceu um efeito negativo sobre o teor de ácido

ascórbico dos pós de cumbeba. A redução nos teores de ácido ascórbico pode estar relacionada à absorção de água durante o armazenamento. Além do efeito da diluição do ácido ascórbico, Juliano et al. (2014) ressaltam que o aumento do teor de água dos alimentos ao longo do armazenamento pode acelerar a oxidação do ácido ascórbico.

No final do armazenamento, aos 90 dias, o valor médio geral do ácido ascórbico dos pós de cumbeba, em torno de 29,0 mg/100 g, pode ser considerado elevado, correspondendo aproximadamente mais da metade da necessidade diária de vitamina C que deve ser ingerida por um adulto, de acordo com a Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005 (BRASIL, 2005b), onde consta que a ingestão diária recomendada desta vitamina é de 45 mg para adultos.

#### **4.7.6 – Cor**

A cor dos pós de cumbeba submetidos as diferentes temperaturas de armazenamento e umidade relativa de 83% foram avaliados por meio dos parâmetros L\*, +a\* e +b\* durante 90 dias.

##### **4.7.6.1 – Luminosidade (L\*)**

O parâmetro L\* indica a luminosidade, diferenciando cores claras de escuras; seu valor varia de zero para cores escuras (preto) a 100 para cores claras (branco); os valores médios da luminosidade L\* das amostras são apresentados na Tabela 4.48.

**Tabela 4.48** – Valores médios da luminosidade (L\*) dos pós de cumbeba obtidos na secagem em camada de espuma a 70 °C e 1,5 cm de espessura em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%

<b>Tempo de armazenamento (dias)</b>	<b>Temperatura de armazenamento (°C)</b>	
	<b>30</b>	<b>40</b>
<b>0</b>	54,25±1,09 aA	54,25±1,09 aA
<b>45</b>	52,34±0,29 bA	49,79±0,34 bB
<b>60</b>	51,31±0,65 bA	48,91±0,83 bB
<b>75</b>	49,71±0,56 cA	47,19±1,00 cB
<b>90</b>	48,20±0,35 dA	46,50±0,57 cB

DMS para colunas = 1,14; DMS para linhas = 0,82; MG = 50,25; CV = 1,73% DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Observa-se, ao longo do armazenamento, a tendência de redução dos valores de luminosidade das amostras, para ambas as condições de temperaturas avaliadas, demonstrando o escurecimento progressivo das amostras em função do tempo, atingindo um percentual de redução ao final dos 90 dias, com relação ao tempo inicial, de 11,1 e 14,3% para as condições de 30 e 40 °C, respectivamente. Liu et al. (2010) ao avaliarem a qualidade do tomate em pó armazenado em diferentes condições de temperaturas (0, 25 e 37 ° C) durante 5 meses, observaram que ocorreu a diminuição do parâmetro L, independentemente da temperatura e do tempo de armazenamento.

Pode-se observar, a partir dos 45 dias de avaliação, que as luminosidades dos pós de cumbeba armazenados a 40 °C foram estatisticamente inferiores às dos pós submetidos a temperatura de 30 °C, ou seja, as amostras acondicionadas a 40 °C apresentaram maior escurecimento, indicando a influência da temperatura sobre o parâmetro L\*. Possivelmente, o aumento da atividade de água durante o período de armazenamento ocasionou reações oxidativas que intensificaram o escurecimento destas amostras.

Conforme descrito por Fellows (2006), a taxa de escurecimento em produtos de frutas armazenados depende da atividade de água do alimento e da temperatura de armazenamento e aumenta consideravelmente quando o teor de água do produto é maior que 4 a 5% b.u.

Resultado similar foi reportado por Lisbôa et al. (2012) ao verificarem uma maior redução da luminosidade para o figo-da-índia em pó sob condições controladas de temperatura e teor de água relativa, em relação ao aumento da temperatura de armazenamento.

#### **4.7.6.2 – Intensidade de vermelho (+a\*)**

Os valores médios da intensidade de vermelho (+a\*) das amostras de cumbeba em pó armazenadas em diferentes temperaturas e umidade relativa de 83% durante 90 dias, encontram-se na Tabela 4.49.

**Tabela 4.49** – Valores médios da intensidade de vermelho (+a\*) dos pós de cumbeba obtidos na camada de espuma a 70 °C e 1,5 cm de espessura em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%

Tempo de armazenamento (dias)	Temperatura de armazenamento (°C)	
	30	40
0	12,13±0,04 dA	12,13±0,04 dA
45	12,22±0,06 cdB	12,61±0,17 cA
60	12,39±0,08 cB	12,66±0,15 cA
75	13,09±0,40 bB	13,67±0,22 bA
90	13,66±0,16 aB	14,04±0,20 aA

DMS para colunas = 0,24; DMS para linhas = 0, 17; MG = 12,86; CV = 1,41% DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A intensidade de vermelho das amostras aumentou consideravelmente em função do tempo. Esta elevação foi diretamente proporcional à condição de armazenamento, onde os maiores valores foram observados nas amostras acondicionadas a 40 °C, cujo valor máximo foi de 14,04 no período final de avaliação.

Conegero et al. (2017b) ao avaliarem a estabilidade do pó da polpa de mangaba, também relataram a tendência de aumento da intensidade de vermelho das amostras ao longo do armazenamento. Contrariamente, Costa et al. (2013) verificaram que não houve alterações significativas para o parâmetro a\*, de modo que a coloração do maracujá em pó mantido sob temperatura ambiente ( $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ), permaneceu estável durante 360 dias de armazenamento.

Verifica-se, a partir dos 60 e 45 dias de avaliação, nas temperaturas de 30 e 40° C, respectivamente, que os valores do parâmetro +a\* dos pós de cumbeba sofreram um acréscimo em ambas as temperaturas utilizadas, diferindo estatisticamente aos 75 dias e ao final do armazenamento. Observa-se ainda, que os valores deste parâmetro foram estatisticamente superiores para o pós de cumbebas armazenado a 40 °C em relação aos pós submetidos a temperatura de 30 °C. O aumento da intensidade de vermelho observado na amostra a 40 °C, provavelmente, ocorreu devido ao processo de escurecimento que foi mais acentuado para esta amostra durante o período de armazenamento, tornando os pós de cumbeba com uma coloração mais avermelhada.

Ao final do armazenamento, os pós de cumbeba produzidos neste estudo apresentaram valores inferiores de intensidade de vermelho aos reportados por Oliveira et al. (2015) que ao analisarem a estabilidade da polpa do fruto de mandacaru em pó formulada com maltodextrina, com diferentes dextroses equivalente (10 e 14), durante 50 dias de armazenamento em condições controladas (25 °C e umidade relativa de 57,7%), em que foram determinados os valores para +a\* de 15,44 e 18,73, respectivamente; no entanto, estes valores foram superiores aos relatados por Galdino et al. (2016a) ao avaliarem a estabilidade da polpa de figo-da-índia em pó armazenada em condições controladas de umidade relativa (83%) e temperatura (30 e 40 °C) por um período de 40 dias, encontraram os valores de +a\* de 6,79 e 7,27, para as condições de temperaturas de 25 e 40 °C, respectivamente.

#### 4.7.6.3 – Intensidade de amarelo (+b\*)

Têm-se na Tabela 4.50, os valores médios da intensidade de amarelo (+b\*) dos pós de cumbeba submetidos às diferentes condições de temperatura e umidade relativa de 83% ao longo do armazenamento.

**Tabela 4.50** – Valores médios de intensidade de amarelo (+b\*) dos pós de cumbeba obtidos na secagem em camada de espuma a 70 °C e 1,5 cm de espessura em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%

Tempo de armazenamento (dias)	Temperatura de armazenamento (°C)	
	30	40
0	44,92±0,81 aA	44,92±0,81 aA
45	41,84±0,29 bA	41,96±0,26 bA
60	40,87±0,37 cA	40,44±0,38 cA
75	38,20±1,47 dB	38,96±0,83 dA
90	36,76±0,40 eA	36,85±0,36 eA

DMS para colunas = 0,92; DMS para linhas = 0,65; MG = 40,57; CV = 1,72% DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Pode-se observar que os valores médios do parâmetro (+b\*) tenderam ao declínio, correndo em ambas as condições de temperaturas avaliadas. Santos et al. (2016b), também constataram a redução da intensidade de amarelo (b\*) para todas amostras de umbu-cajá em pó formuladas com diferentes concentrações de goma arábica (10, 20 e 30%) durante o período de 180 dias de armazenamento. De acordo com estes autores, a redução da cor amarela das amostras pode estar relacionada a reações de oxidação de carotenoides.

Avaliando os valores médios da intensidade de amarelo (+b\*), verifica-se que as amostras submetidas às condições de armazenamento de 30 e 40 °C foram estatisticamente iguais durante o período correspondente a cada avaliação, exceto aos 75 dias cujos valores apresentaram diferenças estatisticamente significativas. De modo geral, pode-se observar que não houve efeito significativo para as temperaturas de armazenamento empregadas, visto que os valores médios de intensidade de amarelo (+b\*) obtidos foram semelhantes.

Comportamento inverso foi relatado por Lisbôa et al. (2012), ao verificarem que houve efeito estatisticamente significativo sobre a intensidade de amarelo das amostras de figo-da-índia em pó com aumento da temperatura de armazenamento.

No período final de armazenamento, aos 90 dias, os pós de cumbeba sofreram uma redução do parâmetro (+b\*) em relação ao período inicial de armazenamento, igual a 18,16 e 17,96%, para as temperaturas de armazenamento de 30 e 40 °C, respectivamente. A redução da componente +b\* pode ter ocorrido em função do aumento do teor de água durante o armazenamento, que provocou o processo de degradação dos pigmentos das amostras.

#### **4.7.7 – Flavonoides**

Os valores médios dos flavonoides determinados nos pós de cumbeba submetidos a diferentes condições de armazenamento e umidade relativa de 83% por um período de 90 dias, encontram-se na Tabela 4.51.

**Tabela 4.51** – Valores médios dos flavonoides (mg/100 g) dos pós de cumbeba obtidos na secagem em camada de espuma a 70 °C e 1,5 cm de espessura em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%

Tempo de armazenamento (dias)	Temperatura de armazenamento (°C)	
	30	40
0	100,83±3,87 eA	100,83±3,87 eA
15	116,01±3,22 dA	115,39±5,02 dA
30	121,15±6,66 cdB	129,26±1,77 cA
45	124,53±9,04 bcB	139,41±5,21 bA
60	126,84±4,90 bcB	141,72±2,95 bA
75	129,15±5,59 abB	144,04±8,78 bA
90	136,16±2,78 aB	156,72±5,25 aA

DMS para colunas = 7,54; DMS para linhas = 4,98; MG = 127,28; CV = 4,19% DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Constatou-se que ocorreu a elevação do conteúdo de flavonoides das amostras durante o período de armazenamento. Tal incremento foi diretamente proporcional ao aumento da temperatura de armazenamento, onde os maiores teores de flavonoides foram obtidos para os pós de cumbeba acondicionado a 40 °C, totalizando um aumento percentual de 55,4%, no período final de avaliação.

Comportamento semelhante foi observado por Carneiro (2011) ao verificarem aumento dos teores de flavonoides das amostras de açaí em pó orgânico, durante um período de 270 dias de armazenamento. Henríquez et al. (2013) relataram resultado divergente, ao verificarem a redução dos compostos fenólicos do pó da casca de maçã para ambas as condições armazenamento, acelerado (38 °C, 90% UR) e convencional (25, 10 e 4 °C, 60-70% de UR) durante o período de 120 dias.

Verifica-se que os valores entre as amostras armazenadas nas temperaturas de 30 e 40 °C permaneceram estatisticamente estáveis entre si até os 15 dias de avaliação. A partir dos 30 dias, ambas as amostras sofreram um aumento significativo do conteúdo de flavonoides até o período final de armazenamento, sendo esta elevação superior para o pó de cumbeba mantido sob a temperatura de 40 °C. Tal fato indica que a elevação da temperatura influenciou significativamente no conteúdo de flavonoides dos pós de cumbeba armazenados, promovendo o aumento da concentração no decorrer do período

de armazenamento. O aumento dos compostos fenólicos, pode ser devido à presença residual de compostos não-fenólicos, que não foram totalmente removidos nas extrações. Segundo Machado et al. (2008), os flavonoides são compostos relativamente estáveis, sendo resistentes a fatores, tais como: oxidação, altas temperaturas e moderadas variações de acidez.

Os teores máximos de flavonoides obtidos ao final do armazenamento de 136,16 e 156,72 mg/100 g para os pós de cumbeba submetidos às temperaturas de 30 e 40 °C, respectivamente, foram superiores aos reportados por: Costa et al. (2013), ao avaliarem a estabilidade do maracujá em pó orgânico, em que observaram o valor de 16,1 mg/100g, ao final dos 360 dias de armazenamento.

Zoric et al. (2017) ao estudarem a estabilidade dos compostos fenólicos e antioxidante da cereja em pó, encontraram valores variando entre 3,89 a 9,98 mg/100 g, para as condições de temperaturas de 4, 20 e 37 °C e embalagens PET/PPMET/PE e PET/AL/PE, ao final de 12 meses de armazenamento.

De acordo com os resultados obtidos para os teores de flavonoides, pode-se considerar os pós de cumbeba como uma boa fonte destes compostos fenólicos, demonstrando ser uma alternativa viável para o desenvolvimento e/ou melhoramento do teor nutricional em combinação com outros alimentos.

#### **4.7.8 – Betaxantinas**

O resultado do teor médio das betaxantinas dos pós de cumbeba armazenados sob diferentes condições de temperaturas e umidade relativa de 83%, apresentam-se na Tabela 4.52.

Constata-se que a partir dos 15 dias de avaliação os pós de cumbeba iniciaram o processo de perda significativa dos teores de betaxantinas até o período final de 90 dias, independente das temperaturas utilizadas.

**Tabela 4.52** – Valores médios das betaxantinas (mg/100 g) dos pós de cumbeba obtidos na secagem em camada de espuma a 70 °C e 1,5 cm de espessura em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%

Tempo de armazenamento (dias)	Temperatura de armazenamento (°C)	
	30	40
0	24,03±0,20 aA	24,03±0,20 aA
15	23,47±0,32 abA	23,82±0,26 aA
30	22,91±0,18 bcB	23,50±0,12 abA
45	22,23±0,37 cdB	23,28±0,40 abA
60	22,03±0,99 dB	22,94±1,01 bcA
75	21,54±0,93 deB	22,39±0,38 cA
90	21,02±0,64 eB	22,29±0,38 cA

DMS para colunas = 0,77; DMS para linhas = 0,51; MG = 22,82; CV = 2,39% DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Otálora et al. (2015) ao estudarem a microencapsulação de betalaínas obtidas a partir do figo-da-índia armazenado a 25 °C, verificaram que a retenção do pigmento diminuiu em função do aumento da umidade relativa (34,6, 57,6, 74,8 e 84,3%) e do tempo de armazenamento (25 dias).

Para ambas condições de temperaturas utilizadas (30 e 40 °C), houve a redução significativa do teor de betaxantinas das amostras de cumbeba em pó, sendo que esta perda foi mais acentuada para a amostra mantida a 30 °C, atingindo, ao final do armazenamento, uma redução de 12,5%. O pó de cumbeba armazenado a 40 °C, sofreu menor perda deste pigmento, totalizando uma redução final de aproximadamente 7,0%. Tal comportamento pode ser associado à redução de intensidade de amarelo já observada, que foi mais acentuada para as amostras de cumbeba em pó armazenadas a 30 °C. Segundo Azeredo (2012), durante o processamento e/ou a armazenamento, as betalaínas estão sujeitas a alguns tipos de alteração que resultam em mudança de cor.

Segundo Azeredo (2012), durante o processamento e/ou a estocagem, as betalaínas estão sujeitas a alguns tipos de alteração que resultam em mudança de cor. O conteúdo de betaxantinas reportados neste estudo, ao final dos 90 dias de armazenamento, de 21,02 e 22,29 mg/100 g, para as condições de temperaturas utilizadas (30 e 40 °C),

respectivamente, foram superiores aos valores relatados na literatura para diferentes tipos de cactáceas, como Souza (2014), que encontrou valores para este pigmento variando entre 16,0 a 19,0 mg/100g para polpa de facheiro.

Lima (2016), ao estudar o potencial antioxidante das polpas dos frutos de palma e de mandacaru, em que constatou os teores de 9,63 e 4,57 mg/100 g, nesta ordem. Entretanto, os teores encontrados neste estudo foram inferiores aos obtidos por Santos et al. (2017a) ao determinarem os conteúdos de betaxantinas de 63,5, 44,7 e 35,2 mg/100 g para as cascas de pitaias secas a 50, 60 e 70 °C, respectivamente.

Os conteúdos de betaxantinas determinados neste estudo, considerados isoladamente, demonstram que a cumbeba em pó pode ser considerada uma alternativa viável para a utilização como corante natural.

#### 4.7.9 – Solubilidade

Na Tabela 4.53, tem-se os valores médios da solubilidade dos pós de cumbeba sob diferentes condições de temperaturas (30 e 40 °C) e umidade relativa de 83% durante 90 dias de armazenamento.

**Tabela 4.53** – Valores médios da solubilidade (%) dos pós de cumbeba obtidos nasecagem em camada de espuma a 70 °C e 1,5 cm de espessura em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%

Tempo de armazenamento (dias)	Temperatura de armazenamento (°C)	
	30	40
0	52,89±0,80 aA	52,89±0,80 aA
15	52,72±2,75 aA	52,33±3,54 aA
30	50,42±1,98 abA	51,99±1,03 abA
45	47,86±5,30 abcA	49,17±2,12 abcA
60	46,85±0,49 abcA	48,95±0,61 abcA
75	46,12±3,67 bcA	45,50±4,63 bcA
90	43,51±9,34 cA	43,83±4,40 cA

DMS para colunas = 6,58; DMS para linhas = 4,33; MG = 48,93; CV = 7,68% DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Verifica-se que houve a redução da solubilidade com o decorrer do tempo de armazenamento em ambas as temperaturas avaliadas. O maior índice de solubilidade da água (52,98%) foi determinado no período inicial do armazenamento.

Sousa et al. (2016) ao avaliarem a estabilidade do suco de caju em pó desidratado em leite de jorro, também verificaram uma tendência de redução da solubilidade das amostras armazenadas em condição ambiente ao longo dos 60 dias, cujo valor máximo de solubilidade foi de aproximadamente 95%, obtido na fase inicial da avaliação, superior, portanto, ao valor determinado neste estudo.

Embora tenha ocorrido redução da solubilidade para os pós de cumbeba armazenados nas temperaturas de 30 e 40 °C, pode-se observar que não houve diferenças estatisticamente significativas entre as temperaturas utilizadas durante todo o período de avaliação. Deve-se levar em conta, neste caso, a faixa de temperatura estudada, relativamente estreita, insuficiente para acarretar diferenças.

Liu et al. (2010) verificaram que a solubilidade dos pós de tomate armazenados sob diferentes temperaturas (0, 25 e 37 ° C), durante 5 meses, sofreram uma redução estatisticamente significativa em função do tempo e das temperaturas de armazenamento utilizadas, onde as menores perdas deste parâmetro foram determinadas nas amostras armazenadas a 0 °C.

No final do armazenamento, o valor médio da solubilidade dos pós de cumbeba para as condições de temperatura de 30 e 40 °C foi de aproximadamente 44,0%, sendo caracterizados como produtos de baixa solubilidade, este fato pode estar associado ao processo de cristalização dos açúcares ocasionado pelo aumento do teor água das amostras, que conseqüentemente, contribuiu para o aumento da insolubilidade dos pós durante o armazenamento.

De modo similar ao reportado neste estudo, Krumreich et al. (2016), ao estudarem a influência do método de desidratação e da aplicação de gomas (maltodextrina e goma arábica) sobre a estabilidade dos compostos da polpa de uvaia em pó, relataram uma baixa solubilidade para o pó elaborado com maltodextrina e seco em estufa, com valor em torno de 49%. Santos (2015) ao produzir o pó de pitaiá vermelha para enriquecimento de iogurte tipo grego, encontrou que o pó encapsulado possui boa solubilidade, de aproximadamente 98%, que neste caso foi atribuída à elevada solubilidade da maltodextrina em água e a composição dos sólidos.

#### 4.8 – Armazenamento do pó de cumbeba liofilizado

O pó de cumbeba liofilizado foi armazenado em duas temperaturas (30 e 40 °C) e em umidade relativa de 83% durante 90 dias, sendo avaliado a cada 15 dias quanto aos parâmetros de atividade de água, teor de água, acidez total titulável, pH, ácido ascórbico, cor, flavonoides, betaxantinas e solubilidade.

##### 4.8.1 – Atividade de água

Na Tabela 4.54, encontram-se os valores médios da atividade de água ( $a_w$ ) da cumbeba em pó liofilizada, armazenadas sob diferentes condições de temperatura e umidade relativa de 83%.

**Tabela 4.54** – Valores médios da atividade de água ( $a_w$ ) do pó de cumbeba liofilizado em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%

Tempo de armazenamento (dias)	Temperatura de armazenamento (°C)	
	30	40
0	0,342±0,008 cA	0,342±0,008 eA
15	0,350±0,031 cA	0,355±0,003 eA
30	0,354±0,017 cB	0,397±0,011 dA
45	0,546±0,010 bA	0,569±0,003 cA
60	0,562±0,032 bB	0,594±0,013 bcA
75	0,583±0,054 bB	0,630±0,002 abA
90	0,640±0,063 aA	0,660±0,025 aA

DMS para colunas = 0,04; DMS para linhas = 0,02; MG = 0,49; CV = 5,50% DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A atividade de água dos pós de cumbeba aumentaram significativamente ao longo do armazenamento. O valor médio da atividade de água dos pós de cumbeba registrado no tempo inicial foi de 0,342, atingindo ao final do armazenamento os valores 0,640 e 0,660, para as condições de temperatura de 30 e 40 °C, respectivamente.

A elevação da atividade de água, está associada ao processo de adsorção de água pelas amostras durante o armazenamento, sendo este fenômeno frequentemente relatado para produtos em pó armazenados. Sousa et al. (2016) ao avaliarem a estabilidade do suco

de caju em pó, armazenado em dois tipos de embalagens (laminados e plásticos) por um período de 60 dias, também verificaram o aumento da atividade de água das amostras ao longo do armazenamento, onde o maior acréscimo foi verificado para as embalagens plásticas, onde a atividade de água das amostras aumentou de 0,18 para aproximadamente 0,30.

Com relação às condições de temperaturas avaliadas (30 e 40 °C), verifica-se que houve influencia significativa na atividade de água das amostras. Observa-se que os pós de cumbeba armazenados a 40 °C, de maneira geral, apresentaram valores superiores para a atividade de água durante todo o período de avaliação, tal comportamento demonstra que a elevação da temperatura acentuou o processo de adsorção de água pelos pós.

De forma similar, Breda et al (2012) verificaram que o incremento da atividade de água para amostra de guabira em pó submetida ao armazenamento acelerado (35 °C e 90% UR), foi superior ao produto mantido sob condições ambiente de 25 °C e 75% UR, cujo valor máximo obtido ao final dos 100 dias de armazenamento, de 0,680, foi próximo aos valores finais reportados neste estudo.

Ao final do armazenamento, os valores da atividade de água dos pós de cumbeba liofilizados sofreram um incremento em relação ao período inicial, de 87,1 e 93,0%, para as temperaturas de armazenamento de 30 e 40 °C, respectivamente. Nota-se neste estudo, que o aumento percentual deste parâmetro para as amostras desidratadas em camada de espuma foram superiores aos valores determinados para os pós de cumbeba liofilizados. Entretanto, verifica-se que os valores obtidos de  $a_w$  para os pós liofilizados no final do armazenamento encontravam-se um pouco acima da faixa considerada limitante para o desenvolvimento de microrganismos ( $a_w = 0,6$ ), indicando que o processo de liofilização não foi efetivo para assegurar a preservação da qualidade do pó de cumbeba durante os 90 dias de armazenamento.

#### **4.8.2 – Teor de água**

Têm-se, na Tabela 4.55, os valores médios do teor de água dos pós de cumbeba liofilizados, armazenados durante 90 dias em função do tempo e da temperatura e umidade relativa de 83%.

**Tabela 4.55**– Valores médios do teor de água (%) do pó de cumbeba liofilizado em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%

Tempo de armazenamento (dias)	Temperatura de armazenamento (°C)	
	30	40
0	10,22±0,93 dA	10,22±0,93 eA
15	12,48±0,66 cA	13,17±0,91 dA
30	13,87±0,61 cA	14,89±0,61 dA
45	16,93±0,64 bB	18,95±0,82 cA
60	18,67±2,42 bB	20,53±1,44 bcA
75	21,93±1,28 aA	22,24±0,35 abA
90	22,14±3,42 aA	22,81±1,86 aA

DMS para colunas = 2,06; DMS para linhas = 1,36; MG = 17,08; CV = 8,54 % DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Verifica-se, para as condições de temperaturas avaliadas (30 e 40 °C), que o teor de água das amostras apresentou tendência de aumento com o tempo de armazenamento, sendo constatado que este aumento foi mais acentuado para os pós de cumbeba mantidas sob a temperatura de 40 °C.

Rodrigues (2017) também reportou tendência de aumento do teor de água da manga ‘Tommy Atkins’ em pó liofilizada e armazenada em diferentes tipos de embalagem por um período 90 dias. A embalagem de polietileno (com vácuo e sem vácuo) conferiu a polpa de manga em pó armazenada um aumento gradativo do teor de água, no entanto, para a embalagem laminada ocorreu a manutenção do teor de água do produto com tendência de estabilidade em função do tempo.

Ao final dos 90 dias de armazenamento, foi observado um incremento de aproximadamente 116,63% para o teor de água das amostras submetidas à temperatura de 30 °C; já para as amostras mantidas a 40 °C este acréscimo foi de 123,19%.

Galdino et al. (2016) verificaram que o teor de água do figo-da-índia em pó armazenado durante 40 dias nas temperaturas de 25 e 40 °C e umidade relativa média de 83%, apresentou um incremento em função do aumento da temperatura.

No final do armazenamento, foram obtidos os valores máximos do teor de água de 22,14 e 22,81% para os pó de cumbeba liofilizados submetidas às temperaturas de 30 e 40 °C, respectivamente. Apesar dos valores do teor de água determinados neste estudo serem

considerados elevados, as amostras mantiveram-se dentro dos padrões de qualidade exigidos pela legislação brasileira, RDC 272 de 22 de setembro de 2005 (BRASIL, 2005a), cujo valor máximo do teor de água deve ser de 25%, para produtos de frutas secos ou desidratados.

Com relação ao tipo de secagem utilizado para a obtenção dos pós de cumbeba, verifica-se que as amostras liofilizadas apresentaram teores de água superiores aos determinados para os pós de cumbeba obtidos na secagem em camada de espuma durante todo o período de avaliação. A elevada taxa de absorção de água apresentada pelas amostras liofilizadas, provavelmente, esteja relacionada ao alto teor de água e higroscopicidade destas.

No entanto, Menezes et al. (2009) ao estudarem a estabilidade dos pós de acerola obtidos por secagem em estufa e por liofilização armazenados em embalagens de polietileno de baixa densidade e em condições ambientais, pelo período de 180 dias, observaram aumento significativo do teor de água das amostras no tempo final do armazenamento, sendo que este acréscimo foi mais acentuado para os pós desidratados em estufa.

#### **4.8.3 – Acidez total titulável (ATT)**

Na Tabela 4.56, têm-se os valores médios da acidez total titulável do pó de cumbeba liofilizado, armazenado durante 90 dias sob diferentes condições de temperatura (30 e 40 °C) e umidade relativa de 83%.

Constatou-se que ocorreu a redução da acidez dos pós de cumbeba durante o armazenamento nas duas condições de temperaturas utilizadas. O percentual de redução da acidez ao final dos 90 dias de armazenamento foi de 13,17% para as amostras na temperatura de 30 °C e para as amostras mantidas a 40 °C esta diminuição foi de 17,37%. Tal fato pode estar associado a reações bioquímicas que possivelmente tenham ocorrido durante o armazenamento, como a oxidação que altera a concentração de íons de hidrogênio provocando modificações na acidez do produto.

**Tabela 4.56** – Valores médios da acidez total titulável (% ácido cítrico) do pó de cumbeba liofilizado em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%

Tempo de armazenamento (dias)	Temperatura de armazenamento (°C)	
	30	40
0	3,57±0,05 aA	3,57±0,05 aA
15	3,36±0,14 bA	3,36±0,15 bA
30	3,19±0,05 cA	3,25±0,15 bcA
45	3,14±0,15 cA	3,21±0,09 cA
60	3,14±0,08 cA	3,13±0,03 cdA
75	3,13±0,08 cA	3,05±0,05 deA
90	3,10±0,05 cA	2,95±0,08 eB

DMS para colunas = 0,14; DMS para linhas = 0,09; MG = 3,22; CV = 3,01% DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Oliveira (2012) ao avaliar as características do cajá em pó liofilizado, também, verificou a redução da acidez no final dos 60 dias de armazenamento, cuja redução percentual obtida foi de 14%.

Observa-se que as amostras armazenadas a 30 °C apresentaram uma tendência de estabilidade a partir dos 30 dias de avaliação, mantendo-se estatisticamente inalterada até o tempo final de armazenamento.

Ao final do armazenamento os teores de acidez obtidos para os pós de cumbeba mantidos sob as condições de temperaturas de 30 e 40 °C foram de 3,10 e 2,95%, respectivamente. Estes teores foram superiores aos valores reportados por Juliano et al. (2014) ao estudarem a polpa de camu-camu (*Myrciaria dúbia*) liofilizada e armazenada em diferentes embalagens, cujos valores obtidos variaram entre 2,32 e 2,69% ao final dos 150 dias de avaliação.

Constata-se neste estudo que houve a tendência de diminuição dos teores de acidez para todas as amostras secadas em camada de espuma e liofilizadas; entretanto, os pós de cumbeba liofilizados sofreram uma maior redução deste parâmetro ao longo do armazenamento.

Comportamento semelhante foi reportado por Menezes et al. (2009) ao estudarem a estabilidade do pó de acerola verde obtido em estufa por circulação de ar e liofilização

por um período de 180 dias, onde obtiveram uma redução da acidez total titulável, ao final do período de armazenamento, em torno de 15% para os produtos desidratados em estufa e, aproximadamente, 27% para os pós obtidos por liofilização.

#### 4.8.4 – pH

Os valores médios do pH dos pós de cumbeba, obtidos por liofilização, submetidos ao armazenamento nas temperaturas de 30 e 40 °C e umidade relativa de 83% durante o período de 90 dias, encontram-se na Tabela 4.57.

**Tabela 4.57** – Valores médios do pH dos pós de cumbeba liofilizados em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%

Tempo de armazenamento (dias)	Temperatura de armazenamento (°C)	
	30	40
0	3,30±0,01	3,30±0,01
15	4,32±0,04	4,38±0,04
30	4,35±0,04	4,38±0,00
45	4,41±0,04	4,38±0,10
60	4,41±0,01	4,42±0,00
75	4,43±0,04	4,43±0,04
90	4,46±0,02	4,47±0,15

Constata-se que o pH das amostras sofreu uma tendência de elevação com o decorrer do armazenamento, fato este observado para as duas condições de temperaturas avaliadas; entretanto, após os 60 dias de armazenamento, os valores deste parâmetro mantiveram-se praticamente estáveis, atingindo o pH de aproximadamente 4,5 no tempo final de avaliação. O aumento do pH no final do armazenamento em relação ao início foi em torno de 35% para ambas as condições de temperatura utilizadas.

Silva et al. (2010) relataram comportamento similar ao avaliarem o efeito da pressão osmótica no processamento e avaliação da vida de prateleira de tomate seco, constatando que os valores de pH apresentaram uma tendência de aumento em função do período de armazenamento. Resultado divergente foi reportado por Loureiro et al. (2013) estudando a estabilidade do pó de buriti armazenado por 90 dias em embalagens de

polietileno e laminada, onde ocorreu a redução do pH durante o período de avaliação para as amostras armazenadas em embalagem laminada e desidratadas a 50 °C, com uma diminuição do pH aos 90 dias de 3,4% em relação ao valor inicial.

Em ambos os processos de secagem, verifica-se o aumento do valor do pH das amostras em função do tempo de armazenamento, porém, observa-se que este incremento foi superior para as amostras obtidas por liofilização.

#### 4.8.5 – Ácido ascórbico

Os resultados referentes ao teor de ácido ascórbico dos pós de cumbeba liofilizados e armazenadas sob diferentes condições de temperaturas e umidade relativa de 83%, encontram-se na Tabela 4.58.

**Tabela 4.58** – Valores médios do ácido ascórbico (mg/100 g) dos pós de cumbeba liofilizados em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%

Tempo de armazenamento (dias)	Temperatura de armazenamento (°C)	
	30	40
0	35,12±4,75 aA	35,12±4,75 aA
15	34,50±3,07 aA	31,31±1,41 aB
30	33,32±2,79 aA	31,55±0,81 aA
45	31,03±0,67 aA	25,68±1,47 bB
60	25,68±1,40 bA	23,14±1,91 bcA
75	20,88±1,20 cA	20,61±3,46 cA
90	19,40±2,89 cA	19,41±5,37 cA

DMS para colunas = 4,21; DMS para linhas = 2,78; MG = 27,63 mg/100 g; CV = 10,77 % DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O teor de ácido ascórbico dos pós de cumbeba apresentaram tendência de redução com o tempo de armazenamento, sendo este fato observado para ambas condições de temperaturas avaliadas. No tempo inicial foi registrado o valor médio de 35,1 mg/100 g e ao final dos 90 dias de armazenamento o teor de ácido ascórbico do pó de cumbeba foi

reduzido para aproximadamente 19,4 mg/100 g para as condições de temperatura de 30 e 40 °C, respectivamente.

Moraga et al. (2012) ao avaliarem a estabilidade dos compostos fitoquímicos do pó de toranja liofilizado em função da umidade relativa após 3 e 6 meses de armazenamento, também constataram o decréscimo no teor de ácido ascórbico ao longo do armazenamento.

Com relação às temperaturas de armazenamento utilizadas, verifica-se que as amostras armazenadas na temperatura de 30 °C permaneceram com o teor de ácido ascórbico estatisticamente estável até os 45 dias de avaliação, declinando a partir deste tempo; e o ácido ascórbico das amostras na temperatura de 40 °C ficou estável até 30 dias.

Apesar da degradação do ácido ascórbico ter sido superior para dos pós de cumbeba armazenados a 40 °C nos tempos de 15 e 45 dias, não foi possível afirmar que houve influência direta do aumento da temperatura de armazenamento empregada na redução deste parâmetro, visto que ao final do período de avaliação o percentual de degradação do ácido ascórbico foi de aproximadamente 45%, para ambas condições estudadas.

Saron et al. (2007), ao estudarem a estabilidade sensorial do suco de maracujá acondicionado em diferentes embalagens e armazenados por 360 dias nas temperaturas de 25 e 35 °C, observaram que houve um decréscimo mais acentuado do teor de ácido ascórbico no produto submetido à temperatura de 35 °C, demonstrando que a elevação da temperatura acelerou o processo de degradação do ácido ascórbico durante o armazenamento.

Analisando-se os processos de secagem utilizados neste estudo, verifica-se que a redução do teor de ácido ascórbico no final do armazenamento foi mais acentuada para a amostra obtida por liofilização em relação aos teores da amostra da secagem em camada de espuma. Contudo, a diferença de perdas entre um processo e outro, pode ter ocorrido em razão do maior teor de água obtido para os pós de cumbeba liofilizados, acarretando numa maior diluição e degradação do teor de ácido destas amostras.

De acordo com Moreira et al. (2011) após o processo de desidratação, os teores de ácido ascórbico são dependentes do método empregado, do tempo de armazenamento e da embalagem utilizada; tais fatores podem contribuir para a redução do ácido ascórbico, através de reações oxidativas e químicas.

#### 4.8.6 – Cor

##### 4.8.6.1 – Luminosidade (L\*)

Tem-se, na Tabela 4.59, os valores médios do parâmetro de cor, expresso pela luminosidade (L\*) dos pós de cumbeba liofilizados e armazenados sob condições controladas de temperatura (30 e 40 °C) e umidade relativa de 83% por um período de 90 dias.

**Tabela 4.59** – Valores médios da luminosidade (L\*) dos pós de cumbeba liofilizados em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%

Tempo de armazenamento (dias)	Temperatura de armazenamento (°C)	
	30	40
0	73,48±0,21 aA	73,48±0,21 aA
15	70,42±0,13 abA	65,73±0,47 bB
30	68,75±0,98 bA	64,33±1,48 bB
45	63,13±1,96 cA	51,48±5,01 cB
60	61,54±3,37 cdA	51,67±0,85 cB
75	59,94±4,85 cdA	51,58±2,84 cB
90	57,34±6,52 dA	44,19±3,64 dB

DMS para colunas = 4,34; DMS para linhas = 2,87; MG = 61,22; CV = 5,02 % DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A luminosidade (L\*) das amostras reduziu significativamente com o tempo de armazenamento, nas temperaturas de 30 e 40 °C, e também com o aumento da temperatura de armazenamento, indicando o escurecimento das amostras. As amostras mantidas na temperatura 40 °C foram caracterizadas por apresentarem uma maior tendência de escurecimento ao longo do período de avaliação, atingindo um percentual de redução de aproximadamente 40% ao final dos 90 dias. Tal fato indica que a temperatura de 30 °C promoveu uma maior retenção da cor dos pós de cumbeba ao longo do armazenamento.

Muzaffar e Kumar (2016) ao avaliarem o armazenamento do pó de tamarindo na temperatura de 25 °C com umidade relativa de 45%, acondicionado em diferentes tipos de

embalagem por 6 meses, também, constataram que ocorreu a redução do parâmetro L\* em função do tempo de armazenamento.

Loureiro et al. (2013) observaram efeito contrário ao reportado neste estudo para amostras de buriti em pó obtidas em três temperaturas de secagem (50, 60 e 70°C), acondicionadas em embalagens (laminada e polietileno) e armazenadas por 90 dias, em que constataram aumento da luminosidade das amostras ao longo do tempo.

Lisbôa et al. (2012) ao armazenarem por 100 dias o pó do figo-da-índia em ambientes com temperaturas (25 e 40 °C) e umidades relativas (57,57 e 53,17%) controladas, observaram que, independente da umidade relativa adotada, as amostras armazenadas a 25 °C praticamente mantiveram a luminosidade ao longo dos 100 dias, enquanto que as amostras sob temperatura de 40 °C foram escurecendo em função do tempo, evidenciando a influência da temperatura sobre a luminosidade.

Analisando-se os resultados obtidos neste estudo, constata-se que os pós de cumbeba liofilizados demonstraram comportamento semelhante às amostras da secagem em camada de espuma, ou seja, apresentaram tendência de escurecimento ao longo do armazenamento. De acordo com Kader (2010) o processo de escurecimento pode ser ocasionado tanto por reações oxidativas quanto pelo aumento da concentração de pigmentos ao longo do armazenamento.

#### **4.8.6.2 – Intensidade de vermelho (+a\*)**

Na Tabela 4.60 tem-se se o valor médio do parâmetro de cor, expresso pela intensidade de vermelho (+a\*) dos pós de cumbeba liofilizados e armazenados sob condições controladas de temperatura (30 e 40 °C) e umidade relativa de 83% durante 90 dias.

Analisando-se as temperaturas de armazenamento utilizadas neste estudo, verifica-se que a intensidade de vermelho das amostras aumentou com o tempo de armazenamento, sendo que este aumento foi mais acentuado para a amostra submetida à temperatura de 40 °C, atingindo ao final do armazenamento o valor máximo de 10,53. O aumento da intensidade de vermelho dos pós de cumbeba devem estar relacionados ao processo de escurecimento ocorrido nas duas condições de armazenamento, em decorrência do tempo de armazenamento.

**Tabela 4.60** – Valores médios da intensidade de vermelho (+a\*) dos pós de cumbeba liofilizados em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%

Tempo de armazenamento (dias)	Temperatura de armazenamento (°C)	
	30	40
0	6,73±0,10 dA	6,73±0,10 cA
15	7,05±0,13 dB	8,07±0,47 bA
30	6,98±0,41 dB	8,46±0,14 bA
45	8,44±0,21 cB	10,34±0,19 aA
60	8,86±0,34 bcB	10,45±0,07 aA
75	9,28±0,73 abB	10,49±0,22 aA
90	9,66±0,80 aB	10,53±0,40 aA

DMS para colunas = 0,54; DMS para linhas = 0,35; MG = 8,72; CV = 4,37% DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Santos et al. (2016) ao estudarem a estabilidade química e física dos pós de umbucajá obtidos por liofilização, também, observaram a tendência de aumento da intensidade do vermelho (+a\*) para a amostra produzida com polpa formulada usando 10% de goma arábica, ao longo de 180 dias de armazenamento.

Rodrigues (2017) ao avaliar os parâmetros de qualidade e estabilidade da manga Tommy Atkins em pó desidratada por liofilização e armazenada em diferentes tipos de embalagem, constatou que os valores médios da variável +a\* das amostras foram reduzidos ao longo dos 90 dias de armazenamento.

Verifica-se que apesar das amostras mantidas a 40 °C terem apresentado valores superiores para o parâmetro +a\* ao longo do armazenamento, nota-se que a partir dos 45 dias de avaliação a intensidade de vermelho dos pós de cumbeba permaneceu estatisticamente estável até o período final de avaliação. A tendência de estabilidade do parâmetro +a\* em função do tempo, também, foi reportada por Oliveira (2012) ao avaliar as características físicas, físico-químicas e higroscópicas do cajá em pó liofilizado, onde os valores do parâmetro +a\* permaneceram estáveis durante 120 dias de armazenamento.

Durante o período de armazenamento todos os pós de cumbeba, independente do processo de secagem utilizado para sua obtenção, apresentaram incremento do parâmetro

+a\*, tendendo ao acréscimo da tonalidade vermelha em virtude do tempo avaliação. Porém, os pós de cumbeba secados em camada de espuma e armazenados a 30 °C, apresentaram a menor modificação para este parâmetro em função do tempo.

#### 4.8.6.3 – Intensidade de amarelo (+b\*)

Os valores médios da intensidade de amarelo (+b\*) dos pós de cumbeba liofilizados e armazenados por 90 dias sob condições controladas de temperatura (30 e 40 °C) e umidade relativa de 83%, encontra-se na Tabela 4.61.

**Tabela 4.61** – Valores médios de intensidade de amarelo (+b\*) dos pós de cumbeba liofilizados em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%

Tempo de armazenamento (dias)	Temperatura de armazenamento (°C)	
	30	40
0	35,88±0,36 cA	35,88±0,36 cA
15	38,43±1,02 bA	37,45±0,75 cA
30	39,38±0,97 abA	40,55±4,11 bA
45	40,32±0,25 abA	41,00±0,40 bA
60	40,51±1,66 abA	41,16±2,07 abA
75	40,64±0,23 aA	41,40±1,93 abA
90	41,44±0,58 aB	43,16±0,50 aA

DMS para colunas = 2,12; DMS para linhas = 1,39; MG = 39,80; CV = 3,76 % DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Verifica-se que ocorreu tendência de aumento da intensidade de amarelo das amostras ao longo do armazenamento para ambas as condições de temperaturas utilizadas, sendo que este aumento no final do armazenamento foi mais acentuado para os pós de cumbeba submetidos a temperatura de 40 °C (20,29%). A intensidade de amarelo da amostra armazenada a 30 °C aumentou no final do armazenamento em torno de 13% em relação ao valor inicial.

Oliveira et al. (2015) ao avaliarem a estabilidade do mandacaru em pó formulado com diferentes concentrações de maltodextrina, também constataram o aumento da intensidade de amarelo entre os tempos de avaliação atingindo ao final dos 50 dias de armazenamento aumentos percentuais de 7,81% para a DE = 10 e 12,24% para a DE = 14.

Justo et al. (2016) reportaram ao avaliarem a cor e a estabilidade química de um preparado em pó de juçara liofilizado que não houve diferença estatística significativa para as coordenadas de cor ( $L^*$ ,  $+a^*$ ,  $+b^*$ ) ao longo do tempo, ou seja, a cor manteve-se estável ao longo dos 30 dias de armazenamento.

A partir dos resultados do parâmetro  $+b^*$  é possível verificar que os processos de secagem em camada de espuma e liofilização exerceram efeitos opostos na intensidade de amarelo dos pós de cumbeba. As amostras liofilizadas foram mais eficientes na manutenção da tonalidade amarela, além de possuírem uma maior concentração destes pigmentos em relação às amostras secadas em camada de espuma.

#### 4.8.7 – Flavonoides

Tem-se, na Tabela 4.62, os valores médios dos flavonoides dos pós de cumbeba liofilizados e armazenados durante 90 dias em ambiente controlado com temperaturas de 30 e 40 °C e umidade relativa de 83%.

**Tabela 4.62** – Valores médios dos flavonoides (mg/100 g) dos pós de cumbeba liofilizados em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%

Tempo de armazenamento (dias)	Temperatura de armazenamento (°C)	
	30	40
0	98,19±1,10 eA	98,19±1,10 eA
15	104,31±19,21 deB	119,10±3,58 dA
30	105,24±7,22 deB	124,70±1,55 dA
45	112,32±4,87 cdB	142,96±4,61 cA
60	119,70±3,42 bcB	152,46±5,46 bcA
75	127,08±3,49 bB	161,97±6,60 bA
90	142,92±2,97 aB	196,99±8,49 aA

DMS para colunas = 9,73; DMS para linhas = 6,42; MG = 129,01; CV = 5,33 %. DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O conteúdo de flavonoides dos pós de cumbeba aumentou em decorrência do tempo de armazenamento para ambas as condições de temperaturas avaliadas. Para os pós de cumbeba armazenada a 30 °C, o conteúdo de flavonoides ao final da avaliação mostrou um incremento de 45,6% em relação ao conteúdo inicial. No mesmo período, os pós de cumbeba submetidos a temperatura de 40 °C, apresentaram aumento percentual de 100,6%, demonstrando que a elevação da temperatura de armazenamento influenciou diretamente no conteúdo de flavonoides das amostras, promovendo o aumento da concentração destes compostos fenólicos em função do tempo.

Lee et al. (2009) ao estudarem o efeito da irradiação gama nas atividades microbiana e antioxidante e nos conteúdos de açúcares e cor do suco de tamarindo durante o armazenamento, reportaram que houve o incremento dos compostos fenólicos com o aumento da dose de irradiação de modo significativo apenas para as amostras frescas, não ocorrendo alterações estatísticas em função do período de armazenamento. De acordo com estes autores o incremento dos compostos fenólicos presentes nas frutas irradiadas pode estar relacionado indiretamente aos radicais livres responsáveis pela quebra das ligações glicosídicas presentes nos compostos fenólicos, o que aumenta o número de monômeros proantocianidinas e de flavonoides.

Hoffmann et al. (2017) em estudo realizado sobre a estabilidade de compostos bioativos na polpa e néctar de butiá (*Butia odorata*), observaram que o conteúdo de flavonoides foi reduzido em ambos processos: na polpa congelada armazenada por 12 meses e para o néctar armazenado em temperatura ambiente durante 90 dias.

Observa-se que a partir de 15 dias até o final dos 90 dias de avaliação os pós de cumbeba armazenados a 40 °C mantiveram-se com os teores de flavonoides superiores aos pós na temperatura de 30 °C.

De acordo com os processos de secagem utilizados neste estudo, verifica-se que em ambos processos (secagem em camada de espuma e liofilização) ocorreu aumento da concentração de flavonoides nos pós de cumbeba em decorrência do tempo de armazenamento, sendo que este incremento foi superior para os pós de cumbeba obtidos por liofilização. Quanto aos pós de cumbeba da secagem em camada de espuma, verifica-se que as médias foram relativamente mais baixas, mostrando que a utilização de altas temperaturas pode ter influenciado na degradação dos flavonoides.

Comportamento semelhante foi observado por Sablani et al. (2011) ao compararem o processo de liofilização com a secagem convencional usando ar quente, sendo observado

que a liofilização proporcionou maior retenção de fitoquímicos, podendo aumentar a concentração dos compostos fenólicos, em especial das antocianinas.

#### 4.8.8 – Betaxantinas

Na Tabela 4.63, tem-se o teor médio das betaxantinas do pó de cumbeba liofilizado e armazenado sob diferentes condições de temperatura (30 e 40 °C) e umidade relativa de 83% durante 90 dias.

**Tabela 4.63** – Valores médios das betaxantinas (mg/100 g) dos pós de cumbeba liofilizados em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%

Tempo de armazenamento (dias)	Temperatura de armazenamento (°C)	
	30	40
0	18,41±0,22 aA	18,41±0,22 aA
15	16,75±1,25 bB	17,94±0,58 aA
30	15,47±0,91 cB	16,40±1,21 bA
45	14,68±0,44 cdB	16,19±0,99 bA
60	13,79±0,43 deB	15,41±0,58 bcA
75	12,68±1,21 fB	14,62±0,19 cA
90	12,83±0,38 efA	10,40±0,39 dB

DMS para colunas = 1,06; DMS para linhas = 0,69; MG = 15,28 mg/100 g; CV = 4,89% DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Verifica-se, ao longo do armazenamento, a tendência de redução do conteúdo de betaxantinas das amostras para ambas condições de temperatura avaliadas; tal fato indica que houve a perda progressiva deste pigmento em função do tempo, atingindo um percentual de redução ao final dos 90 dias, em relação ao tempo inicial, de 30,3 e 43,5% para as condições controladas de 30 e 40 °C, respectivamente.

Kluge et al. (2006) também constataram a redução do teor de betaxantina ao armazenarem a beterraba minimamente processada sob condição controlada a 5 °C e 90%

UR, por um período de 10 dias, onde o teores de betaxantinas foram significativamente maiores para as beterrabas fatiadas em relação aos cortes dos tipos retalho e cubo.

Analisando-se as condições de temperatura empregadas, nota-se que as perdas do conteúdo de betaxantinas foram reduzidas com o aumento da temperatura de armazenamento. Os pós de cumbeba armazenados a 40 °C obtiveram médias estatisticamente superiores aos pós de cumbeba submetidos a temperatura de 30 °C, exceto no tempo de 90 dias, que apresentou o menor valor.

Conforme descrito por Reynoso et al. (1997) a estabilidade das betalaínas é fortemente influenciada pela presença de luz, oxigênio, atividade da água, variação de pH e temperatura. Esta instabilidade restringe o uso das betalaínas como corantes de alimentos, tornando-se um obstáculo para o uso industrial.

Bastos et al. (2013) ao avaliarem a cinética de degradação térmica das antocianinas e betalaínas extraídas de beterraba na temperaturas de 60 e 70 °C, relataram que o tempo de meia-vida das antocianinas, betacianinas e betaxantinas reduziu com o aumento da temperatura, assim como ocorreu com a temperatura maior deste armazenamento em todos os métodos de secagem.

Quanto aos processos de secagem utilizados na obtenção dos pós de cumbeba, constata-se que ambos apresentaram comportamento similar, ou seja, com tendência de perdas do conteúdo de betaxantinas ao longo do armazenamento. Contudo, observa-se que os pós de cumbeba liofilizados apresentaram uma redução mais acentuada para o teor de betaxantina, indicando que a embalagem utilizada não foi eficiente em impedir a degradação deste pigmento. Além de que as betaxantinas nos pós liofilizados foram inferiores ao dos pós da secagem em camada de espuma durante o armazenamento.

#### **4.8.9 – Solubilidade**

Na Tabela 4.64, tem-se os valores médios da solubilidade dos pós de cumbeba liofilizados e armazenados sob diferentes condições de temperaturas (30 e 40 °C) e umidade relativa de 83% por um período de 90 dias.

A solubilidade dos pós de cumbeba foram reduzidas em decorrência do tempo de armazenamento, esta redução foi verificada para as duas condições de temperaturas avaliadas, onde a menor solubilidade (39,57%) foi obtida para o pó de cumbeba armazenado a 30 °C, ao final dos 90 dias de avaliação. No período final, aos 90 dias de armazenamento, a solubilidade dos pós de cumbeba sofreram uma perda percentual em

relação ao período inicial, de 38,5 e 35,5%, para as condições de temperaturas de 30 e 40 °C, respectivamente.

**Tabela 4.64** – Valores médios da solubilidade (%) do pó de cumbeba liofilizado em função do tempo e temperatura de armazenamento e umidade relativa de 83%

Tempo de armazenamento (dias)	Temperatura de armazenamento (°C)	
	30	40
0	64,36±4,60 aA	64,36±4,60 aA
15	57,49±2,31 bA	53,52±1,79 bB
30	56,24±3,91 bA	53,63±3,86 bA
45	46,42±2,96 cA	48,50±2,64 cA
60	44,54±1,94 cA	46,35±1,29 cdA
75	42,47±2,46 cdA	43,74±3,51 deA
90	39,57±1,97 dA	41,51±1,02 eA

DMS para colunas = 4,24; DMS para linhas = 2,79; MG = 50,19%; CV = 5,97% DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Costa (2012) ao avaliar a estabilidade do pó de maracujá, proveniente de cultivo orgânico, obtido na secagem por aspersão, durante o armazenamento por 360 dias sob temperatura ambiente ( $\pm 25$  °C), também constatou que houve um decréscimo da solubilidade das amostras até o último dia de armazenamento (360 dias), cuja redução máxima foi de aproximadamente 76% obtida na fase final da avaliação, sendo superior aos valores determinados neste estudo. De acordo com este autor, a perda de solubilidade das amostras durante o armazenamento pode ser atribuída ao processo de cristalização dos açúcares ocasionado pelas condições de umidade relativa do ambiente e temperatura de armazenamento, tendo como consequência a redução da solubilização de água das amostras.

Rodrigues (2017) também reportou a ocorrência da tendência de declínio da solubilidade das amostras de manga cv. Tommy Atkins em pó obtida por liofilização, armazenadas em diferentes embalagens (polietileno e laminada), por 90 dias de armazenamento, de modo que as perdas mais acentuadas para este parâmetro ocorreram para as amostras armazenadas em embalagens de polietileno.

A partir dos resultados da solubilidade é possível caracterizar o pó de cumbeba liofilizado no final do armazenamento nesta embalagem como um produto de baixa solubilidade; tal característica observada para este parâmetro, provavelmente, está associada à formação de compostos insolúveis gerados por possíveis reações devido à elevação do teor de água das amostras, que contribuiu para o aumento da insolubilidade do pó ao longo do armazenamento.

Comportamento similar foi descrito por Endo et al. (2007) ao avaliarem a vida de prateleira do suco de maracujá desidratado, armazenado em ambientes com temperaturas de 30 e 40 °C e umidade relativa de 84%. Os autores relataram que a solubilidade das amostras reduziram em função do tempo de armazenamento (180 dias), no entanto, verificaram que o aumento da temperatura acarretou em perdas superiores para este parâmetro.

Entre as temperaturas não houve diferenças estatísticas entre as médias, exceto no tempo de 15 dias, desta forma não ficou demonstrado a influencia do aumento da temperatura de armazenamento.

Analisando-se a solubilidade entre os processos de secagem utilizados na obtenção dos pós de cumbeba, constata-se que em ambos os processos ocorreu à diminuição da capacidade de solubilização das amostras com o tempo de armazenamento. Nota-se ainda que o pó de cumbeba liofilizado obteve teores inferiores para este parâmetro quando comparado ao pó de cumbeba secado em camada de espuma, durante o armazenamento.

## 5 – CONCLUSÕES

### Caracterização da polpa de cumbeba integral

✓ A polpa de cumbeba integral apresenta baixa acidez, elevado teor de água, bom aporte de Mg, K e Ca, considerável conteúdo de compostos fenólicos e predominância da cor amarela.

### Seleção e caracterização físico-química da melhor espuma (Formulação 2)

✓ A melhor espuma para ser submetida ao processo de secagem foi a da Formulação 2 (F2) constituída por polpa de cumbeba com adição de 2,5% de Emustab® e 1,5% de Super Liga Neutra®;

✓ Os aditivos incorporados a polpa de cumbeba integral influenciaram as características físico-químicas da espuma reduzindo o teor de água, a acidez total titulável e os compostos bioativos e aumentado a luminosidade, em comparação com a polpa de cumbeba integral.

### Cinética de secagem da espuma

✓ O tempo de secagem da espuma da polpa de cumbeba diminuiu com o aumento da temperatura do ar de secagem e com a redução da espessura da camada de espuma;

✓ O modelo de Midilli foi o que se ajustou melhor aos dados experimentais, apresentando os maiores coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os menores desvios quadráticos médios (DQM);

✓ A difusividade efetiva e a energia de ativação aumentaram com a elevação da temperatura de secagem e com o aumento da espessura da camada de espuma.

### Seleção e caracterização química, física e físico-química dos pós de cumbeba obtidos pelo método de secagem em camada de espuma

✓ O aumento da temperatura de secagem proporcionou uma redução no teor de água, atividade de água, pH e luminosidade, assim como uma maior concentração dos

compostos bioativos, ácido ascórbico, açúcares redutores, sólidos solúveis totais e intensidade de amarelo (+b\*);

✓ Os pós de cumbeba secados na temperatura de 70 °C apresentaram melhor molhabilidade, maior solubilidade e menor porosidade, onde o melhor pó foi na condição de 1,5 cm de espessura para mesma temperatura;

✓ Os pós de cumbeba foram classificadas com de razoável a difícil fluidez.

### **Caracterização dos pós de cumbeba obtidos pelos métodos de secagem em camada de espuma (melhor pó) e liofilização**

✓ O pó da liofilização apresentou menores valores dos compostos bioativos e ácido ascórbico e maior teor de água, pH e luminosidade, em relação ao pó selecionado da secagem em camada de espuma;

✓ O pó de cumbeba liofilizado foi classificado como sendo de péssima fluidez;

✓ O melhor pó de cumbeba obtido na secagem em camada de espuma quando comparado ao pó de cumbeba liofilizado, apresentou os maiores teores dos compostos bioativos e os menores valores dos parâmetros físicos, indicando que um método simples e barato como a secagem em camada de espuma sobressaiu-se sobre um método dispendioso como a liofilização.

### **Isotermas de adsorção de água**

✓ As isotermas de adsorção de água dos pós de cumbeba obtidos na secagem em camada de espuma e na liofilização foram classificadas como Tipo II;

✓ Todos os modelos testados (GAB, Peleg e Oswin) podem ser utilizados para estimar as isotermas de adsorção de água dos pós de cumbeba;

### **Armazenamento do melhor pó de cumbeba da secagem em camada de espuma e do pó de cumbeba liofilizado**

✓ Com o decorrer do tempo de armazenamento houve aumento do teor de água, da atividade de água e do conteúdo de flavonoides e redução da solubilidade, ácido ascórbico e betaxantinas nos pós armazenados nas duas temperaturas;

✓ Os maiores valores de atividade de água, teor de água e flavonoides e maior escurecimento foram verificados na temperatura de armazenamento de 40 °C.

**6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABBASI, E.; AZIZPOUR, M. Evaluation of physicochemical properties of foam mat dried sour cherry powder. **LWT - Food Science and Technology**, v. 68, p. 105-110, 2016.

ABDEL-AAL, E. S. M.; RABALSKI, I. Effect of baking on free and bound phenolic acids in wholegrain bakery products. **Journal of Cereal Science**, v. 57, n. 3, p. 312–318, 2013.

ABDEL-HAMEED, EL-S. S.; NAGATY, M. A.; SALMAN, M. S.; BAZAID, S. A. Phytochemicals, nutritional and antioxidant properties of two prickly pear cactus cultivars (*Opuntia ficus indica* Mill.) growing in Taif, KSA. **Food Chemistry**, v. 160, p. 31-38, 2014.

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. **LWT - Food Science and Technology**, v. 80, n. 1, p. 106-112, 2017.

AGUILERA, J. M.; LILLFORD, P. J. Structure–property relationships in foods. In: AGUILERA, M.; LILLFORD, P. J. **Principle and practice**. New York: Springer Science e Business Media, 2008. p. 229-253.

AL-ASSAF, S.; PHILIPS, G. O.; WILLIAMS, P. A. Studies on Acacia exudates gums: part ii. Molecular weight comparison of the *Vulgares* and *Gummiferae series* of Acacia gums. **Food Hydrocolloids**, v. 19, n. 4, p. 661–667, 2005.

ALCÂNTARA, S. R.; ALMEIDA, F. A. C.; SILVA, F. L. H.; GOMES, J. P. Isotermas de adsorção do pedúnculo seco do caju. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 81-87, 2009.

ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Isotermas de adsorção de teor de água da pitanga em pó. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, n. 1, p. 11-20, 2007.

ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; OLIVEIRA, E. N. A. Armazenamento de pitanga em pó. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 1, p. 83-91, 2014.

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.

ALMEIDA, J.; PEIXOTO, C. P.; LEDO, C. A. S.; FONSECA, V. J. A. Características dos frutos de palma gigante da região semiárida do estado da Bahia. **Magistra**, v. 25, n. 1, p. 73-79, 2013.

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

AMAGLIANI, L.; O'REGAN, J.; KELLY, A. L.; O'MAHONY, J. A. Physical and flow properties of rice protein powders. **Journal of Food Engineering**, v. 190, p. 1-9, 2016.

ANANDHARAMAKRISHNAN, C.; TAPLEY, A. G. F. Spray-freeze-drying of whey proteins at sub-atmospheric pressures. **Dairy Science Technology**, v. 90, n. 2-3, p. 321-334, 2010.

ANDRADE, R. D.; LEMUS, R. M.; PÉREZ, C. E. Models of sorption isotherms for food: uses and limitations. **Vitae**, v. 18, n. 3, p. 325-334, 2011.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of AOAC international**. 17.ed. Maryland: AOAC, 2000. 1141p.

ASCHERI, D. P. R.; RIBEIRO, M. M.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Isotermas de adsorción de agua y estabilidad de harinas extruídas de amaranto, arroz y maíz: estudio comparativo. **Alimentária**, n. 363, p. 100-1007, 2007.

ASOKAPANDIAN, S.; VENKATACHALAM, S.; SWAMY, G.J.; KUPPUSAMY, K. Optimization of foaming properties and foam mat drying of muskmelon using soy protein. **Journal of Food Process Engineering**, v. 39, n. 6, p. 692- 701, 2016.

ATEF, A. M. A. Z.; MOSTAFA, N. A. S.; RAMADAN, T. Studies on sheets properties made from juice and puree of pumpkin and some other fruit blends. **Journal of Applied Sciences Research**, v. 8, n. 5, p. 2632-2639, 2012.

AUISAKCHAIYOUNG, T.; ROJANAKORN, T. Effect of foam-mat drying conditions on quality of dried Gac fruit (*Momordica cochinchinensis*) aril. **International Food Research Journal**, v. 22, n. 5, p. 2025-2031, 2015.

AZEREDO, H. M. C. Encapsulação: aplicação à tecnologia de alimentos **Alimentos e Nutrição**, v. 16, n. 1, p. 89-97. 2005.

AZEREDO, H. M. C. **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. 2. ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa, 2012. 326 p.

AZIZPOUR, M.; MOHEBBI, M.; KHODAPARAST, M. H. H. Effects of foam-mat drying temperature on physico-chemical and microstructural properties of shrimp powder. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 34, p. 122-126, 2016.

BABALIS, S. J.; BELESSIOTIS, V. G. Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 3, p. 449-458, 2004.

BAEGHBALI, V.; NIAKOUSARI, M.; FARAHNAKY, A. Refractance window drying of pomegranate juice: quality retention and energy efficiency. **Food Science and Technology**, v. 66, p. 34-40, 2016.

BAHLOUL, N.; BOUDHRIOUA, N.; KECHAOU, N. Moisture desorption–adsorption isotherms and isosteric heats of sorption of Tunisian olive leaves (*Olea europaea* L.). **Industrial Crops and Products**, v. 28, n. 2, p. 162–176, 2008.

BAPTESTINI, F. M.; CORRÊA, P. C.; JUNQUEIRA, M. S.; RAMOS, A. M.; VANEGAS, J. D. B.; COSTA, C. F. Mathematical modeling of drying of soursop foam. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 12, p. 1203-1208, 2015.

BAPTISTA, R. F. **Avaliação da qualidade interna de ovos de codorna (*Coturnix coturnix japonica*) em função da variação de temperatura de armazenamento**. 2002. 99 p. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2002.

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.

BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; ORTEGA-RIVAS, E.; JULIANO, P.; YAN, H. **Food powders: physical properties, processing, and functionality**. New York: Kluwer Academic, 2005. 372 p.

BARRETO, I. M. A. **Caracterização de polpa de pitanga roxa (*Eugenia uniflora*) desidratada em leito de espuma**. 2011. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2011.

BASTOS, B. M.; GRANDINI, C. P.; LOBO, I.; SANTOS, M. A.; ANTELO, F. Avaliação da cinética de degradação térmica de antocianinas e betalaínas extraídas de *Beta vulgaris* L. In: MOSTRA DE PRODUÇÃO UNIVERSITÁRIA, 12., Rio grande do Sul. **Anais...** Rio grande do Sul, 2013.

BEJAR, A. K.; MIHOUBI, N. B.; KECHAOU, N. Moisture sorption isotherms: experimental investigations and mathematical orange (*Citrus sinensis*) peel and leaves. **Food Chemistry**, v. 132, n. 4, p. 1728-1735, 2012.

BENASSI, M. T.; ANTUNES, A. J. A. Comparison of mets 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. 503-507, 1998.

BEZERRA, T. S.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A.; MAIA, G. A.; ROCHA, E. M. F. F. Comportamento higroscópico de pós de manga das variedades coité e espada e avaliação das características físico-químicas. **Ciência Rural**, v. 40, n. 10, p. 2186-2192, 2010.

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.

BHANDARI, B. R.; DATTA, N.; D'ARCY, B. R.; RINTOUL, G. B. Co-crystallization of honey with sucrose. **LWT - Food Science and Technology**, v. 31, n. 2, p. 138-142, 1998.

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.

BLAHOVEC, J. Sorption isotherms in materials of biological origin mathematical physical approach. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 4, p. 489-495, 2004.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. 3. ed. São Paulo: Varela, 2001. 144 p.

BOK-MI, J.; MI-OK, S.; HYUNG-RAK, K. The effects of antimicrobial, antioxidant, and anticancer properties of *Opuntia humifusa* Stems. **Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition**, v. 41, n. 1, p. 20-25, 2012.

BÖRJESSON, E.; INNINGS, F.; TRÄGÅRDH, C.; BERGENSTÅHL, B.; PAULSSON, M. Evaluation of particle measures relevant for powder bed porosity: a study of spray dried dairy powders. **Powder Technology**, v. 253, p. 453-463, 2014.

BORRMANNA, D.; PIERUCCI, A. P. T. R.; LEITE, S. G. F.; LEÃO, M. H. M. da R. Microencapsulation of passion fruit (*Passiflora*) juice with n-octenylsuccinate-derivatised starch using spray-drying. **Food and Bioproducts Processing**, v. 91, n. 1, p. 23-27, 2013.

BRANCO VAN CLEEF, E. H. C.; EZEQUIE, J. M. B.; GONÇALVES, J. S.; PASCOAL, L. A. F. Determinação da matéria seca das fezes de ovinos e da carne de peito de frango através do método tradicional e por liofilização. **REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria**, v. 11, n. 4, p. 1-10, 2010.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005. Aprova o Regulamento Técnico sobre a Ingestão Diária Recomendada (IDR) de Proteína, Vitaminas e Minerais. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 22 set. 2005b.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 272, de 22 de setembro de 2005. Dispõe sobre o “Regulamento Técnico para produtos de vegetais, produtos de frutas e cogumelos comestíveis”. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2005a.

BRASIL. Ministério da saúde. Secretária de Vigilância Sanitária. Portaria nº 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.

BREDA, C. A.; SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J.; CORREIA, C. A. C. Shelf life of powdered *Campomanesia adamantium* pulp in controlled environments. **Food Chemistry**, v. 135, p. 2960-2964, 2012.

BREDA, C. A.; JUSTI, P. N.; SANJINEZ-ARGANDOÑA. Efeito da desidratação *foam mat* na retenção da vitamina C da polpa de cajá-manga. **Brazilian Journal of Food Nutrition**, v. 24, n. 2, p. 189-193, 2013.

BRITO PRIMO, D. M.; MARTINS, L. P.; LIMA, A. B.; SILVA, S. M.; BARBOSA, J. A. Postharvest quality of cactus pear fruits stored under modified atmosphere and refrigeration. **Acta Horticulturae**, n. 811, p. 167-172, 2009.

BUTERA, D.; TESORIERE, L.; DI GAUDIO, F.; BONGIORNO, A.; ALLEGRA, M.; PINTAUDI, A. M.; KOHEN, R.; LIVREA, M. A. Antioxidant activities of sicilian prickly pear (*Opuntia ficus indica*) fruit extracts and reducing properties of its betalains: betanin and indicaxanthin. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 2, p. 6895-6901, 2002.

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.

CALISKAN, G.; DIRIM, S. N. The effects of the different drying conditions and the amounts of maltodextrin addition during spray drying of sumac extract. **Food and bioproducts processing**, v. 91, n. 4, p. 539-548, 2013.

CAMPELO, I. K. M. **Secagem em camada de espuma da polpa do figo-da-índia**. 2009. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

CAMPOMORI, J. B.; ALVES, M. C.; AMARAL, I. C.; RESENDE, J. V. Utilização da microscopia eletrônica de varredura no estudo da estabilidade da polpa de maracujá liofilizada adicionada de açúcares. In: CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFLA, 23., Lavras. **Anais...** Lavras: CPGUFLA, 2014.

CANO-HIGUITA, D. M.; MALACRIDA, C. R.; TELIS, V. R. N. Stability of curcumin microencapsulated by spray and freeze drying in binary and ternary matrices of maltodextrin, gum arabic and modified starch. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, p. 2049-2060, 2015.

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

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.

CARNEIRO, A. P. G., **Estudo da estabilidade do pó de açaí orgânico**. 2011. 105 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

CARNEIRO, H. C. F.; TONON, R. V.; GROSSO, C. R. F.; HUBINGER, M. D. Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials. **Journal of Food Engineering**, v. 115, p. 443–451, 2013.

CARVALHO, M. S. **Produção de polpa de abóbora em pó pelo processo de secagem de leite de espuma**. 2014. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, 2014

CARVALHO, A. G. S.; MACHADO, M. T. C.; SILVA, V. M.; SARTORATTO, A.; RODRIGUES, R. A. F.; HUBINGER, M. D. Physical properties and morphology of spray dried microparticles containing anthocyanins of jussara (*Euterpe edulis* Martius) extract. **Powder Technology**, v. 294, p. 421–428, 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, 2017a.

CARVALHO, T. I. M.; NOGUEIRA, T.Y. K.; MAUROA, M. A.; GÓMEZ-ALONSOB, S.; GOMESA, E.; DA-SILVA, R.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZB, I.; LAGO-VANZELA,

E. S. Dehydration of jambolan (*Syzygium cumini* L.) juice during foam mat drying: Quantitative and qualitative changes of the phenolic compounds. **Food Research International**, v. 102, p. 32-42, 2017b.

CASTELLAR, M. R.; SOLANO, F.; OBÓN, J. M. Betacyanin and other antioxidants production during growth of *Opuntia stricta* (Haw.) fruits. **Plant Foods Human Nutrition**, v. 67, n. 4, p. 337–343, 2012.

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. 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.

CAYUPÁN, Y. S. C.; OCHOA, M. J. NAZARENO, M. A. Health-promoting substances and antioxidant properties of *Opuntia* sp. fruits. Changes in bioactive-compound contents during ripening process. **Food Chemistry**, v. 126, n. 2, p. 514-519, 2011.

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.

CEJUDO-BASTANTE, M. J.; HURTADO, N.; HEREDIA, F. J. Potential use of new Colombian sources of betalains. Colorimetric study of red prickly pear (*Opuntia dillenii*) extracts under different technological conditions. **Food Research International**, v. 71, p. 91-99, 2015.

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

CHA, M. N.; JUN, H. I.; LEE, W. J.; KIM, M. J.; KIM, M. K.; KIM, Y. S. Chemical composition and antioxidant activity of Korean cactus (*Opuntia humifusa*) fruit. **Food Science and Biotechnology**, v. 22, n. 2, p. 523-529, 2013.

CHAUX-GUTIÉRREZ, A. M.; SANTOS, A. B.; GRANDA-RESTREPO, D. M.; MAURO, M. A. *Foam mat* drying of mango: Effect of processing parameters on the drying kinetic and product quality. **Drying Technology**, v. 35, n. 5, p. 631-641, 2017.

CHAVES, M. A.; BARRETO, I. M. A.; REIS, R. C.; KADAM, D. M. Physicochemical and sensory properties of purple Brazilian cherry (*Eugenia uniflora* L.) foams. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 48, n. 8, p. 1688-1697, 2013.

CHEN, C.; CHI, Y. J.; XU, W. Comparisons on the functional properties and antioxidant activity of spray-dried and freeze-dried egg white protein hydrolysate. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 6, p. 2342-2352, 2012.

CHEN, Q.; BI, J.; WU, X.; YI, J.; ZHOU, L.; ZHOU, Y. Drying kinetics and quality attributes of jujube (*Zizyphus jujuba* Miller) slices dried by hot-air and short- and medium-wave infrared radiation. **LWT - Food Science and Technology**, v. 64, n. 2, p. 759-766, 2015.

CHEN, Q.; LI, Z.; BI, J.; ZHOU, L.; YI, J.; WU, X. Effect of hybrid drying methods on physicochemical, nutritional and antioxidant properties of dried black mulberry. **LWT - Food Science and Technology**, v. 80, p. 178-184, 2017.

CHEN, Q.; ZHONG, F.; WEN, J.; MCGILLIVRAY, D. Properties and stability of spray dried and freeze dried microcapsules co-encapsulated with fish oil, phytosterol esters, and limonene. **Drying Technology**, v. 31, n. 6, p. 707-716, 2013.

CHEVER, S. S.; MEJEAN, S.; DOLIVET, A.; MEI, F.; BOER, C. M. D.; LE BARZIC, G.; JEANTET, R.; SCHUCK, P. Agglomeration during spray drying: Physical and rehydration properties of whole milk/sugar mixture powders. **LWT - Food Science and Technology**, v. 83, p. 33-41, 2017.

CHIK, C. T.; BACHOK, S.; BABA, N. Quality characteristics and acceptability of three types of pitaya fruits in a consumer acceptance test. **Journal of Tourism, Hospitality e Culinary Arts**, v. 3, n. 1, p. 89-98, 2011.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. rev. e ampl. Lavras: UFLA, 2005. 783 p.

CHOUDHURY, D.; SAHU, J. K.; SHARMA, G. D. Moisture sorption isotherms, heat of sorption and properties of sorbed water of raw bamboo (*Dendrocalamus longispatus*) shoots. **Industrial Crops and Products**, v. 33, n. 1, p. 211–216, 2011.

CHOUGUI, N.; DJERROUD, N.; NARAOU, F.; HADJAL, S.; ALIANE, K.; ZEROUAL, B.; LARBAT, R. Physicochemical properties and storage stability of margarine containing *Opuntia ficus-indica* peel extract as antioxidante. **Food Chemistry**, v. 173, p. 382–390, 2015.

CHRANIOTI, C.; CHANIOTI, S.; TZIA, C. Comparison of spray, freeze and oven drying as a means of reducing bitter aftertaste of steviol glycosides derived from (*Stevia rebaudiana Bertoni* plant). **Food Chemistry**, v. 190, n. 1, p. 1151-1158, 2016.

CONEGERO, J.; RIBEIRO, L. C.; COSTA, J. M. C.; MONTEIRO, A. R. G. Stability of ‘mangaba’ pulp powder obtained by freeze drying. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 9, p. 645-650, 2017a.

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, 2017b.

CONTADO, E. W. N. F.; PEREIRA, J.; EVANGELISTA, S. R.; LIMA JÚNIOR, F. A.; ROMANO, L. M.; COUTO, E. M. Composição centesimal da mucilagem do inhame (*Dioscorea* spp.) liofilizado comparado a de um melhorador comercial utilizado na panificação e avaliação sensorial de pães de forma. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. Esp., p. 1813-1818, 2009.

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.

COSTA, J. N.; FIGUEIREDO, R. W.; SOUSA, P. H. M.; GONZAGA, M. L. C.; CONSTANT, P. B. L.; SOARES, D. J. Estabilidade maracujá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) em pó oriundo do cultivo orgânico. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 2, p. 705-716, 2013.

COSTA, J. N. **Estudo da estabilidade de maracujá (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Degener) em pó, proveniente de cultivo orgânico**. 2012. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

COSTELL, E.; DURÁN, L. Reología físico química de los zumos y purés de frutas. **Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos**, v. 22, n. 1, p. 81-94, 1982.

DAMODARAN, S.; FENNEMA, O. R.; PARKIN, K. L. **Química de alimentos**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

DANTAS, R. L. **Compostos bioativos, propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias de cactáceas do semiárido**. 2015. 131 f. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2015c.

DANTAS, T. N. P.; SOUZA, J. S.; JÚNIOR, F. E. S.; MEDEIROS, M. F. D. Propriedades físicas e físico-químicas de pós de misturas de polpa de frutas com diferentes fontes lipídicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 8., 2009, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: CBEQIC, 2009.

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**, n. 58, v. 1, p. 143-149, 2015a.

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.

DANTAS, R. L.; SILVA, S. M.; SANTOS, L. F.; DANTAS, A. L.; LIMA, R. P.; SOARES, L. G. Betalains and antioxidant activity in fruits of *Cactaceae* from Brazilian semiarid. **Acta Horticulturae**, n. 58, v. 1, p. 151-157, 2015b.

DANTAS, S. C. M. **Desidratação de polpas de frutas pelo método *foam-mat***. 2010. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

DAS, S.; BANERJEE, S.; PAL, J. Mathematical modeling of foam-mat dried pumpkin pulp. **International Journal of Food and Nutritional Sciences**, v. 4, n. 3, p. 50-55, 2015.

D'ANDREA, E. M.; ANDRADE, E. T.; CORRÊA FILHO, L. C.; SOUSA, F. A.; FIGUEIRA, V. G. Análise da cinética de secagem, contração volumétrica e difusão líquida da acerola “in natura”. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 17, n. 4, p. 399-408, 2015.

DEHBI, F.; HASIB, A.; BOUAZIZ, M.; OUATMANE, A.; ELBATAL, H.; JAOUAD, A.; HADJ-BEKKOUCHE, F. Effect of phenolic compounds and betalain pigments on the antioxidant capacity of Moroccan prickly pear juices. **Nature e Technology, Journal B-Agronomic e Biological Sciences**, v. 9, p. 02-07, 2013.

DIEB, J. T.; GURGEL, C. M.; DANTAS, T. P.; MEDEIROS, M. F. D. Secagem da polpa de graviola pelo processo *foam-mat* e avaliação sensorial do produto obtido. **Revista Tecnologia e Informação**, v. 2, n. 2, p. 24-31, 2015.

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.

DJAENI, M.; PRASETYANINGRUM, A.; SASONGKO, S. B.; WIDAYAT, W.; HII, C.L. Application of foam-mat drying with egg white for carrageenan: Drying rate and product quality aspects. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 2, p. 1170-1175, 2015.

DOYMAZ, İ. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 3, p. 359-364, 2004.

DUQUE, J. G. **O Nordeste e as lavouras xerófilas**. 4. ed. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2004. 330 p.

ENDO, E.; BORGES, S. V.; DAIUTO, E. R.; CEREDA, M. P.; AMORIM, E. Avaliação da vida de prateleira do suco de maracujá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) desidratado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, p.382-386, 2007.

EKPONG, A.; PHOMKONG, W.; ONSAARD, E. The effects of maltodextrin as a drying aid and drying temperature on production of tamarind powder and consumer acceptance of the powder. **International Food Research Journal**, v. 23, n. 1, p. 300-308, 2016.

EL FITI, A.; EL BOULLANI, R.; FALLAH, M.; FOUAD, M. S.; EL MOUSADIK, A. Assessment of some agro-technological parameters of cactus pear fruit (*Opuntia ficus-indica* Mill.) in Morocco cultivars. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 4, n. 35, p. 2574-2583, 2013.

EL-MOSTAFA, K.; EL KHARRASSI Y.; BADREDDINE, A.; ANDREOLETTI, P.; VAMECQ, J.; EL KEBBAJ, M’H. S.; LATRUFFE, N.; LIZARD, G.; NASSER, B.; CHERKAOUI-MALKI, M. Nopal cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a source of bioactive compounds for nutrition, health and disease. **Molecules**, v. 19, p. 14879-14901, 2014.

EL-SAID, N. M.; NAGIB, A. I.; RAHMAN, Z. A.; DERAZ, S. F. Prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) peel: chemical composition, nutritional value, and protective effects on liver and kidney functions and cholesterol in rats. **Functional Plant Science and Biotechnology**, v. 5, n. 1, p. 30-35, 2010.

ENGEL, V. L.; POGGIANI, F. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florais. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 3, n. 1, p. 39-45, 1991.

ESPÍRITO SANTO, E. F. **Comparação entre técnicas de secagem para a obtenção de biomassa de *Rubrivivax gelatinosus***. 2011. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Estadual Paulista, Araçatuba, 2011.

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.

FABRA, M. J.; MÁRQUEZ, E.; CASTRO, D.; CHIRALT, A. Effect of maltodextrins in the water-content–water activity–glass transition relationships of noni (*Morinda citrifolia* L.) pulp powder. **Journal of Food Engineering**, v. 103, n. 1, p. 47-51, 2011.

FANTINEL, P.; BORGMAN, O.; HOLTZMAN, R.; GOEHRING, L. Drying in a microfluidic chip: experiments and simulations. **Scientific Reports**, v. 7, p. 1-12, 2017.

FARIAS, V. F. S. **Avaliação do desenvolvimento, qualidade e capacidade antioxidante em brotos de palma (*Opuntia sp.*) para o consumo humano**. 2013. 74 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) - Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2013.

FÁVARO-TRINDADE, C. S.; PINHO, S. C.; ROCHA, G. A. Microencapsulação de ingredientes alimentícios. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 11, n. 2, p. 103-112, 2008.

FAZAELI, 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.

FEITOSA, R. M. **Secagem por aspersão e em camada de espuma da polpa de murta**. 2013. 213 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande,.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e práticas**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602 p.

FERNANDES, L. M. S.; VIEITES, R. G.; 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.

FERNANDES, R. V. B.; BORGES, S. V.; BOTREL, D. A. Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of Rosemary essential oil. **Carbohydrate Polymers**, v. 101, p. 524–532, 2014.

FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J. A.; ALMELA, L.; OBÓN, J. M.; CASTELLAR, R. Determination of antioxidant constituents in cactus pear fruits. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 65, n. 3, p. 253-259, 2010.

FERRARI, C. C.; GERMER, S. P. M.; AGUIRRE, J. M. Effects of spray-drying conditions on the physicochemical properties of blackberry powder. **Drying Technology**, v. 30, n. 2, p. 154-163, 2012b.

FERRARI, C. C.; GERMER, S. P. M.; ALVIM, I. D.; VISSOTTO, F. Z.; DE AGUIRRE, J. M. Influence of carrier agents on the physicochemical properties of blackberry powder produced by spray drying. **International Journal of Food Science Technology**, v. 47, n. 6, p. 1237-1245, 2012a.

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, 2012c.

FERREIRA, A. P. R.; SOUSA, S. L., LIMA D. M., COSTA, J. M. C. Caracterização de polpa de cajá em pó obtida pelo método de secagem em leito de jorro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 20., 2014, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: COBEQ, 2014.

FERREIRA, C. D.; PENA, R. S. Comportamento higroscópico da farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 2, p. 251-255, 2003.

FERREIRA, M. de F. P.; PENA, R. da S. Estudo da secagem da casca do maracujá amarelo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 12, n. 1, p. 15-28, 2010.

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. **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.

FRANCO, T. S.; PERUSSELLO, C. A.; ELLENDERSEN, L. N.; MASSON, M. L. Effects of foam mat drying on physicochemical and microstructural properties of yacon juice powder. **LWT - Food Science and Technology**, v. 66, p. 503-513, 2016.

FRANCO, T. S.; PERUSSELLO, C. A.; ELLENDERSEN, L. N.; MASSON, M. L. Effect of process parameters on foam mat drying kinetics of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and thin-layer drying modeling of experimental data. **Journal of Food Process Engineering**, v. 40, n. 1, p. 1-10, 2017.

FREITAS, R. C. P. **Caracterização do processo de secagem em leito de espuma para obtenção de pó de manga ubá.** 2016. 88 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2016.

FURMANIAK, S.; TERZYK, A.; GOŁEMBIEWSKI, R.; GAUDEN, P. A. CZEPIRSKI, L. Searching the most optimal model of water sorption on foodstuffs in the whole range of relative humidity. **Food Research International**, v. 42, n. 8, p. 1203–1214, 2009.

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.

FURTADO, G. F.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; SANTOS, P. Secagem de abacaxi (*Ananás comosus (L.) Merrill*), variedade pérola utilizando a técnica de camada de espuma. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 16, n. 4, p. 387-394, 2014.

GALDINO, P. O. **Secagem em camada de espuma da polpa de atemoia e armazenamento do pó.** 2015. 221 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola.) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.

GALDINO, P. O. **Secagem por aspersão da polpa do figo-da-índia.** 2011. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 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, 2016a.

GALDINO, P. O.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; GALDINO, P. O. Drying kinetics of atemoya pulp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 7, p. 672-677, 2016b.

GANDÍA-HERRERO, F.; GARCÍA-CARMONA, F. Biosynthesis of betalains: yellow and violet plant pigments. **Trends in Plant Science**, v. 18, n. 6, p. 334-343, 2013.

GANDÍA-HERRERO, F.; JIMÉNEZ-ATIENZAR, M.; CABANES, J. F.; GARCÍA-CARMONA, J. Stabilization of the bioactive pigment of *Opuntia* fruits through maltodextrin encapsulation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 19, p. 10646-10652, 2010.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B.; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Nobel, 2008. 511 f.

GEA NIRO RESEARCH LABORATORY. **Analytical methods dry milk products**. Soeborg: GEA Niro, 2003. 103 p. (GEA Niro Analytical Methods 14a-15a).

GOKHALE, S. V.; LELE, S. S. Dehydration of red beet root (*Beta vulgaris*) by hot air drying: process optimization and mathematical modeling. **Food Science and Biotechnology**, v. 20, n. 4, p. 955-964, 2011.

GOMES, L. D. B. C.; ALMEIDA, E. M.; OLIVEIRA, N. Obtenção e caracterização de acerola em pó pelo método *foam mat*. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 7, n. 2, p. 172-177, 2017a.

GOMES, L. D. B. C.; ALMEIDA, E. M.; OLIVEIRA, S. N. Cinética de secagem em camada de espuma e caracterização física de acerola em pó. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 7, n. 2, p. 178-184, 2017b.

GONELI, A. L. D.; VIEIRA, M. C.; VILHASANTI, H. C. B.; GONÇALVES, A. A. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 1, p. 56-64, 2014.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II - The effect on powder properties. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 1, p. 35-42, 2005.

GOULA, A. M.; KARAPANTSIOS, T. D.; ACHILIAS, D. S.; ADAMOPOULOS, K.G. Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 85, n. 1, p. 73-83, 2008.

GUIMARÃES, M. K. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. *Foam-mat* drying kinetics of keitt mango pulp. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 1, p. 172–180, 2017.

GUPTA, K.; ALAM, M. S. Mass and color kinetics of foamed and non foamed grape concentrate during convective drying process: A comparative study. **Journal of Engineering and Technology Research**, v. 6, n. 4, p. 48-67, 2014.

GURAK, P. D.; CABRAL, L. M. C.; ROCHA-LEÃO, M. H. Production of grape juice powder obtained by freeze-drying after concentration by reverse osmosis. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 56, n. 6, p. 1011–1017, 2013.

HAMROUNI-SELLAMI, I.; RAHALI, F. Z.; REBEY, I. B.; BOURGOU, S.; LIMAM, F.; MARZOUK, B. Total phenolics, flavonoids, and antioxidant activity of sage (*Salvia officinalis* L.) plants as affected by different drying methods. **Food Bioprocess Technology**, v. 6, n. 3, p. 806–817, 2013.

HARDY, Z.; JIDEANI, V. A. Foam-mat drying technology: a review. **Food Science and Nutrition**, n. 57, v. 12, p. 2560-2572, 2017.

HAUSNER, H. H. Friction conditions in a mass of metal powders. **International Journal of Powder Metallurgy**, n. 3, p. 7-13, 1967.

HENRÍQUEZ, C.; CÓRDOVA, A.; LUTZ, M.; SAAVEDRA, J. Storage stability test of apple peel powder using two packing materials: High-density polyethylene and metalized films of high barrier. **Industrial Crops and Products**, v. 45, p. 121-127, 2013.

HERBACH, K. M.; STINTZING, F. C.; CARLE, R. Stability and color changes of thermally treated betanin, phyllocactin, and hylocerenin solutions. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 54, p. 390-398, 2006.

HERNÁNDEZ-URBIOLA, M. I.; PÉREZ-TORRERO, E.; RODRÍGUEZ-GARCÍ, 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.

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.

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.

HOFFMANN, J. F.; ZANDONÁ, G. P.; DOS SANTOS, P. S.; DALLMANN, C. M.; MADRUGA, F. B.; ROMBALDI, C.V.; CHAVES, F. C. Stability of bioactive compounds in butiá (*Butia odorata*) fruit pulp and nectar. **Food Chemistry**, v. 237, p. 638-644, 2017.

HORUZ, E.; ALTAN, A.; MASKAN, M. Spray drying and process optimization of unclarified pomegranate (*Punica granatum*) juice. **Drying Technology**, v. 30, n. 7, p. 787-798, 2012.

HUANG, X.; LI, D.; WANG, L J. Characterization of pectin extracted from sugar beet pulp under different drying conditions. **Journal of Food Engineering**, v. 211, p. 1-6, 2017.

IBARZ, A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. **Operaciones unitárias de la ingeniería de alimentos**. Lancaster: Technomic Publishing, p. 868, 1999.

IGNAT, J.; VOLF, I.; POPA, V. I. A critical review of methods for characterization of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. **Food Chemistry**, v. 126, n. 1, p. 1821-835, 2011.

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

ISLAM, M. Z.; KITAMURA, Y.; YAMANO, Y.; KITAMURA, M. Effect of vacuum spray drying on the physicochemical properties, water sorption and glass transition

phenomenon of orange juice powder. **Journal of Food Engineering**, v. 169, p. 131-140, 2016.

IZQUIERDO-LOPEZ, D.; GOULET, J.; RATTI, C. Foam-mat freeze-drying of *Bifidobacterium longum* RO175: viability and refrigerated storage stability. **Journal of Food Science**, v. 82, n. 1, p. 90-96, 2017.

JAKUBCZYKA, E.; GONDEKA, E.; TAMBORB, K. Characteristics of selected functional properties of apple powders obtained by the foam-mat drying method. In: OF INTERNATIONAL CONGRESS ON ENGINEERING AND FOOD, 11., 2011, Athens. **Proceedings...** Athens: ICEF, 2011.

JANGAM, S. V; LEI, C. L; MUJUMDAR, A. S. **Secagem de alimentos, vegetais e frutas**. Singapura: Universidade Internacional de Singapura, 2010. 232 p.

JEESHARMA, R.; GUPTA, R. C.; SINGH, S.; KUMAR, A. B.; SINGH, I. P. Stability of anthocyanins- and anthocyanidins-enriched extracts, and formulations of fruit pulp of *Eugenia jambolana* ('jamun'). **Food Chemistry**, v. 90, n. 1, p. 808-817, 2016.

JERONIMO, M. C. **Caracterização química, físico-química, atividade antioxidante e avaliação dos efeitos citotóxicos da pitáia vermelha [*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton e Rose] cultivada no Brasil**. 2016. 56 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Saúde) Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

JUAREZ-ENRIQUEZ, E.; OLIVAS, G. I.; ZAMUDIO-FLORES, P. B.; ORTEGA-RIVAS, E.; PEREZ-VEGA, S.; SEPULVEDA, D. R. Effect of water content on the flowability of hygroscopic powders. **Journal of Food Engineering**, v. 205, p. 12-17, 2017.

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, 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.

JUSTO, T. F.; PEREIRA, K. S.; MOREIRA, D. P. ; LACERDA, E. C. Q. Avaliação da cor e estabilidade química de um preparado em pó de juçara (*Euterpe edulis*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 56., 2016, Belém. **Anais...** Belém: SBQ, 2016.

KADAM, D. M.; WILSON, R. A.; KAUR, V.; CHADHA, S.; KAUSHIK, P.; KAUR, S.; PATIL, R. T.; RAI, D. R. Physicochemical and microbial quality evaluation of foam-mat-dried pineapple powder. **International Journal of Food Science and Technology**, n. 47, v. 8, p. 1654-1659, 2012a.

KADAM, D. M.; WILSON, R. A.; KAUR, S. Influence of *foam mat* drying on quality of tomato powder. **International Journal of Food Properties**, v. 15, n. 1, p. 211–220, 2012b.

KADAM, D. M.; WILSON, R. A.; KAUR, V. Determination of biochemical properties of foam-mat dried mango powder. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 45, n. 8, p. 1626-1632, 2010.

KADER, A. A. Future of modified atmosphere research. **Acta Horticulturae**, v. 857, p. 212-217, 2010.

KANDASAMY, P.; VARADHARAJU, N.; KALEMULLAH, S. *Foam-mat* drying of papaya (*Carica papaya* L.) using glycerol monostearate as foaming agent. **Food Science and Quality Management**, v. 9, n. 1, p. 17-27, 2012.

KANDASAMY, P.; VARADHARAJU, N.; KALEMULLAH, S.; MALADHI, D. Optimization of process parameters for foam-mat drying of papaya pulp. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 10, p. 2526-2534, 2014.

KHAZAEI, K. M.; JAFARI, S. M.; GHORBANI, M.; KAKHKI, A. H. Application of maltodextrin and gum Arabic in microencapsulation of saffron petal's anthocyanins and evaluating their storage stability and color. **Carbohydrate Polymers**, v. 105, p. 57-62, 2014.

KLUGE, R. A.; COSTA, C. A.; VITTI, M. C. D.; ONGARELLI, M. DAS G.; JACOMINO, A. P.; MORETTI, C. L. Armazenamento refrigerado de beterraba minimamente processada em diferentes tipos de corte. **Ciência Rural**, v. 36, n. 1, p. 263-270, jan-fev, 2006.

KNANI, S.; KHALFAOUI, M.; HACHICHA, M. A.; LAMINE, A. B.; MATHLOUTHI, M. Modelling of water vapour adsorption on foods products by a statistical physics treatment using the grand canonical ensemble. **Food Chemistry**, v. 32, n. 4, p. 1686–1692, 2012.

KONDOR, A.; HOGAN, S. A. Relationships between surface energy analysis and functional characteristics of dairy powders, **Food Chemistry**, v. 237, p. 1155–1162, 2017.

KOUKOUCH, A.; IDLIMAM, A.; ASBIK, M.; SARH, B.; IZRAR, B.; BOSTYN, S.; BAH, A.; ANSARI O.; ZEGAOU, O.; AMINE, A. Experimental determination of the effective moisture diffusivity and activation energy during convective solar drying of olive pomace waste. **Renewable Energy**, v. 101, p. 565-574, 2017.

KRUMREICH, F.; D'AVILA, R. F.; FREDI, S. A.; CHAVES, F. C.; CHIM, J. F. Análises físico-químicas e estabilidade de compostos bioativos presentes em polpa de uvaia em pó obtidos por métodos de secagem e adição de maltodextrina e goma arábica, **Revista Thema**, v. 14, n. 2, p. 4-17, 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.

KUNYANGA, C. N.; VELLINGIRI, V.; IMUNGI, K. J. Nutritional quality, phytochemical composition and health protective effects of an under-utilized prickly cactus

fruit (*Opuntia stricta* haw.) collected from Kenya. **African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development**, v. 14, n. 7, p. 9561-9577, 2014.

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.

KUTI, J. O. Antioxidant compounds from four *Opuntia* cactus pear fruit varieties. **Food Chemistry**, v. 85, n. 4. p. 527–533, 2004.

LANCHA, J. P.; GERMER, S. P. M.; DALLA DEA, R. C.; FERRARI, C. C.; ALVIM, I. D. Desidratação de polpa de pitanga e jaboticaba 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. CD-ROM.

LAOKULDILOK, T.; KANHA, N. Effects of processing conditions on powder properties of black glutinous rice (*Oryza sativa* L.) bran anthocyanins produced by spray drying and freeze drying. **LWT - Food Science and Technology**, v. 64, n. 1, p. 405-411, 2015.

LEE, J.W.; KIM, J.K.; SRINIVASAN, P.; CHOI, J.; KIM, J.H.; HAN, S.B.; KIM, D.J.; BYUN M.W. Effect of gamma irradiation on microbial analysis, antioxidant activity, sugar content and color of ready-to-use tamarind juice during storage. **LWT – Food Science and Technology**, v. 42, n. 1, p. 101-105, 2009.

LEE, K. H.; WU, T. Y.; SIOW, L. F. Spray drying of red (*Hylocereus polyrhizus*) and white (*Hylocereus undatus*) dragon fruit juices: physicochemical and antioxidant properties of the powder. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 48, n. 11, p. 2391- 2399, 2013.

LI, R.; ROOS, Y.H.; MIAO, S. The effect of water plasticization and lactose content on flow properties of dairy model solids. **Journal of Food Engineering**, v. 170, p. 50-57, 2016.

LI, X.; LI, M.; HAN, C.; JIN, P.; ZHENG, Y. Increased temperature elicits higher phenolic accumulation in fresh-cut pitaya fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 129, p. 90-96, 2017.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**, v. 148, p. 362-385, 1987.

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, 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.

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.

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.

LIPASEK, R. A.; TAYLOR, L. S.; MAUER, L. J. Effects of anticaking agents and relative humidity on the physical and chemical stability of powdered vitamin C. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 7, p. 1062-1074, 2011.

LISBÔA, C. G. C.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Armazenamento de figo-da-índia em pó. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 2, p. 216-221, 2012.

LIU, F.; CAO, X.; WANG, H.; LIAO, X. Changes of tomato powder qualities during storage. **Powder Technology**, v. 204, n. 1, p. 159-166, 2010.

LOBO, F. A.; NASCIMENTO, M. A.; DOMINGUES, J. R.; FALCÃO, D. Q.; HERNANZ D.; HEREDIA, F. J.; ARAUJO, K. G. L. Foam mat drying of Tommy Atkins mango: effects of air temperature and concentrations of soy lecithin and carboxymethylcellulose on phenolic composition, mangiferin, and antioxidant capacity. **Food Chemistry**, v. 221, p. 258–266, 2017.

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I: Fruit, vegetable and meat products. **Lebensmittel-Wissenschaft e Technologie**, v. 18, n. 2, p. 111-117, 1985.

LONGARAY, J. N. **Estudo da degradação de betalaínas no suco de beterraba via aquecimento ôhmico e convencional**. 2014. 35 f. Monografia (Graduação em Engenharia Química) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

LOUREIRO, M. N.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; OLIVEIRA, E. N. A. DE. 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.; COSTA, G. M.; SOUSA, R. F.; CARVALHO, T. K. N.; MARREIROS, N. A.; ALVES, C. A. B.; PEREIRA, D. D.; LUCENA, R. F. P. L. Conhecimento tradicional sobre cactáceas em comunidades rurais na mesorregião do sertão da Paraíba (Nordeste, Brasil). **Biotemas**, v. 25, n. 3, p. 281-291, 2012.

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.

MACHADO, H.; NAGEM, T. J.; PETERS, V. M.; FONSECA, C. S.; OLIVEIRA, T. T. Flavonoides e seu potencial terapêutico. **Boletim do Centro de Biologia da Reprodução**, v. 27, n. 1/2, p. 33-39, 2008.

MADUREIRA, I. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; SILVA FILHO, E. D. Cinética de secagem da polpa do figo-da-índia. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 13, n. Esp., p. 345-354, 2011.

MALACRIDA, C. R.; SUNGIL, F.; TELIS, V. R. N. Stability at different temperatures of turmeric oleoresin encapsulated in maltodextrin/gelatin matrices by freeze drying. **Journal of Colloid Science and Biotechnology**, v. 2, n. 2, p. 100-106, 2013.

MARQUES, G. R.; BORGES, S. V.; MENDONÇA, K. S.; FERNANDES, R. V. B.; MENEZES, E. G. T. Application of maltodextrin in green corn extract powder production. **Powder Technology**, v. 263, p. 89-95, 2014.

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, Campinas, 2013.

MARTINS, P. C. **Estudo da influência de uma fase lipídica na aglomeração de pós alimentícios**. 2006. 166 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

MATIAS, A.; NUNES, S. L.; POEJO, J.; MECHA, E.; SERRA, A. T.; MADEIRA, P. J.; BRONZE, M. R.; DUARTE, C. M. Antioxidant and anti-inflammatory activity of a flavonoid-rich concentrate recovered from *Opuntia ficus-indica* juice. **Food Function**, v. 5, n. 12, p. 3269-3280, 2014.

MCMINN, W. A. M. Thin-layer modeling of the convective, microwave, microwaveconvective and microwave-vacuum drying of lactose powder. **Journal of Food Engineering**, v. 72, n. 4, p. 113–123, 2006.

MEDEIROS, M. L.; LANNES, S. C. S. Propriedades físicas de substitutos do cacau. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 1, p. 243-253, 2010.

MEIADO, M. V.; MACHADO, M. C.; ZAPPI, D. C.; TAYLOR, N. P.; SIQUEIRA-FILHO, J. A. Cacti of the Sao Francisco Watershed: Ecological Attributes, Geographic

Distribution and Endemism. In: SIQUEIRA-FILHO, J. A. **Flora of the caatingas of the São Francisco River: natural history and conservation**. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson Estudio Editorial, 2012. p. 264- 305.

MELLO, F. R.; BERNARDO, C.; DIAS, C. O.; GONZAGA, L.; AMANTE, E. R.; FETT, R.; CANDIDO, L. M. B. Antioxidant properties, quantification and stability of betalains from pitaya (*Hylocereus undatus*) peel. **Ciência Rural**, v. 45, n. 2, p. 323-328, 2015.

MELO FILHO, A. B.; VASCONCELOS, M. A. S. **Química de alimentos**. Recife: UFRPE, 2011. 78 p.

MELO, K. S. **Secagem de polpa do fruto do mandacaru**. 2008. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

MELO, K. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; FERNANDES, T. K. S.; BEZERRA, M. C. T. Secagem em camada de espuma da polpa do fruto do mandacaru: experimentação e ajustes de modelos matemáticos. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 2, p. 10-17, 2013.

MELO, W. S.; PENA, R. S.; RODRIGUES, A. M. C.; SILVA, L. H. M. Hygroscopic behavior of buriti (*Mauritia flexuosa*) fruit. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 4, p. 935- 940, 2011.

MENEZES, A. R. V.; SILVA JÚNIOR, A.; CRUZ, H. L. L.; ARAUJO, D. R.; SAMPAIO, D. D. Estudo comparativo do pó da acerola verde (*Malpighia 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.

MIRANDA, D. S. A. **Obtenção da polpa em pó de biribá (*Rollinia mucosa*) pelo processo de secagem em camada de espuma e por liofilização: estudo dos parâmetros**

**físicos, químicos e físico-químicos.** 2014. 199 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.

MIZRAHI, Y. *Cereus peruvianus* (Koubo) new cactus fruit for the world. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 1, p. 68-78, 2014.

MORAGA, G.; IGUAL, M.; GARCÍA-MARTÍNEZ, E.; MOSQUERA, L. H.; MARTÍNEZ- NAVARRETE, N. 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.

MORALES, P.; RAMÍREZ-MORENO, E.; SANCHEZ-MATA, M. C.; CARVALHO, A. M.; FERREIRA, I. C. F. R. Nutritional and antioxidant properties of pulp and seeds of two xoconostle cultivars (*Opuntia joconostle* F.A.C. Weber ex Diguët and *Opuntia matudae* Scheinvar) of high consumption in Mexico. **Food Research International**, v. 46, n. 1, p. 279-285, 2012.

MOREIRA, J. S. A.; SOUZA, M. L.; ARAÚJO NETO, S. E.; SILVA, R. F. Estudo da estabilidade microbiológica e físico-química de polpa de cupuaçu desidratada em estufa. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 2, p. 26-32, 2011.

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, R. L. **Liofilização de polpas de pitaya.** 2015. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.

MOUSSA-AYOUB, T. E.; ABD EL-HADY, E. S. A.; OMRAN, H. T.; EL-SAMAHY, S. K.; KROH, L. W.; ROHN, S. Influence of cultivar and origin on the flavonol profile of fruits and cladodes from cactus *Opuntia ficus-indica*. **Food Research International**, v. 65, p. 865-872, 2014.

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.

MOUSSA-AYOUB, T. E.; JAEGER, H.; YOUSSEF, K.; KNORR, D.; EL-SAMAHY, S.; KROH, L. W.; ROHN, S. Technological characteristics and selected bioactive compounds of *Opuntia dillenii* cactus fruit juice following the impact of pulsed electric field pre-treatment. **Food Chemistry**, v. 2, n. 10, p. 249-261, 2016.

MOUSSA-AYOUB, T. E.; YOUSSEF, K.; EL-SAMAHY, S. K.; KROH, L. W.; ROHN, S. Flavonol profile of cactus fruits (*Opuntia ficus-indica*) enriched cereal-based extrudates: authenticity and impact of extrusion. **Food Research International**, v. 78, p. 442-447, 2015.

MOVAHHED, M. K.; MOHEBBI, M. Spray drying and process optimization of carrot-celery juice. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 40, n. 2, p. 212-225, 2016.

MUZAFFAR, K.; DINKARRAO, B. V.; KUMAR, P. Optimization of spray drying conditions for production of quality pomegranate juice powder. **Cogent Food e Agriculture**, v. 2, n. 1, p. 1-9, 2016.

MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Moisture sorption isotherms and storage study of spray dried tamarindo pulp poder. **Powder Technology**, v. 291, n. 1, p. 322-327, 2016.

NASCIMENTO, J. P. B.; MEIADO, M. V.; NICOLA, P. A.; PEREIRA, L. C. M. Germinação de sementes de *Tacinga inamoena* (k. Schum.) N.P. Taylor e Stuppy (*cactaceae*) após endozoocoria por *Chelonoidis carbonaria* (Spix, 1824) (Reptilia: testudinidae). **Gaia Scientia**, v. 9, n. 2, p. 9-14, 2015.

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.

NAZARENO, M. A.; PADRÓN-PEREIRA, C. A. Nuevas tecnologías desarrolladas para el aprovechamiento de lãs cactáceas en la elaboración de alimentos: componentes funcionales y propiedades antioxidantes. **Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos**, v. 2, n.1, p. 202-238, 2011.

NG, M. L.; SULAIMAN, R. Development of beetroot (*Beta vulgaris*) powder using foam mat drying. **LWT - Food Science and Technology**, v. 88, p. 80-86, 2018.

NISHIYAMA, Y. P. O.; DA-SILVA, R.; MAURO, M. A.; LAGO-VANZELA, E. S. Formulações de preparado desidratados a base de suco de uva brs magna: avaliação da cor, teor de água e atividade de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 15., 2016, Gramado. **Anais...** Gramado: CBCTA, 2016.

NOSHAD, M.; MOHEBBI, M.; SHAHIDI, F.; MORTAZAVI, S. A. Effect of osmosis and ultrasound pretreatment on the moisture adsorption isotherms of quince. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, n. 2, p. 266–274, 2012.

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.

NUNES, V. X.; DIAS, V. F.; COTRIM, E. S.; SANTOS, A. O.; OLIVEIRA, C. G. Caracterização física e físico-química de frutos da palma gigante em diferentes estádios de maturação. In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE E NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA (CONNEPI), 12., 2012, Palmas. **Anais...** Palmas: IFTO, 2012.

NURHADI, B.; ROOS, Y. H. Influence of anti-caking agent on the water sorption isotherm and flow-ability properties of vacuum dried honey powder. **Journal of Food Engineering**, v. 210, p. 76-82, 2017.

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, p. 172-178, 2015.

O'HAGAN, P.; HASAPIDIS, K.; CODER, A.; HELSING, H.; POKRAJAC, G. Particle size analysis of food powders. In: ONWULATA, C. **Encapsulated and powdered foods**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2005. cap. 9, p. 215-246.

OLIVEIRA, A. N.; RAMOS, A. M.; CHAVES, J. B. P.; VALENTE, M. E. R. Cinética de degradação e vida-de-prateleira de suco integral de manga. **Revista Ciência Rural**, v. 43, n. 1, p. 172-177, 2013b.

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, E. A.; JUNQUEIRA, S. F.; MASCARENHAS, R. J. Caracterização físico-química e nutricional do fruto da palma (*Opuntia ficus-indica* L. Mill.) cultivada no sertão do sub-médio São Francisco. **Revista Holos**, n. 27, v. 3, p. 113-119, 2011.

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. H. H.; CORRÊA, P. C.; ARAÚJO, E. F.; VALENTE, D. S. M.; BOTE, F. M. Desorption isotherms and thermodynamic properties of sweet corn cultivars (*Zea mays* L.). **International Journal of Food Science e Technology**, v. 45, n. 1, p. 546-554, 2010.

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, 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, 2013a.

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.

OSORIO-ESQUIVEL, O.; ORTIZ-MORENO, A.; ÁLVAREZ, V. B.; DORANTES-ÁLVAREZ, L.; MÓNICA GIUSTI, M. Phenolics, betacyanins and antioxidant activity in *Opuntia joconostle* fruits. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2160-2168, 2011.

OSUNA-MARTÍNEZ, U.; REYES-ESPARZA, J.; RODRÍGUEZ-FRAGOSO, L. Cactus (*Opuntia ficus-indica*): a review on its antioxidants properties and potential pharmacological use in chronic diseases. **Natural Products Chemistry e Research**, v. 2, n. 6, p. 1-8, 2104.

OTÁLORA, M. C.; CARRIAZO, J. G.; ITURRIAGA, L.; NAZARENO, M. A.; OSÓRIO, 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.

PAGLARINI, C. S.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; PIASSON, D.; SANTOS, P. Histerese das isotermas de sorção da polpa de manga (*Mangifera indica* L.) variedade manteiga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 3, p. 299-305, 2013.

PARK, K. J. B.; PARK, K. J.; CORNEJO, F. E. P.; FABBRO, I. M. D. Considerações termodinâmicas das isotermas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 10, n. 1, p. 83-94, 2008.

PARK, K. J.; TUBONI, C. T.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. B. Estudo da secagem de caqui giombo com encolhimento e sem encolhimento. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 6, n. 1, p. 71-86, 2004.

PATEL, S. Reviewing the prospects of *Opuntia* pears as low cost functional foods. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 12, n. 3, p. 223-234, 2013.

PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A. J. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods. A review. **Food and Bioprocess Technology**, n. 1, v. 6, p. 36-60, 2013.

PATINO, J. M. R.; SÁNCHEZ, C. C.; NIÑO, M. R. R. Implications of interfacial characteristics of food foaming agents in foam formulations. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 140, n. 2, p. 95–113, 2008.

PAULA, L. C. **Efeito de diferentes métodos de conservação sobre os compostos bioativos e atividade antioxidante de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes)**. 2015. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

PAVAN, M. A.; SCHMIDT, S. J.; FENG, H. Water sorption behavior and thermal analysis of freeze-dried, Refractance Window-dried and hot-air dried açai (*Euterpe oleracea* Martius) juice. **LWT - Food Science and Technology**, v. 48, n. 1, p. 75-81, 2012.

PEREIRA, I. E.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIREDO, M. R. F.; Características físico-químicas do tomate em pó durante o armazenamento. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 1, p. 83-90, 2006.

PEREZ, L. G.; OLIVEIRA, F. M. N.; ANDRADE, J. S.; MOREIRA FILHO, M. Cinética de secagem da polpa cupuaçu (*Teobroma grandiflorum*) pré desidratada por imersão-impregnação. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 102-106, 2013

PINTO, E. G.; SOARES, E. C.; CHAVES, M. A. Estudo das espumas produzidas partir de diferentes concentração de Emustab. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 29.; 2009, Salvador. **Anais...** Salvador: ENEGEP, 2009.

PRAKOTMAK, P.; SOPONRONNARIT, S.; PRACHAYAWARAKORN, S. Modelling of moisture diffusion in pores of banana foam mat using a 2-D stochastic pore network: determination of moisture diffusion coefficient during adsorption process. **Journal of Food Engineering**, v. 96, n. 1, p. 119–126, 2010.

PROSAPIO, V.; NORTON, I. Influence of osmotic dehydration pre-treatment on oven drying and freeze drying performance. **LWT - Food Science and Technology**, v. 80, p. 401-408, 2017.

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.

RABHI, A.; FALLEH, H.; LIMAM, F.; KSOURI, R.; ABDELLY, C.; RAIES, A. Upshot of the ripening time on biological activities, phenol content and fatty acid composition of Tunisian *Opuntia ficus-indica* fruit. **African Journal of Biotechnology**, v. 12, n. 40, p. 5875-5885, 2013.

RAGAEI, S. M.; SEETHARAMAN, K.; ABDEL-AAL, E. S. M. The Impact of milling and thermal processing on phenolic compounds in cereal grains. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 54, n. 7, p. 837–849, 2014.

RAHMAN, M. S.; LABUZA, T. P. Water activity and food preservation. In: RAHMAN, M. S. **Handbook of Food Preservation**. 2. ed. New York: CRC Press, 2007. p. 447-476.

RAMOS, S. R. R. Esforços na conservação dos recursos genéticos vegetais no Nordeste Brasileiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS GENÉTICOS, 2., 2008. **Anais...** Brasília. CD-ROM.

REYNOSO, R.; GARCIA, F.A.; MORALES D.; MEJIA, E.G. Stability of betalain pigments from a cactacea fruit. **Jounal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, n. 8, p. 2884-2889, 1997.

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.

RODRIGUES, B. K. M. **Liofilização de polpa de manga (*Mangifera indica* L.) c.v tommy atkins: condições de secagem e estabilidade**. 2017. 139 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

RODRIGUES, L. R. **Secagem por atomização e caracterização química de extratos de folhas de café**. 2011. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Status of carotenoid analytical methods and in vitro assays for the assessment of food quality and health effects. **Current Opinion in Food Science**, v. 1, p. 56-63, 2015.

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.

ROJAS-GARBANZO, C.; PÉREZ, A. M.; BUSTOS-CARMONA, J.; VAILLANT, F. Identification and quantification of carotenoids by HPLC-DAD during the process of peach palm (*Bactris gasipaes* H.B.K.) flour. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2377–2384, 2011.

RONCHETI, E. F. S. **Estudo do processo de secagem em leite de espuma de cenoura, tomate, beterraba e morango**. 2014. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2014.

ROTHMAN, M.; WIT, M.; BOTHMA, C.; HUGO, A. Determination of seasonal influences on sensory attributes of South African cactus pear cultivars. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, v. 14, p. 41-52, 2012.

SABLANI, S. S.; ANDREWS, P. K.; DAVIES, N. M.; WALTERS, T.; SAEZ, H.; BASTARRACHEA, L. Effects of air and freeze drying on phytochemical content of conventional and organic berries. **Drying Technology: An International Journal**, v. 29, n. 2, p. 205-216, 2011.

SAÉNZ, C.; TAPIA, S.; CHÁVEZ, J.; ROBERT, P. Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). **Food Chemistry**, v. 114, n. 2, p. 616-622, 2009.

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, p. 144-152, 2015.

SALAH, M. R.; MOHEBBI, M.; TAGHIZADEH, M. Development of cantaloupe (*Cucumis melo*) pulp powder using foam mat drying method: Effects of drying conditions on microstructural of mat and physico-chemical properties of powder. **Drying Technology**, v. 35, n. 15, p. 1897-1908, 2017.

SALAH, M. R.; MOHEBBI, M.; TAGHIZADEH, M. Foam-mat drying of cantaloupe (*Cucumis melo*): optimization of foaming parameters and investigating drying characteristics. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, n. 6, p. 1798–1808, 2015.

SAMBORSKA, K.; BIENKOWSKA, B. Physicochemical properties of spray dried honey preparations. **Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych**, n. 575, p. 91-105, 2013.

SAMBORSKA, K.; GAJEK, P.; KAMIŃSKA-DWÓRZNICKA, A. Spray drying of honey: the effect of drying agents on powder properties. **Polish Journal Food Nutrition Sciences**, v. 65, n. 2, p. 109-118, 2015.

SANGAMITHRA, A.; VENKATACHALAM, S.; JOHN, S. G; KUPPUSWAMY, K.. Foam mat drying of food materials: a review. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, n. 6, p. 3165–3174, 2015.

SANTHALAKSHMY, S.; DON BOSCO, S. J.; FRANCIS, S.; SABEENA, M. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. **Powder Technology**, v. 274, p. 37-43, 2015.

SANTIAGO, V. M. S. **Secagem por aspersão da polpa de pitaya (*Hylocereus polyrhizus*)**. 2015. 90 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.

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, 2016a.

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, 2016b.

SANTOS, D. C.; OLIVEIRA, E. N. A.; ROCHA, A. P.T.; ARAÚJO, G. T. 2014. Características físico-químicas da polpa de caju em pó obtida pelo método de secagem em leito de jorro. In: CONGRESSO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA Y CIENCIAS HORTÍCOLAS, 7., 2013, Madrid. **Anais...** Madrid: SEAgIngSECR, 2013a

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.

SANTOS, D. C; LIMA, T. L. B.; FIGUEIREDO, R. M. F.; LEITE, D. D. F.; QUEIROZ, A. J. M. Produção de murici em pó pelo processo de liofilização. In: ONE, G. M. C.;

CARVALHO, A. G. C. **Nutrição e saúde: os desafios da interdisciplinaridade**. 1. ed. Campina Grande: IBEA, 2017. v. 3, Cap. 14, p. 256-272b.

SANTOS, D. C.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; OLIVEIRA, E. N. A. Cinética de secagem de farinha de grãos residuais de urucum. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 223-231, 2013b.

SANTOS, F. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; SANTOS, D. C. Drying kinetics and physical and chemical characterization of white-fleshed ‘pitaya’ peels. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 12, p. 872-877, 2017a.

SANTOS, M. B.; CARDOSO, R. L.; FONSECA, A. A. O.; CONCEIÇÃO, M. N. Caracterização e qualidade de frutos de umbu-cajá (*Spondias tuberosa* X *S. mombin*) provenientes do Recôncavo Sul da Bahia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 4, p. 1089-1097, 2010.

SARON, E. S.; DANTAS, S. T.; MENEZES, H.C.; SOARES, B. M. C; NUNES, M. F. Estabilidade sensorial de suco de maracujá pronto para beber acondicionado em latas de aço. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 4, p. 772-778, 2007.

SCHOCH, T. J. Fatty substances in starch. In: WHISTLER, R. L. **Methods in carbohydrates**. New York: Academic Press, 1964. v. 4, p. 56-61.

SEERANGURAYAR, T.; MANICKAVASAGAN, A.; AL-ISMAILI, M. A.; AL-MULLA, Y. A. Effect of carrier agents on flowability and microstructural properties of foam-mat freeze dried date powder. **Journal of Food Engineering**, v. 215, p. 33-43, 2017.

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, p. 129-134, 2017.

SHARIF, A.; NIAKOUSARI, M.; MASKOOKI, A.; MORTAZAVI, S. A. Effect of spray drying conditions on the physicochemical properties of barberry (*Berberis vulgaris*) extract powder. **International Food Research Journal**, v. 22, n. 6, p. 2364-2370, 2015.

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

SILVA FILHO, E. D.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; GUIMARÃES, M. K. A. Cinética de secagem em camada de espuma da polpa da manga cv. Haden. **Comunicata Scientiae**, v. 7, n. 3, p. 354-361, 2016.

SILVA JÚNIOR, M. E.; MORAIS, B. D. M.; MACIEL, M. I. S. Secagem por atomização de polpa de ciriguela (*Spondias Purpúrea* L.): Influência das variáveis de processo e sua qualidade. In: JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 13., 2013, Recife. **Anais...** Recife: JEPEX, 2013.

SILVA, A. S.; GURJÃO, K. C. O.; ALMEIDA, F. A. C.; BRUNO, R. L. A.; PEREIRA, W. E. Desidratação da polpa de tamarindo pelo método de camada de espuma. **Ciência Agrotecnologia**, v. 32, n. 6, p. 1899-1905, 2008.

SILVA, B. A. **Estudo da estabilidade da espuma da polpa de goiaba (*Psidium Guajaba* L.): efeito do uso de estabilizante**. 2014. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 4, n. 1, p. 71-78, 2009.

SILVA, G. N. R.; FIGUEIRÊDO, F. M. R.; QUEIROZ, M. J. A.; GALDINO, O. P. Armazenamento de umbu-cajá em pó. **Ciência Rural**, v. 35, n. 5, p. 1179-1184, 2005.

SILVA, M. I.; MARTINS, J. N.; ALVES, J. E. A.; COSTA, F. F. P. Caracterização físico-química da polpa de umbu em camada de espuma. **Revista Semiárido De Visu**, v. 3, n. 2, p. 82-91, 2015a.

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, M. J. S.; SANTOS, D. C.; OLIVEIRA, M. N.; LEITE, D. D. F.; QUEIROZ, A. J. M. Produção do blend de caju com leite de cabra obtido por liofilização. In: SOUSA, P. H. M.; SANCHO, S. O.; FARIAS, L. M. R. S.; MOISES, T. F. F. L.; BERNARDO, H. D. B.; PAULO, L. S.; SANTOS, T.R.F. **Gastronomia: da tradição à inovação**. 1. ed. Fortaleza-CE: E-book, 2016. v. 1, p. 222-223b.

SILVA, M. J. S.; ROCHA, A. P. T.; SANTOS, D. C.; ARAUJO, A. S.; OLIVEIRA, M. N. Caracterização físico-química de *blend* de abacaxi com acerola obtido pelo método de liofilização. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 5, p. 110-113, 2016c.

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, 2015c.

SILVA, R. N. G.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; FEITOSA, R. M. Isotermas de adsorção de teor de água do umbu-cajá em pó. **Revista Educação Agrícola Superior**, v. 30, n. 1, p. 33-36, 2015b.

SILVA, S. M.; PRIMO, D. M. B.; TORRES, L. B. V.; MARTINS, L. P.; LIMA, A. B.; SILVA, F. V. G. Features of postharvest physiology and quality of *Cactaceae* fruits from brazilian northeast. **Acta Horticulturae**, v. 1, n. 59, p. 113-122, 2009.

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, 2012a.

SILVA, V. K. L.; PINHEIRO, E. S.; DOMINGUES, M. A. F.; AQUINO, A. C.; FIGUEIREDO, E. A.; COSTA, J. M. C.; CONSTANT, P. B. L. Efeito da pressão osmótica

no processamento e avaliação da vida de prateleira de tomate seco. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n.1, p. 55- 66, 2010.

SILVA, V. M.; KUROZAWA, L. E.; PARK, K. J.; HUBINGER, M. D. Water sorption and glass transition temperatura os spray-dried mussel meat protein hydrolysate. **Drying Technology**, v. 30, n. 2, p. 175-184, 2012b.

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

SOTO, M. L.; MOURE, A.; DOMÍNGUEZ, H.; PARAJÓ, J. C. Recovery, concentration and purification of phenolic compounds by adsorption: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 105, n. 1, p. 1-27, 2011.

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.

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, E. P. **Secagem convectiva da polpa de pequi para elaboração de condimento**. 2016. 191 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.

SOUSA, E. P.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; GOMES, J. P.; QUEIROZ, A. J. M.; CASTRO, D. S.; LEMOS, D. M. Mathematical modeling of pequi pulp drying and effective diffusivity determination **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 7, p. 493-498, 2017.

SOUSA, F. C.; SOUSA, E. P.; SILVA, L. M. M.; MARTINS, J. J. A.; GOMES, J. P.; ROCHA, A. P. T. da. Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem de polpa de oiti. **Revista Educação Agrícola Superior**, v. 26, n. 2, p. 108-112, 2011.

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. 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. D.; CAVALCANTE, A. A família *cactaceae juss.* no Rio Grande do Norte. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 26., 2013. **Anais...** Belo Horizonte, 2013.

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.

SOUZA, R. D.; NUNES, C. R.; PEREIRA, S. M. F.; OLIVEIRA, R. R.; OLIVEIRA, D. B. Atividade antioxidante, teor de taninos, fenóis, ácido ascórbico e açúcares em *Cereus fernambucensis*. **Vértices**, v. 17, n. 1, p. 183-201, 2015b.

SOUZA, R. L. A. de. **Estudo da funcionalidade de espécies comestíveis do semiárido nordestino e estratégias para sua utilização como ingredientes para fins alimentícios**. 2014. 127 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

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, 2015a.

SOUZA, V. C. **Efeito da liofilização e desidratação em leite de espuma sobre a qualidade do pó de polpa de cupuaçu (*theobroma grandiflorum*)**. 2011. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2011.

SRAMEK, M.; SCHWEIGGERT, R. N.; VAN KAMPEN, A.; CARLE, R.; KOHLUS, R. Preparation of High-Grade powders from tomato paste using a vacuum foam drying method. **LWT - Journal of Food Science**, v. 80, n. 8, p. 1755-1762, 2015.

STINTZING, F. C.; HERBACH, K. M.; MOSSHAMMER, M. R.; CARLE, R.; YI, W.; SELLAPPAN, S; AKOH, C. C.; BUNCH, R.; FELKER, P. Color, betalain pattern, and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia* spp.) clones. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 2, p. 442-51, 2005.

SUGAI, A. Y. **Processamento descontínuo de purê de manga (*Mangifera indica* L.), variedade Haden: estudo da viabilidade do produto para pronto consumo**. 2002. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

SUH, D. H.; LEE, S.; HEO, D. Y.; KIM, Y. S.; CHO, S. K.; LEE, S.; LEE, C. H. Metabolite profiling of red and white pitayas (*Hylocereus polyrhizus* and *Hylocereus undatus*) for comparing betalain biosynthesis and antioxidant activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, n. 34, p. 8764-8771, 2014.

SUMAYA-MARTÍNEZ, M. T.; CRUZ-JAIME, S.; MADRIGAL-SANTILLÁN, E.; GARCÍAPAREDES, J. D.; CARIÑO-CORTÉS, R.; CRUZ-CANSINO, N.; VALADEZ-VEJA, C.; MARTINEZ-CARDENAS, L.; ALANÍS-GARCÍA, E. Betalain, acid ascorbic, phenolic contents and antioxidant properties of purple, red, yellow and white cactus pears. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 12, n. 10, p. 6452- 68, 2011.

SZULC, K.; LENART, A. Water vapour adsorption properties of agglomerated baby food powders. **Journal of Food Engineering**, v. 109, n. 1, p. 135-141, 2012.

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

TATICCHI, A.; ESPOSTO, S.; URBANI, S.; VENEZIANI, G.; SELVAGGINI, R.; SORDINI, B.; SERVILI, M. Effect of an olive phenolic extract added to the oily phase of a tomato sauce, on the preservation of phenols and carotenoids during domestic cooking. **LWT - Food Science and Technology**, v. 84, p. 572-578, 2017.

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 Jun. 2015.

THUWAPANICHAYANAN, R.; PRACHAYAWARAKORN, S.; SOPONRONNARIT, S. Effects of foaming agents and foam density on drying characteristics and textural property of banana foams. **LWT - Food Science and Technology**, v. 47, n. 2, p. 348-357, 2012.

TIMMERMANN, E. O. Multilayer sorption parameters: BET or GAB values? **Colloids and surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 220, n. 1, p.235-260, 2003.

TONON, R. V.; BARONI, A. F.; BRABET, C.; GIBERT, O.; PALLET, D.; 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 açai (*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 açai. **Inclusão Social**, v. 6, n. 2, p. 70-76, 2013.

TONON, R. V.; FREITAS, S. S.; HUBINGER, M. D. Spray drying of açai (*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.

TONTUL, I.; TOPUZ, A. Effects of different drying methods on the physicochemical properties of pomegranate leather (pestil). **Food Science and Technology**, v. 80, p. 294-303, 2017.

TURCHIULI, C.; FUCHS, M.; BOHIN, M.; CUVELIER, M. E.; ORDONNAUD, C.; PEYRATMAILLARD, M. N. Oil encapsulation by spray drying and fluidized bed agglomeration. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 6, n. 1, p. 29-35, 2005.

VALENTE, A.; ALBUQUERQUE, T. G.; SANCHES-SILVA, A.; COSTA, H. S. Ascorbic acid content in exotic fruits: A contribution to produce quality data for food composition databases. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2237–2242, 2011.

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 ultrafiltrated cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) extracts and betanin stability during storage. **Food Chemistry**, v. 157, p. 246-251, 2014.

VIDAL, P. C. L.; FREITAS, G. Estudo da antioxidação celular através do uso da Vitamina C. **Revista UNINGÁ Review**, v. 21, n. 1, p. 60-64, 2015.

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

VIGANÓ, J.; AZUARA, E.; TELIS, V. R. N.; BERISTAIN, C. I.; JIMÉNEZ, M.; TELIS-ROMERO, J. Role of enthalpy and entropy in moisture sorption behavior of pineapple pulp powder produced by different drying methods. **Thermochimica Acta**, v. 528, p. 63-71, 2012.

VIZZOTTO, M. Propriedades funcionais de pequenas frutas. **Informe Agropecuário**, v. 33, n. 268, p. 84-88, 2012.

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

WELLS J. Pré-formulação farmacêutica. In: AULTON, M. E. **Delineamento de formas farmacêuticas**. Porto Alegre: Artmed, 2005. p. 124-148.

WILSON, R. A.; KADAM, D. M.; CHADHA, S.; GREWAL, M. K.; SHARMA, M. Evaluation of physical and chemical properties of foam-mat dried mango (*Mangifera indica*) powder during storage. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 38, n. 4, p. 1866-1874, 2014.

WIT, M.; NEL, P.; OSTHOFF, G.; LABUSCHAGNE, M. T. The effect of variety and location on cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit quality. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 65, n. 2, p. 136-145, 2010.

XIAOAN, L.; MEILIN, L.; CONG, H.; PENG, J.; YONGHUA, Z. Increased temperature elicits higher phenolic accumulation in fresh-cut pitaya fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 129, p. 90-96, 2017.

YAHIA, E. M. **Postharvest biology and techology of tropical and subtropical fruits: volume 2: açai to citrus**. 1. ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2011. 515 p.

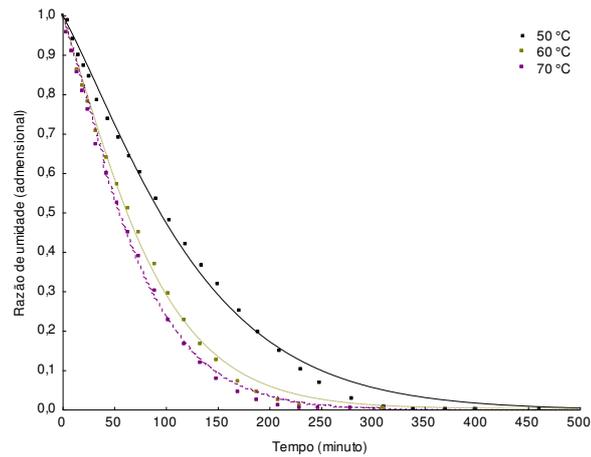
YAHIA, E. M.; MONDRAGON-JACOBO, C. Nutritional components and anti-oxidant capacity of ten cultivars and lines of cactus pear fruit (*Opuntia* spp.). **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2311-2318, 2011.

YEDDES, N.; CHÉRIF, J. K.; GUYOT, S.; SOTIN, H.; AYADI, M. T. Comparative study of antioxidant power, polyphenols, flavonoids and betacyanins of the peel and pulp of three Tunisian *Opuntia* forms. **Antioxidants**, v. 2, n. 2, p. 37-51, 2013.

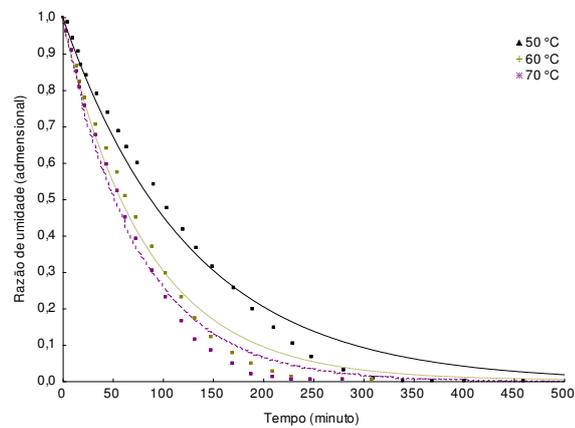
ZHONG, X. K.; JIN, X.; LAI, F. Y.; LIN, Q. S.; JIANG, J. G. Chemical analysis and antioxidant activities *in vitro* of polysaccharide extracted from *Opuntia ficus indica* Mill. cultivated in China. **Carbohydrate Polymers**, v. 82, n. 3, p. 722-727, 2010.

ZORIC, Z.; PELAIC, Z.; PEDISIC, S.; GAROFULIC, I. E.; KOVACEVIC, D. B.; UZELAC, D. Effect of storage conditions on phenolic content and antioxidant capacity of spray dried sour cherry powder. **LWT - Food Science and Technology**, v. 79, p. 251-259, 2017.

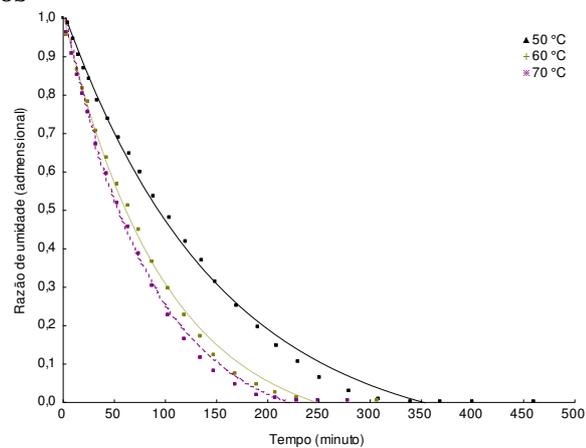
**APÊNDICE A**



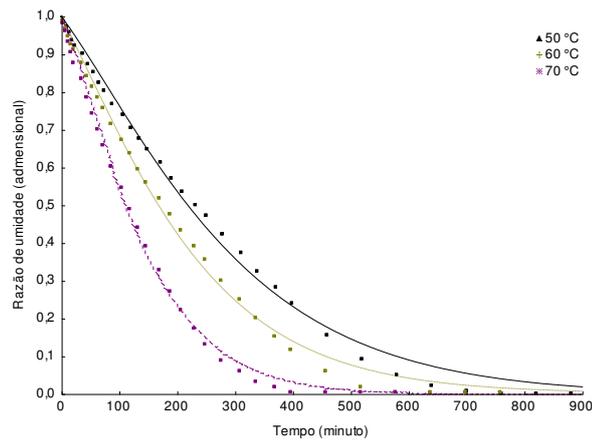
**Figura A.1** - Cinética de secagem da Formulação 2 da polpa de cumbeba, com espessura da camada de **0,5 cm**, em diferentes temperaturas de secagem, com ajuste pelo modelo de **Midilli**



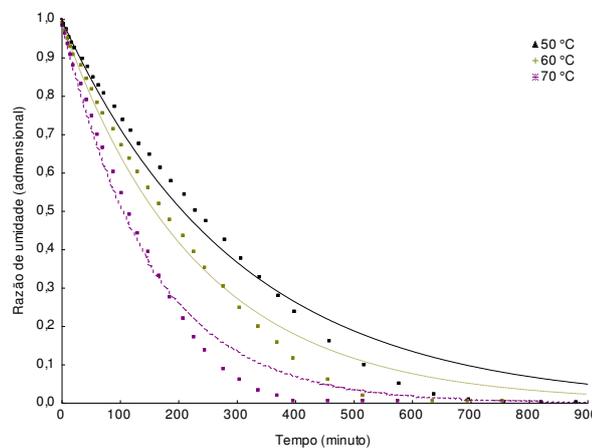
**Figura A.2** - Cinética de secagem da Formulação 2 da polpa de cumbeba, com espessura da camada de **0,5 cm**, em diferentes temperaturas de secagem, com ajuste pelo modelo **Exponencial Dois Termos**



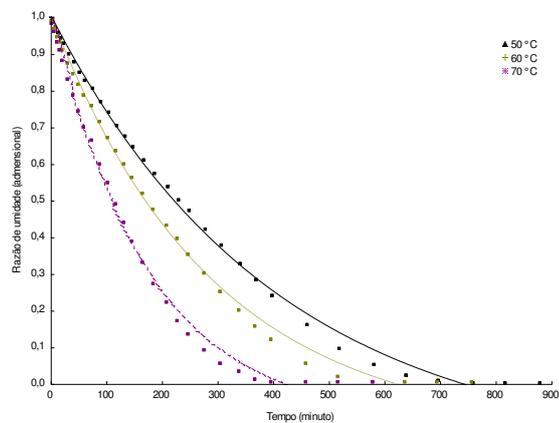
**Figura A.3** - Cinética de secagem da Formulação 2 da polpa de cumbeba, com espessura da camada de **0,5 cm**, em diferentes temperaturas de secagem, com ajuste pelo modelo **Dois Termos**



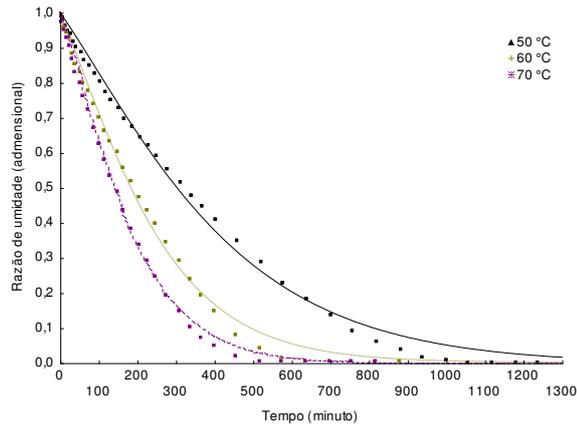
**Figura A.4** - Cinética de secagem da Formulação 2 da polpa de cumbeba, com espessura da camada de **0,5 cm**, em diferentes temperaturas de secagem, com ajuste pelo modelo **Handerson e Pabis**



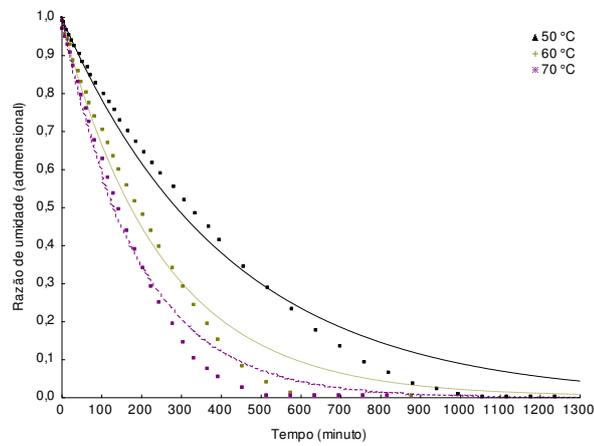
**Figura A.5** - Cinética de secagem da Formulação 2 da polpa de cumbeba, com espessura da camada de **0,5 cm**, em diferentes temperaturas de secagem, com ajuste pelo modelo **Aproximação da difusão**



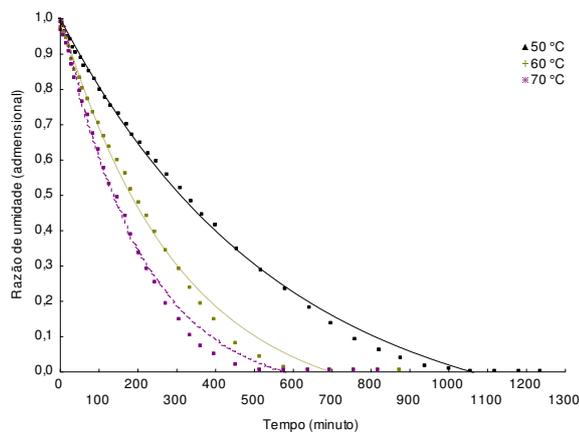
**Figura A.6** - Cinética de secagem da Formulação 2 da polpa de cumbeba, com espessura da camada de **0,5 cm**, em diferentes temperaturas de secagem, com ajuste pelo modelo **Logarítmico**



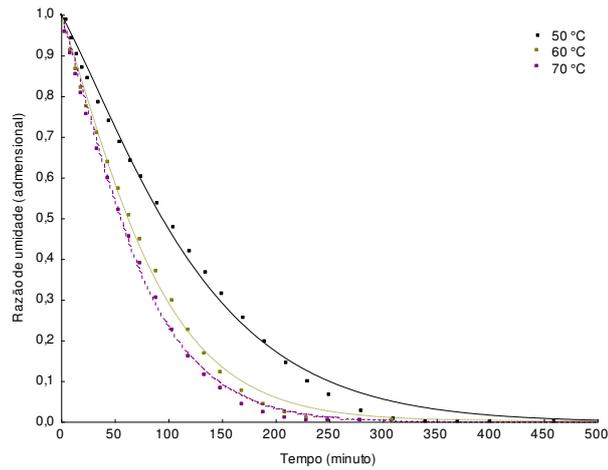
**Figura A.7** - Cinética de secagem da Formulação 2 da polpa de cumbeba, com espessura da camada de **0,5 cm**, em diferentes temperaturas de secagem, com ajuste pelo modelo **Thompson**.



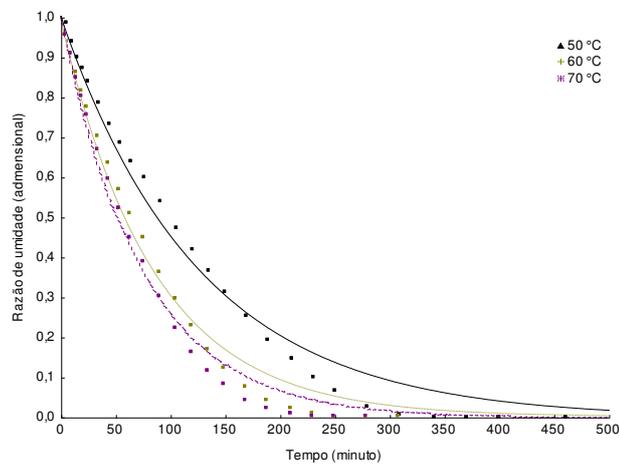
**Figura A.8** - Cinética de secagem da Formulação 2 da polpa de cumbeba, com espessura da camada de **0,5 cm**, em diferentes temperaturas de secagem, com ajuste pelo modelo **Handerson e Pabis modificado**.



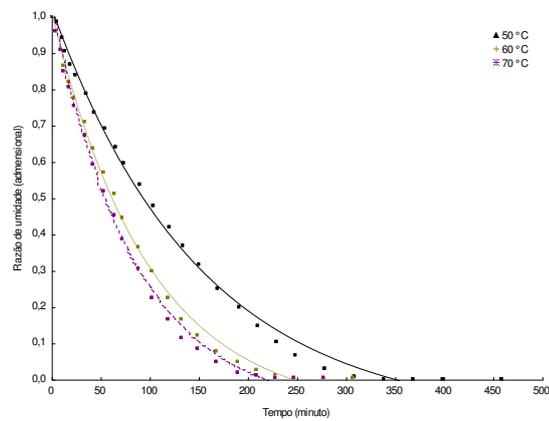
**Figura A.9** - Cinética de secagem da Formulação 2 da polpa de cumbeba, com espessura da camada de **0,5 cm**, em diferentes temperaturas de secagem, com ajuste pelo modelo **Page**.



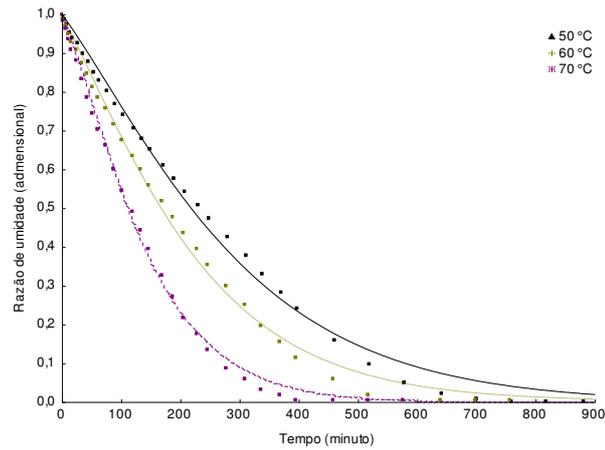
**Figura A.10** - Cinética de secagem da Formação 2 da polpa de cumbeba, com espessura da camada de **0,5 cm**, em diferentes temperaturas de secagem, com ajuste pelo modelo **Newton**



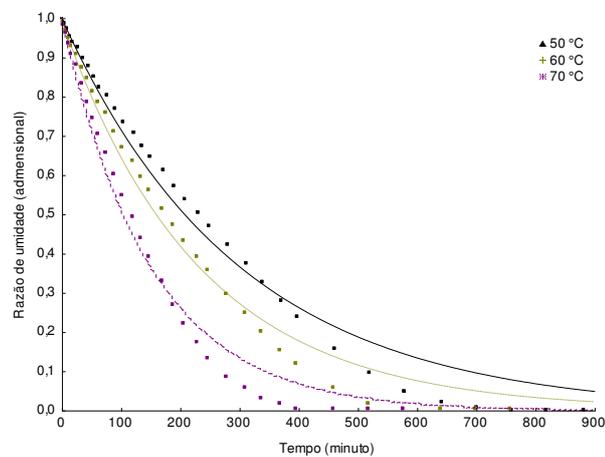
**Figura A.11** - Cinética de secagem da Formação 2 da polpa de cumbeba, com espessura da camada de **1,0 cm**, em diferentes temperaturas de secagem, com ajuste pelo modelo **Midilli**



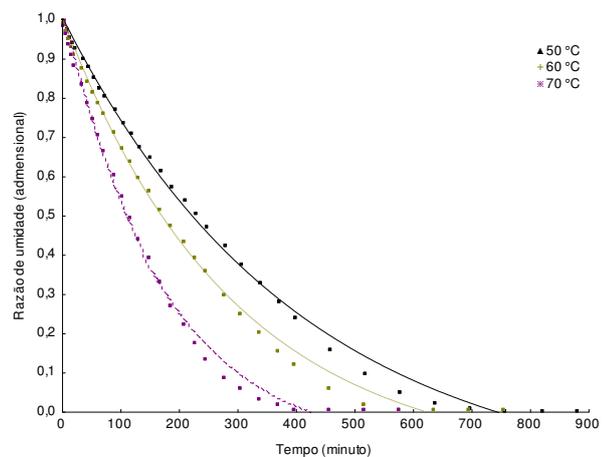
**Figura A.12** - Cinética de secagem da Formação 2 da polpa de cumbeba, com espessura da camada de **1,0 cm**, em diferentes temperaturas de secagem, com ajuste pelo modelo **Exponencial dois termos**



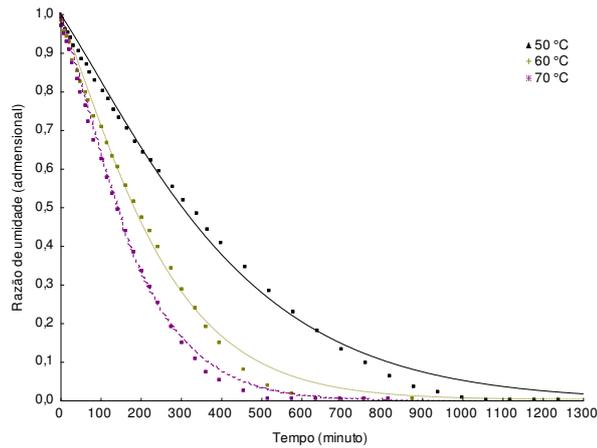
**Figura A.13** - Cinética de secagem da Formação 2 da polpa de cumbeba, com espessura da camada de **1,0 cm**, em diferentes temperaturas de secagem, com ajuste pelo modelo **Dois termos**



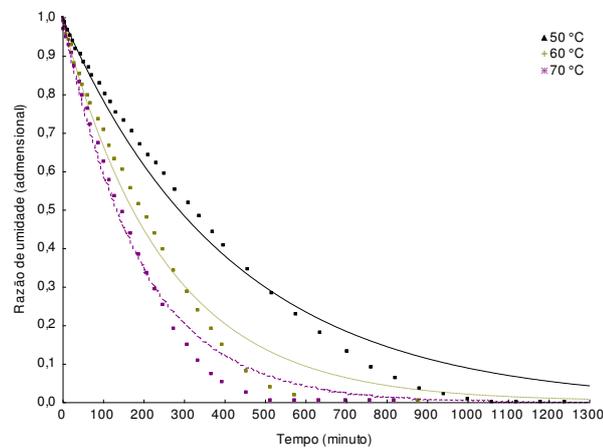
**Figura A.14** - Cinética de secagem da Formação 2 da polpa de cumbeba, com espessura da camada de **1,0 cm**, em diferentes temperaturas de secagem, com ajuste pelo modelo **Handerson e Pabis**



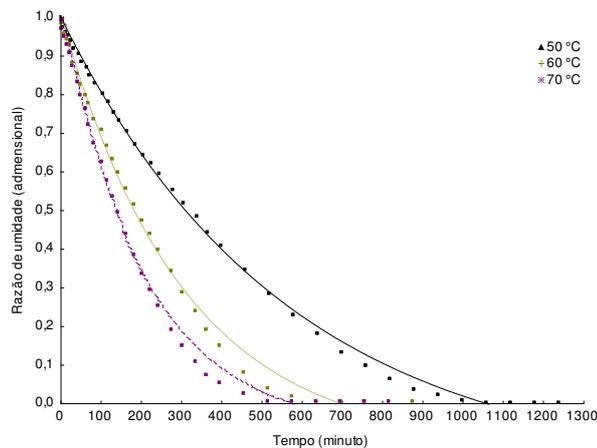
**Figura A.15** - Cinética de secagem da Formação 2 da polpa de cumbeba, com espessura da camada de **1,0 cm**, em diferentes temperaturas de secagem, com ajuste pelo modelo **Aproximação da difusão**



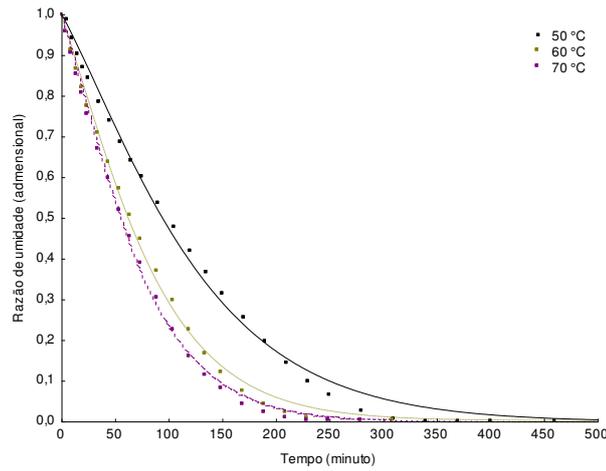
**Figura A.16** - Cinética de secagem da Formação 2 da polpa de cumbeba, com espessura da camada de **1,0 cm**, em diferentes temperaturas de secagem, com ajuste pelo modelo **Logarítimo**



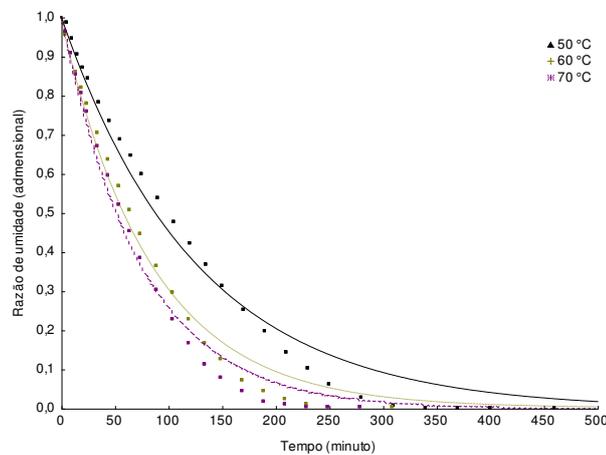
**Figura A.17** - Cinética de secagem da Formação 2 da polpa de cumbeba, com espessura da camada de **1,0 cm**, em diferentes temperaturas de secagem, com ajuste pelo modelo **Thompson**



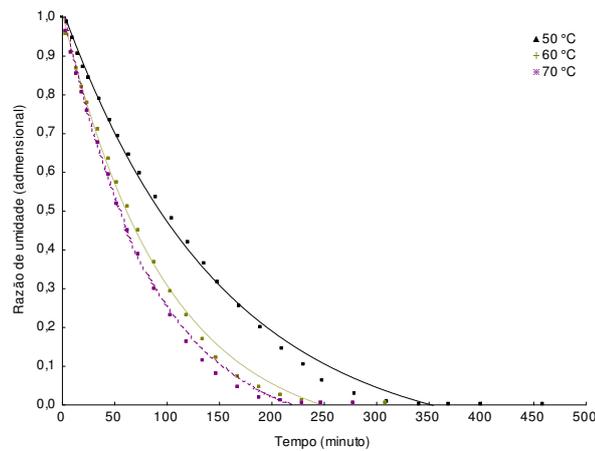
**Figura A.18** - Cinética de secagem da Formação 2 da polpa de cumbeba, com espessura da camada de **1,0 cm**, em diferentes temperaturas de secagem, com ajuste pelo modelo **Handerson e Pabis modificado**



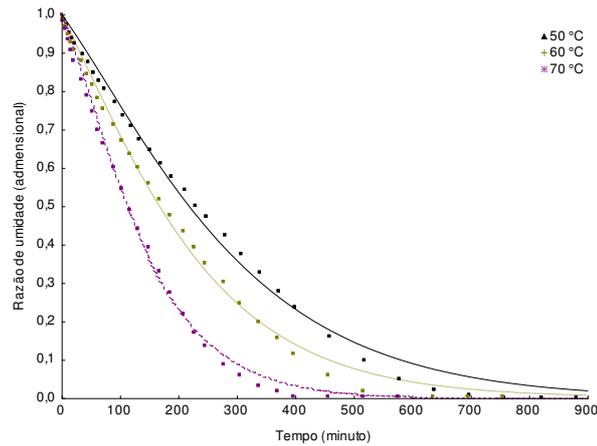
**Figura A.19** - Cinética de secagem da Formação 2 da polpa de cumbeba, com espessura da camada de **1,0 cm**, em diferentes temperaturas de secagem, com ajuste pelo modelo **Page**



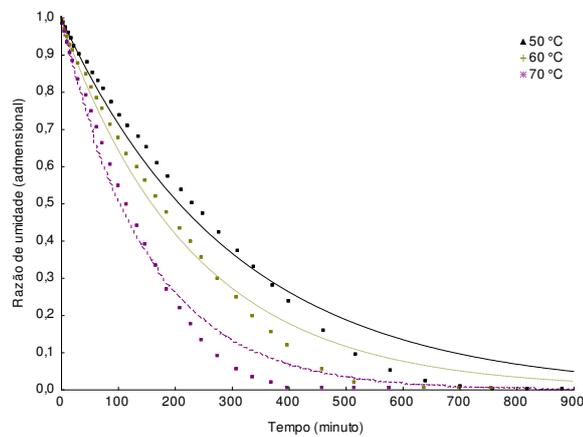
**Figura A.20** - Cinética de secagem da Formação 2 da polpa de cumbeba, com espessura da camada de **1,0 cm**, em diferentes temperaturas de secagem, com ajuste pelo modelo **Newton**



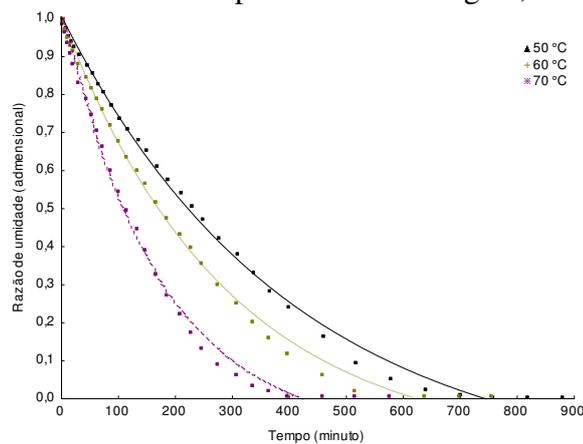
**Figura A.21** - Cinética de secagem da Formação 2 da polpa de cumbeba, com espessura da camada de **1,5 cm**, em diferentes temperaturas de secagem, com ajuste pelo modelo **Midilli**



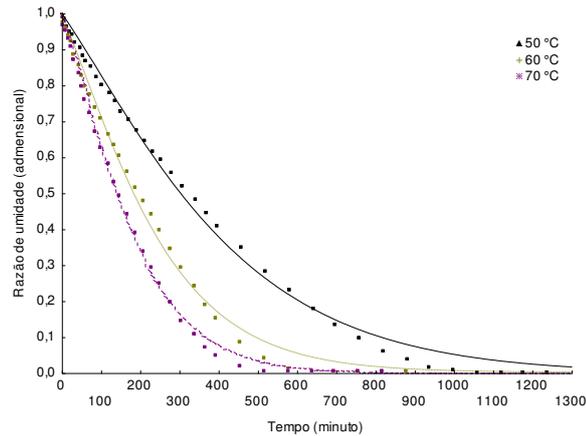
**Figura A.22** - Cinética de secagem da Formação 2 da polpa de cumbeba, com espessura da camada de **1,5 cm**, em diferentes temperaturas de secagem, com ajuste pelo modelo **Exponencial dois termos**



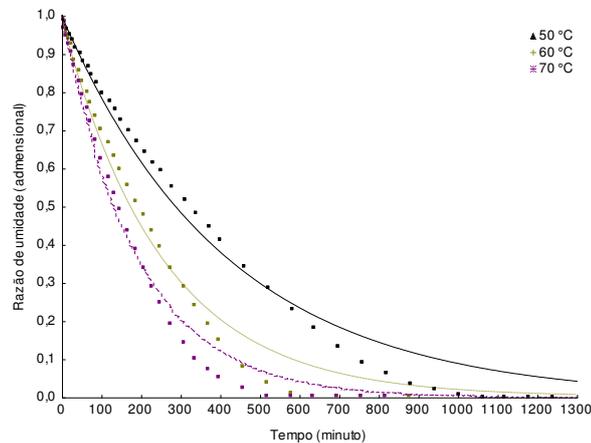
**Figura A.23** - Cinética de secagem da Formação 2 da polpa de cumbeba, com espessura da camada de **1,5 cm**, em diferentes temperaturas de secagem, com ajuste pelo modelo **Dois termos**



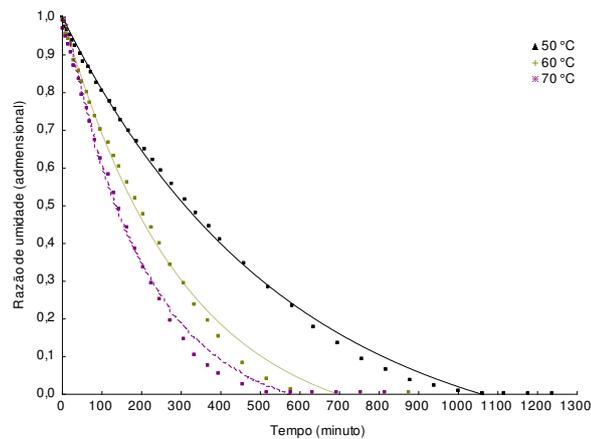
**Figura A.24** - Cinética de secagem da Formação 2 da polpa de cumbeba, com espessura da camada de **1,5 cm**, em diferentes temperaturas de secagem, com ajuste pelo modelo **Henderson e Pabis**



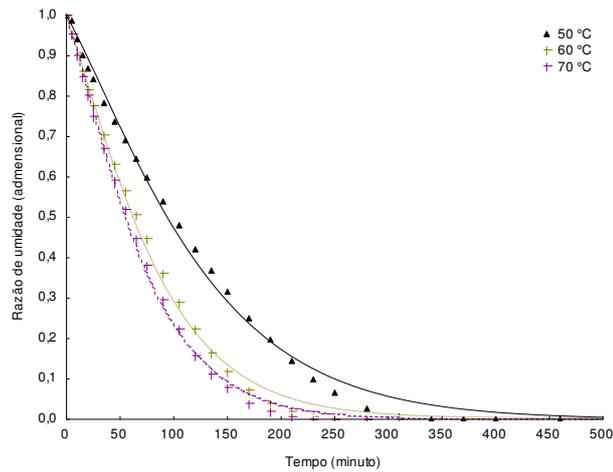
**Figura A.25** - Cinética de secagem da Formação 2 da polpa de cumbeba, com espessura da camada de **1,5 cm**, em diferentes temperaturas de secagem, com ajuste pelo modelo **Aproximação da difusão**



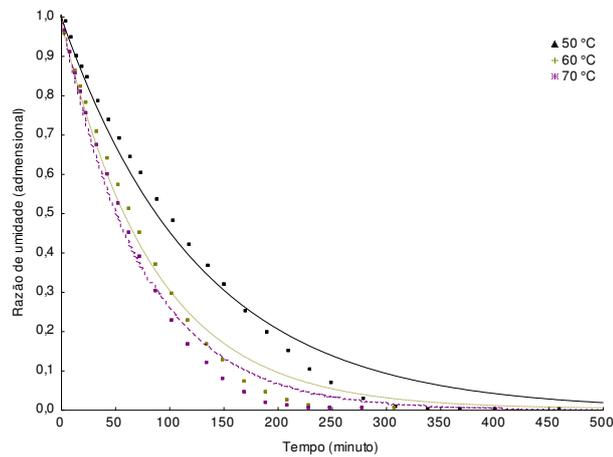
**Figura A.26** - Cinética de secagem da Formação 2 da polpa de cumbeba, com espessura da camada de **1,5 cm**, em diferentes temperaturas de secagem, com ajuste pelo modelo **Logarítimo**



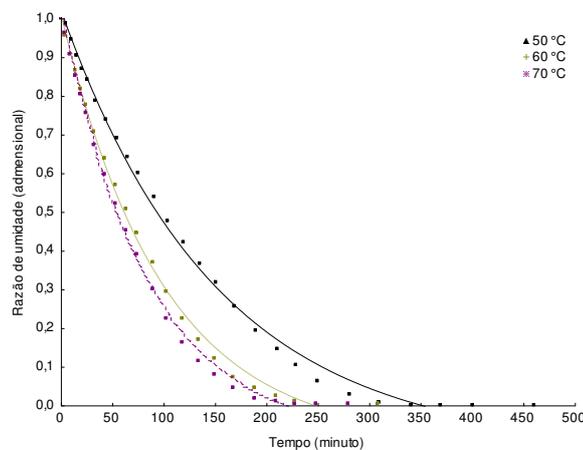
**Figura A.27** - Cinética de secagem da Formação 2 da polpa de cumbeba, com espessura da camada de **1,5 cm**, em diferentes temperaturas de secagem, com ajuste pelo modelo **Thompson**



**Figura A.28** - Cinética de secagem da Formação 2 da polpa de cumbeba, com espessura da camada de **1,5 cm**, em diferentes temperaturas de secagem, com ajuste pelo modelo **Handerson e Pabis modificado**

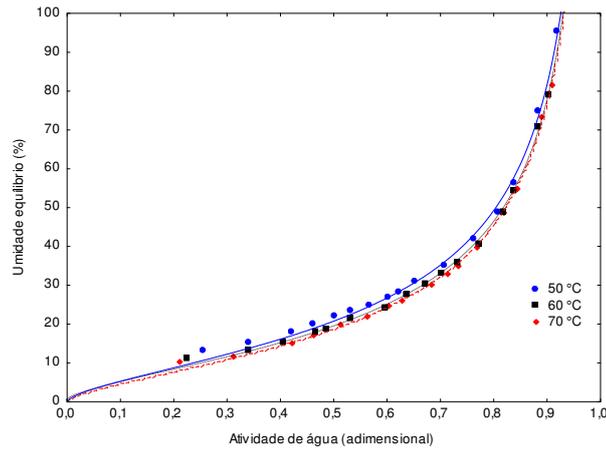


**Figura A.29** - Cinética de secagem da Formação 2 da polpa de cumbeba, com espessura da camada de **1,5 cm**, em diferentes temperaturas de secagem, com ajuste pelo modelo **Page**

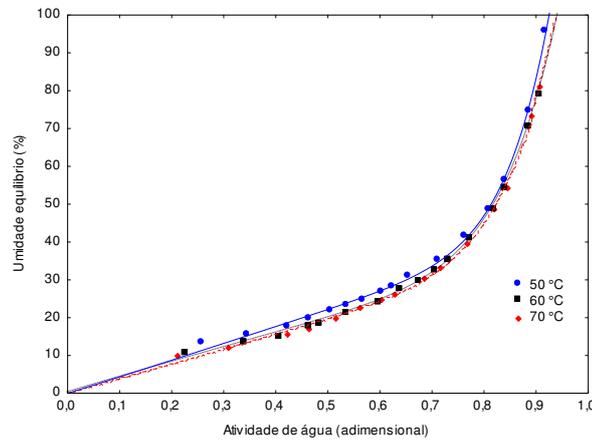


**Figura A.30** - Cinética de secagem da Formação 2 da polpa de cumbeba, com espessura da camada de **1,5 cm**, em diferentes temperaturas de secagem, com ajuste pelo modelo **Newton**

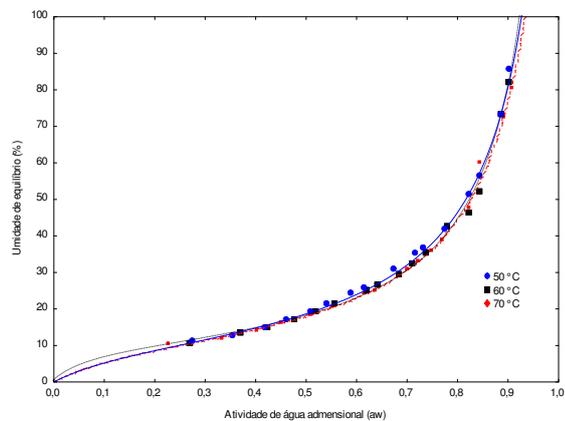
**APÊNDICE B**



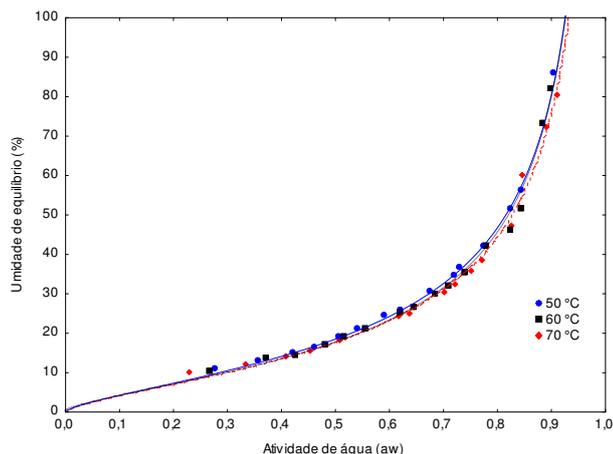
**Figura B.1** - Isotermas de adsorção de água a 25 °C das amostras em pó da polpa de cumbeba, obtidas na secagem em estufa, com espessura da camada de **0,5 cm** e com ajustes ao modelo de **Oswin**



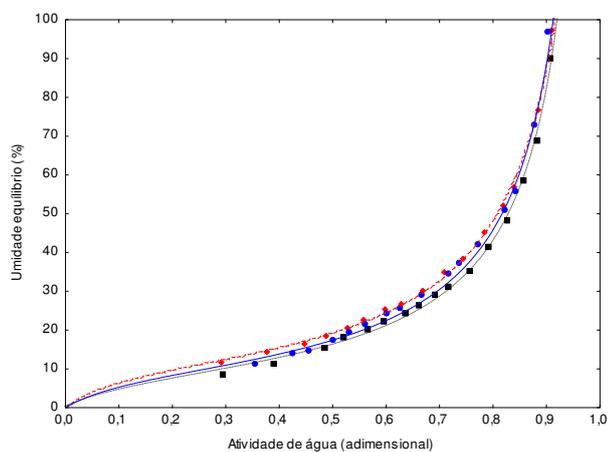
**Figura B.2** - Isotermas de adsorção de água a 25 °C das amostras em pó da polpa de cumbeba, obtidas na secagem em estufa, com espessura da camada de **0,5 cm** e com ajustes ao modelo de **Peleg**



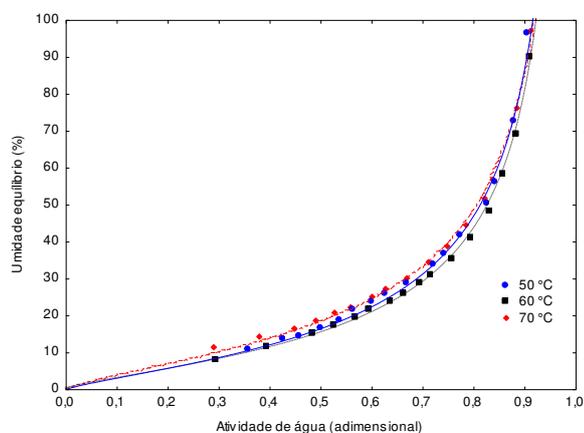
**Figura B.3** - Isotermas de adsorção de água a 25 °C das amostras em pó da polpa de cumbeba, obtidas na secagem em estufa, com espessura da camada de **1,0 cm** e com ajustes ao modelo de **GAB**



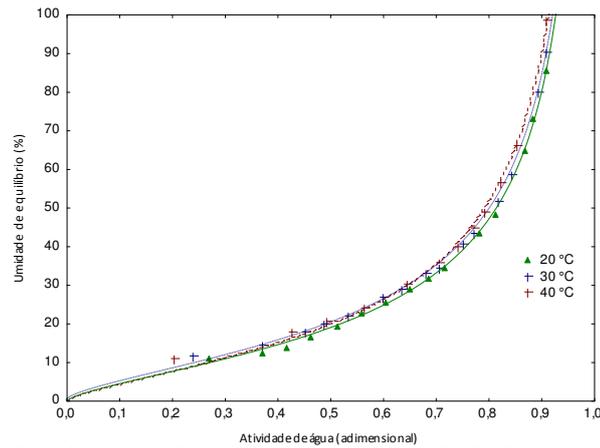
**Figura B.4** - Isotermas de adsorção de água a 25 °C das amostras em pó da polpa de cumbeba, obtidas na secagem em estufa, com espessura da camada de 1,0 cm e com ajustes ao modelo de **Oswin**



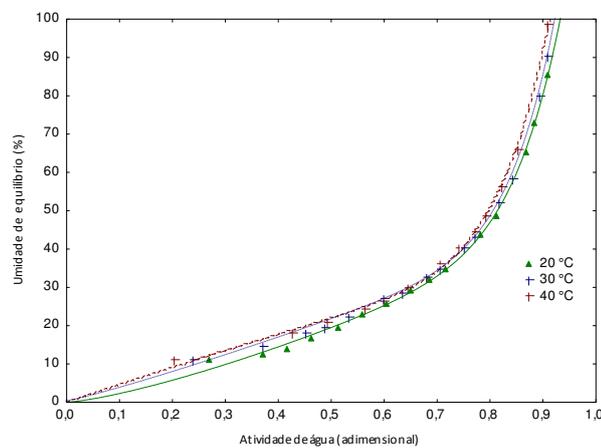
**Figura B.5** - Isotermas de adsorção de água a 25 °C das amostras em pó da polpa de cumbeba, obtidas na secagem em estufa, com espessura da camada de 1,5 cm e com ajustes ao modelo de **GAB**



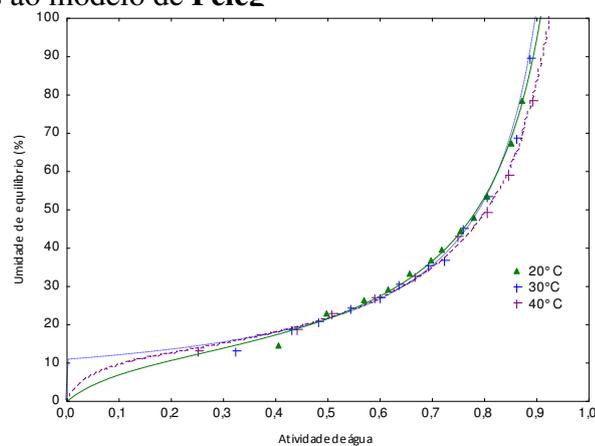
**Figura B.6** - Isotermas de adsorção de água a 25 °C das amostras em pó da polpa de cumbeba, obtidas na secagem em estufa, com espessura da camada de 1,5 cm e com ajustes ao modelo de **Oswin**



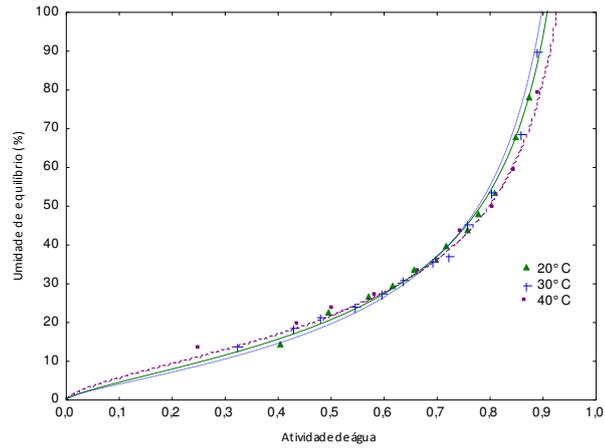
**Figura B.7** - Isotermas de adsorção de água a 20, 30 e 40°C das amostras em pó da polpa de cumbeba, obtidas na secagem em estufa a 70°C, com espessura da camada da camada de espuma de 1,5 cm e com ajustes ao modelo de **Oswin**



**Figura B.8** - Isotermas de adsorção de água a 20, 30 e 40°C das amostras em pó da polpa de cumbeba, obtidas na secagem em estufa a 70°C, com espessura da camada de espuma de 1,5 cm e com ajustes ao modelo de **Peleg**



**Figura B.9** - Isotermas de adsorção de água a 20, 30 e 40°C das amostras em pó da polpa de cumbeba, obtidas na secagem por liofilização, com espessura da camada de espuma de 1,5 cm e com ajustes ao modelo de **GAB**



**Figura B.10** - Isotermas de adsorção de água a 20, 30 e 40°C das amostras em pó da polpa de cumbeba, obtidas na secagem por liofilização, com espessura da camada de espuma de 1,5 cm e com ajustes ao modelo de **Oswin**