



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



DISSERTAÇÃO

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

**SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DA POLPA DE PITAIA
(*Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose)**

JOYCE EDJA AGUIAR DOS SANTOS

**Campina Grande - Paraíba
AGOSTO - 2017**

SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DA POLPA DE PITAIA
(*Hylocereus polyrhizus* (Weber) Briton & Rose)

JOYCE EDJA AGUIAR DOS SANTOS

Dissertação 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 Mestre em Engenharia Agrícola.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas

ORIENTADORES: Prof. Dr^a. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo
Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz

Campina Grande - Paraíba

AGOSTO – 2017

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	viii
RESUMO	xix
ABSTRACT	x
1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - Objetivo geral	2
1.1.1 - Objetivos específicos	2
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 – Pitaia	4
2.2 – Secagem	5
2.2.1 - Cinética de secagem	6
2.2.2 - Secagem em camada de espuma	7
2.3 - Estado da arte	8
2.4 - Isotermas de adsorção de água	12
2.5 – Armazenamento	13
2.6 - Cinética de degradação	14
3 – MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 - Matérias-primas	16
3.2 - Processamento da pitaia	16
3.3 - Caracterização da polpa da pitaia	17
3.3.2 - Sólidos solúveis totais (°Brix)	17
3.3.3 - Teor de água e sólidos totais	18
3.3.4 - Acidez total titulável (ATT)	18
3.3.6 - Antocianinas totais	18
3.3.7 – Betacianinas	19
3.3.8 – Cor	19
3.3.9 - Atividade de água	20
3.3.10 – Densidade	20
3.4- Formulações	20

3.4.1- Elaboração das formulações	20
3.4.2- Seleção das formulações	22
3.4.2.1- Densidade da espuma	22
3.4.2.2- <i>Over-run</i>	22
3.4.2.3- Estabilidade da espuma	23
3.4.2.4 - Análise estatística	23
3.4.3- Caracterização física, química e físico-química das formulações	23
3.5- Secagem em camada de espuma	24
3.5.1- Cinética de secagem	24
3.6- Caracterização química, física e físico-química das amostras em pó	26
3.6.1 - Densidade absoluta (ρ_{abs})	26
3.6.2 - Densidade aparente (ρ_{ap}) e densidade compactada (ρ_c)	26
3.6.3 - Índice de compressibilidade (Índice de Carr) e Fator de Hausner (FH)	27
3.6.4 – Porosidade	27
3.6.5 – Higroscopicidade	28
3.6.6 – Molhabilidade	28
3.6.7 – Insolubilidade	28
3.7- Isotermas de adsorção de água	29
3.8- Armazenamento das amostras em pó.....	30
3.9 – Cinética de degradação	31
4- RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1 - Seleção da formulação	34
4.1.1 - Seleção inicial	34
4.1.1.1 - Densidade da espuma	34
4.1.1.2 - <i>Over – run</i>	35
4.1.1.3 - Densidade X <i>over-run</i> X tempo de batimento	36
4.1.1.4 - Estabilidade da espuma	37
4.1.2 - Formulações com adição da maltodextrina	38
4.1.2.1 - Densidade da espuma	38
4.1.2.2 - <i>Over-run</i>	39
4.1.2.3 - Densidade X <i>Over –run</i> X Tempo	40
4.1.2.4 - Estabilidade da espuma	41

4.2 - Caracterização química, físico-química e física da polpa de pitáia in natura e das formulações contendo maltodextrina	42
4.3 - Cinética de secagem em camada de espuma	44
4.3.1 - Influência da temperatura	44
4.3.2 - Influência da concentração de maltodextrina	45
4.3.3 - Modelos matemáticos ajustados as curvas de secagem	45
4.4 - Caracterização física, química e físico-química da polpa de pitáia em pó	55
4.4.2 - Teor de água e sólidos totais.....	55
4.4.3 - Acidez total titulável	57
4.4.4 - Ph	58
4.4.5 - Atividade de água	59
4.4.6 - Cinzas	59
4.4.7 - Luminosidade (L*)	60
4.4.8 - Intensidade de vermelho (+a*)	61
4.4.9 - Intensidade de azul (-b*)	61
4.4.10 - Densidade absoluta, aparente e compactada	62
4.4.11 - Fator de Hausner e Índice de Carr	64
4.4.12 - Porosidade	65
4.4.13 - Molhabilidade	66
4.4.14 - Insolubilidade	66
4.4.15 - Higroscopicidade	67
4.4.16 - Betacianinas	68
4.4.17 - Antocianinas totais	69
4.5 - Seleção do melhor pó	69
4.6 - Isotermas de adsorção de água	70
4.7 - Armazenamento acelerado do melhor pó	75
4.8 - Cinética de degradação	84
4.8.1 - Degradação das antocianinas	84
4.8.2 - Degradação das betacianinas	88
4.8.3 - Intensidade de vermelho (+a*).....	91
5- CONCLUSÕES	94
6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
APÊNDICE A	119

APÊNDICE B	119
APÊNDICE C	143
APÊNDICE D	153
APÊNDICE E	159

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Fruto de pitáia (<i>Hylocereus polyrhizus</i>).....	23
Figura 3.1 - Fluxograma das etapas realizadas para obtenção da polpa da pitáia.....	31
Figura 3.2 - Amostras do pó, após 10 dias de armazenamento, com adição de maltodextrina (foto à esquerda) e sem adição (foto à direita)	36
Figura 4.1 - Valores médios da densidade X Over-run X tempo de batimento da espuma das formulações F1, F2 e F3	50
Figura 4.3 - Valores médios do volume coletado (mL) em função do drenagem (min) para diferentes concentrações de goma xantana	54
Figura 4.4 - Valores médios da densidade X over-run X tempo da espuma das formulações F4, F5 e F6 em função do tempo	55
Figura 4.5 - Valores médios do volume coletado (mL) em função do tempo de drenagem (min) para as formulações F4, F5 e F6	56
Figura 4.6 – Curvas de secagem da espuma das formulações F4, F5 e F6 na temperatura de 50 °C	60
Figura 4.7 – Curvas de secagem da espuma das formulações F4, F5 e F6 na temperatura de 60 °C	60
Figura 4.8 – Curvas de secagem da espuma das formulações F4, F5 e F6 na temperatura de 70 °C	61
Figura 4.9 – Cinéticas de secagem da Formulação F4, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Page	64
Figura 4.10 – Cinéticas de secagem da Formulação F5, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Page	66
Figura 4.11 – Cinéticas de secagem da Formulação F6, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Page	69
Figura 4.12 - Isotermas de adsorção de água, para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C, da pitáia em pó, com ajustes pelo modelo de Peleg	89
Figura 4.13 – Cinética de degradação das antocianinas totais da polpa de pitáia em pó nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C	99
Figura 4.14 – Modelo cinético de ordem zero da variação das antocianinas da polpa de pitáia em pó selecionada nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C	101

Figura 4.15 – Cinética de degradação das betacianinas da polpa de pitaia em pó nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C	103
Figura 4.16 – Modelo cinético de ordem zero da variação das betacianinas da polpa de pitaia em pó nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C	104
Figura 4.17 – Cinética de degradação da intensidade de vermelho da polpa de pitaia em pó nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C	105
Figura 4.18 – Modelo cinético de ordem zero da variação da intensidade de vermelho da polpa de pitaia em pó nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C	107
Figura A.1 – Curvas de secagem da espuma da Formulação F4 nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C	134
Figura A.2 – Curvas de secagem da espuma da Formulação F5 nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C	134
Figura A.3 – Curvas de secagem da espuma da Formulação F6 nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C	135
Figura A.4 – Cinéticas de secagem da Formulação F4, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Henderson e Pabis	135
Figura A.5 – Cinéticas de secagem da Formulação F4, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Dois Termos	136
Figura A.6 – Cinéticas de secagem da F4, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Exponencial de Dois Termos	136
Figura A.6 – Cinéticas de secagem da Formulação F4, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Exponencial de Dois Termos.....	137
Figura A.8 – Cinéticas de secagem da Formulação F4, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Levis	137
Figura A.9 – Cinéticas de secagem da Formulação F5, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Henderson e Pabis	138
Figura A.10 – Cinéticas de secagem da Formulação F5, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Dois Termos	138
Figura A.11 – Cinéticas de secagem da F5, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Exponencial de Dois Termos	139

Figura A.12 – Cinéticas de secagem da Formulação F5, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Wang e Singh	139
Figura A.13 – Cinéticas de secagem da Formulação F5, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Levis	140
Figura A.14 – Cinéticas de secagem da Formulação F6, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Henderson e Pabis	140
Figura A.15 – Cinéticas de secagem da Formulação F6, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Dois Termos	141
Figura A.16 – Cinéticas de secagem da Formulação F6, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Exponencial de Dois Termos	141
Figura A.17 – Cinéticas de secagem da Formulação F6, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Wang e Singh	142
Figura A.18 – Cinéticas de secagem da Formulação F6, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Levis	142
Figura C.1 - Isotermas de adsorção de água, para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C, da pitaia em pó, com ajustes pelo modelo de GAB	151
Figura C.2 - Isotermas de adsorção de água, para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C, da pitaia em pó, com ajustes pelo modelo de Oswin	151
Figura C.3 - Isotermas de adsorção de água, para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C, da pitaia em pó, com ajustes pelo modelo de BET	152
Figura E.1 – Modelo cinético de Primeira ordem da variação das antocianinas totais da polpa de pitaia em pó selecionada nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C	161
Figura E.2 – Modelo cinético de Segunda ordem da variação das antocianinas totais da polpa de pitaia em pó selecionada nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C	161

Figura E.3 – Representação gráfica da equação de Arrhenius, da constante cinética de ordem zero para a degradação das antocianinas totais da polpa de pitaia em pó da Formulação F4	162
Figura E.4 – Modelo cinético de Primeira ordem da variação das betacianinas ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$) da polpa de pitaia em pó selecionada nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C	164
Figura E.5 – Modelo cinético de Segunda ordem da variação das betacianinas ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$) da polpa de pitaia em pó selecionada nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C	164
Figura E.6 – Representação gráfica da equação de Arrhenius, da constante cinética de ordem zero para a degradação das betacianinas ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$) da polpa de pitaia em pó da Formulação F4	165
Figura E.7 – Modelo cinético de Primeira ordem da variação intensidade de vermelho ($+a^*$) da polpa de pitaia em pó selecionada nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C	167
Figura E.8 – Modelo cinético de Segunda ordem da variação intensidade de vermelho ($+a^*$) da polpa de pitaia em pó selecionada nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C	167
Figura E.9 – Representação gráfica da equação de Arrhenius, da constante cinética de ordem zero para a degradação intensidade de vermelho ($+a^*$) da polpa de pitaia em pó da Formulação F4	168

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Aditivos, concentração e temperaturas de secagem em camada de espuma para diferentes produtos agrícolas	23
Tabela 3.1 – Formulações compostas de polpa de pitaia adicionadas de polisorbato 80 e goma xantana	34
Tabela 3.2 – Formulações compostas de polpa de pitaia adicionadas de polisorbato 80 e goma xantana e maltodextrina	35
Tabela 3.3 - Modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais da de secagem	39
Tabela 3.4 - Modelos matemáticos utilizados para ajustar os dados experimentais das isotermas de adsorção	44
Tabela 3.5 - Modelos cinéticos	46
Tabela 4.1: Valores médios da densidade (g/cm^3) da espuma em função da concentração de goma xantana e do tempo de batimento	48
Tabela 4.2: Valores médios do over-run da espuma em função da concentração de goma xantana e do tempo de batimento	49
Tabela 4.3: Valores médios da densidade da espuma das formulações F4, F5 e F6 em função do tempo de batimento	53
Tabela 4.4: Valores médios do over-run da espuma das formulações F4, F5 e F6 em função do tempo de batimento	54
Tabela 4.5 – Parâmetros químicos, físicos e fisico-químicos da polpa de pitaia in natura e das formulações F4, F5 e F6	57
Tabela 4.6 - Tempos de secagem das Formulações F4, F5 e F6 nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C	59
Tabela 4.7 – Parâmetros dos modelos ajustados às curvas de secagem em camada de espuma da Formulação F4	63
Tabela 4.8 – Parâmetros dos modelos ajustados às curvas de secagem da espuma da Formulação F5	66
Tabela 4.9 – Parâmetros dos modelos ajustados às curvas de secagem da espuma da Formulação F6	68

Tabela 4.10 – Valores médios do teor de água (% b.u.) da polpa de pitaia em pó em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina	70
Tabela 4.11 – Valores médios dos sólidos totais (%) da polpa em pó de pitaia em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina	71
Tabela 4.12 – Valores médios dos sólidos solúveis totais (°Brix) da polpa de pitaia em pó em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina	72
Tabela 4.13 – Valores médios da acidez total titulável (% de ácido cítrico) da polpa de pitaia em pó em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina	73
Tabela 4.14 – Valores médios do pH da polpa de pitaia em pó em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina	73
Tabela 4.15 – Valores médios da atividade de água da polpa em pó de pitaia em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina	74
Tabela 4.16 – Valores médios das cinzas (%) da polpa de pitaia em pó em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina	74
Tabela 4.17 – Valores médios da luminosidade (L*) da polpa de pitaia em pó em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina	75
Tabela 4.18 – Valores médios da intensidade de vermelho (+a*) da polpa de pitaia em pó em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina	75
Tabela 4.19 – Valores médios da intensidade de azul (-b*) da polpa de pitaia em pó em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina	76
Tabela 4.20 – Valores médios da densidade absoluta (g/cm ³) da polpa de pitaia em pó em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina	77
Tabela 4.21 – Valores médios da densidade aparente (g/cm ³) da polpa de pitaia em pó em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina	77
Tabela 4.22 – Valores médios da densidade compactada (g/cm ³) da polpa de pitaia em pó em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina	78
Tabela 4.23 – Valores médios do fator de Hausner da polpa de pitaia em pó em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina	78
Tabela 4.24 – Valores médios do Índice de Carr (%) da polpa de pitaia em pó em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina	79
Tabela 4.25 – Valores médios da porosidade (%) da polpa de pitaia em pó em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina	80

Tabela 4.26 – Valores médios da molhabilidade (s) da polpa de pitáia em pó em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina	80
Tabela 4.27 – Valores médios da insolubilidade (%) do pó da polpa de pitáia em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina	81
Tabela 4.28 – Valores médios da higroscopicidade (g.100 g ⁻¹) do pó da polpa de pitáia em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina	82
Tabela 4.29 – Valores médios do conteúdo de betacianinas (mg/100g) dos pós produzidos da polpa de pitáia em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina	83
Tabela 4.30 – Valores médios das antocianinas totais (mg/100g) da polpa de pitáia em pó em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina	84
Tabela 4.31 - Valores médios do teor de água de equilíbrio (U _{eq}) da polpa de pitáia em pó (Formulação F4) desidratada na temperatura de 70 °C, em função da atividade de água (a _w) para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C	85
Tabela 4.32 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R ²) e desvios percentuais médios dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de umidade, da polpa de pitáia em pó (Formulação F4), desidratada a 70 °C, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C	88
Tabela 4.33 – Valores médios do teor de água (% b.u.) da polpa de pitáia em pó (Formulação F4), desidratada a 70 °C, durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83%	90
Tabela 4.34 – Valores médios da acidez total titulável (% de ácido cítrico) da polpa de pitáia em pó (Formulação F4 - 70 °C), durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83% (KCl)	91
Tabela 4.35 – Valores médios do pH da polpa de pitáia em pó (Formulação F4 - 70 °C), durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83% (KCl)	91
Tabela 4.36 – Valores médios da atividade de água da polpa de pitáia em pó (Formulação F4 - 70 °C), durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83% (KCl)	92

Tabela 4.37 – Valores médios da luminosidade (L^*) da polpa de pitáia em pó (Formulação F4 - 70 °C), durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83% (KCl)	93
Tabela 4.38 – Valores médios da intensidade de vermelho ($+a^*$) da polpa de pitáia em pó (Formulação F4 - 70 °C), durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83% (KCl)	94
Tabela 4.39 – Valores médios da intensidade de azul ($-b^*$) da polpa de pitáia em pó (Formulação F4 - 70 °C), durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83% (KCl)	95
Tabela 4.40 – Valores médios da insolubilidade (%) da polpa de pitáia em pó (Formulação F4 - 70 °C), durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83% (KCl)	96
Tabela 4.41 – Valores médios do conteúdo de betacianinas (g/100g) da polpa de pitáia em pó (Formulação F4 - 70 °C), durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83% (KCl)	97
Tabela 4.42 – Valores médios das antocianinas totais (g/100g) da polpa de pitáia em pó (Formulação F4 - 70 °C), durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83% (KCl)	98
Tabela 4.43 - Parâmetros cinéticos da degradação das antocianinas totais da polpa de pitáia em pó, nas temperaturas de 20 30 e 40 °C	100
Tabela 4.44 - Parâmetros da equação de Arrhenius e coeficientes de reação (Q_{10}) para degradação das antocianinas totais da polpa de pitáia em pó	102
Tabela 4.45 - Parâmetros cinéticos de degradação das betacianinas da polpa de pitáia em pó selecionada nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C	103
Tabela 4.46 - Parâmetros da equação de Arrhenius e coeficientes de reação (Q_{10}) para degradação das betacianinas totais da polpa de pitáia em pó selecionada	105
Tabela 4.47 - Parâmetros cinéticos de degradação da intensidade de vermelho ($+a^*$) da polpa de pitáia em pó da Formulação F4, para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C.....	106

Tabela 4.48 - Parâmetros da equação de Arrhenius e coeficientes de reação (Q_{10}) para degradação da intensidade de vermelho da polpa de pitaia em pó da formulação F4	107
Tabela B.1 – Análise de variância dos valores médios do teor de água (% b.u.) da polpa de pitaia em pó em função da temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$) e concentrações de maltodextrina (%)	144
Tabela B.2 – Análise de variância dos valores médios dos sólidos solúveis totais ($^{\circ}\text{Brix}$) da polpa de pitaia em pó em função da temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$) e concentrações de maltodextrina (%)	144
Tabela B.3 – Análise de variância dos valores médios da acidez total titulável (% de ácido cítrico) da polpa de pitaia em pó em função da temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$) e concentrações de maltodextrina (%)	144
Tabela B.4 – Análise de variância dos valores médios da atividade de água da polpa de pitaia em pó em função da temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$) e concentrações de maltodextrina (%)	145
Tabela B.5 – Análise de variância dos valores médios da luminosidade (*L) da polpa de pitaia em pó (Formulação F4) em função da temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$) e concentrações de maltodextrina (%)	145
Tabela B.6 – Análise de variância dos valores médios da intensidade de vermelho (+a*) da polpa de pitaia em pó em função da temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$) e concentrações de maltodextrina (%)	145
Tabela B.7 – Análise de variância dos valores médios da intensidade de azul (-b*) da polpa de pitaia em pó em função da temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$) e concentrações de maltodextrina (%)	146
Tabela B.8 – Análise de variância dos valores médios da densidade absoluta (g/cm^3) da polpa de pitaia em pó em função da temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$) e concentrações de maltodextrina (%)	146

- Tabela B.9** – Análise de variância dos valores médios da densidade aparente (g/cm^3) da polpa de pitaia em pó em função da temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$) e concentrações de maltodextrina (%)146
- Tabela B.10** – Análise de variância dos valores médios da densidade compactada (g/cm^3) da polpa de pitaia em pó em função da temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$) e concentrações de maltodextrina (%)147
- Tabela B.11** – Análise de variância dos valores médios do Fator de Hauner da polpa de pitaia em pó em função da temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$) e concentrações de maltodextrina (%)147
- Tabela B.12** – Análise de variância dos valores médios do Índice de Carr (%) da polpa de pitaia em pó em função da temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$) e concentrações de maltodextrina (%)147
- Tabela B.13** – Análise de variância dos valores médios da porosidade (%) da polpa de pitaia em pó em função da temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$) e concentrações de maltodextrina (%)148
- Tabela B.14** – Análise de variância dos valores médios da molhabilidade (s) da polpa de pitaia em pó em função da temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$) e concentrações de maltodextrina (%)148
- Tabela B.15** – Análise de variância dos valores médios da insolubilidade (%) da polpa de pitaia em pó em função da temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$) e concentrações de maltodextrina (%)148
- Tabela B.16** – Análise de variância dos valores médios da higroscopicidade (g.100g^{-1}) da polpa de pitaia em pó em função da temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$) e concentrações de maltodextrina (%)149
- Tabela B.17** – Análise de variância dos valores médios das betacianinas (mg.100g^{-1}) da polpa de pitaia em pó em função da temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$) e concentrações de maltodextrina (%)149

- Tabela B.18** – Análise de variância dos valores médios das antocianinas totais (mg.100g⁻¹) da polpa de pitaia em pó em função da temperatura de secagem (°C) e concentrações de maltodextrina (%)149
- Tabela D.1** – Análise de variância dos valores médios do teor de água (% b.u.) da polpa de pitaia em pó (Formulação F4), desidratada a 70 °C, durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83%154
- Tabela D.2** – Análise de variância dos valores médios da acidez total titulável (% de ácido cítrico) da polpa de pitaia em pó (Formulação F4), desidratada a 70 °C, durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83%154
- Tabela D.3** – Análise de variância dos valores médios da atividade de água da polpa de pitaia em pó (Formulação F4), desidratada a 70 °C, durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83%155
- Tabela D.4** – Análise de variância dos valores médios da luminosidade (L*) da polpa de pitaia em pó (Formulação F4), desidratada a 70 °C, durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83%155
- Tabela D.5** – Análise de variância dos valores médios da intensidade de vermelho (+a*) da polpa de pitaia em pó (Formulação F4), desidratada a 70 °C, durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83%156
- Tabela D.6** – Análise de variância dos valores médios da intensidade de azul (-b*) da polpa de pitaia em pó (Formulação F4), desidratada a 70 °C, durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83%156
- Tabela D.7** – Análise de variância dos valores médios da insolubilidade (%) da polpa de pitaia em pó (Formulação F4), desidratada a 70 °C, durante o armazenamento

nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83%
.....157

Tabela D.8 – Análise de variância dos valores médios das betacianinas (mg.100g⁻¹) da polpa de pitaia em pó (Formulação F4), desidratada a 70 °C, durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83%.....157

Tabela D.9 – Análise de variância dos valores médios das antocianinas (mg.100g⁻¹) da polpa de pitaia em pó (Formulação F4), desidratada a 70 °C, durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83%
.....158

Tabela E.1 - Valores médios das antocianinas totais (mg.100g⁻¹) para as amostras em pó da Formulação F4, armazenadas por 14 dias, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C
.....160

Tabela E.2 - Valores médios das das betacianinas (mg.100g⁻¹) para as amostras em pó da Formulação F4, armazenadas por 14 dias, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C
.....163

Tabela E.3 - Valores médios da intensidade de vermelho (+a*) para as amostras em pó da Formulação F4, armazenadas por 14 dias, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C
.....166

RESUMO

Devido a sua aparência exótica, sabor doce, propriedades nutricionais e um grande aproveitamento na culinária, a pitáia (*Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose) vem despertando a atenção dos consumidores e fruticultores em diversas regiões do Brasil. Além da grande aceitabilidade do fruto, a polpa é rica em compostos fenólicos e pigmentos, principalmente antocianinas e betacianinas, que podem vir a atuar no organismo como agentes antioxidantes. Diante disso, objetivou-se estudar a secagem da polpa de pitáia pelo método de secagem em camada de espuma. Foram realizados testes preliminares com formulações contendo polissorbato 80 (0,5%) e goma xantana (0,1; 0,2 e 0,3%). Para reduzir a higroscopicidade do pó obtido nestas secagens preliminares, adicionou-se maltodextrina às amostras nas concentrações de 10, 15 e 20%. Tanto a polpa integral como as formulações contendo maltodextrina foram caracterizadas quanto aos parâmetros químicos, físicos e físico-químicos; foram avaliados densidade, *over-run* e estabilidade das espumas; em seguida, essas formulações foram submetidas a secagem em estufa de circulação de ar utilizando bandejas retangulares, com 1,0 cm de espessura da camada da espuma, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. Os pós produzidos foram caracterizados quanto aos parâmetros físicos, químicos e físico-químicos, como forma de definir o melhor pó. Nesta melhor amostra em pó foram determinadas as isotermas de adsorção de umidade, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C; o armazenamento, durante 60 dias, sob condições controladas de temperatura (20, 30 e 40 °C) e umidade relativa de aproximadamente 83%, com as amostras acondicionadas em embalagens laminadas; e a cinética de degradação das antocianinas, betacianinas e intensidade de vermelho, durante 14 dias, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de aproximadamente 83%. O modelo de Page foi o que representou os melhores ajustes aos dados experimentais da cinética de secagem das formulações com valores de R^2 superiores a 0,99 e DQM inferiores a 0,03. Após a secagem constatou-se que a amostra obtida a 70 °C contendo 10% de maltodextrina foi a melhor, com um teor de água de 5,39 %b.u., acidez de 1,06 % de ácido cítrico, atividade de água de 0,36; intensidade de vermelho de 37,41; densidade aparente de 1,46 g/cm³ e índice de Carr inferior a 15%; o menor valor de insolubilidade (18,22%), uma higroscopicidade inferior a 17%; betacianinas com valor de 51,99 mg/100g e antocianinas totais de 19,16 mg/100g. De uma forma geral o modelo de Peleg proporcionou os melhores ajustes aos dados experimentais das isotermas de adsorção, com $R^2 \geq 0,99$ e $P \leq 3,6$, cuja isoterma foi classificada como sigmoidal do tipo II. Durante o armazenamento, as embalagens laminadas foram mais eficientes para a condição de temperatura de 20 °C; com o aumento da temperatura e no decorrer do armazenamento, constatou-se um aumento acentuado no teor de água, acidez, atividade de água, intensidade de vermelho e insolubilidade; e redução da luminosidade, intensidade de azul, betacianinas e antocianinas totais. As maiores degradações, tanto para as antocianinas como para as betacianinas e intensidade de vermelho, ocorreram nas maiores temperaturas de armazenamento; as três cinéticas de degradação analisadas foram bem ajustadas pela equação de reação de ordem zero.

Palavras-chave: *Hylocereus polyrhizus*, cinética de degradação, armazenamento, cinética em pó.

ABSTRACT

Due to its exotic appearance, sweet taste, nutritional properties and a great use in cooking, pitaia (*Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose) has been attracting the attention of consumers and fruit growers in several regions of Brazil. Besides the great acceptability of the fruit, the pulp is rich in phenolic compounds and pigments, mainly anthocyanins and betacyanins, which may act in the body as antioxidants. The aim of this study was to study the drying of the pitaia pulp by the foam layer drying method. Preliminary tests were carried out with formulations containing polysorbate 80 (0,5%) and xanthan gum (0,1, 0,2 and 0,3%). To reduce the hygroscopicity of the powder obtained in these preliminary drying, maltodextrin was added to the samples at concentrations of 10, 15 and 20%. Both the whole pulp and the maltodextrin-containing formulations were characterized for chemical, physical and physico-chemical parameters. Density, over-run and foam stability were evaluated; Then these formulations were subjected to air circulation drying using rectangular trays, 1,0 cm in thickness of the foam layer, at temperatures of 50, 60 and 70°C. The powders produced were characterized in terms of physical, chemical and physico-chemical parameters, as a way to define the best powder. In this best powdered sample the moisture adsorption isotherms were determined, at temperatures of 20, 30 and 40 ° C; Storage for 60 days under controlled temperature conditions (20, 30 and 40°C) and relative humidity of approximately 83% with the samples packed in laminated packages; And the degradation kinetics of anthocyanins, betacyanins and red intensity for 14 days at temperatures of 20, 30 and 40°C and relative humidity of approximately 83%. The Page model was the best fit to the experimental data of the drying kinetics of the formulations with R^2 values above 0,99 and DQM of less than 0,03. After drying it was found that the sample obtained at 70 ° C containing 10% maltodextrin was the best, with a water content of 5,39% b.u, acidity of 1,06% citric acid, water activity of 0,36; Red intensity of 37,41; Bulk density of 1,46 g / cm³ and Carr index less than 15%; The lowest insolubility value (18,22%), a hygroscopicity of less than 17%; Betacyanins with a value of 51,99 mg / 100g and total anthocyanins of 19,16 mg / 100g. In general the Peleg model provided the best adjustments to the experimental data of the adsorption isotherms, with $R^2 \geq 0,99$ and $P \leq 3,6$, whose isotherm was classified as type II sigmoidal. During storage, the laminated packages were more efficient for the temperature condition of 20 ° C; With increasing temperature and during storage, a marked increase in water content, acidity, water activity, red intensity and insolubility was observed; And reduction of luminosity, intensity of blue, total betacyanins and anthocyanins. The highest degradations, for both anthocyanins and betacyanins and red intensity, occurred at the highest storage temperatures; The three degradation kinetics analyzed were well adjusted by the zero order reaction equation.

Key words: *Hylocereus polyrhizus*, kinetics of degradation, storage, powder kinetics.

1 – INTRODUÇÃO

O consumo de frutas tem aumentado, principalmente devido ao seu valor nutritivo e ao seu potencial terapêutico. Alguns frutos possuem diferentes compostos fitoquímicos, com propriedades antioxidantes, que podem estar relacionados à prevenção de câncer, doenças cardíacas e pulmonares, bem como também a problemas relacionados ao envelhecimento. Nesse contexto, frutas tropicais exóticas têm sido consideradas promotoras da saúde e peças-chave na promoção da qualidade de vida (LIMA et al., 2002; NUNES et al., 2015).

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas, ficando atrás apenas da China e Índia, com uma área cultivada de cerca de 2,26 milhões de hectares correspondendo a uma produção de 43 milhões de toneladas. Desse total produzido, 47% são frutas consumidas *in natura* e 53% processadas para elaboração de polpas, sucos, geléias, sorvetes e doces (ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2012).

Dentre as frutas exóticas cultivadas no Brasil a pitiaia vermelha [*Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose] têm atraído muita atenção dos consumidores, não só pela sua aparência e sabor, mas pelo alto valor nutricional e funcional (CASTRO, 2015). A pitiaia é uma planta nativa de regiões tropicais da América do Norte, Central e América do Sul. A espécie mais conhecida é a *H. undatus* ((Haw) Britton & Rose), enquanto outras espécies, como a *H. polyrhizus* ((FAC Weber) Britton & Rose) e *H. costaricensis* [(FAC Weber) Britton & Rose] são cultivadas em pequena escala (MIZRAHI & NERD, 1999).

Estudos relatam a presença de conteúdos elevados compostos fenólicos e pigmentos naturais tanto na polpa como na casca da pitiaia despertando a atenção no que diz respeito a sua atividade antioxidante. (ESQUIVEL et al., 2007; WU et al., 2006).

Para a conservação da polpa e principalmente o consumo seguro no período da entressafra, recomenda-se o emprego de métodos de conservação. A secagem ou desidratação é o processo mais utilizado. Trata-se de um processo simples que corresponde a redução até níveis seguros de água do produto, aumentando a estabilidade nutricional, reduzindo o volume, facilitando o transporte e armazenamento (SHIGEMATSU et al., 2005).

Dentre as técnicas empregadas para obtenção de produtos alimentícios em pó, a secagem em camada de espuma (*foam mat drying*), destaca-se pelo baixo custo quando comparado a métodos convencionais industriais, em que alimentos líquidos ou semi-líquidos são transformados em espumas estáveis, através de vigorosa agitação e incorporação de agentes espumantes e estabi/lizantes para posterior desidratação (SILVA et al., 2008). É

bastante utilizada em produtos sensíveis ao calor, viscosos e com alto índice de açúcar, como suco de frutas; além disso, o produto final possui alta qualidade, com uma boa retenção de aroma e sabor e facilidade na reconstituição em água (RAJKUMAR et al, 2007). Atualmente, os alimentos em pó vêm aumentando seu espaço no mercado em razão da redução dos custos de embalagem, transporte e armazenamento. No entanto, faz-se imprescindível o conhecimento das características físicas, químicas e físico-químicas como forma de garantir maior vida útil do produto.

1.1 - Objetivo geral

Transformar a polpa de pitáia (*Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose), em um produto em pó, utilizando o processo de secagem em camada de espuma.

1.1.1 - Objetivos específicos

- Caracterizar química, física e físico-quimicamente a polpa da pitáia integral;
- Elaborar formulações compostas pela polpa de pitáia e diferentes concentrações dos aditivos comerciais Polissorbato, goma xantana e maltodextrina;
- Selecionar as formulações elaboradas com base nos fatores que influenciam no processo de secagem em camada de espuma: densidade, *over-run* e estabilidade.
- Caracterizar química, física e físico-quimicamente a formulação selecionada;
- Desidratar, a formulação selecionada, através do método de secagem em camada de espuma, com diferentes temperaturas de secagem (50, 60, 70 °C) e concentrações de maltodextrina (10, 20 e 30 %), avaliando as cinéticas de secagem;
- Caracterizar química, física e físico-quimicamente as amostras em pó obtidas nas secagens;
- Identificar a melhor amostra em pó com base nas características avaliadas, com melhor concentração de maltodextrina e melhor temperatura de secagem;
- Determinar as isotermas de adsorção de água da melhor amostra em pó, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C;

- Analisar a estabilidade da melhor amostra em pó, acondicionada em embalagens laminadas, durante 60 dias de armazenamento, sob condições controladas de temperatura (20, 30 e 40 °C) e umidade relativa de 83% (KCl).

- Avaliar a cinética de degradação das antocianinas, betacianinas e intensidade de vermelho da melhor amostra em pó, durante 14 dias, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83%.

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Pitaia

A pitaia pertence à família Cactaceae, a qual apresenta aproximadamente 84 gêneros e 1.400 espécies nativas das Américas (LIMA; FALEIRO; JUNQUEIRA, 2013). Na América Latina, existem diferentes espécies cultivadas que são nomeadas como pitaia. De acordo com Mizrahi et al. (1997) e Britton e Rose (1963), essas espécies estão agrupadas em quatro gêneros principais: *Stenocereus* (Britton & Rose), *Cereus* (Mill), *Selenicereus* (Riccob) e *Hylocereus* (Britton & Rose). Essa grande diversidade nas espécies está relacionada, principalmente, com o formato, presença de espinhos, coloração da casca e da polpa, teores de sólidos solúveis totais e pH da polpa, reflexo da alta diversidade genética desta frutífera (MARQUES et al., 2011; LIMA et al.; 2013).

A espécie *Hylocereus polyrhizus* (Figura 2.1), conhecida como pitaia vermelha ou fruta do dragão, é uma variedade que tem fruto de casca vermelha com polpa vermelha rica em compostos fenólicos e presença de pigmentos (principalmente antocianinas e betacianinas), que se ingeridos atuam como agente antioxidante (WYBRANIEC e MZRAHI 2002; WU et al. 2006; NUNES et al. 2014).



Figura 2.1 - Fruto de pitaia (*Hylocereus polyrhizus*)

O fruto dessa espécie possui casca vermelha ou rosa coberta com brácteas e o mesocarpo consiste de uma polpa mucilagínosa na cor vermelho-púrpura que contém sementes pequenas digestíveis distribuídas por toda polpa (ZEE et al., 2004). O rendimento de polpa, sem as sementes, representa em torno de 55% do fruto, podendo variar entre as diferentes espécies (CANTO, 1993; LIMA, 2013).

A colheita desse fruto ocorre geralmente quando atinge a maturação completa, de 30 a 40 dias, após a abertura da flor, estágio no qual a casca adquire coloração de rosa a vermelho intenso, polpa branca com textura, ainda, firme (MARQUES, 2010). Segundo Wanitchang et al. (2010) a fase ideal de maturidade, no momento de colheita, é fator fundamental no armazenamento e qualidade final da maioria das frutas. Trata-se de um fruto tropical que, em condições ambientais, deterioram-se com relativa facilidade, com vida útil compreendida de 5 a 10 dias; enquanto nas temperaturas de 8 e 13 °C a vida útil pode ser de até 25 dias (BRUNINI e CARDOSO, 2011).

2.2 - Secagem

O tempo de vida dos produtos agrícolas, de forma geral, é muito curto e mesmo que o consumo desses produtos *in natura* seja elevado, embalagens inadequadas, más condições de transporte, questões de logísticas de manuseio e armazenamento inadequado, levam a um desperdício pelo excedente de produção (ALVES e SILOCHI, 2010). Dessa forma, torna-se indispensável a desidratação de produtos alimentícios como forma de garantir a estabilidade desses alimentos através da redução da atividade de água inibindo o desenvolvimento de microrganismos, garantindo um produto final com características nutricionais preservadas com baixo custo de transporte e armazenamento.

Dentre os métodos de conservação de alimentos utilizados após a colheita, a secagem é o método mais antigo praticado pelo homem. Este processo tem por finalidade retirar parte da água contida no produto até níveis seguros originando condições desfavoráveis à continuidade de suas atividades metabólicas e ao desenvolvimento de microrganismos, agregando valor final e dando origem a uma nova opção no mercado (GONELI et al., 2011; ULLMANN et al., 2010).

A secagem, de uma forma geral, é definida como um processo de transferência simultânea de calor e massa entre o produto e o ar de secagem. Os fatores que dirigem a velocidade desses processos de transferência determinam a taxa de secagem, tais como pressões de vapor d'água do ar e no material, espessura e superfície exposta (ARGADOÑA,

2005). A evolução dessas transferências simultâneas no decorrer da operação de secagem faz com que essa seja dividida esquematicamente em três períodos: período de indução (a taxa de secagem é alta uma vez que a superfície do produto está mais fria que o ar de secagem), período em taxa constante (a energia interna do produto é transportada na mesma velocidade com que ocorre sua evaporação) e período em taxa decrescente de secagem (a quantidade de água disponível na superfície diminui acarretando na diminuição da velocidade de secagem) (OLIVEIRA et al., 2006).

Entretanto, segundo Valente (2007) o processo de secagem também pode afetar a estrutura do alimento, causando alteração na cor, como as reações escurecimento enzimático e não-enzimático, além da perda de nutrientes, decorrente da exposição prolongada a altas temperaturas. Diante disso, antes de iniciar o processo de secagem é necessário que se conheça algumas propriedades essenciais do produto, como, por exemplo, sua constituição química; bem como a escolha do método de secagem mais adequado, como forma de garantir as características do produto.

3.2.1 - Cinética de secagem

Segundo Vega Gálvez et al. (2012) a análise da cinética de secagem fornece informações sobre o comportamento da transferência de massa entre o produto e o agente de secagem, normalmente o ar atmosférico, o qual é de extrema importância para a predição do processo de secagem. Para interpretação da cinética de secagem, a curva de secagem deve representar a variação da massa total do material úmido e do tempo de duração do processo, mas também pode ser expresso em função da taxa de secagem (SANTANA et al., 2011).

A taxa de secagem pode ser acelerada com o aumento da temperatura do ar de secagem e/ou com o aumento do fluxo de ar que passa pelo produto por unidade de tempo. A quantidade de ar utilizada para a secagem depende de vários fatores, entre eles: o teor de umidade inicial do produto e a espessura da camada (GOUVEIA et al., 2003).

As curvas de secagem, seja para secagem em camada de espuma, como para os demais métodos variam com a natureza do produto, condições ambientais, condições de secagem, método de preparo, dentre outros fatores. Nesse sentido, existem na literatura vários modelos empíricos que são utilizados para estimar o processo de secagem. Dentre os quais destacam-se: Henderson e Pabis, Dois Termos, Exponencial de Dois Termos, Page, Wang e Sing e Levis.

3.2.2 - Secagem em camada de espuma

Dentre as técnicas utilizadas para transformar polpas de frutas em pó, têm-se o processo de secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*), que consiste, basicamente, em transformar alimentos líquidos ou semi-líquidos numa espuma estável pela incorporação de ar em sua estrutura através da adição de agentes emulsificantes e estabilizantes, submetidos à desidratação para obtenção de um produto facilmente reconstituído em água ou adicionado a outros alimentos (RAJKUMAR et al., 2007); WIDYASTUTIL e SRIANTA, 2011). O processo de secagem em camada de espuma é considerado um processo simples e barato, comumente utilizado no processamento de produtos sensíveis ao calor, tais como suco de frutas (KARIM e CHEE WAI, 1999). O menor tempo de exposição do produto ao calor permite a obtenção de produtos em pó com características nutricionais preservadas, semelhantes da polpa líquida, altamente reidratável, gerando grandes possibilidades comerciais (FALADE e OKOCHA, 2010).

Durante esse processo de secagem a espuma deve permanecer mecanicamente e termodinamicamente estável (FRANCO et al., 2015). A estrutura, a capacidade de expansão e a estabilidade da espuma desempenham um papel importante na circulação de água durante a secagem e, conseqüentemente, na qualidade do produto final (BAG et al., 2011). Vários fatores influenciam na capacidade de formação e estabilidade das espumas, dentre os quais destacam-se: a natureza química dos frutos, o teor de sólidos solúveis totais, concentração e a natureza do agente de formação de espuma, a técnica e tempo utilizado para a incorporação (KARIM e CHEE WAI, 1999). Muitos alimentos contêm proteínas e monoglicérides que permitem a produção de espuma quando batidos, entretanto essas espumas, geralmente, não são capazes de suportar as condições do processo de secagem e por isso faz-se necessário a incorporação de aditivos capazes de formar e principalmente manter estável a espuma, reduzindo a energia livre e a tensão interfacial (CAPITANI, 2004). Na medida em que a concentração de estabilizantes é aumentada a densidade final da espuma diminui, uma vez que maior quantidade de ar é incorporado durante a mistura. Entretanto, uma dose excessiva de estabilizante, assim como um tempo de batimento prolongado pode resultar numa falta de estabilidade levando ao colapso da espuma (KUDRA e RATTI, 2006). Segundo Van Asdel (1964), espumas são consideradas mecanicamente ou termicamente estáveis quando não colapsarem com a temperatura ambiente, com valores de densidade da espuma compreendido numa faixa de 0,1 a 0,6 g/cm³.

2.3 - Estado da arte

Ao longo dos anos, o método de secagem em camada de espuma tem sido aplicado para vários tipos de frutas apresentando resultados satisfatórios. Entretanto, em razão da grande diversidade dos frutos e de suas características físicas e físico-químicas, esse método apresenta comportamento diversificado e particularidades para cada produto.

Diversos estudos (Tabela 2.1) têm sido realizados a fim de caracterizar os produtos obtidos e determinar as melhores condições de operação, como temperatura, tipo e concentração dos aditivos.

Breda et al. (2013) quando avaliaram o efeito da desidratação, utilizando o método de secagem em camada de espuma, na retenção da vitamina C da polpa de cajamanga, utilizaram para obtenção da espuma combinações dos aditivos Emustab®, Super Liga Neutra® e pectina cítrica, agitados em dispersor mecânico a 7000 rpm durante 20 min à temperatura ambiente (25 °C), verificando que a formulação com 1,5% de Emustab e 1,0% de pectina cítrica obteve maior retenção da vitamina C (28,55%).

Abbasi e Azizpour (2016) ao testarem a secagem em camada de espuma da polpa de cereja (*Prunus cerasus* L.) utilizando a combinação dos aditivos maltodextrina (8%), albumina (1, 2 e 3%) e metilcelulose (1; 1,5 e 2%) observaram que as amostras contendo 8% de maltodextrina, 1,5% de metilcelulose e 1% de albumina apresentaram as melhores respostas para as propriedades químicas e físico-químicas, com destaque para antocianinas.

Melo et al. (2013) ao trabalharem com a polpa de mandacaru secada em estufa com circulação de ar a 70, 80 e 90 °C e espessuras de 0,5; 1,0 e 1,5 cm, utilizaram para formação da espuma os aditivos albumina, Super Liga Neutra e extrato de soja em proporções distintas, obtendo uma umidade do pó entre 12 e 15% na temperatura de 70 °C; 10 e 14% na temperatura de 80 °C e 3 e 5% na temperatura de 90 °C.

Furtado et al. (2014) obtiveram resultados satisfatórios quando secaram em camada de espuma a polpa de abacaxi cv. Pérola concentrada (60°Brix), nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, com adição do emulsificante Emustab (1,5%), comumente utilizado como dispersante e promotor de espuma.

Tabela 2.1 – Aditivos, concentração e temperaturas de secagem em camada de espuma para diferentes produtos agrícolas

Aditivo	Produtos	Concentração do aditivo (%)	Temperatura de secagem (°C)	Referência
Maltodextrina	cereja	8,0	50 - 80	ABBASI e AZIZPOUR (2016)
Polisorbato 80/ Tween	leite; suco de abacaxi	0,5 - 1,0	60	FEBRIANTO et al. (2011); BERISTAIN et al. (1991)
Goma xantana	camarão	1,0	45 - 90	AZIZPOUR et al. (2016)
Carboximetilcelulose	umbu; espinheiro marítimo; tangerina; melão	0 - 1,0	50 - 85	SILVA et al. (2005); KAUSHAL et al. (2011); KADAM et al. (2011); SANGAMITHIRA et al. (2015); SALAHY et al. (2014); ASOKAPANDIAN et al. (2015)
Emustab®	figo-da-índia; caju; goiaba graviola; manga; abacaxi; cajamanga; mandacaru	1,0 – 2,0	60 - 90	LISBÔA et al. (2012); MACHADO et al. (2015); FURTADO et al. (2014); SILVA FILHO et al. (2016); MELO et al. (2013)
Metil celulose	carambola; cereja; manga; mamão; carragena	0,5 – 2,0	50 - 90	KARIM e WAI (1999); ABBASI e AZIZPOUR (2016); RAJKUMAR et al. (2007); KANDASAMY et al. (2012); BREDA et al. (2013)

Super Liga Neutra	manga; figo-da-índia; caju; goiaba; graviola; manga; mandacaru	0,5 - 1,0	70 - 90	SILVA FILHO et al. (2016); LISBÔA et al. (2012); MACHADO et al. (2015); MELO et al. (2013)
Extrato de soja	figo-da-índia;	5,0	90	LISBÔA et al. (2012)
Albumina	cereja; yacon; banana; manga; mamão; caju; abacaxi; melão; pasta de milho; tomate; tamarindo; graviola; mandacaru	0,5 - 20	50 - 80	ABBASI e AZIZPOUR (2016); FRANCO et al. (2015); PRAKOTMAK et al. (2010); RAJKUMAR et al. (2007); THUWAPANICHAYANAN et al. (2008); KANDASAMY et al. (2012); OJO et al. (2015); SANGAMITHIRA et al. (2015); SALAHI et al. (2014); TEOH et al. (2016); ASOKAPANDIAN et al. (2015); FERNANDES et al. (2013); SILVA et al (2015); MELO et al. (2013); BAPTESTINI et al. (2015)

Kandasamy et al. (2012) ao realizarem a secagem em camada de espuma a polpa de mamão papaya (9 °Brix), com adição de metil-celulose (0,75%), glicerol-mono-esterato (3%) e albumina (15%), como agentes de formação da espuma, batidos durante 20 min. A formulação foi submetida a secagem nas temperaturas de 60, 65 e 70 °C em cinco espessuras da camada de espuma (2, 4, 6, 8 e 10 mm).

Franco et al. (2015) adicionaram ao suco de yacon natural (*Smallanthus sonchifolius*) e concentrado (24 °Brix), os aditivos albumina e Emustab. Após a formação das espumas foram avaliados os parâmetros com relação à densidade, estabilidade física, rendimento de stress, e microscopia estrutural. Verificaram que as espumas formadas com a adição da albumina obtiveram valores de maior rendimento quando comparadas às adicionadas com Emustab.

Falade e Okocha (2012) estudaram a secagem em camada de espuma da polpa da banana (*Musa ssp*) nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, utilizando como agente formador da espuma o monoestearato de glicerol nas concentrações de 0,005; 0,01; 0,015 e 0,02%. Essa mistura foi levada para uma bateadeira onde foram testados os tempos de batimento de 3, 6, 9, 12, 15 e 18 min. Após a secagem utilizou-se um triturador que permitiu a obtenção de pós com 300-400 µm de diâmetro, os quais foram embalados em sacos de polietileno de alta densidade.

Lisbôa et al. (2011) submeteram a polpa do figo-da-índia a secagem em camada de espuma utilizando os aditivos Super Liga Neutra, Emustab e extrato de soja, nas proporções de 0,5; 2 e 5%, respectivamente. Verificaram que para essas formulações o tempo para formação da espuma foi de 15 min. Essa espuma foi submetida a secagem em estufa com circulação de ar na temperatura de 90 °C durante 220 min com espessura da camada de espuma de 0,8 cm.

Kaushal et al. (2011), ao analisarem o efeito da adição de carboximetilcelulose (CMC), em diversas concentrações, na estabilidade da espuma da polpa de espinheiro marítimo para secagem em camada de espuma, verificaram que os melhores resultados observados foram nas concentrações entre 2,0 e 2,5% de CMC. De acordo com os autores em concentrações inferiores ocorreu instabilidade da espuma durante a secagem e em superiores foi observada a formação de um gel espesso.

Azizpour et al. (2014) ao analisarem a estabilidade das espumas produzidas de camarão batido com água destilada e goma xantana em diferentes proporções observaram que o volume de drenagem da espuma variou de 0 a 9,5 mL, sendo a maior concentração de goma xantana (1%) responsável pelo menor volume de líquido drenado.

2.4 - Isotermas de adsorção de água

A água é um dos principais componentes dos alimentos, capaz de afetar as propriedades físicas, químicas e microbiológicas (PARK et al., 2008). As isotermas de adsorção de água retratam a capacidade que uma amostra tem de absorver água sob diferentes condições de temperatura e umidade relativa do ar.

Segundo Teunow et al. (1999), a maioria dos alimentos na forma de pó possuem um valor de teor de água relativa, chamada de teor de água relativa crítica, para uma determinada temperatura na qual o pó endurecerá, e implicará na sua fluidez. Segundo Alexandre et al. (2007) o conhecimento das isotermas de sorção de umidade dos alimentos estimam a qualidade do pó, com aplicação na predição do tempo de secagem, vida útil do produto e determinação do tipo de embalagem para o armazenamento.

Modelos matemáticos têm sido propostos por diversos autores para descrever as isotermas de adsorção de umidade de alimentos. No entanto, de acordo com Moreira et al. (2013), a maioria dos diferentes modelos, empíricos, semiempíricos ou teóricos, apenas são precisos num limitado intervalo de atividade de água ou para alguns tipos de alimento, e com isso não há uma equação geral para todas as isotermas dos alimentos, pois a atividade de água depende bastante da sua composição e da interação dos diferentes constituintes do produto com a água em condições de equilíbrio termodinâmico. Dentre os modelos propostos destacam - se o de GAB, Peleg, Oswin e BET.

Conegero et al. (2017), ao analisarem as isotermas de adsorção do pó da polpa de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) liofilizada, para as temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C verificaram que o teor de água de equilíbrio aumentou com a elevação da atividade de água.

Oliveira et al. (2014), encontraram resultados satisfatórios para o ajuste do modelo de BET aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água, com melhores valores de coeficientes de determinação e menores desvios percentuais médios, no pó da polpa de cajá liofilizada contendo 17% de maltodextrina DE20.

Lins et al. (2017) ao analisarem as isotermas de adsorção da polpa de seriguela (*Spondias purpurea* L.) em pó, para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C, com ajustes dos modelos de GAB, Oswin e Peleg aos dados experimentais, observaram que o modelo de Peleg foi o que resultou em melhores ajustes.

Ribeiro et al. (2016), estudaram o comportamento higroscópico do pó de acerola (*Malpighia glabra*) liofilizada contendo 19% de maltodextrina DE20, nas temperaturas de

25, 35 e 45 °C e constataram que a isoterma obtida foi do tipo III tendo como modelo de melhor ajuste foi o de BET.

2.5 - Armazenamento

A qualidade de produtos desidratados se altera com o tempo de armazenamento, devido às diversas reações de natureza enzimática, oxidativa e microbiológicas. Embora esses produtos desidratados apresentem teor de água baixo inibindo o crescimento de microrganismos, quando convenientemente embalados apresentam maior vida útil. (SILVA et al., 2005).

Dentre os diversos fatores que afetam a estabilidade de alimentos, o mais observado é a temperatura, justificado não apenas por seu grande efeito sobre as taxas de reação enzimática, mas também pelo fato de ser um fator totalmente imposto pelo ambiente ao alimento (TAOUKIS et al., 1997).

A seleção da embalagem para produtos alimentícios necessita do conhecimento prévio das características de cada produto, tais como, a quantidade de massa do produto por embalagem e a duração da vida de prateleira esperada (CHITARRA, 2000). Embalagens laminadas têm sido mais efetivas em relação as embalagens de polietileno, no prolongamento de vida útil de produtos desidratados (SOUSA et al., 2016; LOUREIRO et al., 2013).

Muzaffar e Kumar (2016) analisaram a estabilidade do pó produzido em secagem por pulverização da polpa de tamarindo adicionado de 25% de proteína isolada de soja. Os pós foram acondicionados em embalagens de polietileno de baixa densidade e laminadas, durante 6 meses de armazenamento sob condições controladas de temperatura (25 °C) e umidade relativa do ar (45%). Observaram que todos os parâmetros avaliados nesse período, teor de água, acidez total titulável, cor, densidade aparente e o índice de coesão sofreram alterações.

Shishir et al. (2017) observaram a estabilidade da polpa de goiaba em pó, obtida por secagem por aspersão, acondicionada em embalagens de polietileno de baixa densidade e PET laminado durante 10 semanas sob condições controladas de temperatura (5 e 25 °C) e umidade relativa do ar (50 e 65%). Constataram que a condição mais adequada para o armazenamento em pó foi encontrado com filme laminado à 5 °C com 50% de umidade relativa, apresentando maior estabilidade, principalmente na retenção de licopeno. O teor de água, atividade de água, temperatura de transição vítrea e cor sofreram pequenas alterações ao longo do armazenamento.

Singh e Hathan (2017) estudaram os efeitos das embalagens de polietileno de alta densidade e filme de alumínio laminado, durante o armazenamento do pó de beterraba (*Beta vulgaris* L.), por um período de 70 dias, a 40 °C e umidade relativa de 90%. Constataram que as mudanças no teor de água, cor e conteúdo de betalaínas foram afetados pelo tempo de armazenamento e pelo material de embalagem, sendo as embalagens laminadas as mais adequadas na conservação do pó de beterraba.

2.6 - Cinética de degradação

Os alimentos são considerados sistemas complexos e ativos, nos quais ocorrem simultaneamente alterações microbiológicas, físicas e químicas. O entendimento desses mecanismos de alterações torna-se essencial na escolha e otimização dos métodos de conservação, a fim de limitar as alterações responsáveis por sua perda de qualidade. (AZEREDO, 2012). A degradação ou perda de qualidade de um alimento está relacionada com a perda de nutrientes associada à formação de toxinas e sabores estranhos. Geralmente essas reações são complexas, cujas etapas limitantes e produtos intermediários são difíceis de determinar (TAOUKIS et al., 1997).

De acordo com Taoukis e Labuza (1996) a maioria das alterações que ocorrem em alimentos seguem um padrão de ordem zero ou de primeira ordem e reações de ordem mais alta são mais raras.

Como já visto, a temperatura é o fator ambiental de maior influência que afeta a estabilidade dos alimentos. Diante disso, o modelo mais utilizado para expressar as taxas de reação da temperatura é a equação do tipo Arrhenius (Equação 3.18), descrito por Toralles et al. (2008). A dependência de uma alteração a mudanças de temperatura, muito usada pela indústria de alimentos é o coeficiente de temperatura Q_{10} . Esse fator indica o aumento ou diminuição da taxa de reação, quando o produto é estocado em temperatura 10 °C maior.

Chandran et al. (2014) estudaram a degradação da cor da polpa de beterraba numa faixa de temperatura de 50 a 120 °C e verificaram que a intensidade de vermelho (+a*) aumentou com o aumento da temperatura seguindo a reação de primeira ordem.

Souza et al. (2015) analisaram a estabilidade dos pigmentos obtidos por secagem por aspersão do bagaço da uva bordô (*Vitis labrusca*) durante 120 dias a 25 °C e umidade relativa controlada de 32,8% e encontraram a reação de primeira ordem como a melhor, apresentando os maiores valores de coeficiente de determinação.

Güneser (2016) verificou ao estudar a estabilidade térmica das betalaínas no leite de vaca adicionado com extrato de beterraba durante o aquecimento de 70 a 90 °C, que a reação de primeira ordem representou o melhor ajuste com valores de energia de ativação equivalente a 42,45 KJ/mol e coeficientes de reação (Q_{10}) de 1,36 e 1,67.

3 – MATERIAL E MÉTODOS

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

3.1 - Matérias-primas

As matérias-primas utilizadas neste trabalho foram pitaia de casca vermelha com polpa vermelha (*Hylocereus polyrhizus*), maduras, adquiridas no estado do Ceará; polisorbato 80 da marca Neon, goma xantana de dispersão rápida da GastronomyLab e maltodextrina D10.

3.2 - Processamento da pitaia

Os frutos foram transportados em caixas de madeira até o local de processamento (Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas). Os frutos foram selecionados manualmente e aqueles que apresentavam imperfeições ou indícios de deterioração foram descartados; em seguida foram lavadas em água corrente para retirada de qualquer sujeira na casca; posteriormente foram sanitizadas com solução de hipoclorito de sódio (100ppm), onde permaneceram por 15 minutos e em seguida foram enxaguados para retirada do excesso da solução sanitizante. A partir daí os frutos foram cortados ao meio com faca de aço inoxidável e a polpa com as sementes foram retiradas com o auxílio de uma colher. A polpa com as sementes foram colocados numa tela e com a ajuda de uma prensa hidráulica realizou-se a separação. A polpa foi acondicionada em embalagens de polietileno de baixa densidade contendo aproximadamente 500g cada uma e imediatamente encaminhada para um freezer a -22°C. As polpas foram descongeladas no decorrer dos experimentos.

As etapas do processamento estão apresentadas no fluxograma mostrado na Figura 3.1.

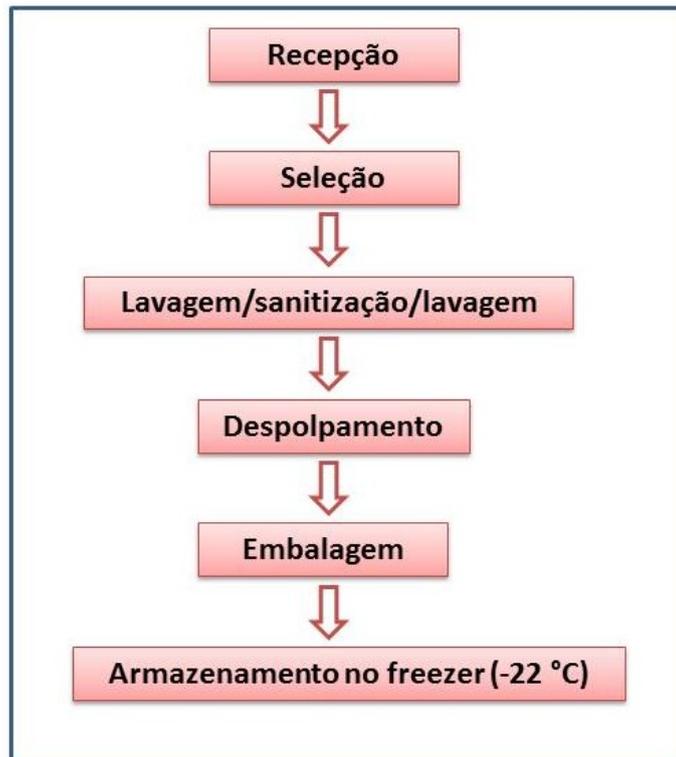


Figura 3.1 - Fluxograma das etapas realizadas para obtenção da polpa da pitaiá

3.3 - Caracterização da polpa da pitaiá

A polpa da pitaiá integral foi caracterizada quanto aos parâmetros químicos, físicos e físico-químicos, pH, sólidos solúveis totais (°Brix), teor de água e sólidos totais, acidez total titulável, cinzas, antocianinas totais, betacianinas, cor, atividade de água e densidade.

3.3.1- pH

O pH foi determinado pelo método potenciométrico, com medidor de pH da marca Tecnal modelo TEC-2, previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0 (BRASIL, 2008).

3.3.2- Sólidos solúveis totais (°Brix)

Os sólidos solúveis totais, expressos em °Brix foram determinados em triplicata, em refratômetro do tipo Abbe, atendendo as normas do manual do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2008).

3.3.3 - Teor de água e sólidos totais

O teor de água e os sólidos totais foram determinados através do método descrito no manual do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2008).

3.3.4 - Acidez total titulável (ATT)

A acidez total titulável foi determinada através do método acidimétrico, seguindo as instruções do manual do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2008), em que as amostras foram tituladas com solução padronizada de NaOH 0,1 N e os resultados expressos em percentagem de ácido cítrico.

3.3.5 - Cinzas

As cinzas foram determinadas utilizando-se o método proposto pelo Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2008) e os resultados expresso em percentagem (%).

3.3.6 - Antocianinas totais

A determinação das antocianinas totais foi determinada conforme Francis (1982), com adaptações. Tomou-se 0,25g da amostra diretamente pesadas em um tubo de ensaio envolto com fita adesiva preta, adicionou-se 10 mL da solução de etanol-HCl 1,5N, previamente preparada. Essa mistura foi homogeneizada com bastão de vidro durante 1 minuto e deixou-se descansar em refrigerador por 24 h. No dia seguinte, a amostra foi filtrada em algodão para uma proveta, também envolvida com fita adesiva preta, onde foi completado o volume final para 10 mL. Em seguida, foi realizada a leitura em espectrofotômetro em comprimento de onda de 535nm, utilizando-se a solução etanol-HCl como a solução de calibração.

3.3.7 - Betacianinas

As betacianinas foram quantificadas de acordo com Lim et al. (2011), com adaptações. Tomou-se 0,25g da amostra diretamente pesada em tubo de ensaio plástico, adicionou-se 10 mL de água destilada fria (aproximadamente 5 °C). Essa mistura foi macerada com bastão plástico durante 1 minuto e em seguida levada para centrífuga a 4000rpm por 10 minutos. Com uma pipeta foi retirado o sobrenadante, transferido para uma proveta envolvida com fita adesiva preta, onde foi completado o volume com água destilada para 10 mL. Em seguida foi realizada a leitura em espectrofotômetro em comprimento de onda de 538nm, utilizando-se água destilada como a solução branca de calibração. As betacianinas foram calculadas de acordo com a Equação 3.1:

$$B_{\left(\frac{mg}{100g}\right)} = \frac{A_{538} \cdot Mw \cdot V \cdot FD}{\epsilon \cdot L \cdot W} \times 100 \quad (3.1)$$

Em que:

A - leitura da absorvância a 538 nm;

Mw – massa molecular para as betacianinas (g/mol);

V – volume da solução (mL);

FD – Fator de diluição;

ϵ – coeficiente de extinção molar;

L – espessura da cubeta (cm);

W – massa da amostra (g)

3.3.8 - Cor

Os parâmetros de cor foram determinados utilizando-se espectrofotômetro portátil HunterLab Xe Plus, modelo 4500 L, com padrão de iluminação D65/10°, calibrado com placa branca e preta padrão (X = 80,5; Y = 85,3; Z = 90,0). Os parâmetros determinados foram luminosidade L*, que representa a transição do branco (0) para o preto (100); a* que representa a transição da cor verde (-a*) para a cor vermelha (+a*); e b* que representa a transição da cor azul (-b*) para a cor amarela (+b*).

3.3.9 - Atividade de água

A atividade de água foi determinada, em triplicata, utilizando-se o equipamento Aqualab 3TE, da Decagon Devices, a 25 °C.

3.3.10 - Densidade

A densidade da polpa de pitaia foi determinada, em triplicata, na temperatura de 25 °C, utilizando-se um picnômetro de aço inox. O método consiste na medida da massa de um volume previamente conhecido. A densidade foi calculada através da razão entre a massa da amostra e o volume do picnômetro (Equação 3.2).

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

em que:

ρ - densidade (g/cm³)

m - massa (g)

V - volume (cm³)

3.4- Formulações

3.4.1- Elaboração das formulações

De acordo com a resposta obtida em testes preliminares, foram elaboradas inicialmente três formulações de polpa de pitaia adicionada com os aditivos Polisorbato 80 e goma xantana, conforme descrito na Tabela 3.1. Depois de homogeneizadas, estas formulações foram submetidas a batimentos com batedeira doméstica planetária, marca Arno, em seis tempos diferentes, de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 min, para formação de espuma. Todas as formulações (F1, F2 e F3) foram submetidas a um teste de secagem, com temperatura de 60 °C e espessura de camada de 1,0 cm, a fim de se avaliar as características do produto final.

Tabela 3.1 – Formulações compostas de polpa de pitaia adicionadas de polisorbato 80 e goma xantana

Formulações	Concentrações (%)	
	Polisorbato 80	Goma xantana
F1	0,5	0,1
F2	0,5	0,2
F3	0,5	0,3

Após a secagem das formulações de teste observou-se que as amostras em pó eram altamente higroscópicas, mantendo o estado de pó não agregado, armazenadas em embalagens laminadas, somente até os sete primeiros dias. Levando em consideração a boa resposta que essas formulações apresentaram com relação a formação e estabilidade da espuma, foram realizadas análises, detalhadas no próximo item, que possibilitaram uma seleção inicial da formulação. Diante do comportamento do produto final (pó), foram adicionadas à formulação selecionada inicialmente, concentrações de 10, 15 e 20 % de maltodextrina D10, com a finalidade de reduzir a higroscopicidade do pó. De acordo com Tonon et al. (2008), a maltodextrina é bastante utilizada por ser um agente microencapsulador de baixo custo e baixa higroscopicidade, proporcionando melhor manuseio do produto final por diminuir a capacidade de absorver água do ar ambiente.

Dessa forma, foram elaboradas formulações, a partir da formulação F3 (0,5% de polissorbato 80 e 0,3% de goma xantana), adicionadas de 10, 15 e 20% de maltodextrina D10, conforme descrito na Tabela 3.2:

Tabela 3.2 – Formulações compostas de polpa de pitaia adicionadas de polisorbato 80 e goma xantana e maltodextrina

Formulações	Concentrações (%)		
	Polisorbato 80	Goma xantana	Maltodextrina
F4	0,5	0,3	10
F5	0,5	0,3	15
F6	0,5	0,3	20

Como forma de se certificar do melhoramento do produto final com a adição da maltodextrina na formulação inicialmente selecionada, uma das formulações (F4) foi

submetida a um teste de secagem, também na temperatura de 60 °C e espessura de camada de 1,0 cm, para observar o comportamento do produto final. Na Figura 3.2 é possível notar a diferença dos pós, após 10 dias de armazenamento em embalagens laminadas, com e sem a adição de maltodextrina.



Figura 3.2 – Amostras do pó, após 10 dias de armazenamento, com adição de maltodextrina (foto à esquerda) e sem adição (foto à direita).

3.4.2- Seleção das formulações

Com o objetivo de definir a melhor formulação e o melhor tempo de batimento, as formulações F4, F5 e F6 foram avaliadas quanto aos parâmetros que influenciam o processo de secagem em camada de espuma, tais como: densidade da espuma, *over-run* e estabilidade, nos tempos de batimentos de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos.

3.4.2.1- Densidade da espuma

A densidade da espuma foi determinada através da relação entre a massa e o volume da amostra, utilizando-se um picnômetro de alumínio, de aproximadamente 100 mL, sendo as determinações realizadas em triplicata, conforme descrito no item 3.3.10.

3.4.2.2- *Over-run*

O *over-run* foi determinado de acordo com a Equação 3.3, expresso em termos de percentagem (%).

$$Over - run = \frac{\rho_a - \rho_e}{\rho_a} \quad (3.3)$$

Onde:

ρ_e - densidade da emulsão (polpa+aditivos);

ρ_a - densidade da espuma.

3.4.2.3- Estabilidade da espuma

Após a seleção do tempo de batimento, obtida a partir dos dados de densidade e *over-run* (Itens 3.4.2.1 e 3.4.2.2). A estabilidade das espumas, determinante no desempenho das secagens para cada formulação, foi determinada de acordo com a técnica proposta por Karin & Chee Wai (1999) que consiste em colocar a espuma em uma montagem em que um filtro de nylon é colocado num funil de vidro acoplado a uma proveta de 50 mL). Foram colocados aproximadamente 15 g de espuma no filtro de nylon e as leituras do volume drenado foram feitas a cada 5 min, durante 90 min, na temperatura ambiente. De acordo com essa metodologia, a estabilidade da espuma é inversamente proporcional ao volume do líquido drenado na proveta, ou seja, quanto menor o volume drenado, melhor é a estabilidade da espuma.

3.4.2.4 - Análise estatística

A análise estatística dos dados de densidade e *over-run* da espuma utilizados na definição da melhor formulação e melhor tempo de batimento foi realizada utilizando-se o programa computacional ASSISTAT (SILVA & AZEVEDO, 2009); os gráficos da estabilidade, dados pela relação tempo X volume drenado foram obtidos utilizando o programa STATÍSTICA 7.0.

3.4.3- Caracterização física, química e físico-química das formulações

Após a seleção, realizada conforme o item 3.4.2, foram analisadas nas espumas das formulações F4, F5 e F6 os parâmetros: pH, sólidos solúveis totais (°Brix), teor de água e sólidos totais, acidez total titulável, cinzas, cor, atividade de água e massa específica, determinados de acordo com as metodologias apresentadas no item 3.3.

3.5- Secagem em camada de espuma

Com o tempo de batimento selecionado, as espumas das formulações F4, F5 e F6, foram submetidas à secagem em estufa com circulação de ar, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. Na secagem foram utilizadas bandejas de aço inox retangulares medindo 30 cm de comprimento e 20 cm de largura. A espuma foi espalhada com espátula formando uma camada com espessura de 1,0 cm, medida com paquímetro.

3.5.1- Cinética de secagem

No decorrer da secagem em camada de espuma para as três formulações e três temperaturas, foram obtidos os dados da cinética de secagem através de pesagens das bandejas com as amostras, em intervalos de tempo regulares, até peso constante.

Após atingir o equilíbrio, as bandejas foram levadas para estufa a 105 °C durante 24h para que fosse determinada a massa seca. Com os dados de perda de massa das amostras durante as secagens foram calculados os teores de umidade (%b.s.), conforme Equação 3.4.

$$X = \frac{(M_{\text{água}} - M_{\text{seca}})}{M_{\text{seca}}} \times 100 \quad (3.4)$$

Em que:

X – teor de umidade em base seca (% b.s.);

M_{água} – massa da água (g);

M_{seca} – massa seca após 24 na estufa (g).

Com os valores do teor de umidade foram calculadas as razões de umidade, seguindo a Equação 3.5.

$$RX = \frac{(X - X_e)}{(X_i - X_e)} \quad (3.5)$$

Onde:

RX – razão de umidade do produto (adimensional);

X – teor de umidade do produto;

X_i – teor de umidade inicial do produto;

X_e – teor de umidade de equilíbrio do produto.

Com os dados da razão de umidade em função do tempo de secagem foram construídas as curvas de cinética de secagem.

Os dados experimentais das cinéticas de secagem foram ajustados pelos modelos matemáticos de Henderson & Pabis, Dois Termos, Exponencial de Dois Termos, Page, Wang & Singh e Levis, apresentados na Tabela 3.3, utilizando o programa computacional Statistica 7.0, por meio de análise de regressão não linear, pelo método Quase-Newton.

Tabela 3.3 - Modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais da cinética de secagem

Modelo	Equação	Referências
Henderson & Pabis	$RX = a \exp(-kt)$	Henderson e Pabis (1961)
Dois Termos	$RX = a \exp(-kt) + b \exp(-k_1t)$	Díaz-Ayla (2015)
Exponencial de Dois Termos	$RX = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$	Vega-Gálvez et al. (2012)
Page	$RX = \exp(-kt^n)$	Page (1949)
Wang & Singh	$RX = 1 + a t + b t^2$	Wang e Singh (1978)
Lewis	$RX = \exp(-kt)$	Levis (1921)

onde:RX- razão de água, k- parâmetro que dependem da temperatura e natureza do produto; a,b e n - constates da equação; t- tempo em min.

A qualidade dos ajustes dos modelos aos dados experimentais foram avaliados utilizando-se os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios quadráticos médios (DQM), de acordo com a Equação 3.6.

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum(RX_{pred} - RX_{exp})^2}{n}} \quad (3.6)$$

Onde:

DQM – desvio quadrático médio;

RX_{pred} – razão de umidade predito pelo modelo;

RX_{exp} – razão de umidade experimental;

n – número de observações

3.6- Caracterização química, física e físico-química das amostras em pó

As amostras em pó das três formulações (F4, F5 e F6), obtidas na secagem em camada de espuma, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C foram analisadas quanto ao teor de água e sólidos totais, sólidos solúveis totais, acidez total titulável, pH, atividade de água, cinzas e cor, de acordo com as metodologias descritas no item 3.3. Além dessas, também foram realizadas as análises de densidade absoluta, densidade aparente, densidade compactada, fator de Hausner, índice de Carr, porosidade, molhabilidade, insolubilidade, higroscopicidade, betacianinas e antocianinas totais.

3.6.1 - Densidade absoluta (ρ_{abs})

A densidade absoluta das amostras em pó foi determinada em picnômetro de vidro de 25 mL a uma temperatura de 25 °C, utilizando hexano como líquido imiscível.

3.6.2 - Densidade aparente (ρ_{ap}) e densidade compactada (ρ_c)

A densidade aparente (ρ_{ap}) foi determinada a partir do método descrito por Politti (2009), onde uma proveta de 25 mL foi previamente pesada, e na qual foram vertidos 2g da amostra em pó; a densidade aparente foi calculada conforme a Equação 3.7.

$$\rho_{ap} = \frac{M_{pc} - M_{pv}}{V_p} \quad (3.7)$$

Em que:

ρ_{ap} - densidade aparente (g/cm³)

M_{pc} - massa da proveta vazia (g)

M_{pc} - massa da proveta cheia (g)

V - volume da proveta (mL)

A densidade compactada (ρ_c) foi determinada a partir do método descrito por Tonon (2009), em que 2 g do pó foram transferidos para uma proveta e compactados através do batimento, com altura de queda de aproximadamente 10 cm, da proveta 50 vezes sobre a bancada; a densidade foi calculada com relação entre massa e o volume da amostra, de acordo com a Equação 3.8.

$$\rho_{ap} = \frac{m}{V} \quad (3.8)$$

Onde:

ρ_{ap} - densidade (g/cm³)

m - massa (g)

V - volume (cm³)

3.6.3 - Índice de compressibilidade (Índice de Carr) e Fator de Hausner (FH)

O fator de Hausner está correlacionado com a capacidade de escoamento de um pó ou material granulado (HAUSNER, 1967). Dessa forma, foi calculado a partir da Equação 3.9:

$$Fator\ de\ Hausner = \frac{\rho_a}{\rho_c} \quad (3.9)$$

Em que:

ρ_a - densidade aparente (g/cm³)

ρ_c - densidade compactada (g/cm³)

O Índice de Carr representa a compressibilidade do um pó (CARR, 1965). Neste trabalho, foi calculado de acordo com a Equação 3.10.

$$Indice\ de\ Carr = \frac{\rho_c - \rho_a}{\rho_c} \times 100 \quad (3.10)$$

3.6.4 - Porosidade

A porosidade foi calculada pela relação entre a densidade aparente e a densidade absoluta, calculada conforme a Equação 3.11.

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_{abs}} \quad (3.11)$$

Em que:

ε - porosidade intergranular

ρ_{ap} - densidade aparente (g/cm³)

ρ_{abs} - densidade absoluta (g/cm^3)

3.6.5 - Higroscopicidade

Foi utilizada a metodologia descrita por Cai & Corke (2000) para determinar a higroscopicidade das amostras em pó. O método consiste em colocar aproximadamente 2 g da amostra em placas de Petri, colocadas dentro de recipientes herméticos contendo solução saturada de Na_2SO_4 , com umidade relativa de aproximadamente 81%. As amostras foram colocadas em estufa com temperatura controlada de 25 °C e pesadas diariamente até que o equilíbrio fosse atingido. Os valores obtidos para higroscopicidade foram expressos em g de água absorvida para cada 100 g de amostra seca.

3.6.6 - Molhabilidade

A molhabilidade das amostras foi determinada pelo método de Schubert (1987), onde 1 g da amostra foi vertido em um béquer de 250 mL com 100 mL de água à temperatura ambiente. O tempo de molhabilidade, dado em min, foi considerado como o tempo necessário para que a amostra em pó ficasse completamente submersa após ser colocada sobre a superfície da água contida no béquer.

3.6.7 - Insolubilidade

A insolubilidade do pó foi determinada utilizando-se o método descrito por Dacanal e Menegalli (2009), onde adiciona-se 2 g do material a 50 mL de água destilada à temperatura ambiente (25 °C). Essa mistura foi agitada por um minuto utilizando um agitador magnético. O percentual de material não solubilizado foi calculado por meio da equação 3.12:

$$INSOL = \frac{m_2(1+U_{b.s.})}{m_1} \times 100 \quad 3.12$$

Onde:

INSOL = insolubilidade (%)

m_1 = massa inicial da amostra (g)

m_2 = massa da amostra remanescente no papel filtro (g)

$U_{b,s}$ = teor de água da amostra (b.s.)

3.7- Isotermas de adsorção de água

As isotermas de adsorção de água das amostras em pó foram determinadas utilizando-se o método estático-indireto proposto por Capriste & Rotstein (1982), nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, com variação de ± 1 , utilizando-se o equipamento *Aqualab* modelo 3TE da DecagonDevices.

O teor de água de equilíbrio foi determinado pela relação entre a massa da água e a massa das amostras, conforme Equação 3.13.

$$X_{eq} = \frac{m_{eq} - m_s}{m_s} \times 100 \quad (3.13)$$

Em que:

X_{eq} - teor de água de equilíbrio (% base seca)

m_{eq} - massa da amostra no equilíbrio

m_s - massa seca da amostra

Os dados experimentais das isotermas de adsorção de água das amostras em pó foram ajustados por meio dos modelos matemáticos de GAB, Oswin, Peleg e BET apresentados na Tabela 3.4, utilizando-se o programa Statistica 7.0, por meio de regressão não-linear pelo método Quasi-Newton.

Tabela 3.4 - Modelos matemáticos utilizados para ajustar os dados experimentais das isotermas de adsorção

Modelo	Equação	Referências
--------	---------	-------------

GAB	$X_{eq} = \frac{X_m C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)}$	FURTADO et al. (2010)
Oswin	$X_{eq} = a \left(\frac{a_w}{(1 - a_w)} \right)^b$	MADUREIRA et al.(2011)
Peleg	$X_{eq} = K_1 a_w^{n_1} + K_2 a_w^{n_2}$	SILVA FILHO (2013); MELO (2012)
BET	$X_{eq} = \frac{X_m C a_w}{(1 - a_w)(1 + (C - 1)a_w)}$	CONEGERO et al. (2017)

onde: X_{eq} - umidade de equilíbrio, a_w - atividade de água; X_m - umidade na monocamada molecular, C e K- parâmetros que dependem da temperatura e natureza do produto; K_1 e K_2 - constantes da equação; n_1 e n_2 - constates da equação; a e b- parâmetros de ajuste do modelo.

Os critérios usados para determinação do melhor ajuste dos modelos das isotermas aos dados experimentais foram o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio percentual médio (P), calculado de acordo com a Equação 3.14.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|X_{exp} - X_{teor}|}{X_{exp}} \quad (3.14)$$

Em que:

P - desvio percentual médio (%)

X_{exp} - valores obtidos experimentalmente

X_{teor} - valores preditos pelo modelo

n - números de dados experimentais

3.8- Armazenamento das amostras em pó

A melhor amostra em pó foi submetida ao armazenamento acelerado, com as amostras acondicionadas em embalagens laminadas flexíveis durante 60 dias, com análises realizadas no início (tempo zero) e a cada 10 dias, sob condições controladas de temperatura à 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83% obtida em recipientes contendo solução saturada de cloreto de potássio (KCl). Em cada embalagem foram colocadas aproximadamente 15 g da amostra, lacradas em seladora mecânica; Os recipientes com as amostras foram colocados em uma câmara do tipo BOD, nas temperaturas acima indicadas. No tempo zero e durante o

armazenamento as amostras foram analisadas com relação ao teor de água, acidez total titulável, pH, atividade de água, cor, insolubilidade, betacianinas e antocianinas totais.

Para análise estatística dos dados obtidos ao longo do armazenamento utilizou-se o programa computacional ASSISTAT (SILVA & AZEVEDO, 2009). Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizados em esquema fatorial (3 x 7), com três temperaturas (20, 30 e 40 °C) e sete tempos de armazenamento (0, 10, 20, 30, 40, 50 e 60) e nove repetições. Para comparação entre as médias foi utilizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.9 – Cinética de degradação

Na melhor amostra em pó, definida com base nas análises do item 3.6, foram determinadas as cinéticas de degradação das antocianinas totais, betacianinas e intensidade de vermelho.

Para determinação destas cinéticas, as amostras foram colocadas em recipientes da cor preta em formato de placa de petri, com 7 cm de diâmetro, colocadas em potes herméticos, envoltos de fita adesiva preta, contendo solução saturada de cloreto de potássio (KCl), proporcionando um ambiente com umidade relativa de 83%. Os potes foram colocados em estufas tipo B.O.D nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C. O acompanhamento das cinéticas foi feito durante 14 dias, com análises realizadas em triplicatas.

As metodologias utilizadas para determinação das antocianinas, betacianinas e intensidade de vermelho foram as descritas nos itens 3.3.6; 3.3.7 e 3.3.8, respectivamente.

As constantes cinéticas de ordem zero, primeira ordem e segunda ordem foram calculadas utilizando-se os modelos cinéticos apresentados na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Modelos cinéticos

Ordem de reação	Modelo
------------------------	---------------

Ordem zero	$A = A_0 - k\theta$
Primeira Ordem	$\ln A = \ln A_0 - k\theta$
Segunda Ordem	$\frac{1}{A} = k\theta + \frac{1}{A_0}$

Para avaliar o modelo que se ajustou aos dados foi utilizado como parâmetro o coeficiente de determinação (R^2).

O tempo de meia vida ($\Theta_{1/2}$) para as equações de reação de ordem zero, primeira ordem e segunda ordem, foram calculadas por meio das equações 3.15; 3.16 e 3.17, respectivamente, descritas abaixo:

$$\Theta_{1/2} = \frac{1}{k} \cdot \frac{A_0}{2} \quad (3.15)$$

$$\Theta_{1/2} = \frac{0,693}{k} \quad (3.16)$$

$$\Theta_{1/2} = \frac{1}{kA_0} \quad (3.17)$$

Onde: A_0 - concentração inicial do parâmetro avaliado;

k – constante de velocidade de reação.

Para análise do efeito da temperatura na constante cinética (k) foi utilizada a equação de Arrhenius (Equação 3.18) para as reações de degradação das antocianinas, betacianinas e intensidade de vermelho, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83%.

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT} \quad (3.18)$$

Onde:

k = constante da reação

A = fator pré-exponencial

E_a = energia de ativação (energia mínima necessária para que uma reação se inicie)

R = constante dos gases (0,008314 KJ.mol⁻¹)

T = temperatura absoluta (K)

O fator Q_{10} correspondente ao aumento ou diminuição na taxa de uma reação, quando o produto é estocado em uma temperatura 10 °C maior, foi determinado conforme a equação 3.19:

$$Q_{10} = \frac{k_{(T+10)}}{k_T} \quad (3.19)$$

Onde:

k = constante da reação

T = temperatura absoluta (K)

A análise estatística dos dados da degradação das antocianinas, betacianinas e intensidade de vermelho e do efeito da temperatura sobre elas foram calculados utilizando o programa Statistica 7.0 por meio de regressão não-linear.

4- RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.2 - Seleção da formulação

A densidade, o over-run e a estabilidade da espuma são propriedades que influenciam diretamente na secagem em camada de espuma. A resposta desse conjunto de parâmetros é responsável pela definição da melhor formulação.

4.1.1 - Seleção inicial

4.1.1.1 - Densidade da espuma

Na Tabela 4.1 encontram-se os valores médios da densidade das espumas, das diferentes formulações em função das concentrações de goma xantana, denominadas F1, F2 e F3, conforme apresentadas na Tabela 3.1, nos tempos de batimento (5, 10, 15, 20, 25 e 30 min). Observa-se que à medida que se aumentou a concentração de goma xantana os valores de densidade da espuma sofreram um aumento significativo de acordo com o teste de Tukey, a 5 % de probabilidade. Contrariamente, Naknaen et al. (2015) observaram, quando adicionaram à polpa de banana um concentrado protéico de soro de leite, a redução da densidade da espuma com o aumento da proporção do aditivo.

Analisando o tempo de batimento, nota-se que os valores da densidade diminuíram com o aumento desse tempo. Comportamento semelhante foi encontrado por Falade & Omojola (2010) quando analisaram uma pasta de quiabo produzida pelo quiabo desidratado adicionado de água destilada em diferentes proporções. Verificaram que o tempo de batimento influenciou na densidade, ocorrendo uma queda rápida durante os primeiros minutos e permanecendo estável até o último tempo de batimento testado. Observa-se ainda na tabela 4.1 que os valores da densidade das formulações F1 e F2 no tempo de batimento de 10 minutos e F2 e F3 no tempo de 30 minutos não diferem estatisticamente entre si.

Tabela 4.1: Valores médios da densidade (g/cm^3) da espuma em função da concentração de goma xantana e do tempo de batimento.

Tempo (min)	Formulações		
	F1	F2	F3
5	0,24aC	0,25aB	0,32aA
10	0,22bB	0,22bB	0,24bA
15	0,20cC	0,21cB	0,21cA
20	0,19dC	0,19dB	0,19dA
25	0,17eC	0,18eB	0,19eA
30	0,16fB	0,17fA	0,17fA

dms para colunas= 0,0022; dms para linhas=0,0018; MG = 0,20815; CV% = 0,43, PM = 0,24200
 MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo
 Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

4.1.1.2 - Over – run

Na Tabela 4.2 estão apresentados os valores médios do over-rum, também conhecido como expansão volumétrica, das espumas das formulações F1, F2 e F3 correspondentes a três proporções distintas de goma xantana. Observa-se que com o aumento da concentração de goma xantana ocorreu uma diminuição significativa da expansão do volume da espuma. Verificou-se também que quanto maior o tempo de batimento maiores os valores de over-rum, ou seja, o tempo de batimento teve influência direta na incorporação de ar na espuma. Sangamithra et al. (2015) observaram em formulações elaboradas com polpa de melão e diferentes proporções de albumina e carboximetilcelulose (CMC) que tanto o agente emulsificante como o estabilizante tiveram um efeito significativo, provocando um aumento na expansão do volume da espuma. Além disso, notaram que à medida que se aumentava o tempo de batimento de 4 para 6 minutos ocorreu uma diminuição no volume da espuma, estando esta diminuição relacionada com o colapso da espuma.

Tabela 4.2: Valores médios do over-run da espuma em função da concentração de goma xantana e do tempo de batimento.

Tempo (min)	Formulações
-------------	-------------

	F1	F2	F3
5	308,57fA	306,99fA	219,99fC
10	375,06eA	369,99eB	327,55eC
15	420,01dA	394,96dB	382,31dC
20	440,25cA	422,75cB	416,55cC
25	505,88bA	453,84bB	424,54bC
30	528,53aA	488,83aB	484,51aC

dms para colunas = 0,0336; dms para linhas = 0,0273; MG = 400,31; CV% = 0,0; PM = 374,25

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

4.1.1.3 - Densidade X over-run X tempo de batimento

Na Figura 4.1 encontram-se os valores da densidade X over-run X tempo de batimento das formulações F1, F2 e F3. De acordo Karim e Chee Wai (1999) este gráfico permite-nos observar os pontos onde a densidade e o over-run se cruzam, sendo este ponto de cruzamento determinante para a escolha do melhor tempo de batimento. Dessa forma, observa-se que para as três formulações os pontos de cruzamento estão situados num intervalo de tempo maior que 5 min e menor que 15 min.

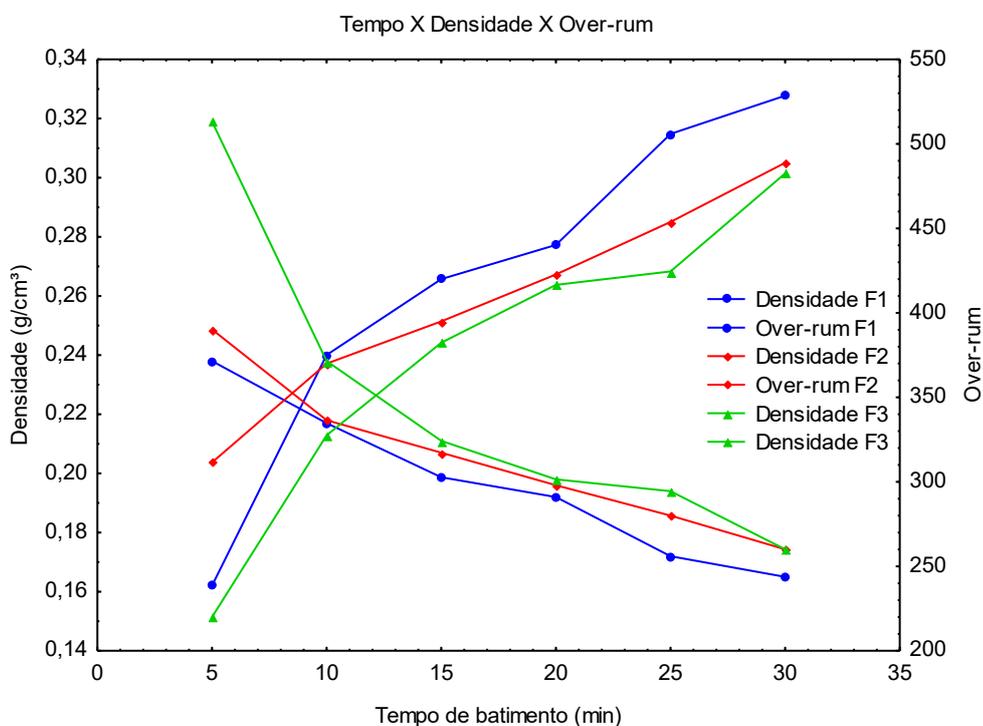


Figura 4.1: Valores médios da densidade X Over-rum X tempo de batimento da espuma das formulações F1, F2 e F3.

4.1.1.4 - Estabilidade da espuma

Com base nos resultados obtidos a partir dos valores de densidade e do over-rum da espuma constatou-se que o melhor tempo de batimento foi de 15 min. Dessa forma, utilizou-se a espuma obtida nesse tempo para analisar o quão estável seria a mesma, utilizando-se como critério o volume drenado. Na Figura 4.2 têm-se a representação gráfica do volume drenado (mL), em função do tempo de drenagem (min) para as formulações F1, F2 e F3.

Observa-se que a formulação F3, composta por 0,5 % de polissorbato e 0,3 % de goma xantana apresentou valores de volume drenado inferiores às demais formulações, sendo esta formulação a que mais se destacou nessa etapa da seleção. Azizpour et al. (2014) ao avaliarem a estabilidade das espumas produzidas com camarão batido com água destilada e goma xantana em diferentes proporções observaram que o volume de drenagem da espuma variou de 0 a 9,5 mL. Além disso, constataram que uma maior concentração de goma xantana resultou significativamente num menor volume de líquido drenado.

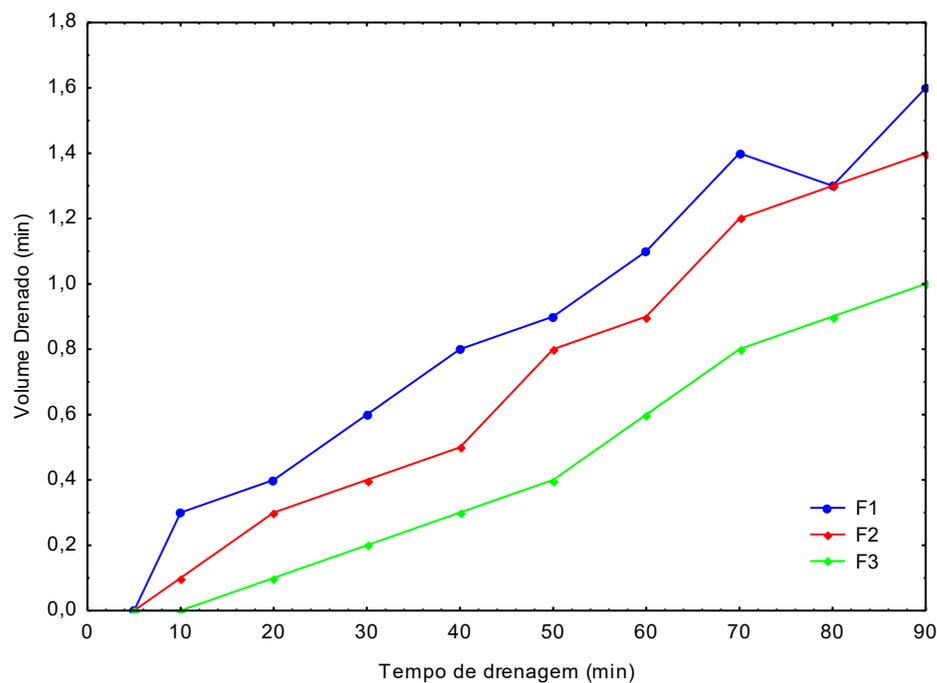


Figura 4.2: Valores médios do volume coletado (mL) em função do tempo de drenagem (min) para diferentes concentrações de goma xantana

4.1.2 - Formulações com adição da maltodextrina

Com a finalidade de garantir uma melhor qualidade no produto após o processo de desidratação, foi adicionada na formulação previamente selecionada no item 4.1.1, contendo 0,5 % de polissorbato e 0,3 % goma xantana (F3), proporções distintas de maltodextrina DE10. Como os parâmetros de densidade, over-rum e estabilidade interferem diretamente na qualidade do produto que se pretende obter, fez-se novos testes desses parâmetros para assegurar que a adição da maltodextrina não afetaria nos valores considerados adequados para secagem em camada de espuma.

4.1.2.1 - Densidade da espuma

Na Tabela 4.3 encontram-se os valores médios da densidade das espumas (g/cm^3), das formulações, denominadas F4, F5 e F6 (descritas na Tabela 3.2), contendo 10; 15 e 20 % de maltodextrina, respectivamente, em função das concentrações de maltodextrina e tempos de batimento (5, 10, 15, 20, 25 e 30 min). Observa-se que nas três formulações a densidade da espuma sofreu um aumento significativo em função da concentração de maltodextrina, conforme o teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Comportamento contrário foi observado por Falade e Onyeoziri (2012) quando estudaram o comportamento da espuma produzida de polpa de inhame (*Dioscorea rotundata*) e com o aditivo monoestearato de glicerol em diferentes proporções.

Analisando a influência do tempo de batimento, nota-se que as densidades diminuíram com o aumento do tempo de batimento. Para a amostra F6, a redução é observada entre o tempo de 5 minutos e os demais, não se confirmando uma tendência entre os tempos 10 e 30 minutos. Salahi et al. (2014) ao avaliarem a influência do tempo de batimento em formulações elaboradas com polpa de melão (*Cucumis Melo*) e diferentes proporções de albumina e carboximetilcelulose (CMC), verificaram que a medida em que se aumentava o tempo de batimento ocorreu um aumento da densidade das espumas. Para a formulação F4, correspondente a 10 % de maltodextrina, constata-se que não existe diferença significativa entre as densidades nos tempos de batimento de 15 e 20 minutos.

Tabela 4.3: Valores médios da densidade da espuma das formulações F4, F5 e F6 em função do tempo de batimento.

Tempo (min)	Formulações
-------------	-------------

	F4	F5	F5
5	0,2913aC	0,3283aB	0,3880aA
10	0,2117bC	0,2193bB	0,2893dA
15	0,2020cC	0,2123cB	0,2843eA
20	0,2010cC	0,2080dB	0,2917dA
25	0,1953dC	0,2047eB	0,2970cA
30	0,1840eC	0,1960fB	0,3073bA

dms para colunas: 0,0026; dms para linhas: 0,0021; MG: 0,25037; PM: 0,28300; CV%: 0,43

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

4.1.2.2 - Over-run

Na Tabela 4.4 encontram-se os valores médios do over-run das espumas das formulações F4, F5 e F6 correspondentes a três proporções distintas de maltodextrina. Os valores de over-run permitem identificar a quantidade de ar que foi incorporado no material para a formação da espuma. Observa-se nessa fase de seleção que com o aumento da concentração de maltodextrina para todas as situações, ocorreu uma diminuição significativa da expansão do volume da espuma. Analisando a influência do tempo de batimento constatou-se que quanto maior o tempo de batimento maior a quantidade de ar incorporado na amostra. Na formulação F6 observa-se aumento entre os tempos 5 e os demais, mantendo-se praticamente estável entre os tempos de 10 e 30 minutos com os tempos de 10, 20 e 30 min não diferindo estatisticamente entre si. Resultados semelhantes foram observados por Teoh et al. (2016) quando analisaram a expansão de volume das espumas elaboradas com pasta de milho adicionada de diferentes concentrações de albumina (10, 15 e 20 %) em três tempos de batimento (5, 10 e 15 min).

Tabela 4.4: Valores médios do over-run da espuma das formulações F4, F5 e F6 em função do tempo de batimento.

Tempo (min)	Formulações		
	F4	F5	F6
5	255,6667eA	216,6267eB	171,7600cC
10	390,1067dA	373,2467dB	259,9267abC
15	414,7133cA	389,2167cB	266,2833aC

20	415,7533cA	401,3933bcB	257,4033abC
25	434,1600bA	405,3100bB	250,1967bC
30	462,7067aA	427,9933aB	253,5700abC

dms para colunas: 15,0067; dms para linhas: 12,1841; MG: 335,89074; PM: 317,4500; CV%: 1,82

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

4.1.2.3 - Densidade X Over –run X Tempo

Na Figura 4.3 estão apresentados os valores de Densidade X Over-run X Tempo de batimento das formulações F4, F5 e F6. Observa-se que para as três formulações os pontos de cruzamento estão situados num intervalo de tempo maior que 5 min e menor que 10 min. Nota-se que os valores de densidade para as três formulações em discussão permaneceram dentro da faixa considerada ideal segundo Van AsdeL et al. (1964) que é de 0,1 a 0,6 g/cm³. Segundo Fellows (2006) uma amostra apresenta uma boa incorporação de ar se os valores de over-run forem superiores a 100%.

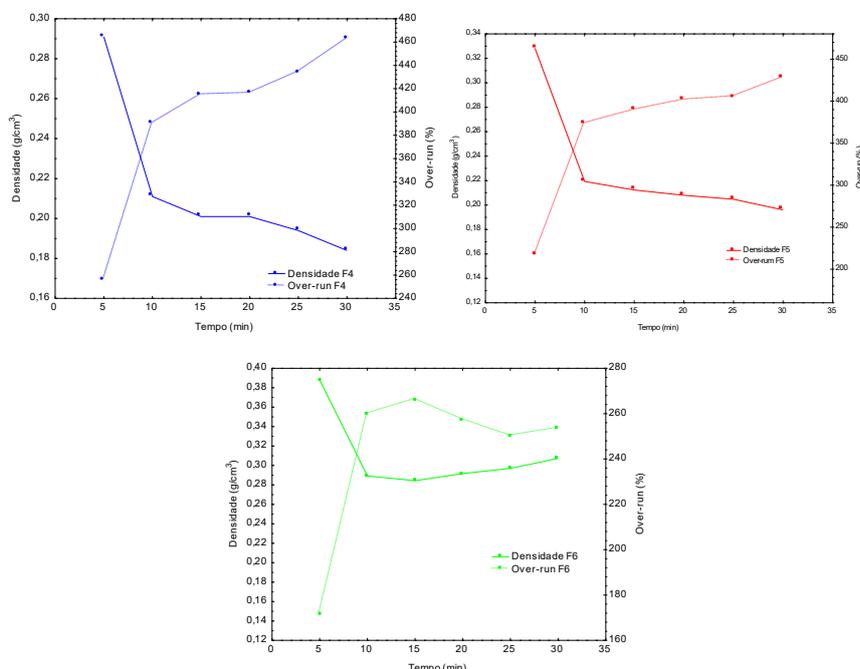


Figura 4.3 - Valores médios da densidade X over-run X tempo da espuma das formulações F4, F5 e F6 em função do tempo

Além dos parâmetros analisados, foi possível observar visualmente que a partir do tempo de batimento de 15 minutos a espuma sofria uma alteração com relação a cor e formato da estrutura. Mesmo que essa desestruturação não tenha influenciado diretamente nos valores de over-*run* e densidade da espuma decidiu-se considerar o tempo de batimento de 15 minutos como o melhor tempo.

4.1.2.4 - Estabilidade da espuma

Na Figura 4.5 observa-se a representação gráfica do volume drenado (mL), em função do tempo de drenagem (min) para as formulações F4, F5 e F6, considerando o tempo de batimento de 15 min. Nota-se que mesmo a formulação F6 (20 % de maltodextrina) apresentando os menores valores de volume drenado, as formulações F4 e F5 não apresentaram valores ruins de estabilidade. Asokapandian et al. (2015) observaram que a incorporação da proteína isolada de soja e do CMC (carboximetilcelulose) na polpa de melão (*Cucumis melo*) provocou um aumento na estabilidade da espuma, desempenhando um papel importante na prevenção do colapso.

Analisando o conjunto de parâmetros: densidade, over-*run* e estabilidade das espumas observa-se que apesar da formulação F6 ter se destacado com relação a estabilidade da espuma, não apresentou resultados tão satisfatórios com relação ao over-*run* quando comparado com as demais formulações.

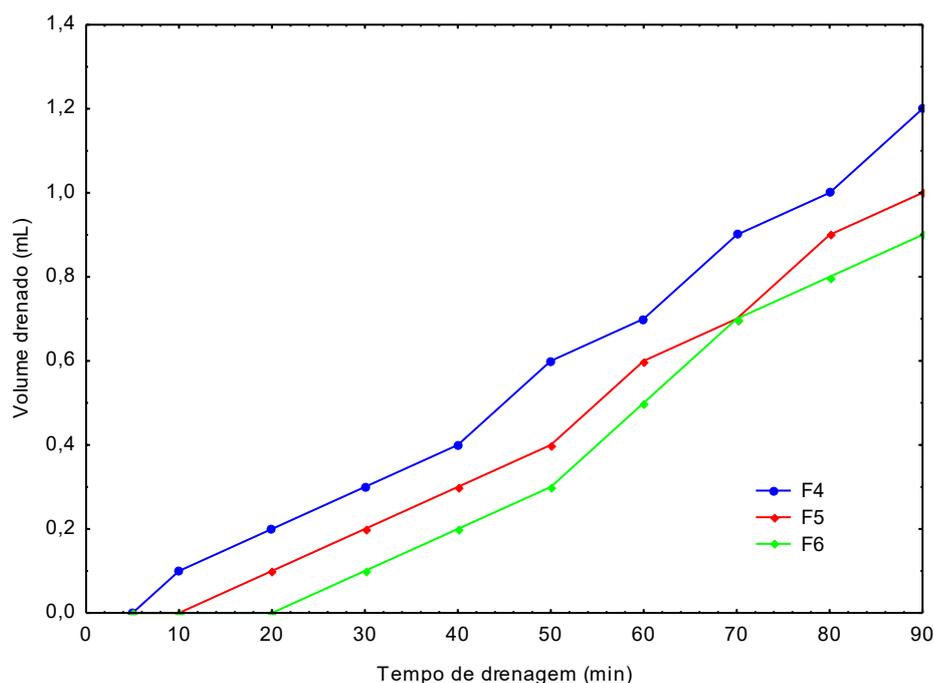


Figura 4.5: Valores médios do volume coletado (mL) em função do tempo de drenagem (min) para as formulações F4, F5 e F6

4.2 - Caracterização química, físico-química e física da polpa de pitáia in natura e das formulações contendo maltodextrina

Na Tabela 4.5 estão apresentados os valores da caracterização química, físico-química e física da polpa in natura e das formulações F4, F5 e F6 contendo 10, 15 e 20 % de maltodextrina, respectivamente.

Analisando os valores de pH, nota-se que os valores da polpa são inferiores ao das formulações, mostrando que os aditivos utilizados influenciaram no pH deixando a espuma ligeiramente mais ácida. A acidez total titulável, em % de ácido cítrico, apresentou valores estatisticamente iguais entre as formulações F4, F5 e F6, mas inferiores quando comparado com a polpa (0,219). Valores superiores de pH (5,60) e acidez (0,29) foram encontrados por Cordeiro et al. (2015) para polpa de pitáia *H. polyrhizus*.

Observa-se que ocorreu um aumento dos sólidos totais e dos sólidos solúveis totais (°Brix) das espumas com relação a polpa. Em consequência disso, o teor de umidade passou de 90,96% b.u (polpa) para 88,62; 85,13 e 83,27 % b.u (F4, F5 e F6, respectivamente). Observa-se que as cinzas também aumentaram com o aumento da concentração de maltodextrina, sendo os valores para as formulações superiores quando comparados com a

polpa in natura. O aumento desses parâmetros é explicado pela adição de material sólido à polpa. Os valores encontrados para teor de água e sólidos solúveis totais foram semelhantes aos observados por García-Cruz et al (2013) para polpa de pitaia (*Stenocereus pruinosus*). Segundo os mesmos autores os valores das cinzas são de 0,63 %, superior ao observado neste trabalho. Enciso et al. (2011) e Yah et al. (2008) trabalhando com a polpa de pitaia *H. undatus* observaram os valores 11,6 e 12, 6° Brix, respectivamente.

Os valores da densidade das espumas quando comparados com os da polpa apresentaram uma redução significativa, visto que o uso de aditivos têm como finalidade provocar a expansão de volume com a incorporação de ar através do batimento, influenciando diretamente na densidade do material em estudo. Nota-se também que quanto maior a concentração da maltodextrina, maiores os valores da densidade.

Observa-se que os valores de atividade de água foram reduzidos da polpa para as espumas indicando que os aditivos utilizados, principalmente a maltodextrina, influenciaram diretamente na atividade de água do produto.

Para os atributos de cor, nota-se que a polpa de pitaia apresentou maiores valores de luminosidade e intensidade de vermelho, identificado na cor vermelha intensa na polpa. Observa-se que os aditivos utilizados influenciaram diretamente na cor, principalmente na luminosidade, indicando um ligeiro branqueamento na amostra.

Observa-se ainda na Tabela 4.5 os valores das antocianinas totais e betacianinas presentes na polpa de pitaia, equivalentes a 22,34 e 62,65 mg/110g, respectivamente. Vergara et al. (2014) encontram na polpa do cacto (*Opuntia ficus-indica*) ultrafiltrada 24,8 mg/100g de betacianinas.

Tabela 4.5 – Parâmetros químicos, físicos e fisico-químicos da polpa de pitaia *in natura* e das formulações F4, F5 e F6

Parâmetros	Polpa in natura	F4	F5	F6
pH	4,56	4,80	4,79	4,79
Teor de água inicial (% b.u.)	90,96 ^a	88,62 ^b	85,13 ^c	83,27 ^d

Sólidos solúveis Totais (° Brix)	10,73 ^d	13,23 ^c	14,44 ^b	14,90 ^a
Sólidos Totais (%)	9,03 ^d	11,31 ^c	14,87 ^b	16,73 ^a
Acidez total titulável (% de ácido cítrico)	0,219 ^a	0,204 ^b	0,206 ^b	0,206 ^b
Cinzas (%)	0,44 ^a	0,38 ^b	0,37 ^b	0,38 ^b
Densidade (g/cm ³) (25 °C)	1,05 ^a	0,20 ^c	0,21 ^c	0,28 ^b
A _w	0,985 ^a	0,965 ^b	0,960 ^b	0,959 ^b
Luminosidade (L*)	34,48 ^a	28,59 ^b	28,37 ^c	27,98 ^c
Intensidade de vermelho (+a*)	47,37 ^a	44,49 ^b	43,65 ^c	40,70 ^d
Intensidade de azul (-b*)	-8,743 ^a	-7,696 ^b	-6,81 ^c	-5,93 ^d
Antocianinas totais (mg.100 ⁻¹)	22,34	-	-	-
Betacianinas (mg.100 ⁻¹)	62,65	-	-	-

4.3 - Cinética de secagem em camada de espuma

4.3.1 - Influência da temperatura

Na Tabela 4.6, estão apresentados os tempos de secagem das formulações com 10, 15 e 20% de maltodextrina, chamadas de F4, F5 e F6, respectivamente, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. Os tempos necessários para que as amostras atingissem o teor de umidade de equilíbrio foram de 710, 530 e 470 min nas temperaturas de 50 e 60 °C, respectivamente, para as amostras com 10 e 15% de maltodextrina, tornando essas duas formulações semelhantes com relação ao tempo de secagem para uma mesma temperatura. Para a formulação com 20% de maltodextrina os tempos de secagem foram de 650, 410 e 410 min nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, respectivamente, inferiores, portanto, aos das demais formulações. Tempos próximos de secagem foram verificados por Thuwapanichayanan et al. (2008) na secagem em camada de espuma da polpa de banana utilizando como aditivo a albumina, com densidade da espuma de 0,7 g/cm³, verificando que o tempo necessário para a amostra atingir o teor de umidade de equilíbrio, nas temperaturas de 60 e 70 °C, foi de 540 e 480 min, respectivamente; e por Alves e Rodvalho (2016) quando secaram em camada de espuma a polpa de abacate cv. Yard (*Persea americana* Mill), encontrando tempos de secagem de 600, 564 e 384 para as temperaturas de 50, 60 70 °C, respectivamente.

Tabela 4.6 - Tempos de secagem das Formulações F4, F5 e F6 nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C

Temperatura de secagem (°C)	Formulações		
	F4	F5	F6
50	710 min	710 min	650 min
60	530 min	530 min	410 min
70	470 min	470 min	410 min

Franco et al. (2016) ao avaliarem as cinéticas de secagem em camada de espuma de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C observaram que o tempo de secagem foi menor quando maiores temperaturas de ar de secagem foram aplicadas no processo. O mesmo foi observado por Kandasamy et al. (2014) quando secaram em camada de espuma a polpa de mamão adicionadas de metilcelulose, monoestearato de glicerol e albumina em diferentes proporções, nas temperaturas de 60, 65 e 70 °C; e por Díaz-Ayala et al. (2015) ao avaliarem a cinética de secagem de fatias finas do fruto de *Opuntia ficus-indica* nas temperaturas de 35, 45 e 60 °C.

4.8.2 - Influência da concentração de maltodextrina

Observa-se nas Figuras 4.6 a 4.8, os dados experimentais da cinética de secagem das Formulações F4, F5 e F6, para um tempo de batimento de 15 minutos e espessura da camada de 1,0 cm, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, expressos através da razão de umidade (adimensional) em função do tempo de secagem (min).

Na temperatura de 50 °C, a elevação da concentração de maltodextrina acarreta uma redução nos tempos intermediários de secagem. Abbasi e Azizpour (2016) quando trabalharam com a secagem em camada de espuma da polpa de cereja observaram que o aumento do aditivo CMC aumentou a estabilidade da espuma fazendo com que este material entrasse em colapso mais tarde durante o processo de secagem. Notaram também que o aumento da albumina no mesmo material levou a uma elevação da porosidade, melhorando a taxa de secagem e diminuindo o tempo de secagem.

O mesmo comportamento foi observado por Kadam e Balasubramanian (2011) quando trabalharam com secagem em camada de espuma da polpa de tomate.

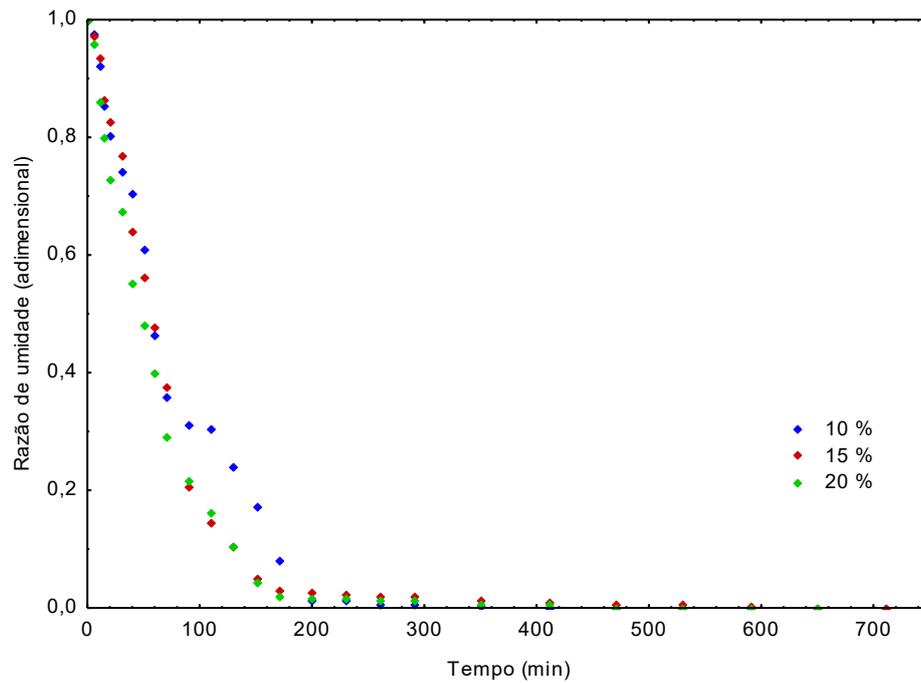


Figura 4.6 – Curvas de secagem da espuma das formulações F4, F5 e F6 na temperatura de 50 °C

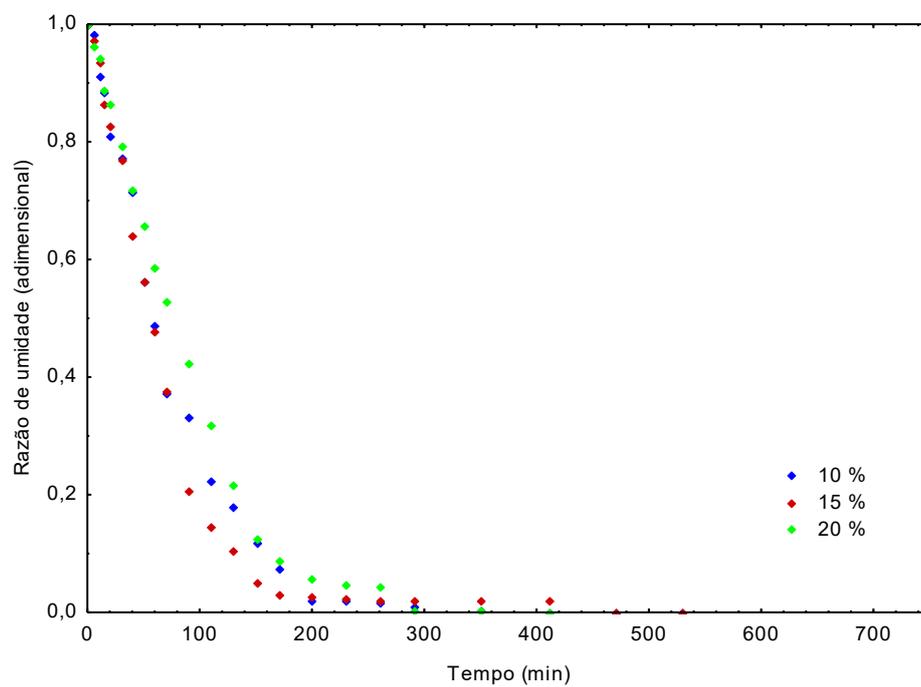


Figura 4.7 – Curvas de secagem da espuma das formulações F4, F5 e F6 na temperatura de 60 °C

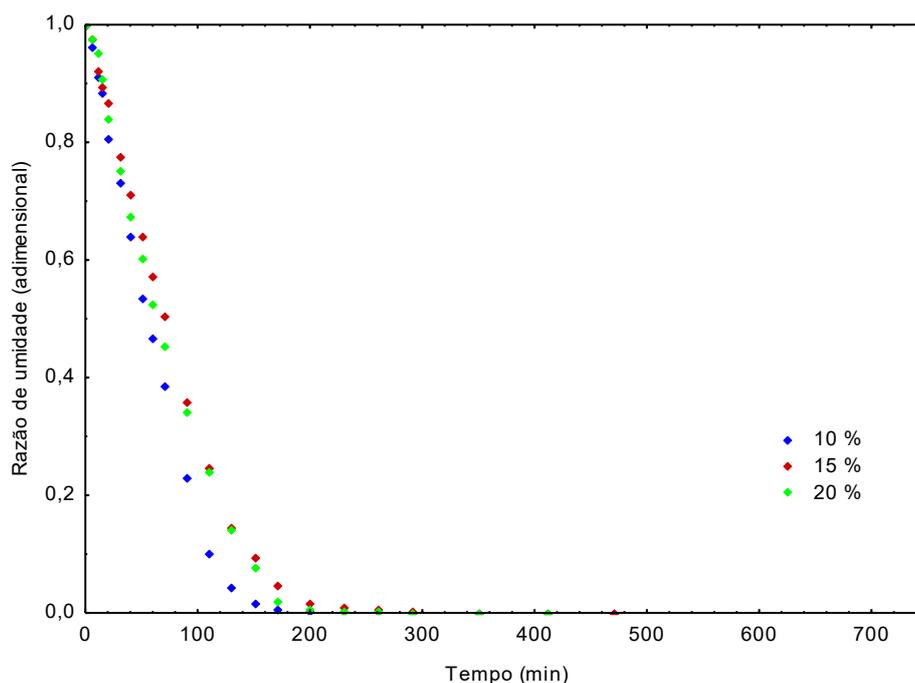


Figura 4.8 – Curvas de secagem da espuma das formulações F4, F5 e F6 na temperatura de 70 °C

4.8.3 - Modelos matemáticos ajustados as curvas de secagem

Nas Tabela 4.7 encontram-se os parâmetros dos modelos matemáticos de Henderson e Pabis, Dois Termos, Exponencial de Dois Termos, Page, Wang e Singh e Levis ajustados aos dados experimentais das cinéticas de secagem da Formulação F4 (0,5 % de polissorbato, 0,3 % de goma xantana e 10 % de maltodextrina) e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e os desvios quadráticos médios (DQM).

Dentre os modelos testados o de Page é o que mais representa o processo de secagem para formulação com 10% de maltodextrina, apresentando os maiores R^2 e $DQM \leq 0,03$. No entanto, nota-se que os modelos de Henderson e Pabis e Dois Termos também podem representar o processo de secagem, uma vez que apresentaram bons ajustes, com $R^2 \geq 0,99$ e $DQM \leq 0,06$. Melo et al. (2016) observaram valores de R^2 superiores a 0,99 ao ajustarem os modelos matemáticos de Page e Exponencial de Dois Termos aos dados experimentais da cinética de secagem da *Spirulina platensis* nas temperaturas de 30, 40 50 e 60 °C. Silva Filho et al. (2016) ao ajustarem o modelo de Henderson & Pabis aos dados experimentais das

cinéticas de secagem em camada de espuma da polpa de manga cv. Haden, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, em três espessuras de camada (0,5; 1,0 e 1,5 cm) encontraram $R^2 \geq 0,97$ e $DQM \leq 0,003$.

Constata-se que o parâmetro “k”, que representa o efeito das condições externas de secagem (Corrêa et al., 2007), do modelo de Page sofreu um decréscimo com a elevação da temperatura. Nos modelos de Henderson e Pabis, Dois Termos e Levis esse mesmo parâmetro teve comportamento contrário com o aumento da temperatura. Comportamento semelhante foi observado por Baptestini et al. (2015) quando ajustaram o modelo de Henderson & Pabis aos dados experimentais da secagem em camada de espuma da polpa de graviola nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C; e por Melo et al. (2013) quando secaram em camada de espuma a polpa do fruto de mandacaru, nas temperaturas de 70, 80 e 90 °C e espessuras da camada de espuma de 0,5; 1,0 e 1,5 cm.

Nota-se que o parâmetro “n” do modelo de Page, “a” dos modelos de Henderson e Pabis e Dois Termos e “b” dos modelos de Dois Termos e Wang e Singh sofreram aumento com a elevação da temperatura. Branco et al. (2016) observaram comportamento semelhante para esses parâmetros ao analisarem os ajustes dos modelos de Page e Henderson e Pabis aos dados experimentais da cinética de secagem em camada de espuma da uvaia (*Hexachalamys edulis* (O. Berg)) nas temperaturas de 60 e 70 °C.

Tabela 4.7 – Parâmetros dos modelos ajustados às curvas de secagem em camada de espuma da Formulação F4

Modelo	Temp. (°C)	Parâmetros				R ²	DQM
		a	k				
Henderson & Pabis	50	1,0435	0,0126		0,9905	0,0320	
	60	1,0608	0,0133		0,9918	0,0334	
	70	1,0806	0,0159		0,9826	0,0606	
Modelo	Temp. (°C)	Parâmetros				R ²	DQM
		a	k	b	K2		
Dois Termos	50	0,5214	0,0126	0,5214	0,0126	0,9905	0,0330
	60	0,5299	0,0133	0,5299	0,0133	0,9918	0,0339
	70	0,5403	0,0159	0,5403	0,0159	0,9826	0,0601
Modelo	Temp. (°C)	Parâmetros				R ²	DQM
		a	k				

Exponencial	50	0,0024	4,8799	0,9883	0,0039
de Dois	60	0,0013	9,4637	0,9875	0,0085
Termos	70	0,0019	7,7446	0,9755	0,0060
Modelo	Temp. (°C)	Parâmetros		R²	DQM
		k	n		
	50	0,0059	1,1620	0,9925	0,0089
Page	60	0,0041	1,2556	0,9968	0,0011
	70	0,0021	1,4632	0,9973	0,0302
Modelo	Temp. (°C)	Parâmetros		R²	DQM
		a	b		
Wang e	50	-0,0056	0,000006	0,8324	0,3155
Singh	60	-0,0068	0,000010	0,9174	0,1626
	70	-0,0079	0,000013	0,9095	0,1473
Modelo	Temp. (°C)	Parâmetros		R²	DQM
		k			
	50	0,0119		0,9885	0,0034
Levis	60	0,0123		0,9877	0,0006
	70	0,0145		0,9758	0,0077

Na Figura 4.9 encontram-se as curvas do modelo matemático de Page ajustadas aos dados experimentais das cinéticas de secagem da Formulação F4, com espessura da camada de 1,0 cm, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, considerado como melhor modelo dentre os testados.

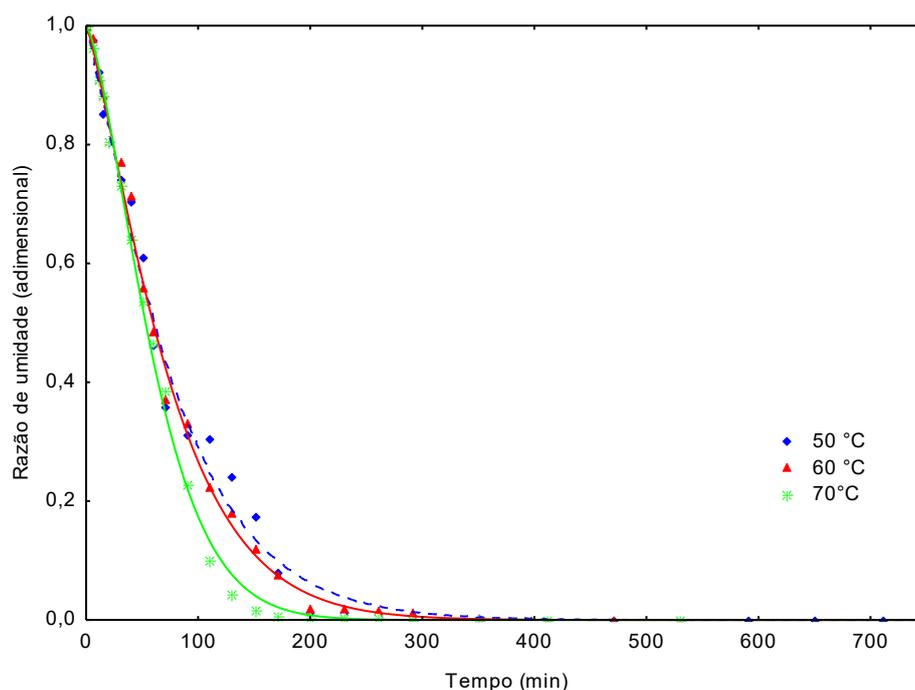


Figura 4.9 – Cinéticas de secagem da Formulação F4, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Page

Observa-se na Tabela 4.8, os valores dos parâmetros dos modelos matemáticos de Henderson e Pabis, Dois Termos, Exponencial de Dois Termos, Page, Wang e Singh e Levis ajustados aos dados experimentais das cinéticas de secagem das Formulação F5 (0,5 % de polissorbato, 0,3 % de Goma Xantana e 15 % de maltodextrina) e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e os desvios quadráticos médios (DQM).

Verifica-se que o modelo matemático de Page resultou nos melhores ajustes com os maiores R^2 ($\geq 0,99$) e os menores DQM ($\leq 0,03$). Os modelos matemáticos de Henderson e Pabis e Dois Termos também apresentaram bons ajustes com valores de $R^2 \geq 0,98$ e $DQM \leq 0,06$. Santos et al. (2017) observaram valores de $R^2 \geq 0,99$ e $DQM \leq 0,06$ ao avaliarem as curvas de secagem da polpa de pequi, utilizando a secagem por convecção nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C ajustadas aos modelos matemáticos de Henderson e Pabis, Levis e Page. Valores de R^2 superiores a 0,99 foram observados por Guimarães et al. (2017) ao ajustarem o modelo de Henderson e Pabis, Page e Exponencial de Dois Termos aos dados da cinética de secagem em camada de espuma da polpa de manga (cv. Keitt) adicionados de 1% de Emustab e 1% de Liga Neutra, nas temperaturas de 50, 60 e 70°C. Nota-se que à medida que ocorria acréscimo na temperatura o parâmetro “k”, que representa a constante da taxa de secagem, sofreu diminuição, para os modelos de Page, Exponencial de dois termos e Levis. Demiray et al. (2017) observaram um comportamento contrário quando ajustaram

os modelos matemáticos de Page, Lewis e Henderson & Pabis aos dados experimentais da secagem de fatias de cebola nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Verifica-se também o aumento com a elevação da temperatura nos parâmetros “n” e “a” dos modelos de Page e Exponencial de Dois Termos, respectivamente. Sritongtae et al. (2017) ao analisarem os ajustes do modelo de Page aos dados experimentais da cinética de secagem em camada de espuma dos grãos de arroz não-germinados nas temperaturas de 60 e 70 °C observaram o mesmo comportamento no parâmetro “n”.

Tabela 4.8 – Parâmetros dos modelos ajustados às curvas de secagem da espuma da Formulação F5

Modelo	Temp. (°C)	Parâmetros		R²	DQM
		a	k		
	50	1,0818	0,0151	0,9829	0,0289

Henderson & Pabis	60	1,0817		0,0152		0,9869	0,0286
	70	1,0766		0,0125		0,9839	0,0602
Modelo	Temp.	Parâmetros				R ²	DQM
	(°C)	a	k	b	K2		
Dois Termos	50	0,5409	0,0151	0,5409	0,0151	0,9829	0,0287
	60	0,5426	0,0153	0,5426	0,0152	0,9869	0,0259
	70	0,5381	0,0125	0,5383	0,0125	0,9838	0,0599
Modelo	Temp.	Parâmetros		R ²	DQM		
	(°C)	a	k				
Exponencial	50	0,0014		9,9379	0,9817	0,0258	
de Dois	60	0,0019		7,3907	0,9796	0,0244	
Termos	70	0,0020		7,1129	0,9755	0,0101	
Modelo	Temp.	Parâmetros		R ²	DQM		
	(°C)	k	n				
Page	50	0,0023		1,4239	0,9982	0,0171	
	60	0,0022		1,4257	0,9978	0,0182	
	70	0,0021		1,4587	0,9986	0,0301	
Modelo	Temp.	Parâmetros		R ²	DQM		
	(°C)	a	b				
Wang e Singh	50	-0,0058		0,000007	0,7642	0,3579	
	60	-0,0071		0,000011	0,8769	0,1890	
	70	-0,0722		0,000012	0,9647	0,0639	
Modelo	Temp.	Parâmetros		R ²	DQM		
	(°C)	k					
Levis	50	0,0138		0,9819	0,0235		
	60	0,0137		0,9799	0,0237		
	70	0,0115		0,9769	0,0016		

Na Figura 4.10 encontram-se as curvas do modelo matemático de Page ajustadas aos dados experimentais das cinéticas de secagem da Formulação F5 (0,5 % de polissorbato, 0,3 % de Goma Xantana e 15 % de maltodextrina), com espessura da camada de 1,0 cm, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, considerado o melhor modelo para representar o processo de secagem.

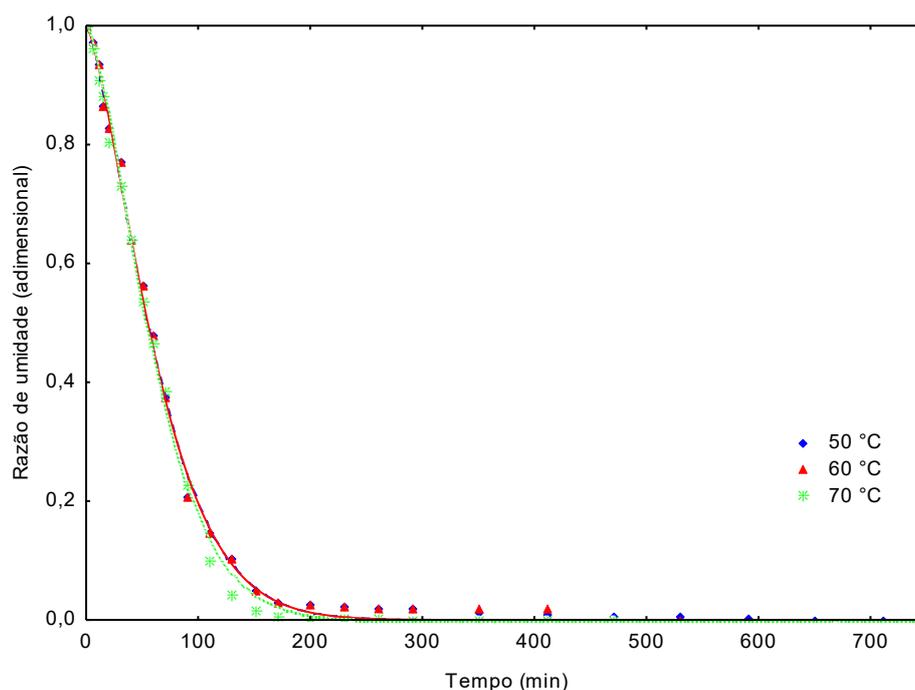


Figura 4.10 – Cinéticas de secagem da Formulação F5, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Page

Estão apresentados na Tabela 4.9 os valores dos parâmetros dos modelos matemáticos de Henderson e Pabis, Dois Termos, Exponencial de Dois termos, Page, Wang e Singh e Levis ajustados aos dados experimentais das cinéticas de secagem da Formulação F6 (0,5 % de polissorbato, 0,3 % de Goma Xantana e 20 % de maltodextrina), nas três temperaturas estudadas e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e os desvios quadráticos médios (DQM).

Observa-se que o modelo de Page apresentou os melhores ajustes nas três temperaturas com valores de R^2 superiores a 0,997. Os modelos matemáticos Henderson e Pabis, Dois Termos, Exponencial de dois termos e Levis também podem ser usados para representar as curvas de secagem na temperatura de 50 °C, uma vez que apresentaram $R^2 \geq 0,99$ e $DQM \leq 0,01$.

Ambekar et al. (2013) quando ajustaram o modelo de Henderson e Pabis aos dados da cinética de secagem em camada de espuma da polpa de maracujá adicionada de metilcelulose nas temperaturas de 50, 60 70 e 80 °C encontraram valores de $R^2 \geq 0,98$ e $DQM \leq 0,0001$; e Marques et al. (2016) também encontraram valores de coeficiente de determinação (R^2) superiores a 0,99 ao ajustarem o modelo de Henderson e Pabis, Page e Levis, aos dados experimentais das cinéticas de secagem em camada de espuma do caldo de

cana, com proporções de 2,1; 0,70 e 0,35% de Emustab, Super Liga Neutra e carbonato de cálcio, respectivamente, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Nota-se que o parâmetro “k” do modelo de Page diminuiu a medida em que se aumentou a temperatura de secagem. Observa-se ainda que o parâmetro “n” para esse mesmo modelo aumentou com a elevação da temperatura. Comportamento contrário para os parâmetros “k” e “n” foi observado por Gupta et al. (2014) quando utilizaram o modelo de Page para descrever o processo de secagem em camada fina de fragmentos de amla (*Phyllanthus emblica*) nas temperaturas de 50, 55 e 60 °C.

Tabela 4.9 – Parâmetros dos modelos ajustados às curvas de secagem da espuma da Formulação F6

Modelo	Temp. (°C)	Parâmetros		R ²	DQM
		a	k		
Henderson &	50	1,0306	0,0166	0,9963	0,0174
Pabis	60	1,0596	0,0112	0,9881	0,0436

	70	1,0809		0,0134		0,9868	0,0568
Modelo	Temp. (°C)	Parâmetros				R²	DQM
		a	k	b	K2		
Dois Termos	50	0,5151	0,0166	0,5151	0,0165	0,9963	0,0178
	60	0,5297	0,0111	0,5298	0,0111	0,9881	0,0436
	70	0,5402	0,0134	0,5406	0,0134	0,9868	0,0568
Modelo	Temp. (°C)	Parâmetros			R²	DQM	
		a	k				
Exponencial de Dois Termos	50	0,0028	5,7742		0,9952	0,0017	
	60	0,0020	5,0595		0,9827	0,0031	
	70	0,0019	6,0987		0,9786	0,0016	
Modelo	Temp. (°C)	Parâmetros		R²	DQM		
		k	n				
Page	50	0,0028	1,2765		0,9942	0,0118	
	60	0,0025	1,3131		0,9978	0,0151	
	70	0,0023	1,3791		0,9981	0,0196	
Modelo	Temp. (°C)	Parâmetros		R²	DQM		
		a	b				
Wang e Singh	50	-0,0064	0,000008		0,7199	0,4180	
	60	-0,0072	0,000012		0,9856	0,0292	
	70	-0,0079	0,000014		0,9750	0,0416	
Modelo	Temp. (°C)	Parâmetros		R²	DQM		
		k					
Levis	50	0,0159		0,9954	0,0013		
	60	0,0104		0,9831	0,0036		
	70	0,0122		0,9791	0,0017		

Na Figura 4.11 encontram-se as curvas do modelo matemático de Page ajustadas aos dados experimentais das cinéticas de secagem da Formulação F6, com espessura da camada de 1,0 cm, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, considerado como melhor modelo.

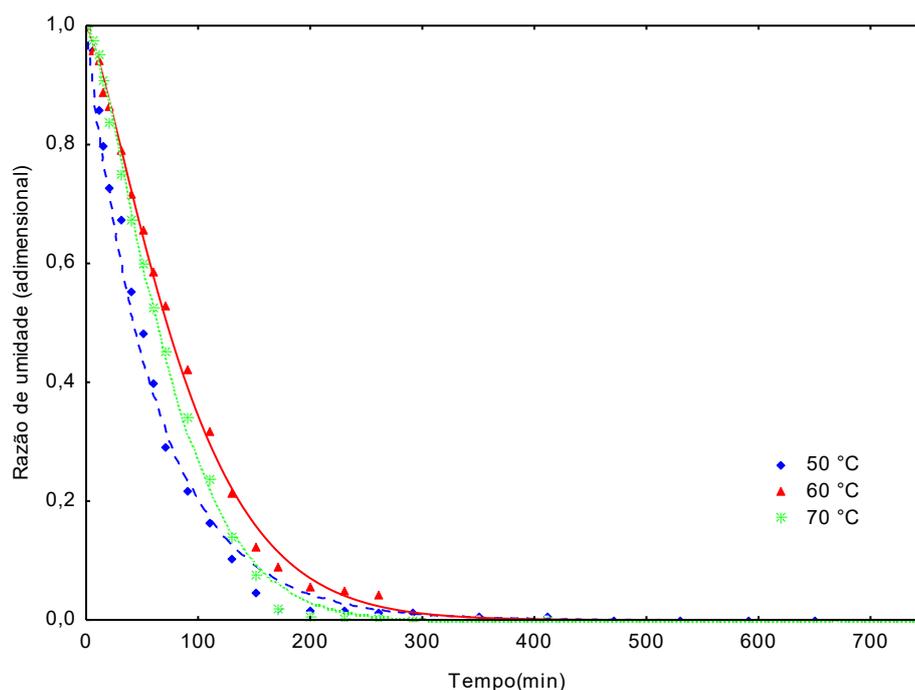


Figura 4.11 – Cinéticas de secagem da Formulação F6, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Page

4.9 - Caracterização física, química e fisico-química da polpa de pitaita em pó

4.4.1 - Teor de água e sólidos totais

Na Tabela 4.10 estão apresentados os valores médios do teor de água, dado em % b.u., da polpa de pitaita em pó em função da temperatura e das concentrações de maltodextrina. Verifica-se que as médias variaram de 4,91 a 7,42% b.u. Valores semelhantes foram encontrados por Krumreich et al. (2016) ao analisarem pós da polpa de uvaia liofilizados, onde encontraram teor de água médio de 6,03 e 7,18% b.u. nas amostras com adição de maltodextrina e goma-arábica, respectivamente.

Nota-se que houve interação entre os fatores e que com o aumento, tanto da temperatura como da concentração de maltodextrina, ocorreu uma diminuição no teor de água, sendo os menores valores (5,39; 5,55 e 4,91% b.u.) observados na temperatura de 70 °C para as três concentrações de maltodextrina. Fujita et al. (2017) ao analisarem polpas de camu-camu em pó produzidas por secagem em spray-dryer nas temperaturas de 120, 150 e 180 °C, encontraram valores de teor de água de 3,0 a 5,8% b.u. e 3,8 a 6,4% b.u., utilizando os agentes carreadores maltodextrina (D10) e goma-arábica, respectivamente.

Tabela 4.10 – Valores médios do teor de água (% b.u.) da polpa de pitáia em pó em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina

Temperatura de secagem (°C)	Concentração de Maltodextrina		
	10% (F4)	15% (F5)	20% (F6)
50	7,42 aA	6,95 aAB	6,64 aB
60	6,71 aA	5,92 bB	5,83 bB
70	5,39 bA	5,55 bA	4,92 cA

DMS para colunas = 0,7150; DMS para linhas = 0,7150; MG = 6,1491; CV (%) = 5,58

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

Na tabela 4.11 encontram-se os valores médios dos sólidos totais, dados em %, da polpa de pitáia em pó em função da temperatura e concentração de maltodextrina. Observa-se que os resultados variaram de 92,57 a 95,08%. Estes valores foram inferiores aos encontrados por Sousa et al. (2015) ao analisarem o pó da polpa de atemoia em secador por aspersão, com valores médios de 98,63 % para o pó coletado na câmara de secagem e 99,51% para o coletado no ciclone.

Tabela 4.11 – Valores médios dos sólidos totais (%) da polpa em pó de pitáia em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina

Temperatura de secagem (°C)	Concentração de Maltodextrina		
	10% (F4)	15% (F5)	20% (F6)
50	92,58 cA	93,05 bA	93,36 bA
60	93,62 bA	94,07 aA	94,15 bA
70	94,61 aA	94,45 aA	95,08 aA

DMS para colunas = 0,8428; DMS para linhas = 0,8428; MG = 93,8876; CV (%) = 0,43

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

4.4.2 - Sólidos solúveis totais (°Brix)

Na Tabela 4.12 encontram-se os valores médios dos sólidos solúveis totais (°Brix), da polpa de pitáia em pó em função da temperatura e da concentração de maltodextrina. Observa-se que não houve diferença significativa, de acordo com teste de Tukey, a 5 % de

probabilidade, entre todas as amostras em pó. Analisando os valores dos sólidos solúveis totais e comparando-os com os valores da polpa de pitáia integral (Tabela 4.5) nota-se que a adição da maltodextrina acarretou um aumento na medida dos sólidos solúveis totais.

Tabela 4.12 – Valores médios dos sólidos solúveis totais (°Brix) da polpa de pitáia em pó em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina

Temperatura de secagem (°C)	Concentração de Maltodextrina		
	10% (F4)	15% (F5)	20% (F6)
50	16,46 aC	17,33 aB	17,76 aA
60	16,70 aB	17,23 aA	17,53 aA
70	16,73 aB	17,60 aA	17,53 aA

DMS para colunas = 0,4245; DMS para linhas = 0,4245; MG = 17,2111; CV (%) = 1,18

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

4.4.3 - Acidez total titulável

Observa-se na Tabela 4.13 os valores médios da acidez total titulável, dados em % de ácido cítrico, da polpa de pitáia em pó em função da temperatura e concentração de maltodextrina. Nota-se que houve uma tendência de diminuição da acidez em função da concentração de maltodextrina e da temperatura do ar de secagem. Furtado et al. (2014) ao analisarem os pós da polpa de abacaxi (*Ananas comosus* (L) Merrill) concentrada (60°brix) obtida pelo método de secagem em camada de espuma, observaram que a acidez diminuiu com o aumento da temperatura de secagem de 60 para 70 °C.

Os valores de acidez total titulável encontrados variaram de 0,94 a 1,39 % de ácido cítrico. Percebe-se ainda que a adição de maltodextrina diminuiu a acidez das formulações quando comparadas com os valores da polpa integral. Kandasamy et al (2012) encontraram valores semelhantes, variando de 1,49 a 1,54 % de ácido cítrico quando analisaram o pó da polpa de mamão (*Carica papaya* Lin.) obtido pelo método de secagem em camada de espuma adicionado de diferentes concentrações de albumina (5,10, 15 e 20%), nas temperaturas de secagem de 60, 65 e 70 °C.

Tabela 4.13 – Valores médios da acidez total titulável (% de ácido cítrico) da polpa de pitáia em pó em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina

Concentração de Maltodextrina	
-------------------------------	--

Temperatura de secagem (°C)	Concentração de Maltodextrina		
	10% (F4)	15% (F5)	20% (F6)
50	1,38 aA	1,11 aB	0,94 aC
60	1,38 aA	1,09 aB	1,04 aB
70	1,06 bA	1,01 aA	1,00 aA

DMS para colunas = 0,1324; DMS para linhas = 0,1324; MG = 1,1482; CV (%) = 5,70

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

4.4.4 - pH

Na Tabela 4.14 encontram-se os valores médios do potencial hidrogeniônico da polpa de pitaia em pó. Verifica-se que na temperatura de 70 °C houve uma tendência de diminuição do pH com o aumento da concentração de maltodextrina. De acordo com Baruffaldi e Oliveira (1998) os valores encontrados para as três formulações nas temperaturas estudadas caracterizam as amostras como produtos pouco ácidos ($\leq 4,61$). Segundo os autores, produtos pouco ácidos são propícios ao desenvolvimento de microrganismos.

Sousa et al. (2015) encontraram valores de pH superiores, nos pós da polpa de atemoia obtida pelo método de secagem por aspersão. Santos et al. (2014) encontraram valores médios de 3,79 ao analisarem o pó de goiaba atomizada.

Tabela 4.14 – Valores médios do pH da polpa de pitaia em pó em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina

Temperatura de secagem (°C)	Concentração de Maltodextrina		
	10% (F4)	15% (F5)	20% (F6)
50	4,5733	4,6033	4,6000
60	4,5933	4,6167	4,6300
70	4,6167	4,5833	4,5733

4.4.5 - Atividade de água

Estão apresentados na Tabela 4.15 os valores médios de atividade de água do pó produzido da polpa de pitaia pelo método de secagem em camada de espuma, em função da temperatura e concentrações de maltodextrina. Nota-se que a elevação da concentração de

maltodextrina provocou um decréscimo nos valores de atividade de água, que variaram de 0,32 a 0,41. Resultados semelhantes foram encontrados por Gupta e Alam (2014), trabalhando com secagem em camada de espuma da polpa de uva nas temperaturas de 55 e 75 °C e diferentes concentrações dos aditivos albumina e metil-celulose. Marques et al. (2016) observaram uma atividade de água de 0,360 em caldo de cana (*Saccharum officinarum*) em pó obtido pelo método de secagem em camada de espuma, adicionado de Emustab, Super Liga Neutra e carbonato de cálcio, na temperatura de 70 °C.

Tabela 4.15 – Valores médios da atividade de água da polpa em pó de pitáia em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina

Temperatura de secagem (°C)	Concentração de Maltodextrina		
	10% (F4)	15% (F5)	20% (F6)
50	0,413 aA	0,377 aB	0,361 aC
60	0,364 bA	0,333 cB	0,327 bC
70	0,364 bA	0,356 bB	0,320 cC

DMS para colunas = 0,0022; DMS para linhas = 0,0022; MG = 0,3574; CV (%) = 0,29

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

4.4.6 - Cinzas

Na Tabela 4.16 estão apresentados os valores médios das cinzas, dado em %, da polpa de pitáia em pó. Verifica-se que os valores das cinzas não apresentaram diferenças significativas estatisticamente, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade, para as três temperaturas e concentrações de maltodextrina, ou seja, o aumento da concentração de maltodextrina não afetou de forma significativa o teor de cinzas das amostras. Os menores valores foram observados na formulação com 10% de maltodextrina nas temperaturas de 50 e 70 °C e os maiores na formulação com 20% nas temperaturas de 60 e 70 °C. Muzaffar et al. (2017) encontraram valores médios de 1,69% na polpa de tamarindo em pó adicionado de proteína isolada de soja utilizando o método de secagem por pulverização. Tze et al. (2012) verificaram que o pó de pitáia obtido pelo método de secagem por aspersão, apresentou valor médio de cinzas de 0,794 %, resultado inferior aos encontrados neste trabalho.

Tabela 4.16 – Valores médios das cinzas (%) da polpa de pitáia em pó em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina

Temperatura de secagem (°C)	Concentração de Maltodextrina		
	10% (F4)	15% (F5)	20% (F6)
50	1,06 aA	1,07 aA	1,07 aA
60	1,07aA	1,07 aA	1,08 aA
70	1,06 aA	1,07 aA	1,08 aA

DMS para colunas = 0,0324; DMS para linhas = 0,0324; MG = 1,0744; CV (%) = 1,44

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

4.4.7 - Luminosidade (L*)

Na tabela 4.17 observa-se os valores médios obtidos da luminosidade (L*) das amostras em pó de pitáia. Nota-se que tanto a concentração de maltodextrina como a temperatura teve influência na luminosidade. O menor valor observado foi de 24,54 na formulação com 10% de maltodextrina e temperatura de 50°C. Já o maior valor foi observado na formulação com 20% de maltodextrina, na temperatura de 60 °C, sendo essa amostra correspondente à amostra mais clara. Valores superiores de luminosidade foram encontrados por García-Lucas et al. (2016), variando de 39,24 a 42,35 na polpa de pitáia (*Stenocereus griseus*) em pó obtida por secagem em spray-dryer adicionadas de maltodextrina DE 13 e pectina nas temperaturas de secagem de 150 e 180 °C; e por Carvalho et al. (2016), variando de 36,8 a 39,7, ao analisarem extratos de juçara (*Euterpe edulis* Martius) em pó obtidos pela secagem por aspersão utilizando como agentes carreadores maltodextrinas com diferentes dextroses equivalentes (10, 20 e 30 DE) e goma-arábica.

Tabela 4.17 – Valores médios da luminosidade (L*) da polpa de pitáia em pó em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina

Temperatura de secagem (°C)	Concentração de Maltodextrina		
	10% (F4)	15% (F5)	20% (F6)
50	24,54 bC	24,66 cB	24,84 bA

60	24,77 aB	24,79 bB	24,95 aA
70	24,85 aA	24,88 aA	24,92 aA

DMS para colunas = 0,0783; DMS para linhas = 0,0783; MG = 24,8033; CV (%) = 0,15

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

4.4.8 - Intensidade de vermelho (+a*)

Na tabela 4.18 encontram-se os valores médios da intensidade de vermelho (+a*), da polpa de pitaia em pó em função da temperatura e concentrações de maltodextrina. Constatou-se que com aumento da concentração de maltodextrina os valores da intensidade de vermelho sofreram um decréscimo, provocando o clareamento das amostras. Os maiores valores médios da intensidade de vermelho foram os observados na formulação com 10% de maltodextrina nas três temperaturas. Bakar et al. (2011) observaram nos pós atomizados da casca de pitaia (*Hylocereus polyrhizus*) valores de intensidade de vermelho que variaram entre 20,14 e 31,80.

Tabela 4.18 – Valores médios da intensidade de vermelho (+a*) da polpa de pitaia em pó em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina

Temperatura de secagem (°C)	Concentração de Maltodextrina		
	10% (F4)	15% (F5)	20% (F6)
50	37,72 aA	34,53 bB	34,26 aC
60	37,75 aA	35,74 aB	34,26 aC
70	37,41 bA	32,82 cB	32,84 bB

DMS para colunas = 0,2685; DMS para linhas = 0,2685; MG = 35,2574; CV (%) = 0,37

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

4.4.9 - Intensidade de azul (-b*)

Na Tabela 4.19 têm-se os valores médios da intensidade de azul (-b*) da polpa de pitaia em pó. Observa-se que com o aumento da concentração de maltodextrina na

temperatura de 50 °C ocorreu uma redução na intensidade de azul. Comportamento semelhante foi observado na temperatura de 70 °C. Otálora et al. (2015) ao analisarem a microencapsulação de betalainas extraídas de frutos de cactos (*Opuntia ficus-indica*) por secagem por pulverização encontraram valores de intensidade de azul de -5,28 e -4,84 nas amostras contendo os agentes encapsuladores, maltodextrina e mucilagem do cladódio do cacto, em diferentes proporções. García-Cruz et al. (2017) ao avaliarem a polpa de pitáia *Stenocereus griseus* obtida em secagem por aspersão encontraram valores superiores, correspondendo a intensidade de amarelo (+b*), variando entre 10,24 e 15,24.

Tabela 4.19 – Valores médios da intensidade de azul (-b*) da polpa de pitáia em pó em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina

Temperatura de secagem (°C)	Concentração de Maltodextrina		
	10% (F4)	15% (F5)	20% (F6)
50	-3,49 cC	-3,16 aB	-2,88 aA
60	-2,72 aA	-3,55 bB	-3,56 cB
70	-2,92 bA	-3,17 aB	-3,24 bB

DMS para colunas = 0,1747; DMS para linhas = 0,1747; MG = 3,1892; CV (%) = 2,63

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

4.4.10 - Densidade absoluta, aparente e compactada

Estão apresentados nas Tabelas 4.20, 4.21 e 4.22 os valores médios das densidades absoluta, aparente e compactada, respectivamente, da polpa de pitáia em pó em função da temperatura e concentração de maltodextrina.

Observa-se que os valores da densidade absoluta variaram entre 1,39 e 1,53 g/cm³. Nota-se que em função da concentração de maltodextrina ocorreu um decréscimo estatisticamente não significativo nos valores de densidade absoluta. Tze et al. (2012) determinaram densidade absoluta em pitáia (*Hylocereus polyrhizus*) em pó, com valores variando entre 1,309 e 1,484 g/cm³. Mahdavi et al. (2016) ao analisarem o encapsulamento das antocianinas contidas no extrato de berberis (*Berberis vulgaris*) utilizando a secagem por pulverização, encontraram valores de 0,909 g/cm³ para amostra adicionada de maltodextrina e goma-arábica; 0,911 g/cm³ para amostra com maltodextrina e gelatina; e 0,919 g/cm³ para amostra contendo somente maltodextrina.

Tabela 4.20 – Valores médios da densidade absoluta (g/cm^3) da polpa de pitáia em pó em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina

Temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$)	Concentração de Maltodextrina		
	10% (F4)	15% (F5)	20% (F6)
50	1,52 aA	1,46 aA	1,41 aA
60	1,53 aA	1,47 aA	1,44 aA
70	1,48 aA	1,46 aA	1,39 aA

DMS para colunas = 0,2693; DMS para linhas = 0,2693; MG = 1,4663; CV (%) = 8,81

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 a Tabela 4.21, observa-se que os valores da densidade aparente (g/cm^3) variaram entre 0,43 a 0,60 g/cm^3 . Oliveira et al. (2013) encontraram valores de densidade aparente que variaram de 0,40 a 0,42 g/cm^3 quando analisaram o pó da polpa de morango atomizado com diferentes agentes carreadores. Valores médios de 0,50 g/cm^3 foram encontrados por Zotarelli et al. (2017) ao analisarem a polpa em pó de manga Tommy Atkins adicionado de maltodextrina, obtido pelo método de secagem por pulverização.

Tabela 4.21 – Valores médios da densidade aparente (g/cm^3) da polpa de pitáia em pó em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina

Temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$)	Concentração de Maltodextrina		
	10% (F4)	15% (F5)	20% (F6)
50	0,54 bA	0,56 bA	0,43 cB
60	0,58 aAB	0,61 aA	0,57 aB
70	0,57 abA	0,58 abA	0,51 bB

DMS para colunas = 0,0381; DMS para linhas = 0,0381; MG = 0,5519; CV (%) = 3,31

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 na Tabela 4.22 que os valores médios da densidade compactada na temperatura de 70 $^{\circ}\text{C}$ diminuíram com o aumento da concentração de maltodextrina. Fernandes et al. (2014) observaram uma redução da densidade compactada com a adição de 4,5% de albumina nos pós da polpa de tomate produzidos em camada de espuma nas temperaturas de secagem de 60 e 80 $^{\circ}\text{C}$. Lins et al. (2017) encontraram valores médios de densidade compactada de 0,61 g/cm^3 ao analisarem a seriguela em pó obtida por secagem em leito de jorro.

Tabela 4.22 – Valores médios da densidade compactada (g/cm^3) da polpa de pitaiá em pó em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina

Temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$)	Concentração de Maltodextrina		
	10% (F4)	15% (F5)	20% (F6)
50	0,6118 bA	0,6336 bA	0,4644 cB
60	0,6833 aAB	0,6938 aA	0,6520 aB
70	0,6670 aA	0,6308 bAB	0,5993 bB

DMS para colunas = 0,0411; DMS para linhas = 0,0411; MG = 0,6263; CV (%) = 3,15

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

4.4.11 - Fator de Hausner e Índice de Carr

Nas Tabelas 4.23 e 4.24 encontram-se os valores médios do fator de Hausner e Índice de Carr, respectivamente, da polpa de pitaiá em pó, em função da temperatura e concentrações de maltodextrina. Observa-se que os valores do fator de Hausner variaram entre 1,07 e 1,17. Segundo Hayes (1987), se $1,1 < FH < 1,25$ o pó é considerado de fluxo médio. Valores próximos foram encontrados por Muzaffar et al. (2017) para a polpa de tamarindo em pó adicionado de proteína isolada de soja utilizando o método de secagem por puerização; e superiores por Lins et al. (2017) ao analisarem o pó de seriguela (*Spondias purpurea* L.) produzido em secador de leito de jorro encontraram valores médios do Fator de Hausner de 1,30.

Tabela 4.23 – Valores médios do fator de Hausner da polpa de pitaiá em pó em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina

Temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$)	Concentração de Maltodextrina		
	10% (F4)	15% (F5)	20% (F6)
50	1,12 aA	1,12 aA	1,07 bA
60	1,16 aA	1,14 aA	1,15 abA
70	1,17 aA	1,08 aA	1,17 aA

DMS para colunas = 0,0835; DMS para linhas = 0,0835; MG = 1,1332; CV (%) = 3,54

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 os valores médios do Índice de Carr apresentados na Tabela 4.24, nota-se valores médios que variaram de 8,1 a 14,49%. Yusof et al. (2011) trabalhando com a polpa de pitáia (*Hylocereus undatus*) em pó encontraram valores médios de 19,09 e 15,24% para as amostras com e sem adição de maltodextrina, respectivamente. Valores superiores ao deste trabalho foram encontrados por Caliskan e Dirim (2016) ao analisarem os pós de extrato de sumac (*Rhus coriaria*) liofilizado, com valores de 25,02; 19,42 e 15,89 para as concentrações de 20, 25 e 30% de maltodextrina, respectivamente. De acordo com Carr (1965), se o IC estiver numa faixa variando de 5 a 15% o material têm uma excelente fluidez, intervalo em que se enquadram as amostras do presente trabalho.

Tabela 4.24 – Valores médios do Índice de Carr (%) da polpa de pitáia em pó em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina

Temperatura de secagem (°C)	Concentração de Maltodextrina		
	10% (F4)	15% (F5)	20% (F6)
50	10,82 aA	10,51 aA	6,97 bA
60	13,87 aA	12,25 aA	13,02 abA
70	14,49 aA	8,11 aB	14,48 aA

DMS para colunas = 6,3446; DMS para linhas = 6,3446; MG = 11,6152; CV (%) = 26,21

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

4.4.12 - Porosidade

Na Tabela 4.25 têm-se os valores médios da porosidade (%) da polpa de pitáia em pó em função da temperatura de secagem e concentrações de maltodextrina. Verifica-se que os valores de maior porosidade (69,21%) foram observados na temperatura de 50 °C para formulação com 20% de maltodextrina; e o de menor valor na temperatura de 60°C para formulação com 15% de maltodextrina. Observa-se também que os valores de porosidade das formulações com 10 e 15% nas temperaturas de 60 e 70 °C apresentaram diferença estatisticamente significativa entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Sousa et al. (2015) trabalhando com polpa de atemoia (*Annona cherimola* Mill X *Annona squamosa* L. cv. “Gefner”) em pó, produzida em secador por aspersão, encontraram valores semelhantes de porosidade, variando entre 63,69 (câmara) e 60,45 % (ciclone).

Tabela 4.25 – Valores médios da porosidade (%) da polpa de pitaita em pó em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina

Temperatura de secagem (°C)	Concentração de Maltodextrina		
	10% (F4)	15% (F5)	20% (F6)
50	63,91 aAB	60,97 aB	69,21 aA
60	61,58 aA	59,82 aA	60,53 bA
70	61,36 aA	60,19 aA	63,00 abA

DMS para colunas = 7,7412; DMS para linhas = 7,7412; MG = 62,1669; 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

4.4.13 - Molhabilidade

Estão apresentados na Tabela 4.26 os valores médios do tempo de molhabilidade (s) da polpa de pitaita em pó em função da temperatura de secagem e das concentrações de maltodextrina. Observa-se que tanto a concentração de maltodextrina quanto a temperatura de secagem apresentou influência significativa nos tempos de molhabilidade do pó. Na medida em que se aumentou a temperatura de secagem e a concentração de maltodextrina ocorreu um decréscimo no tempo de molhabilidade. Valores próximos foram observados por Botrel et al. (2016) quando analisaram a polpa de marolo (*Annona crassiflora*) em pó obtidas por meio de secagem em camada fina utilizando o secador de ar convectivo, nas temperaturas de 70, 80 e 90 °C e adição de proporções distintas de inulina.

Tabela 4.26 – Valores médios da molhabilidade (s) da polpa de pitaita em pó em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina

Temperatura de secagem (°C)	Concentração de Maltodextrina		
	10% (F4)	15% (F5)	20% (F6)
50	25,00 aA	22,33 aB	19,66 aC
60	18,00 bA	16,66 bAB	15,33 bB
70	12,66 cA	11,00 cB	10,33 cB

DMS para colunas = 1,5535; DMS para linhas = 1,5525; MG = 16,7777; CV (%) = 4,44

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

4.4.14 - Insolubilidade

Encontram-se na Tabela 4.27 os valores médios da insolubilidade, dados em %, da polpa de pitáia em pó. Verifica-se na formulação com 10% de maltodextrina os menores valores de insolubilidade, entre 18,14 e 18,22%, nas temperaturas de 50 a 70 °C, respectivamente. Nota-se ainda que todos os valores encontrados não diferiram estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Oliveira et al. (2013) observaram valores de insolubilidade semelhantes quando estudaram o comportamento do pó da polpa de morango atomizada com os agentes carreadores maltodextrina do tipo 5DE e 10DE, goma-arábica e capsul.

Tabela 4.27 – Valores médios da insolubilidade (%) do pó da polpa de pitáia em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina

Temperatura de secagem (°C)	Concentração de Maltodextrina		
	10% (F4)	15% (F5)	20% (F6)
50	18,14 aA	18,86 aA	19,61 aA
60	18,21 aA	18,78 aA	18,84 aA
70	18,22 aA	18,65 aA	18,72 aA

DMS para colunas = 2,4528; DMS para linhas = 2,4528; MG = 18,6750; CV (%) = 6,30

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

4.4.15 - Higroscopicidade

Na Tabela 4.28 estão apresentados os valores médios da higroscopicidade, dados em g de H₂O/100g de sólidos, do pó da polpa de pitáia em função da temperatura de secagem e concentração de maltodextrina. Observa-se que quanto maior a concentração de maltodextrina menor é a higroscopicidade, variando entre 15,70 e 21,15 g de H₂O/100g. Ferrari et al. (2012) encontraram valores que variaram entre 18,77 e 28,73 g.100 g⁻¹ ao avaliarem o pó do suco de amora-preta produzido sob diferentes temperaturas de secagem e concentrações de maltodextrina pelo método de secagem por pulverização. Santana et al. (2016) ao analisarem a polpa da pequi em pó obtida pelo método de secagem por pulverização e adicionadas de tween 80 e maltodextrina em proporções distintas observaram valores de higroscopicidade variando de 9,1 a 12,1 g.100 g⁻¹.

Tabela 4.28 – Valores médios da higroscopicidade (g.100 g⁻¹) do pó da polpa de pitáia em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina

Temperatura de secagem (°C)	Concentração de Maltodextrina		
	10% (F4)	15% (F5)	20% (F6)
50	21,15 aA	18,66 aB	17,36 aC
60	18,61 bA	17,41 bB	16,46 bC
70	16,81 cA	16,54 cA	15,70 cB

DMS para colunas = 0,4256; DMS para linhas = 0,4256; MG = 17,6351; CV (%) = 1,16

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

4.4.16 - Betacianinas

Na Tabela 4.29 encontram-se os valores médios das betacianinas (mg/100g) presentes nos pós produzidos da polpa de pitaiá. Observa-se que os valores das betacianinas diminuem à medida que a concentração de maltodextrina aumenta. Bakar et al. (2013) ao analisarem o pó da casca de pitaiá (*Hylocereus polyrhizus*) observaram que maiores concentrações de maltodextrina e temperaturas mais baixas de entrada/saída na secagem por pulverização levaram a uma perda de betacianinas.

No presente trabalho os melhores valores encontrados foram nos pós da formulação com 10% de maltodextrina, sendo que as três temperaturas empregadas não produziram diferenças estatisticamente significativas entre as amostras. Tze et al. (2012) encontraram valores de betacianinas semelhantes, que variaram de 25 a 45 mg/100g de amostra, ao avaliarem a polpa em pó de pitaiá obtida em secador por aspersão, utilizando como agente carreador maltodextrina nas concentrações de 20 e 30 %.

Tabela 4.29 – Valores médios do conteúdo de betacianinas (mg/100g) dos pós produzidos da polpa de pitaiá em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina

Temperatura de secagem (°C)	Concentração de Maltodextrina		
	10% (F4)	15% (F5)	20% (F6)
50	51,49 aA	49,06 aB	46,79 aC
60	51,39 aA	45,62 bB	44,85 bB
70	51,95 aA	49,58 aB	46,68 aC

DMS para colunas = 1,0420; DMS para linhas = 1,0420; MG = 48,6045; CV (%) = 1,03

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

4.4.17 - Antocianinas totais

Observa-se na Tabela 4.30 os valores médios das antocianinas totais presentes nos pós da polpa de pitáia em função da temperatura de secagem e das concentrações de maltodextrina. Os melhores valores de antocianinas foram verificados para a formulação com 10% de maltodextrina nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. Os valores foram superiores ao encontrado por Santos (2015) para a polpa de pitáia (*Hylocereus costaricensis*) em pó obtida através da secagem por aspersão, que foi de 13,7 mg/100g.

Ferrari et al. (2012) ao analisarem o pó da polpa de amora-preta produzida em secagem por atomização, usando a maltodextrina como agente carreador, relataram que o efeito da maltodextrina em maiores concentrações provocou um efeito de diluição dos pigmentos presentes na amostra, acarretando perda da cor do produto. Da mesma forma, Kha et al. (2010) verificaram que um aumento da concentração de maltodextrina de 10 para 30% proporcionou uma redução no conteúdo total de carotenóides no pó da polpa de gac (*Momordica cochinchinensis*) produzida pelo método de secagem por atomização.

Tabela 4.30 – Valores médios das antocianinas totais (mg/100g) da polpa de pitáia em pó em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina

Temperatura de secagem (°C)	Concentração de Maltodextrina		
	10% (F4)	15% (F5)	20% (F6)
50	19,3803 aA	18,1283 aB	16,5209 aC
60	19,1371 aA	15,1497 bB	14,2586 bC
70	19,1693 aA	14,8550 bB	13,8865 bC

DMS para colunas = 0,4579; DMS para linhas = 0,4579; MG = 16,7206; CV (%) = 1,31

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

4.5 – Seleção do melhor pó

Analisando os resultados das amostras em pó através dos parâmetros físicos e físico-químicos: teor de água, sólidos totais, sólidos solúveis totais, acidez total titulável, pH, atividade de água, cinzas, luminosidade (L*), intensidade de vermelho (+a*), intensidade de azul (-b*), densidade absoluta, densidade aparente, densidade compactada, fator de Hausner,

índice de Carr, porosidade, molhabilidade, insolubilidade, higroscopicidade, betacianinas e antocianinas totais, é possível observar que as amostras contendo 10 e 20% de maltodextrina, na temperatura de 70 °C, foram as que melhor se destacaram. No entanto, apesar dos produtos disponíveis no mercado possuírem altas concentrações de maltodextrina, essas altas concentrações acarretam a perda ou redução de algumas características, principalmente aquelas relacionadas a cor, influenciando a qualidade dos pós produzidos. Dessa forma, o pó produzido com adição de 10% de maltodextrina na temperatura de 70 °C foi escolhido como o melhor pó, visto que apresentou um teor de água de 5,39 %b.u., acidez de 1,06 % de ácido cítrico, atividade de água de 0,36, considerada baixa, intensidade de vermelho de 37,41; densidade aparente de 1,46 g/cm³ e índice de Carr inferior a 15%, indicativo de uma excelente fluidez. Apresentou também um bom tempo de molhabilidade (12 s), o menor valor de insolubilidade (18,22%), uma higroscopicidade inferior a 17%. Além disso, a adição de 10% de maltodextrina foi eficiente na preservação das betacianinas, com valor de 51,99 mg/100g, e antocianinas totais, de 19,16 mg/100g.

4.6 - Isotermas de adsorção de água

Na Tabela 4.31 estão apresentados os valores médios dos teores de água de equilíbrio da polpa de pitaiá em pó da Formulação F4 (0,5% de polissorbato, 0,3% de goma xantana e 10% de maltodextrina) desidratada na temperatura de 70 °C, em função da atividade de água, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C. Verifica-se que nas três temperaturas os teores de água de equilíbrio aumentaram com o aumento da atividade de água. Esse comportamento, esperado em materiais higroscópicos, também foi observado por Conegero et al. (2017) ao analisarem as isotermas de adsorção do pó da polpa de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) liofilizada, para as temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C; e por Islam et al. (2016) quando estudaram a polpa de laranja concentrada em pó obtida em secagem por pulverização. Nota-se também que o teor de água de equilíbrio final aumentou com a elevação da temperatura, com maior valor médio encontrado de 91,81% para a temperatura de 40 °C. Comportamento similar foi observado por Ribeiro et al. (2016) para a polpa de acerola (*Malpighia glabra*) liofilizada.

Tabela 4.31 - Valores médios do teor de água de equilíbrio (U_{eq}) da polpa de pitaiá em pó (Formulação F4) desidratada na temperatura de 70 °C, em função da atividade de água (a_w) para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C.

Temperatura (°C)					
20		30		40	
a_w	U_{eq} (%b.s.)	a_w	U_{eq} (%b.s.)	a_w	U_{eq} (%b.s.)
0,372	10,1166	0,313	11,6907	0,320	11,9691
0,449	11,6697	0,446	14,2938	0,450	15,8497
0,499	13,0887	0,499	16,2761	0,522	18,0923
0,511	13,9989	0,534	18,0799	0,557	19,8655
0,527	14,9384	0,555	19,6029	0,618	23,0864
0,552	16,5214	0,577	20,8578	0,657	25,9918
0,561	17,2626	0,589	21,8003	0,668	26,8528
0,568	18,1112	0,673	27,4173	0,706	29,8846
0,590	19,6378	0,696	29,3785	0,741	33,3723
0,612	20,8416	0,720	31,6173	0,764	35,6984
0,636	22,5405	0,733	32,9347	0,788	39,4396
0,653	24,6477	0,761	36,2480	0,824	44,1812
0,669	25,7463	0,782	38,6940	0,852	50,2142
0,705	28,5254	0,802	41,4941	0,863	53,4188
0,732	31,1972	0,895	67,8011	0,923	82,9177
0,756	33,6590	0,904	80,1582	0,958	91,8180
0,783	36,1670	0,934	88,1372	-	-
0,808	38,8571	-	-	-	-
0,834	41,4810	-	-	-	-
0,855	44,5673	-	-	-	-
0,863	52,9866	-	-	-	-
0,886	57,6194	-	-	-	-
0,916	65,0606	-	-	-	-
0,934	75,1256	-	-	-	-

Na Tabela 4.32 encontram-se os parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos de GAB, Oswin, Peleg e BET, ajustados aos

dados de adsorção de água da amostra em pó produzida a partir da Formulação F4, desidratada na temperatura de 70 °C, para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C.

Observa-se que o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água da amostra de pitaiá em pó foi o de Peleg, apresentando os maiores coeficientes de determinação ($R^2 \geq 0,992$) e os menores desvios percentuais médios ($P \leq 3,6\%$). Lins et al. (2017) ao analisarem as isotermas de adsorção da polpa de seriguela (*Spondias purpurea* L.) em pó, obtida em secador de leito de jorro, nas temperaturas de 20, 30 e 40°C, com ajustes dos modelos de GAB, Oswin e Peleg aos dados experimentais, observaram que o modelo de Peleg foi o que resultou em melhores ajustes, com $R^2 \geq 0,99$ e $P \leq 2,0\%$.

Nota-se que o modelo de GAB também pode ser usado para representar as isotermas de adsorção da polpa de pitaiá em pó, visto que apresentou $R^2 \geq 0,98$ e $P \leq 4,3\%$. Canuto et al. (2014) encontraram valores de $R^2 \geq 0,99$ e $P \leq 7,5\%$ ao ajustarem o modelo de GAB às isotermas de adsorção da polpa de mamão em pó liofilizada contendo maltodextrina nas concentrações de 5 e 15%, considerado como o modelo de melhor ajuste. Verifica-se que o teor de água na monocamada molecular (X_m) do modelo de GAB reduziu com o aumento da temperatura de 20 para 30 °C e aumentou com a elevação de 30 para 40 °C, com valores abaixo de 13% b.s.. Segundo Comunian et al. (2011) e Goula et al. (2008) o teor de água da monocamada (X_m) do modelo de GAB e BET corresponde à quantidade de água fortemente adsorvida em sítios específicos na superfície dos alimentos, garantindo a perda mínima de qualidade do produto por um período mais longo a uma dada temperatura, com um mínimo de taxa de reação.

O valor da constante “K” do modelo de GAB representa, segundo Gutiérrez et al. (2015), as interações entre as moléculas do adsorvato com o adsorvente; e de acordo com Chirife et al. (1992) os valores desse parâmetro não devem ser superiores a 1,0. Por outro lado, segundo Quirijns et al. (2005) o parâmetro “C”, também do modelo de GAB, indica a força da ligação das moléculas de água encontradas na monocamada. Neste trabalho os parâmetros “C” e “K” do modelo de GAB, para todas as temperaturas, apresentaram valores maiores que 2 (dois) e inferiores a 1 (um), respectivamente. Conegero et al. (2017) encontraram valores de “K” abaixo de 1 quando ajustaram o modelo de GAB para obtenção das isotermas de adsorção do pó da polpa de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) liofilizada com adição de maltodextrina (DE 20). García-lucas et al. (2016) ao analisarem as

isotermas de adsorção, na temperatura de 25 °C, da polpa de pitaya (*Stenocereus griseus*) em pó obtida em secagem por atomização adicionada de maltodextrina DE13 em diferentes concentrações, encontraram valores de “K” variando de 0,91 a 0,94. Chaux-Gutiérrez et al. (2017) encontram valor do parâmetro “C” equivalente a 3,078 quando ajustaram o modelo de GAB as isotermas de adsorção da polpa de manga Tommy Atkins em pó, obtida por secagem em camada de espuma com adição de um mix de monoglicerídeos e monoestearatos. Considerando os valores de C e K observados neste trabalho as isotermas são classificadas como sigmoidal do tipo II, seguindo a classificação proposta por Blahovec (2004). Mesma classificação foi encontrada por Lins et al. (2017) quando estudaram as isotermas de adsorção da polpa de seriguela (*Spondias purpurea* L.) em pó, obtida em secador de leito de jorro, nas temperaturas de 20, 30 e 40°C; e por Islam et al. (2016) ao analisarem as isotermas de adsorção da polpa de laranja (*Citrus unshi*) concentrada em pó acrescida de diferentes concentrações de maltodextrina DE13, obtida por meio da secagem por aspersão.

Para o modelo de Oswin verifica-se $R^2 \geq 0,97$ e $P \leq 7,45\%$. Os valores dos parâmetros “a” e “b” para o modelo de Oswin encontrados neste estudo variaram de 16,03 a 19,57 e de 0,51 a 0,63, respectivamente, estando dentro das limitações determinadas por Alcântara et al. (2009), onde “a” deve ser maior que zero e “b” estar entre zero e 1,0.

Encontram-se, para o modelo de BET, nas temperaturas de 20 e 30°C coeficientes de determinação maiores que 0,97 e desvios percentuais médios superiores a 10%. Segundo Lomauro et al. (1985) desvios percentuais médios acima de 10% são considerados inadequados para estimar as isotermas, independente do coeficiente de determinação ser alto. Oliveira et al. (2014) ao analisarem as isotermas de adsorção da polpa de cajá liofilizada, na temperatura de 25 °C, observaram que o modelo de BET foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais com valores de $R^2 \geq 0,99$ e $P \leq 13\%$. Para Santos et al. (2014) o modelo de BET foi que representou pior ajuste para os dados da polpa de goiaba em pó obtida por atomização, com R^2 variando de 0,9878 a 0,9914 e P variando de 16,84 a 19,31.

Tabela 4.32 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de umidade, da polpa de pitaya em pó (Formulação F4), desidratada a 70 °C, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C

Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro			R ²	P(%)	
		X _m	C	K			
GAB	20	12,5999	2,1272	0,9032	0,9929	4,2276	
	30	11,5517	3,8498	0,9399	0,9920	2,9092	
	40	12,3278	3,6958	0,9138	0,9892	2,9444	
OSWIN		a		b	R²	P(%)	
	20	16,0326		0,5987	0,9864	7,4173	
	30	17,4507		0,6336	0,9884	3,1045	
	40	19,5774		0,5198	0,9705	6,5236	
PELEG		K₁	n₁	K₂	n₂	R²	P(%)
	20	54,8838	1,9576	73,5727	14,6745	0,9941	3,6562
	30	34,4608	1,0157	103,2059	8,4991	0,9936	3,4402
	40	33,5674	0,9263	89,1236	8,3425	0,9927	2,5748
Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetros			R ²	P(%)	
		X _m	C	n			
BET	20	55,8772	0,4284	0,4667	0,9713	10,5323	
	30	59,9766	0,4342	0,5054	0,9753	6,6783	
	40	65,9624	0,4547	0,4690	0,9351	11,1927	

Na Figura 4.12 estão apresentadas as isotermas de adsorção de água, para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C, da pitaia em pó produzidas a partir da formulação F4, desidratada na temperatura de 70 °C, com ajustes pelo modelo de Peleg, considerado o melhor.

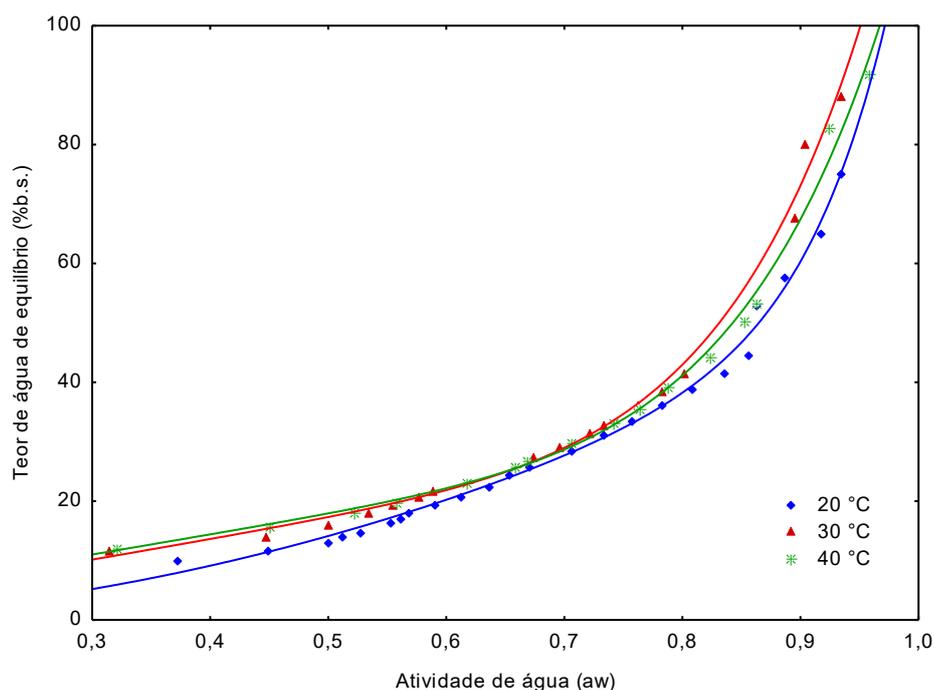


Figura 4.12 - Isotermas de adsorção de água, para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C, da pitaia em pó, com ajustes pelo modelo de Peleg.

Nas Figuras D1, D2 e D3 têm-se as isotermas de adsorção de água com ajustes dos modelos de GAB, Oswin e BET, respectivamente, para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C, da pitaia em pó produzidas a partir da formulação F4, desidratada na temperatura de 70 °C.

4.7 - Armazenamento acelerado do melhor pó

Na Tabela 4.33 encontram-se os valores médios do teor de água (% b.u.) da polpa de pitaia em pó durante o armazenamento por 60 dias nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa controlada de 83% (KCl). Observa-se que o teor de água aumentou no decorrer do armazenamento nas três temperaturas, sendo esse aumento mais evidente na temperatura de 40 °C. Os valores médios variaram de 5,53 a 7,45%; 5,40 a 7,78 % e 5,56 a 8,33 %, para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C, respectivamente. Galdino et al. (2016) ao analisarem a estabilidade do figo-da-índia (*Opuntia ficus indica* Mill.) em pó, durante 40 dias à 25 e 40 °C, com umidade relativa controlada de aproximadamente 85%, observaram valores de umidade variando de 3,37 a 7,25% (b.u.) à temperatura de 25 °C e 3,37 a 8,36% (b.u.) para 40 °C. Muzaffar e Kumar (2016) ao analisarem o armazenamento do tamarindo em pó produzido em secagem por pulverização encontraram valores de teor de água variando de 2,62 a 7,87% (b.u.) nas amostras acondicionadas em embalagens de polietileno de baixa

densidade e 2,62 a 4,95% (b.u.) nas embaladas utilizando polietileno laminado, no armazenamento acelerado, durante 6 meses, à 25 °C.

Tabela 4.33 – Valores médios do teor de água (% b.u.) da polpa de pitaia em pó (Formulação F4), desidratada a 70 °C, durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83%

Tempo de armazenamento (dias)	Teor de água (%b.u.)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	5,53 eA	5,41 dA	5,56 dA
10	5,79 deB	5,80 dB	6,23 cA
20	6,02 cdeB	6,39 cAB	6,74 bA
30	6,18 cdB	6,66 bcA	7,03 bA
40	6,42 bcB	7,00 bA	7,15 bA
50	6,83 bB	7,80 aA	7,99 aA
60	7,45 aB	7,78 aB	8,33 aA

DMS para colunas = 0,4993; DMS para linhas = 0,3962; MG = 6,6569; CV (%) = 5,32

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

Na Tabela 4.34 estão apresentados os valores médios da acidez total titulável (% de ácido cítrico) da polpa de pitaia em pó durante o armazenamento por 60 dias nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83% (KCl). Verifica-se que com aumento do tempo de armazenamento ocorreu uma elevação da acidez total titulável nas três temperaturas. Nota-se que o maior valor de acidez observado foi de 1,512 % de ácido cítrico com 60 dias de armazenamento na temperatura de 40 °C. Oliveira et al. (2015) encontraram valores médios de acidez estáveis ao longo do armazenamento, com média geral de 1,42% de ácido cítrico, quando estudaram a estabilidade do fruto do mandacaru (*Cereus jamacaru*) em pó acondicionado em embalagens laminadas durante 50 dias de armazenamento, na temperatura de 25 °C e umidade relativa de 83%. Santos et al. (2016) ao analisarem a estabilidade durante 180 dias do umbu-cajá em pó produzido por liofilização, observaram que a acidez titulável das amostras, adicionadas com 10, 20 e 30 % de goma-arábica, reduziu-se ao longo do armazenamento.

Tabela 4.34 – Valores médios da acidez total titulável (% de ácido cítrico) da polpa de pitaita em pó (Formulação F4 - 70 °C), durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83% (KCl)

Tempo de armazenamento (dias)	Acidez total titulável (% de ácido cítrico)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	1,05 cA	1,05 fA	1,06 eA
10	1,06 cC	1,14 eB	1,20 dA
20	1,14 bB	1,20 deB	1,26 dA
30	1,20 bB	1,24 cdB	1,33 cA
40	1,21 abC	1,30 bcB	1,38 bcA
50	1,20 bC	1,33 bB	1,42 bA
60	1,27 aC	1,42 aB	1,51 aA

DMS para colunas = 0,0690; DMS para linhas = 0,0547; MG = 1,2943; CV (%) = 3,96

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

Na Tabela 4.35 têm-se os valores médios do pH da polpa de pitaita em pó durante o armazenamento por 60 dias nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83% (KCl). Observa-se que com aumento do tempo de armazenamento ocorreu algum aumento no pH nas temperaturas de 30 e 40 °C. Aguiar E Souza (2017) ao analisarem o comportamento da farinha de buriti (*Mauritia flexuosa* L.) acondicionada em embalagens de polietileno na temperatura ambiente (24 °C) durante 150 dias, observaram um leve aumento no pH nos primeiros 90 dias e a partir daí ocorreu uma diminuição até o término do armazenamento. Os valores de pH das amostras armazenadas a 20 °C oscilaram entre 4,60 e 4,63, não apresentando comportamento tendencioso. Reis et al. (2017), durante armazenamento por 75 dias à 25 °C da farinha de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.), desidratada em estufa de circulação de ar, acondicionada em embalagens de tereftalato de polietileno, observaram valores pH que oscilaram de 3,76 a 4,91; 3,86 a 4,16 e 3,80 a 4,18 para as farinhas desidratadas a 60, 70 e 80 °C, respectivamente.

Tabela 4.35 – Valores médios do pH da polpa de pitáia em pó (Formulação F4 - 70 °C), durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83% (KCl)

Tempo de armazenamento (dias)	pH		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	4,60	4,62	4,62
10	4,63	4,63	4,62
20	4,61	4,63	4,61
30	4,62	4,63	4,63
40	4,63	4,63	4,63
50	4,63	4,64	4,66
60	4,63	4,65	4,67

Na Tabela 4.36 encontram-se os valores médios da atividade de água da polpa de pitáia em pó durante o armazenamento por 60 dias, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83% (KCl). Observa-se com aumento do tempo de armazenamento uma elevação na atividade de água. Da mesma forma, o aumento da temperatura de armazenamento resultou em valores de atividade de água maiores. Shishir et al. (2017) quando estudaram o armazenamento do pó de goiaba obtido por secagem por aspersão, acondicionado em embalagens PET laminado durante 10 semanas, observaram que a atividade de água aumentou de 0,326 para 0,342 e de 0,326 para 0,363 nas temperaturas de 5 e 25 °C, respectivamente. Souza et al. (2016) ao avaliarem a estabilidade do suco de caju (*Anacardium occidentale* L.) em pó acondicionado em embalagens de plástico e laminada na temperatura ambiente durante 60 dias, observaram um aumento na atividade de água ao longo do armazenamento, sendo as embalagens laminadas as que apresentaram maior eficiência na proteção das amostras. Entre as temperaturas, nota-se que as médias obtidas diferiram estatisticamente entre si em todos os intervalos de armazenamento avaliados. Segundo Subramanian (2009) a atividade de água de um produto está relacionada diretamente com a sua umidade relativa de equilíbrio, na qual, quando inferior à umidade relativa do ambiente em que ele se encontra, o produto tende a absorver água.

Tabela 4.36 – Valores médios da atividade de água da polpa de pitáia em pó (Formulação F4 - 70 °C), durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83% (KCl)

Tempo de armazenamento (dias)	Atividade de água		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	0,364 gA	0,363 gA	0,364 fA
10	0,374 fC	0,383 fB	0,392 eA
20	0,385 eC	0,389 eB	0,395 eA
30	0,393 dC	0,397 dB	0,405 dA
40	0,398 cC	0,406 cB	0,409 cA
50	0,408 bC	0,415 bB	0,427 bA
60	0,417 aC	0,436 aB	0,447 aA

DMS para colunas = 0,0033; DMS para linhas = 0,0026; MG = 0,398; CV (%) = 0,59

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

Estão apresentados na Tabela 4.37 os valores médios da luminosidade (L^*) da polpa de pitáia em pó durante o armazenamento por 60 dias nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83% (KCl). Observa-se uma redução dos valores de luminosidade com aumento do tempo de armazenamento na temperatura de 20 °C. Mesmo comportamento foi observado por Reis et al., (2017) ao estudarem o armazenamento durante 75 dias à 25 °C, utilizando embalagens de tereftalato de polietileno, da farinha de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) produzida com e sem semente, desidratada na temperatura de 60 °C em estufa de circulação de ar forçado. Nota-se nas temperaturas de 30 e 40 °C que as amostras sofreram escurecimento até o tempo de armazenamento de 40 dias, a partir daí essas amostras apresentaram comportamento estável. Verifica-se que a maioria das médias obtidas não diferiu estatisticamente entre si, exceto nos tempos de 40 e 60 dias de armazenamento, nas temperaturas de 40 e 20 °C, respectivamente.

Tabela 4.37 – Valores médios da luminosidade (L*) da polpa de pitáia em pó (Formulação F4 - 70 °C), durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83% (KCl)

Tempo de armazenamento (dias)	Luminosidade (L*)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	24,73 aA	24,56 aA	24,73 aA
10	24,49 aA	24,51 aA	24,37 aA
20	23,95 bAB	24,09 aA	23,60 bA
30	23,32 cA	23,30 bA	23,24 bA
40	22,77 dA	22,42 cAB	22,26 cB
50	22,52 deA	22,43 cA	22,57 cA
60	22,17 eB	22,90 bcA	22,73 cA

DMS para colunas = 0,4782; DMS para linhas = 0,3795; MG = 23,4136; CV (%) = 1,45

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

Na Tabela 4.38 encontram-se os valores médios da intensidade de vermelho da polpa de pitáia em pó durante o armazenamento por 60 dias, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83% (KCl). Observa-se um aumento nos valores da intensidade de vermelho ao longo do armazenamento até os tempos intermediários, voltando a se reduzir nos tempos finais, nas três temperaturas. Figueirêdo et al. (2005) observaram entre o tempo inicial (0 dias) e o final (60 dias) do armazenamento, na temperatura ambiente, um aumento na intensidade de vermelho da polpa de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) em pó produzida em secador de leito de jorro na temperatura de 70 °C e embalada em sacos de polietileno. Singh E Hathan (2017) ao analisarem os efeitos das embalagens de polietileno de alta densidade e filme de alumínio laminado, durante o armazenamento do pó de beterraba (*Beta vulgaris* L.), a 40 °C e umidade relativa de 90%, observaram um aumento da intensidade de vermelho no decorrer do armazenamento. A partir de 40 a 60 dias o comportamento de redução na redução de vermelho, nas três temperaturas pode ser atribuído principalmente a perda do conteúdo de betacianinas e das antocianinas totais, responsáveis pelos aspectos de cor da amostra.

Tabela 4.38 – Valores médios da intensidade de vermelho (+a*) da polpa de pitaia em pó (Formulação F4 - 70 °C), durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83% (KCl)

Tempo de armazenamento (dias)	Intensidade de vermelho (+a*)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	37,45 cdA	37,45 dA	37,59 cA
10	37,73 abA	37,74 bcA	37,88 abA
20	37,60 bcC	37,83 bB	38,02 aA
30	37,87 aB	38,04 aA	38,02 aAB
40	37,86 aA	37,76 bA	37,77 bcA
50	37,75 abA	37,55 cdB	37,13 dC
60	37,36 dA	37,13 eB	37,01 dB

DMS para colunas = 0,1956; DMS para linhas = 0,1553; MG = 37,6473; CV (%) = 0,37

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

Na Tabela 4.39 encontram-se os valores médios da intensidade de azul (-b*) da polpa de pitaia em pó durante o armazenamento por 60 dias, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83% (KCl). Observa-se uma redução dos valores de intensidade de azul com o aumento do tempo de armazenamento, exceto na temperatura de 20 °C para o tempo de 50. Verifica-se que as médias obtidas para as temperaturas de 20 e 30 °C não diferiram estatisticamente entre si ao longo do armazenamento. Souza et al. (2015) observaram um redução na intensidade de azul quando estudaram a estabilidade, durante 90 dias na temperatura de 25 °C e umidade relativa de 32,8 % do bagaço da uva bordô (*Vitis labrusca*) obtidos por secagem por aspersão.

Tabela 4.39 – Valores médios da intensidade de azul (-b*) da polpa de pitáia em pó (Formulação F4 - 70 °C), durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83% (KCl)

Tempo de armazenamento (dias)	Intensidade de azul (-b*)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	-2,89 aA	-2,81 aA	-2,74 aA
10	-2,73 aA	-2,49 aA	-2,35 bB
20	-2,07 bA	-1,72 bA	-1,82 cB
30	-1,98 bA	-1,45 bA	-0,27 dC
40	-1,27 dA	-1,44 dA	-0,06 deB
50	-1,57 cA	-0,09 cA	-0,06 deB
60	-1,18 dA	-0,02 dA	-0,05 eB

DMS para colunas = 0,2085; DMS para linhas = 0,1655; MG = 1,46; CV (%) = 10,10

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

Na Tabela 4.40 encontram-se os valores médios da insolubilidade (%) da polpa de pitáia em pó durante o armazenamento por 60 dias nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83% (KCl). Observa-se que a insolubilidade aumentou ao longo do armazenamento com valores estatisticamente estáveis entre as amostras nas três temperaturas avaliadas. Wong e Lim (2016) ao analisarem o comportamento das amostras de mamão (*Carica papaya* L.) em pó produzido em secagem por aspersão encontraram valores de insolubilidade variando de 13,86 a 14,81% nas amostras acondicionadas em embalagens de polietileno laminado de alumínio e 13,86 a 30,88% nas embaladas utilizando tereftalato de polietileno, no armazenamento acelerado durante 7 semanas à 38 °C. Nota-se que as médias obtidas aumentaram gradativamente ao longo do armazenamento, mas com elevações consistentes em todas as temperaturas.

Tabela 4.40 – Valores médios da insolubilidade (%) da polpa de pitáia em pó (Formulação F4 - 70 °C), durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83% (KCl)

Tempo de armazenamento (dias)	Insolubilidade (%)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	18,28 cA	18,36 bA	18,46 cA
10	17,84 cA	19,09 bA	19,53 cA
20	20,17 bcA	19,62 bA	20,65 bcA
30	20,85 abAB	19,31 bB	22,64 abA
40	22,73 aA	22,85 aA	23,65 aA
50	22,79 aA	23,54 aA	24,14 aA
60	23,16 aA	23,47 aA	24,70 aA

DMS para colunas = 2,4411; DMS para linhas = 1,9373; MG = 21,2325; CV (%) = 8,18

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

Estão apresentados na Tabela 4.41 os valores médios do conteúdo de betacianinas (mg/100g) da polpa de pitáia em pó durante o armazenamento por 60 dias nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83% (KCl). Observa-se uma redução do conteúdo de betacianinas no decorrer do armazenamento. Nota-se que maiores perdas foram observadas nas temperaturas de armazenamento de 30 e 40 °C. Singh e Hathan (2017) ao analisarem os efeitos das embalagens durante o armazenamento do pó de beterraba (*Beta vulgaris* L.), a 40 °C e umidade relativa de 90%, observaram uma diminuição do conteúdo de betacianinas ao longo do armazenamento, de 34,80 para 33,45 mg/100g na amostra acondicionada em embalagens de polietileno de alta densidade e de 34,80 para 33,9 mg/100g nas embaladas com filme de alumínio laminado. Lee et al. (2013) observaram valores que variaram de 58,9 a 48,6 g/100g no decorrer do armazenamento durante 25 dias a 25 °C e umidade relativa de 75%, da pitáia (*Hylocereus polyrhizus*) em pó. De acordo com Herbach et al. (2006) a perda da pigmentação natural dos alimentos está ligada a diversos fatores internos, como pH e umidade do produto; e de fatores externos como temperatura, luz e a presença de oxigênio. Verifica-se que as amostras a partir dos 30 dias até o término do armazenamento nas temperaturas de 20 e 40 °C, não diferiram estatisticamente entre si.

Tabela 4.41 – Valores médios do conteúdo de betacianinas (mg/100g) da polpa de pitáia em pó (Formulação F4 - 70 °C), durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83% (KCl)

Tempo de armazenamento (dias)	Betacianinas (g/100g)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	52,25 aA	51,15 aB	52,58 aA
10	50,88 bB	51,66 aA	50,89 bB
20	50,18 bA	50,03 bAB	49,48 cB
30	49,22 cA	48,73 cA	47,81 dB
40	48,99 cA	48,08 cB	47,09 dC
50	49,05 cA	48,58 cA	47,11 dB
60	48,43 cA	47,22 dB	47,28 dB

DMS para colunas = 0,8418; DMS para linhas = 0,6681; MG = 49,3688; CV (%) = 1,21

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

Na Tabela 4.42 têm-se os valores médios das antocianinas totais (mg/100g) da polpa de pitáia em pó durante o armazenamento por 60 dias nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83% (KCl). As antocianinas totais diminuíram de forma significativa ao longo do armazenamento, com valores variando de 19,42 a 13,39; 19,18 a 13,21 e 19,44 a 12,99 nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, respectivamente. Verificou-se também que quanto maior a temperatura de armazenamento, maior a perda das antocianinas totais, como já era esperado. Juliano et al. (2014) observaram entre o tempo inicial (0 dias) e o final (120 dias) do armazenamento na temperatura de 25 °C, uma redução das antocianinas de 12,22 a 5,21 g/100g da polpa de camu-camu (*Myrciaria dubia*) liofilizada acondicionada em embalagens de alumínio. De acordo com Tonon et al. (2010) as antocianinas são pigmentos termosensíveis e quanto maior a quantidade de água absorvida, maior a mobilidade molecular dentro do alimento, facilitando as reações físico-químicas que promove sua degradação. Observa-se que as amostras nos tempos de 40 e 50 dias nas três temperaturas não diferiram estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Analisando o efeito das temperaturas, nota-se que não houve diferença significativa entre as temperaturas, exceto nos tempos de armazenamento de 30 e 40 dias na temperatura de 40 °C em relação às demais.

Tabela 4.42 – Valores médios das antocianinas totais (mg/100g) da polpa de pitáia em pó (Formulação F4 - 70 °C), durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83% (KCl)

Tempo de armazenamento (dias)	Antocianinas Totais (g/100g)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	19,43 aA	19,16 aA	19,44 aA
10	18,69 bA	18,32 bAB	18,11 bB
20	17,18 cA	17,43 cA	17,18 cA
30	16,53 cA	16,53 dA	14,77 dB
40	14,35 dA	13,91 eA	13,32 eB
50	14,04 dA	14,05 eA	13,62 eA
60	13,39 eA	13,21 eA	12,99 eA

DMS para colunas = 0,6623; DMS para linhas = 0,5256; MG = 15,9857; CV (%) = 2,95

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

6.8 - Cinética de degradação

6.8.1 - Degradação das antocianinas

Na Tabela F.1 (Apêndice F) encontram-se os valores médios das antocianinas totais (mg/100g) para as amostras em pó da Formulação F4, armazenadas por um período de 14 dias, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C.

Na Figura 4.13 encontra-se representado o comportamento da cinética de degradação das antocianinas totais da polpa de pitáia em pó da Formulação F4, no período de 14 dias nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C. Verifica-se que as antocianinas totais presentes na amostra diminuíram com o aumento do tempo de armazenamento, nas três temperaturas. Os valores médios variaram entre 19,84 e 12,76; 19,84 e 10,30; e 19,81 e 7,50, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, respectivamente. Silva et al. (2010) ao analisarem a degradação durante 21 dias das antocianinas extraídas das cascas de jabuticaba (*Myrciaria ssp.*) em pó obtido por secagem por atomização, utilizando como agentes carreadores goma-arábica e maltodextrina, observaram que as antocianinas diminuíram ao longo do armazenamento, com valores variando de 28,74 a 22,99 e 28,74 a 22,20 quando armazenadas a 10 °C (no escuro) e 25 °C (na presença de luz), respectivamente.

Observa-se que as maiores degradações ocorreram nas maiores temperaturas, comportamento semelhante ao relatado por Tonon et al. (2013) quando estudaram durante 4 meses a degradação das antocianinas do açaí em pó, obtido por atomização, nas temperaturas de 25 e 35 °C e umidades relativas controladas de 32,8 e 53,3%. Segundo Stringheta (1991) à medida que as antocianinas são submetidas a temperaturas superiores à ambiente (25 °C) sua degradação é maior, sendo ainda mais acentuada quando o pH do meio aumenta.

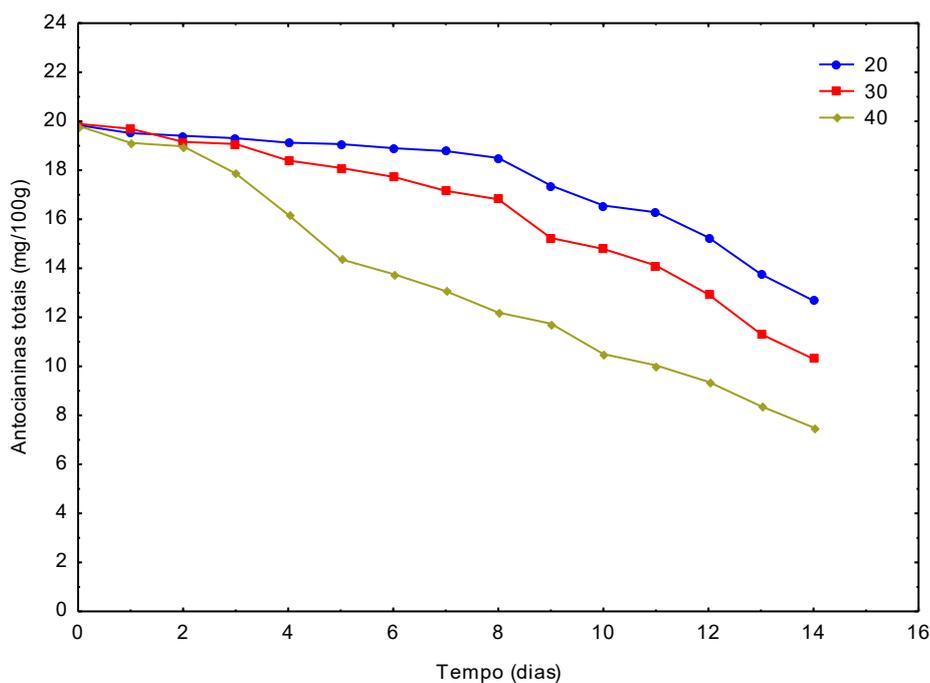


Figura 4.13 – Cinética de degradação das antocianinas totais da polpa de pitaita em pó nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C

Na Tabela 4.43 estão apresentados os parâmetros cinéticos da degradação das antocianinas totais (mg/100g) para as amostras em pó da Formulação F4, para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C. Constatam-se que os maiores valores de coeficientes de determinação (R^2) foram para reação de ordem zero, com R^2 superiores a 0,84. Souza et al. (2015) ao estudarem a estabilidade dos pigmentos obtidos por secagem por aspersão do bagaço da uva bordô (*Vitis labrusca*) durante 120 dias a 25 °C e umidade relativa controlada de 32,8 %, encontraram a reação de primeira ordem como a melhor, apresentando valores de $R^2 \geq 0,77$, constante de reação $k \geq 0,0015$ e $\Theta_{(1/2)} \geq 126,7$. Nota-se que com o aumento da temperatura a constante de reação k aumentou; e o tempo de meia vida ($\Theta_{(1/2)}$) diminuiu. Segundo Zoric et al. (2017) a constante de reação (k) é um indicador que permite prever a degradação térmica das antocianinas, onde os valores mais baixos indicam melhor estabilidade.

Tabela 4.43 - Parâmetros cinéticos da degradação das antocianinas totais da polpa de pitáia em pó, nas temperaturas de 20 30 e 40 °C

Ordem zero			
	20 °C	30 °C	40 °C
A₀ (mg/100 g)	20,8485	20,9595	19,8718
k (dia⁻¹)	0,4606	0,6637	0,9066
R²	0,8420	0,9392	0,9846
Θ_(1/2) (dia)	22,63	15,79	10,96
Primeira Ordem			
	20 °C	30 °C	40 °C
A₀ (mg/100 g)	21,2148	21,6997	21,0205
k (dia⁻¹)	0,0277	0,0434	0,0693
R²	0,8072	0,8941	0,9883
Θ_(1/2) (dia)	25,02	15,97	10,00
Segunda Ordem			
	20 °C	30 °C	40 °C
A₀ (mg/100 g)	21,7391	23,0415	23,9865
k (dia⁻¹)	0,0017	0,0029	0,0056
R²	0,7681	0,8363	0,9533
Θ_(1/2) (dia)	27,06	14,97	7,45

Na Figura 4.14 têm-se o modelo cinético de ordem zero da degradação das antocianinas totais da polpa de pitáia em pó da Formulação F4, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, onde se observa que o aumento da temperatura ocasionou perdas maiores das antocianinas. Moser et al. (2017) observaram que a degradação das antocianinas do suco de uva BRS violeta em pó, obtivo em secagem por aspersão, encapsulado com proteína de soja isolada e maltodextrina, seguiu a reação de 1ª ordem, com valores de $R^2 \geq 0,86$ e constante de taxa de reação k de 0,0012; 0,0019 e 0,0022 para as temperaturas de armazenamento de 5, 25 e 35 °C, respectivamente, sendo as maiores temperaturas responsáveis por maiores degradações.

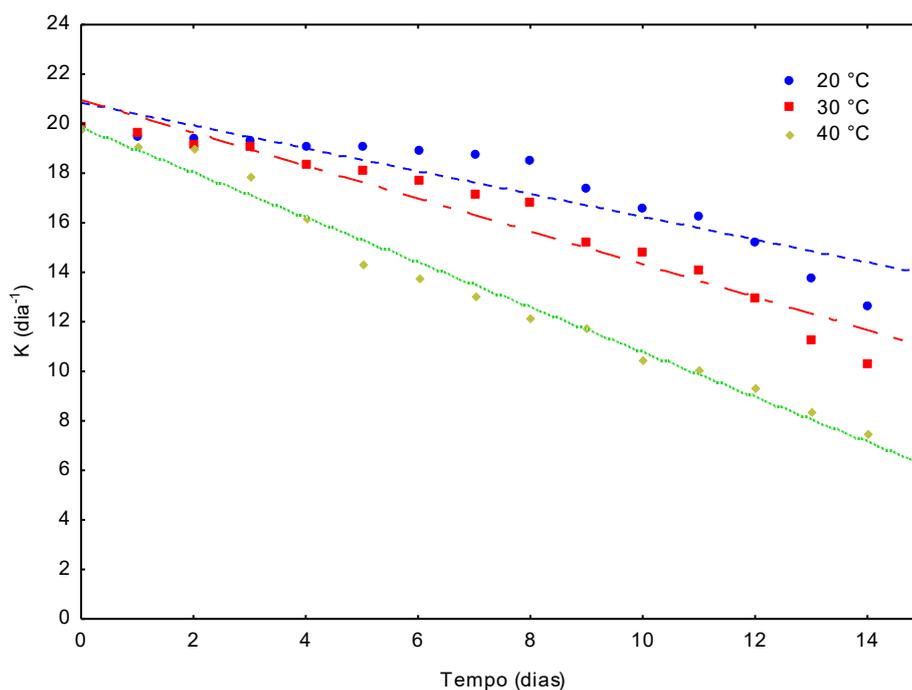


Figura 4.14 – Modelo cinético de ordem zero da variação das antocianinas totais da polpa de pitaia em pó selecionada nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C

Na Tabela F.2 (Apêndice F) encontra-se a representação gráfica da equação de Arrhenius, da constante cinética de ordem zero para a degradação das antocianinas totais da polpa de pitaia em pó da Formulação F4.

Na Tabela 4.44 têm-se os parâmetros da equação de Arrhenius e coeficientes de temperatura (Q_{10}) da degradação das antocianinas totais da polpa de pitaia em pó. Verifica-se que a energia de ativação, calculada a partir dos valores da inclinação da reta, $-E_a/R$, foi de $25,83 \text{ KJ/mol}^{-1}$, com R^2 igual a 0,9993. Nota-se ainda que o maior valor de coeficiente de reação foi de 1,44 entre as temperaturas de 20 e 30 °C. Hongmei e Meng (2015) e Mahdavi et al. (2016) ao analisarem a estabilidade das antocianinas presentes no pó de repolho roxo e berberis (*Berberis vulgaris*), respectivamente, observaram que a degradação das antocianinas aumentou quando a temperatura de armazenamento também aumentou; constataram também que a cinética de degradação seguiu a reação de primeira ordem.

Tabela 4.44 - Parâmetros da equação de Arrhenius e coeficientes de reação (Q_{10}) para degradação das antocianinas totais da polpa de pitaia em pó

Intervalo (°C)	Parâmetros de Arrhenius			Coeficiente de temperatura (Q ₁₀)	
	A (dia ⁻¹)	E _A (KJ/mol ⁻¹)	R ²	(20-30 °C)	(30-40 °C)
20 - 40	18636,92	25,83	0,9993	1,44	1,36

6.8.2 Degradação das betacianinas

Na Tabela F.3 (Apêndice F) encontram-se os valores médios das betacianinas (mg/100g) para as amostras em pó da Formulação F4, armazenadas por um período de 14 dias, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C. Verifica-se que as betacianinas presentes na amostra diminuíram com o aumento do tempo de armazenamento, nas três temperaturas, com valores médios variando entre 52,10 e 40,88; 51,93 e 35,53; e 51,92 e 32,24 para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C, respectivamente.

Na Figura 4.15 têm-se a cinética de degradação das betacianinas presentes na polpa de pitaita em pó, analisadas num período de 14 dias nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C. Observa-se que maiores temperaturas de armazenamento resultaram em maiores degradações.

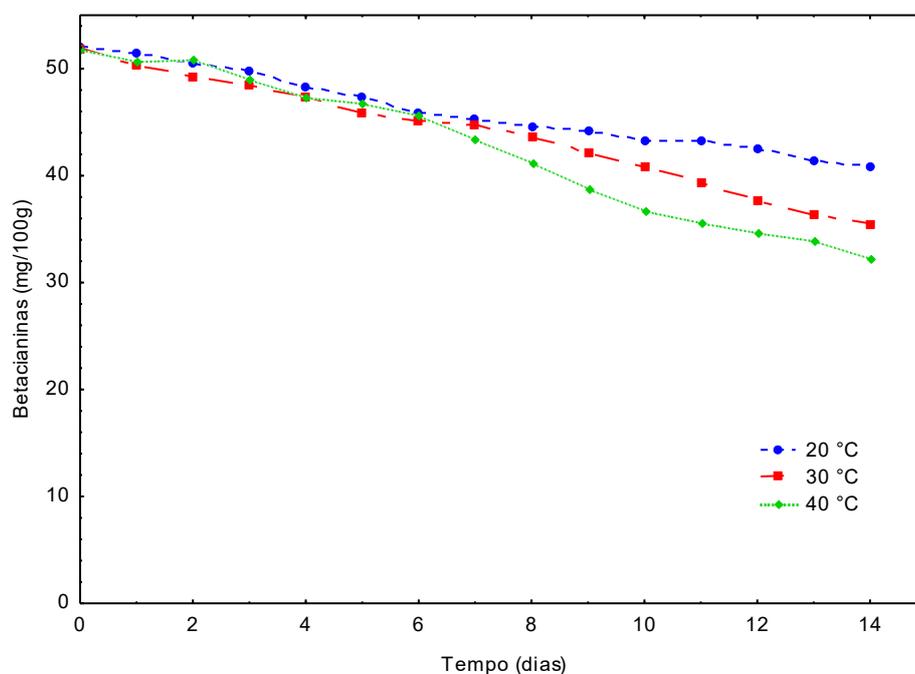


Figura 4.15 – Cinética de degradação das betacianinas da polpa de pitaita em pó nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C

Na Tabela 4.45 estão apresentados os parâmetros cinéticos da degradação das betacianinas (mg/100g) para as amostras em pó da Formulação F4, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C. Constata-se que os maiores valores de coeficientes de determinação (R^2) foram para reação de ordem zero, com R^2 superiores a 0,97. Com o aumento da temperatura observa-se aumento da constante de reação (k) e redução do tempo de meia vida ($\Theta_{(1/2)}$).

Tabela 4.45 - Parâmetros cinéticos de degradação das betacianinas da polpa de pitáia em pó selecionada nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C

Ordem zero			
	20 °C	30 °C	40 °C
A₀ (mg/100 g)	51,7561	51,9527	53,2146
k (dia⁻¹)	0,8148	1,1510	1,5117
R²	0,9788	0,9914	0,9825
$\Theta_{(1/2)}$ (dia)	31,75	22,57	17,60
Primeira Ordem			
	20 °C	30 °C	40 °C
A₀ (mg/100 g)	51,9426	52,5303	54,2444
k (dia⁻¹)	0,0162	0,0266	0,0363
R²	0,9848	0,9822	0,9753
$\Theta_{(1/2)}$ (dia)	42,83	26,05	19,09
Segunda Ordem			
	20 °C	30 °C	40 °C
A₀ (mg/100 g)	52,1648	53,3333	55,8347
k (dia⁻¹)	0,0004	0,0006	0,0009
R²	0,9889	0,9675	0,9629
$\Theta_{(1/2)}$ (dia)	50,25	30,21	20,32

Na Figura 4.16 têm-se o modelo cinético de ordem zero da degradação das betacianinas da polpa de pitáia em pó da Formulação F4, em função do tempo, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C. Observa-se que a maior temperatura de armazenamento (40 °C) resultou em perdas maiores de betacianinas.

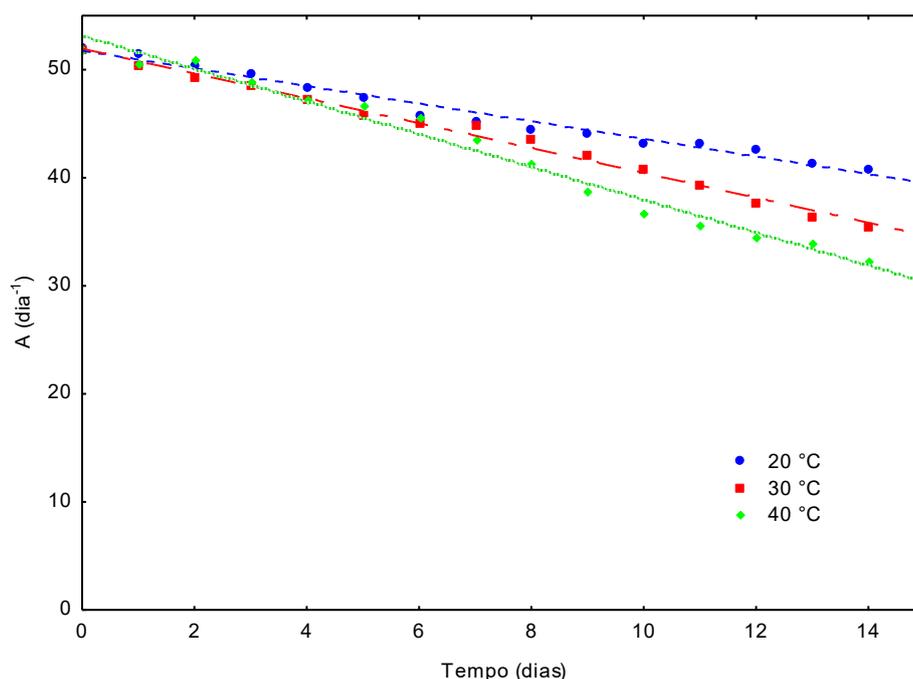


Figura 4.16 – Modelo cinético de ordem zero da variação das betacianinas da polpa de pitaia em pó nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C

Na Tabela F.4 (Apêndice F) encontra-se a representação gráfica da equação de Arrhenius, da constante cinética de ordem zero para a degradação das betacianinas da polpa de pitaia em pó da Formulação F4.

Na Tabela 4.46 têm-se os parâmetros da equação de Arrhenius e coeficientes de reação (Q_{10}) da degradação das betacianinas da polpa de pitaia em pó da Formulação F4. Consta-se que a energia de ativação, calculada a partir dos valores da inclinação da reta, – E_a/R , foi de $23,58 \text{ KJ/mol}^{-1}$, com R^2 igual a 0,9976. Nota-se ainda que o menor valor do coeficiente de temperatura foi de 1,31, entre 30 e 40 °C. Güneser (2016) estudando a estabilidade térmica das betalainas no leite de vaca adicionado com extrato de beterraba durante o aquecimento de 70 a 90 °C observou que a reação de primeira ordem representou o melhor ajuste com valores de energia de ativação equivalente a $42,45 \text{ KJ/mol}$ e coeficientes de reação (Q_{10}) de 1,36 e 1,67.

Tabela 4.46 - Parâmetros da equação de Arrhenius e coeficientes de reação (Q_{10}) para degradação das betacianinas totais da polpa de pitaia em pó selecionada

Intervalo (°C)	Parâmetros de Arrhenius			Coeficiente de temperatura (Q ₁₀)	
	A (dia ⁻¹)	E _A (KJ/mol ⁻¹)	R ²	(20-30 °C)	(30-40 °C)
20 - 40	13145,04	23,58	0,9976	1,41	1,31

4.8.3 - Intensidade de vermelho (+a*)

Na Tabela F.5 (Apêndice F) estão apresentados os valores médios da intensidade de vermelho (+a*) da pitáia em pó obtida da Formulação F4, armazenadas por um período de 14 dias, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C.

Na Figura 4.17 encontra-se a cinética de degradação da intensidade de vermelho do pó (Formulação F4) da polpa de pitáia, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C. Observa-se que quanto maior a temperatura menores os valores observados de intensidade de vermelho.

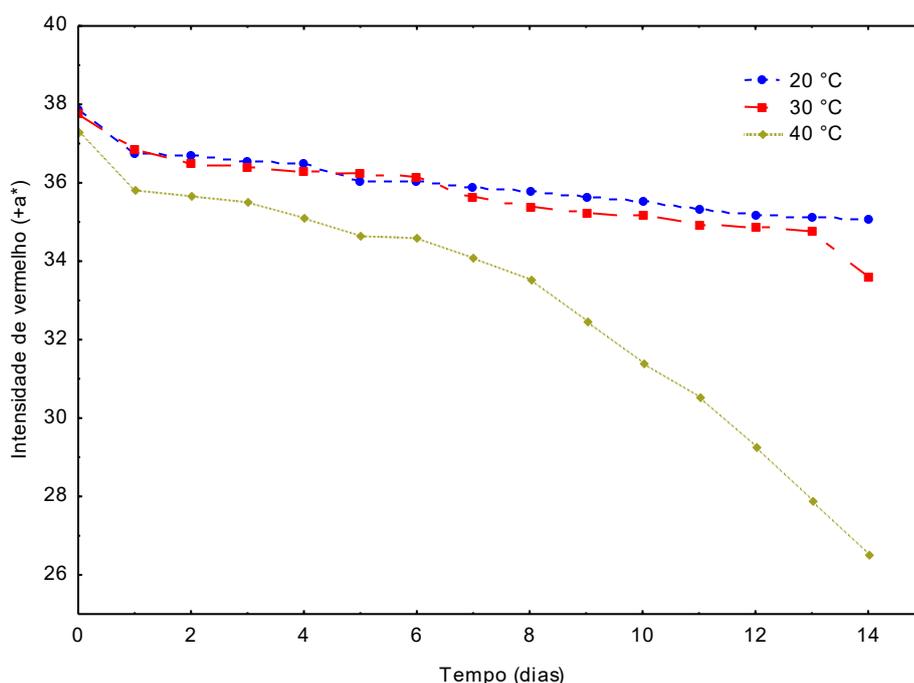


Figura 4.17 – Cinética de degradação da intensidade de vermelho da polpa de pitáia em pó nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C

Na Tabela 4.47 estão apresentados os parâmetros cinéticos da degradação da intensidade de vermelho da amostra em pó obtida da Formulação F4, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C. Constata-se que os maiores valores de coeficientes de determinação (R²) foram para reação de ordem zero. Souza et al. (2014) ao analisarem a estabilidade a

intensidade de vermelho (+a*) obtidos por secagem por aspersão do bagaço da uva bordô (*Vitis labrusca*) adicionados de maltodextrina (5%) e proteína isolada de soja (5%), encontraram a reação de primeira ordem como a melhor, apresentando os maiores valores de coeficiente de determinação.

Tabela 4.47 - Parâmetros cinéticos de degradação da intensidade de vermelho (+a*) da polpa de pitaia em pó da Formulação F4, para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C

Ordem zero			
	20 °C	30 °C	40 °C
A₀	37,1385	37,2548	37,7609
k (dia⁻¹)	0,1624	0,2200	0,6844
R²	0,9050	0,9283	0,9224
Θ_(1/2) (dia)	114,31	84,67	27,58
Primeira Ordem			
	20 °C	30 °C	40 °C
A₀	37,1439	37,2741	38,1113
k (dia⁻¹)	0,0044	0,0062	0,0214
R²	0,9118	0,9271	0,9009
Θ_(1/2) (dia)	154,24	112,37	32,44
Segunda Ordem			
	20 °C	30 °C	40 °C
A₀	37,1747	37,2995	38,5802
k (dia⁻¹)	0,0001	0,0002	0,0007
R²	0,9184	0,9251	0,8763
Θ_(1/2) (dia)	219,96	143,84	38,64

Na Figura 4.18 têm-se o modelo cinético de melhor ajuste, o de ordem zero, para degradação da intensidade de vermelho da polpa de pitaia em pó, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C.

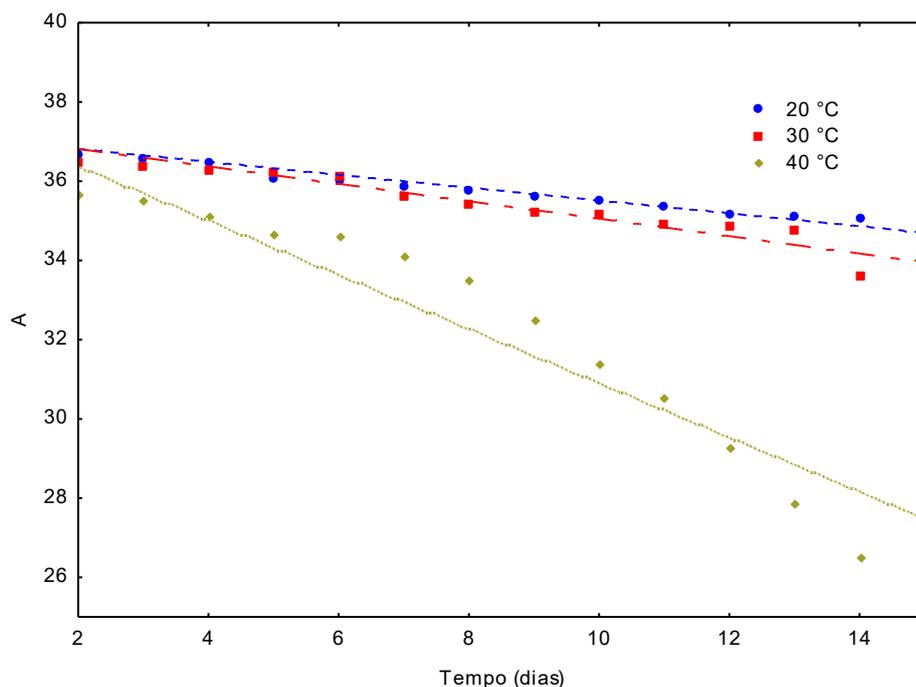


Figura 4.18 – Modelo cinético de ordem zero da variação da intensidade de vermelho da polpa de pitáia em pó nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C

Na Tabela F.6 (Apêndice F) encontra-se a representação gráfica da equação de Arrhenius da constante cinética de 2ª ordem para a degradação da intensidade de vermelho da polpa de pitáia em pó obtida da Formulação F4.

Na Tabela 4.48 têm-se os parâmetros da equação de Arrhenius e coeficientes de temperatura (Q_{10}) da degradação da intensidade de vermelho da polpa de pitáia em pó. Consta-se que a energia de ativação ($-E_a/R$) foi equivalente a $54,47 \text{ KJ.mol}^{-1}$, com R^2 igual a 0,88; e o menor valor de coeficiente de reação foi de 1,35 entre as temperaturas de 20 e 30 °C.

Tabela 4.48 - Parâmetros da equação de Arrhenius e coeficientes de reação (Q_{10}) para degradação da intensidade de vermelho da polpa de pitáia em pó da formulação F4

Intervalo (°C)	Parâmetros de Arrhenius			Coeficiente de temperatura (Q_{10})	
	A (dia ⁻¹)	$E_A(\text{KJ.mol}^{-1})$	R^2	(20-30 °C)	(30-40 °C)
20 - 40	725×10^6	54,47	0,8881	1,35	3,11

7- CONCLUSÕES

Com base no conjunto de dados obtidos neste trabalho, verifica-se que:

Caracterização química, física e fisico-química da polpa de pitáia in natura e das formulações

A utilização de aditivos aumentou o teor sólidos e o pH; reduziu o teor de umidade, a acidez, a luminosidade e a intensidade de vermelho em relação à polpa in natura.

Seleção da formulação

- O aumento da concentração de goma xantana acarretou aumento nos valores de densidade e redução nos de *over-run*;
- A maior estabilidade da espuma foi obtida com a adição de 0,5 % de polisorbato 80 e 0,3% de goma xantana,;
- O tempo de batimento que produziu melhores valores de densidade e *over-run* foi de 15 min;
- A adição da maltodextrina nas proporções de 10, 15 e 20%, não alteraram significativamente os valores de densidade, *over-run* e estabilidade da espuma.

Secagem em camada de espuma da polpa de pitáia

- O modelo de Page foi o que representou os melhores ajustes aos dados experimentais da cinética de secagem das formulações, com valores de R^2 superiores a 0,99 e DQM inferiores a 0,03.

Caracterização química, física e fisico-química da polpa de pitáia em pó

- O aumento da temperatura acarretou reduções no teor de água e não influenciou o teor de sólidos solúveis; diminuiu com o aumento tanto da temperatura como da concentração de maltodextrina;

- O aumento na proporção de maltodextrina provocou reduções no teor de água, na atividade de água, no pH, nas densidades absoluta e compactada e na higroscopicidade;
- A luminosidade, intensidade de vermelho e intensidade de azul sofreram influência tanto da temperatura como da concentração de maltodextrina;
- Os pós se enquadram na classificação de fluxo médio com excelente fluidez conforme o Fator de Hausner e Índice de Carr;
- As betacianinas e antocianinas totais presentes nos pós diminuíram a medida em que se aumentou a concentração de maltodextrina.

Seleção do melhor pó

- O pó elaborado com 10% de maltodextrina, obtido a 70 °C foi considerado o melhor, com baixo teor de água., e atividade de água e índice de Carr inferior a 15%, higroscopicidade inferior a 17%; e valores mais altos de betacianinas e antocianinas.

Isotermas de adsorção de água

- O modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água da amostra de pitaia em pó foi o de Peleg, com coeficientes de determinação $R^2 \geq 0,99$ e os menores desvios percentuais médios $P \leq 3,6\%$;
- As isotermas de adsorção de água foram classificadas como sigmoideal do tipo II.

Armazenamento acelerado

- As embalagens laminadas foram mais eficientes para a condição de temperatura de 20 °C;
- O aumento da temperatura e no decorrer do armazenamento acarretou aumentos no teor de água, acidez, atividade de água, intensidade de vermelho e insolubilidade;
- Houve tendência à redução na luminosidade, intensidade de azul, betacianinas e antocianinas totais.

Cinéticas de degradação

- As antocianinas totais e betacianinas presentes na amostra em pó da polpa de pitiaia diminuíram com o aumento do tempo de armazenamento;
- Os tempos de meia vida diminuíram com o aumento da temperatura e as maiores degradações de antocianinas, betacianinas e intensidade de vermelho ocorreram nas maiores temperaturas de armazenamento;
- As cinéticas de degradação de antocianinas, betacianinas e intensidade de vermelho seguiram a equação de reação de ordem zero.

8- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASI, E.; AZIZPOUR, M. Evaluation of physicochemical properties of foam mat dried sour cherry powder. **Food Science and Technology**, v. 68, p. 105-110, 2016.

AGUIAR, J. P. L.; SOUZA, F. C. A. Dehydration and spraying of buriti pulp (*Mauritia flexuosa* L.): shelf-life evaluation. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 39, p. 1-7, 2017.

ALCÂNTARA, S. R.; ALMEIDA, F. de 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, p. 81-87, 2009.

ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.7, n. 1, p. 11-20, 2007.

ALVES, C. O. W.; SILOCHI, R. M. H. Q. Caracterização dos agricultores familiares de frutas e hortaliças e a qualidade na comercialização. **Revista Faz Ciência**, v. 12, n. 15, p. 121-136, 2010.

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.

AMBEKAR, S.A.; GOKHALE, S.V.; LELE, S. S. Process optimization for foam mat-tray drying of *Passiflora edulis* Flavicarpa pulp and characterization of the dried powder. **International Journal of Food Engineering**, n. 9, p. 433-443, 2013.

ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA 2016. Santa Cruz do Sul: **Editora ARGADOÑA**, E. J. S. **Goiabas desidratadas osmoticamente e secas: avaliação de um sistema osmótico semicontínuo, da secagem e da qualidade**. 2005. 154 f. Dissertação

(Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, 2005.

ASOKAPANDIAN, S.A.; 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, p. 692-701, 2016.

AZEREDO, H. M. C. Fundamentos da estabilidade dos alimentos, 2ª edição, Brasília, 2012.

AZIZPOUR, M. A.; MOHEBBI, M.; KHODAPARAST, M. H. H.; VARIDI, M. Optimization of foaming parameters and investigating the effects of drying temperature on the foam-mat drying of shrimp (*Penaeus indicus*). **Drying Technology**, v. 32, p. 374-384, 2014.

AZIZPOUR, M.; MOHEBBAT, M.; KHODAPARAST, M. H. H. Effects of foam-mat drying temperature on physic-chemical and microstructural properties of shrimp powder. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 34, p. 122-126, 2016.

BAG, S. K.; SRIVASTAV, P.P.; MISHRA, H. N. Optimization of process parameters for foaming of bael (*Aegle marmelos* L.) fruit pulp. **Food Bioprocess Technology**, v. 4, p. 1450-1458, 2011.

BAKAR, J.; EE, S. C.; MUHAMMAD, K.; HASHIM, D. M.; ADZAHAN, N. Spray-Drying optimization for red pitaya peel (*Hylocereus polyrhizus*). **Food Bioprocess Technology**, v. 6, p. 1332-1342, 2013.

BAPTESTINI, F. M.; CORRÊA, P. C.; JUNQUEIRA, M. S.; RAMOS, A. M.; VANEGAS, J. D. B.; COSTA, C. F. Modelagem matemática da secagem de espuma de gravilola. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 1203-1208, 2015.

BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M.N. **Fundamentos de tecnologia de alimentos**. São Atheneu, 1998. v. 3, 317p.

BERISTAIN, C. I.; CORTÉS, R.; CASILLAS, M. A.; DÍAZ, R. Obtainment of pineapple juice powder by foam-mat drying. **Arch Latinoam Nutr.**, v. 41, n. 2, p. 238-245, 1991.

BLAHOVEC, J. Sorption isotherms in materials of biological origin mathematical and physical approach. **Journal of Food Engineering**, v. 65, p. 489-495, 2004.

BOTREL, D. A.; RODRIGUES, I. C. B.; DE SOUZA, H. J. B.; FERNANDES, R. V. B. Application of inulin in thin-layer drying process of araticum (*Annona crassiflora*) pulp. **Food Science and Technology**, v. 69, p. 32-39, 2016.

BRANCO, I. G.; KIKUCHI, T. T.; ARGANDOÑA, E. J. S.; MORAES, I. C. F.; HAMINIUK, C. W. I. Drying kinetics and quality of uvaia (*Hexachlamys edulis* (O. Berg)) powder obtained by foam-mat drying. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, p. 1703-1710, 2016.

BRASIL. Ministério da saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Métodos químicos e físico-químicos para análises de alimentos**. Brasília: Ministério da Saúde. 2008. 1020 p.

BREDA, C. A.; JUSTI, P. N.; SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J. Efeito da desidratação *foam mat* na retenção da vitamina C da polpa de cajamanga. **Brazilian Journal of Food and Nutrition**, v. 24, n. 2, p. 189-193. 2013.

BRITTON, N. L.; ROSE, J. N. Descriptions and illustrations of plants of the cactus Family. **Dover Publication**, n. v.1/2, p. 183-195, 1963.

BRUNINI, M. A.; CARDOSO, S. S. Qualidade de pitayas de polpa branca armazenadas em diferentes temperaturas. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 3, p. 78-84, 2011.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and Properties of Spray-dried *Amarantus* Betacyanin Pigments. **Journal of Food Science**, v.65, n.7, p.1248-1252, 2000.

CALISKAN, G.; DIRIM, S. N. The effect of different drying processes and the amounts of maltodextrin addition on the powder properties of sumac extract powders. **Powder Technology**, v. 287, p. 308-314, 2016.

CANTO, A.R. **El cultivo de pitahaya em Yucatan**. Gobierno Del Estado de Yucatan: Universidad Autónoma Chapingo, 1993. 53p.

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

CAPITANI, C. D. **Interação de proteínas do soro de leite com polissacarídeo: fracionamento e estudo das propriedades funcionais dos complexos**. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição). 2004. Universidade Estadual de Campinas. Campinas.

CAPRISTE, G. H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorptional equilibrium data for starch containing foods tuffs. **Journal of Food Science**, v. 47, p. 1501-1507, 1982.

CARR, R. L. Evaluating flow properties of powders. **Chemistry Engineering**, v. 72, p. 116-124, 1965.

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.

CASTRO, D. S. B. **Obtenção do extrato de pitaya e avaliação da sua atividade antioxidante e antiproliferativa em linhagens celulares humanas de câncer de mama**. 2015. 91 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CHANDRAN, J.; NISHA, P.; SINGHAL, R. S.; PANDIT, A. B. Degradation of colourin beetroot (*Beta vulgaris* L.): a kinetics study. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 10, p. 2678-2684, 2014.

CHAUX-GUTIÉRREZ, A. M.; PÉREZ-MOTERROZA, E. J.; TELIS, V. R. N.; MAURO, M. A. The physical and morphological characteristics of mango powder (*Mangifera indica* L. cv Tommy Atkins) produced by foam-mat drying. **Food Biophysics**, v. 12, p. 69-77, 2017.

CHIRIFE, J.; TIMMERMANN, E. O.; IGLESIAS, H. A.; BOQUET, R. Some features of the parameter k of the GAB equation as applied to sorption isotherms of selected food materials. **Journal of Food Engineering**, v. 15, p. 75-82, 1992.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 783 p.

COMUNIAN, T. A.; MONTERREY-QUINTERO, E. S.; THOMAZINI, M.; BALIEIRO, J. C. C.; PICCONE, P.; PITTIA, P.; FAVARO-TRINDADE, C. S. Assessment of production efficiency, physicochemical properties and storage stability of spray-dried chlorophyllide, a natural food colourant, using gum arabic, maltodextrin and soy protein isolate-based carrier systems. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, p. 1259-1265, 2011.

CONEGERO, J.; RIBEIRO, L. C.; MONTEIRO, A. R. G.; COSTA, J. M. C. Hygroscopic trend of liophilized 'mangaba' pulp powder. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 5, p. 356-360, 2017.

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. 020-026, 2015.

CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MARTINAZZO, A. P.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do

feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 501-510, 2007.

DACANAL, G. C.; MENEGALLI, F. C.; Experimental study and optimization of the agglomeration of acerola powder in a conical fluid bed. **Powder Technology**, v. 188, p. 187-194, 2009.

DÍAZ-AYALA, F.; ÁLVAREZ-GARCÍA, G. S.; SIMÁ-MOO, E. Drying kinetics of slices of nopal (*Opuntia ficus indica*) cladodes in a convective transversal flow dryer. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, p. 879-887, 2012.

DEMIRAY, E.; SEKER, A.; TULEK, Y. Drying kinetics of onion (*Allium cepa* L.) slices with convective and microwave drying. **Heat Mass Transfer**, v. 53, p. 1817-1827, 2017.

ENCISO, T. O.; ZAZUETA, Ma. E. I.; RANGEL, Ma. D. M.; TORRES, J. B. V.; ROMERO, M. V.; VERDUGO, S. H. Calidad postcosecha de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw.) cosechados en tres estados de madurez. *Revista Fitotecnia Mexicana*, Chapingo, v. 34, n. 1, p. 63-72, 2011.

ESQUIVEL, P.; STINTZING, F. C.; CARLE, R. Pigment pattern and expression of colour in fruits from different *Hylocereus* sp. genotypes. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 8, p. 451-457, 2007.

FALADE, K. O.; OKOCHA, J. O. Foam-Mat Drying of Plantain and Cooking Banana (*Musa* spp.). **Food Bioprocess and Technology**, v. 5, p. 1173-1180, 2012.

FALADE, K. O.; OMOJOLA, B. S. Effect of processing methods on physical, chemical, rheological, and sensory properties of okra (*Abelmoschus esculentus*). **Food Bioprocess and Technology**, v. 3, p. 387-394, 2010.

FALADE, K. O.; ONYEOZIRI, N. F. Effects of cultivar and drying method on color, pasting and sensory attributes of instant yam (*Dioscorea rotundata*) flours. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, p. 879-887, 2012.

FEBRIANTO, A. M.; KUMALANINGSIH, S.; GHOZALI, T. G. G. Process Engineering of making powder milk with drying foam-mat method (study of influence type and emulsifier concentration on milk powder physical quality). **Journal of Food Science and Technology**, v. 1, n. 11, p. 200-203, 2011.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos**. 2 ed, Editora Artmed, 2006. 608p.

FERNANDES, R. V. B.; QUEIROZ, F.; BOTREL, D. A.; ROCHA, V. V.; SOUZA, V. R.; LIMA, C. F. Estudo da adição de albumina e da temperatura de secagem nas características de polpa de tomate em pó. **Revista de Ciência Agrárias**, v.35, n.3, p.1267-1278, 2014.

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

FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; MARTUCCI, E. T. Alterações de cor da acerola em pó sob condições controladas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 49-57, 2005.

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

FRANCO, T. S.; ELLENDERSEN, L. N.; FATTORI, D.; GRANATO, D.; MASSON, M. L. Influence of the addition of ovalbumin and emulsifier on the physical properties and stability of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) juice foams prepared for foam-mat drying process. **Food Bioprocess and Technology**, v. 158, p. 48-57, 2015.

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. **Food Science and Technology**, v. 66, p. 503-513, 2016.

FUJITA, A.; SOUZA, V. B.; DAZA, L. D.; FÁVARO-TRINDADE, C. S.; GRANATO, D.; GENOVESE, M. I. Effects of spray-drying parameters on *in vitro* functional properties of camu-camu (*Myrciaria dubia* Mc. Vaugh): A typical amazonian fruit. **Food Chemistry**, v. 82, n. 5, p. 1083-1091, 2017.

FURTADO, G. F.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; SANTOS, P. Secagem de abacaxi (*Ananás comosus* (L.) merril), variedade pérola utilizando a técnica de secagem em camada de espuma. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 16, n. 4, p. 387-394, 2014.

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

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

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, 2016.

GARCÍA-CRUZ, L.; DUEÑAS, M.; SANTOS-BUELGAS, C.; VALLE-GUADARRAMA, S.; SALINAS-MORENO, Y. Betalains and phenolic compounds profiling and antioxidant capacity of pitaya (*Stenocereus* spp.) fruit from two species (*S. Pruinus* and *S. stellatus*). **Food Chemistry**, v. 234, p. 111-118. 2017.

GARCÍA-CRUZ, L.; VALLE-GUADARRAMA, S.; SALINAS-MORENO, Y.; JOAQUÍM-CRUZ, E. Physical, chemical, and antioxidant activity characterization of pitaya (*Stenocereus pruinosus*) fruits. **Brazilian Journal of Food and Nutrition**, v. 68, p. 403-410. 2013.

GARCÍA-LUCAS, K. A.; MÉNDEZ-LAGUNAS, L. L.; RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, J.; CAMPANELLA, O. H.; PATEL, B. K.; BARRIADA-BERNAL, L. G. Physical

properties of spray dried *Stenocereus griseus* pitaya juice powder. **Journal of Food Process Engineering**, 2016.

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; MAGALHÃES, F. E. A.; BAPTESTINI, F. M. Contração volumétrica e forma dos frutos de mamona durante a secagem. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 33, n. 1, p. 1-8, 2011.

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, p. 73-83, 2008.

GOUVEIA, J. P. G.; ALMEIDA, F. A. C.; FARIAS, E. S.; SILVA, M. M.; CHAVES, M. C. V.; REIS, L. S. Determinação das curvas de secagem em frutos de cajá. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. especial, n. 1, p. 65-68, 2003.

GUIMARÃES, M. K. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Foam-mat drying kinetics of keitt mango pulp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 30, n. 1, p. 172-180, 2017.

GÜNESER, O. Pigment and color stability of beetroot betalains in cow milk during
GUPTA, K.; ALAM, M. S. Formulation and optimization of foam mat dried grape bar. **Department of Processing and Food Engineering**, v. 16, n. 4, p. 228-239, 2014.

HAUSNER, H. H. Friction conditions in a mass of metal powder. **Int. J. Powder Metall.** v. 3, p. 7-13, 1967.

HAYES G. D. Food Engineering Data Handbook. **Longman Scientific & Technical**, p. 172, 1987.

HERBACH, K. M.; STINTZING, F. C.; CARLE, R. Betalain stability and degradation - Structural and chromatic aspects. **Journal of Food Science**, v.71, p. 41-50, 2006.

HONGMEI, Z.; MENG, Z. Microencapsulation of anthocyanins from red cabbage. **International Food Research Journal**, v. 22, n. 6, p. 2327-2332, 2015.

ISLAM, M. Z.; KITAMURA, Y.; KOKAWA, M.; MONALISA, K. Degradation kinetics and storage stability of vacuum spray-dried micro Wet-Milled orange juice (*Citrus unshiu*) powder. **Journal Bioprocess Technology**, v. 10, p. 1002-1014, 2017.

JULIANO, F. F.; SILVA, P. O. M.; CASEMIRO, R. C.; COSTA, H.; SPOTO, M. H. F. Polpa de camu-camu liofilizada e armazenada em diferentes. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 8, n. 2, p. 1274-1384, 2014.

K. Foam mat drying of food materials: a review. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, p. 3165-3174, 2015.

KADAM, D. M.; BALASUBRAMANIAN, S. Foam mat drying of tomato juice. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 35, p. 488-495, 2011.

KADAM, D. M.; RAI, D. R.; PATIL, R. T.; WILSON, R. A.; KAUR, S.; KUMAR, R. Quality of fresh and stored foam mat dried Mandarin powder. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, p. 793-799, 2011.

KADAM, D.M.; BALASUBRAMANIAN, S. Foam mat drying of tomato juice. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 35, p. 488-495, 2011.

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**, 2012.

KARIM, A. A.; CHEE WAI, C. Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) purée. Stability and air drying characteristics. **Food Chemistry**, v. 64, p. 337-343, 1999.

KARIM, A. A.; CHEE-WAI, C. Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) purée: stability and air drying characteristics. **Food Chemistry**, v. 64, n. 3, p. 337-343, 1999.

KAUSHAL, M.; SHARMA, P. C.; SHARMA, R. Formulation and acceptability of foam mat dried seabuckthorn (*Hippophae salicifolia*) leather. **Journal Food Science Technology**, v. 50, n. 3, p. 78-85, 2013.

KHA, T. C.; NGUYEN, M.; ROACH, P. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of Gac powder. **School of Environmental and Life Sciences**, 2010.

KRUMREICH, F.; D'AVILA, R. F.; FREDA, 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. 13, n. 2, p. 4-17, 2016.

KUDRA, T.; RATTI, C. Foam-Mat drying: Energy and cost analysis. **Can Biosyst Eng**, v. 48, n. 3, p. 27-3.32, 2006.

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

LEWIS, W. K. The rate of drying of solid materials. **Industrial and Engineering Chemistry**, v. 13, p. 427-432, 1921.

LIM, H. K.; YUSOF, Y. A.; CHIN, R. A.; TALIB, R. A.; ENDAN, J.; AZIZ, M. G. Effect of extraction parameters on the yield of betacyanins from pitaya fruit (*Hylocereus polyrhizus*) pulps. **Journal of food Agriculture & Environment**, v. 9, n. 3, p. 158-162, 2011.

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

LIMA, V. L. A. G.; MELO, E. A.; LIMA, D. E. S. Fenólicos e carotenóides totais em pitanga. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 3, p. 447-450, 2002.

LIMA, C. A.; FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V.; Diversidade genética intra e interespecífica de pitaya com base nas características físico-químicas de frutos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 4, p. 1066-1072, 2013.

LINS, A. D. F.; ROCHA, A. P. T.; GOMES, J. P.; FEITOSA, R. M.; ARAÚJO, 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.

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.

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.

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 & Technologie**, v. 18, p. 111-117, 1985.

LOUREIRO, M. N.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; OLIVEIRA, E. N. A. Armazenamento de buriti em pó: efeito da embalagem nas características físicas e químicas. **Journal Biociencia**, v. 29, n. 5, p. 1092-1100, 2013.

MADUREIRA, I. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J.; SILVA FILHO, E. D. Drying kinetics of cactus pear pulp. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 13, p. 345-354, 2011.

MAHDAVI, S. A. Storage stability of encapsulated barberry's anthocyanin and its application in jelly formulation. **Journal of Food Engineering**, v. 181, p. 59-66, 2016.

MAHDAVI, S.A.; JAFARI, S.M.; ASSADPOOR, E.; GHORBANI, M. Storage stability of encapsulated barberry's anthocyanin and its application in jelly formulation. **Journal of Food Engineering**, v. 85, p. 379-385, 2016.

MARQUES, G. M. R.; ARRUDA, R. S.; SILVA, A. A. L. Secagem de caldo de cana em leite de espuma e caracterização físico-química do produto. **Brasilian Journal of Food Research**, v. 7, n. 2, p. 16-29, 2016.

MARQUES, V. B.; MOREIRA, R. A.; RAMOS, J. D.; ARAÚJO, N. A.; SILVA, F. O. R. Fenologia reprodutiva de pitaiá vermelha no município de Lavras-MG. **Ciência Rural**, v. 41, n. 6, p.984-987, 2011.

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, p. 10-17, 2013.

MELO, P. C.; DEVILLA, I. A.; LISBOA, C. F.; SANTOS, M. M.; DUARTE, P. H. T. Kinetics drying of *Spirulina platensis*. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 45, p. 4683-4691, 2016.

MIZRAHI, Y.; NERD, A.; NOBEL, P. S. Cacti as crop. **Horticultural Reviews**, v. 18, p. 291–320, 1997.

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.

MOSER, P.; TELIS, V. R. N.; NEVES, N. A.; GARCÍA-ROMERO, E.; GÓMEZ-ALONSO, S.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I. Storage stability of phenolic compounds in powdered BRS Violeta grape juice microencapsulated with protein and maltodextrin blends. **Food Chemistry**, v. 214, p. 308-318, 2017.

MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Moisture sorption isotherms and storage study of spray dried tamarind pulp powder. **Journal Powder Technology**, v. 291, p. 322-327, 2016.

NAKANAEN, P.; CHAROENTHAIKIL, P.; KERDSUP, P. Physicochemical properties and nutritional Compositions of Foamed banana powders (Pisang Awak, *Musa sapientum* L.) dehydrated by various drying methods **Agricultural Technology and Biological Sciences**, v. 13, n. 3, p. 177-191, 2016.

NUNES, E. N.; SOUSA, A. S. B.; LUCENA, C. M.; SILVA, S. M.; LUCENA, R. F. P.; ALVES, C. A. B.; ALVES, R. E. Pitaia (*Hylocereus* sp.): Uma revisão para o Brasil. **Revista Gaia Scientia**, v. 8, n. 1, p. 90-98, 2014.

OJO, O. C.; THERESA, E.; ADEJOH, O.; EKEKWE, O. R.; DAVID, E.; MAJI, A. A. Foam–Mat Dehydration Effect on the Physical Properties, Micronutrient Contents and Sensory Characteristics of Pineapple and Cashew Apple Powder. **British Journal of Applied Science and Technology**, v. 7, n. 2, p. 205-212, 2015.

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

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

OLIVEIRA, M. I. S.; TONON, R. V.; NOGUEIRA, R. I.; CABRAL, L. M. C. Estabilidade da polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores. **Journal of Food Technology**, v. 16, n. 4, p. 310-318, 2013.

OLIVEIRA, R. A.; OLIVEIRA, W. P.; PARK, K. J. Determinação da difusividade efetiva de raiz de chicória. **Engenharia Agrícola**, v. 26, p. 181-189, 2006.

OTÁLORA, M. C.; CARRIAZO, J. G.; ITURRIAGA, L.; NAZARENO, M. A.; OSORIO, C. A. 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, p. 174-181, 2015.

PAGE, G. E. (1949). Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers. MSc. Thesis. West Lafayette, IN: Purdue University.

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, p. 83-94, 2008.

POLITI, F. A. S. **Estudos farmacognósticos e avaliação de atividades biológicas de extratos obtidos das cascas pulverizadas de *Endopleura uchi* (Huber) Cuatrec.** 2009. 143 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas), Universidade Estadual Paulista, Araraquara, SP.

QUIRIJNS, E. J.; VAN BOXTEL, A. J.; VAN LOON, W. K. ; VAN STRATEN, G. RAJKUMAR P.; KAILAPPAN, R.; VISWANATHAN, R.; RAGHAVAN, G. S. V. Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in acontinuous type foam mat dryer. **Journal Food Engineering**, v. 79, n. 4, p. 1452–1459, 2007.

REIS, D. S.; FIGUEIREDO NETO, A.; FERRAZ, A.V.; FREITAS, S. T. Produção e estabilidade de conservação de farinha de acerola desidratada em diferentes temperaturas. **Journal of Food Technology**, v. 20, 2017.

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.

SALAH, M. R.; MOHEBBI, M.; TAGHIZADEH, M. Foam- mat drying of cantaloupe SANGAMITHRA, A.; VENKATACHALAM, S., JOHN, S. G.; KUPPUSWAMY, SANTANA, A. A.; OLIVEIRA, R. A.; TELIS, V. R. N. Physicochemical characterization of jussara pulp powder by spray-drying. **B.CEPPA**, v. 34, n. 1, p. 123-132, 2016.

SANTOS, A. A. C.; FLORÊNCIO, A. K. G. D.; ROCHA, E. M. F. F.; COSTA, J. M. C. C. Avaliação físico-química e comportamento higroscópico de goiaba em pó obtida por *spray-dryer*. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 3, p. 508-514, 2014.

SANTOS, A. S. **Produção de pó de pitaia vermelha (*hylocereus costaricensis*) via atomização *spray drying* para enriquecimento de iogurte tipo grego**. 2015. 114 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia do Ceará, Limoeiro do Norte.

SANTOS, D. C.; ROCHA, A. P. T.; GOMES, J. P.; OLIVEIRA, E. N. A.; ALBUQUERQUE, E. M. B.; ARAÚJO, G. T. Storage of ‘umbu-cajá’ pulp powder produced by lyophilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 12, p. 1118-1123, 2016.

SCHUBERT, H. Food Particle Technology. Part I: Properties of Particles and Particulate Food Systems. **Journal of Food Engineering**, v. 6, n.1, p. 1-32, 1987.

SHIGEMATSU, E.; EIK, N. M.; KIMURA, M.; MAURO, M. Influência de pré-tratamentos sobre a desidratação osmótica de carambolas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, p. 536-545, 2005.

SHISHIR, M. R. I.; TAIP, F. S.; SAIFULLAH, M.; KAZIZ, N. A.; TALIB, R. A. Effect of packaging materials and storage temperature on the retention of physicochemical properties of vacuum packed pink guava powder. **Journal Food Packaging and Shelf Life**, v. 12, p. 83-90, 2017.

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, A. D. F.; ROCHA, A. P. T.; SANTOS, D. C.; ARAÚJO, 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, 2016.

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. **Revista de Ciência e Agrotecnologia de Lavras**, v. 32, n. 6, p. 1899-1905, 2008.

SILVA, F. A.; AZEVEDO, C. A. V. A New Version of the assistat-statistical assistance software. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 4, Orlando. Anais... Orlando: American Society of Agricultural Engineers, 2006. p.393-396.

SILVA, G. J. F.; CONSTANT, P. B. L.; FIGUEIREDO, R. W.; MOURA, S. M. Formulação e estabilidade de corantes de antocianinas extraídas das cascas de jabuticaba (*Myrciaria ssp.*). **Alim. Nutr.**, v. 21, n. 3, p. 429-436, 2010.

SILVA, R. N. G.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; GALDINO, P. O. Armazenamento de umbu-cajá em pó. **Ciência Rural**, v. 35, n. 5, p. 1179-1184. 2005.

SING, B.; HATHAN, B. Effect of different packaging materials on the storage study of beetroot powder. **Asian Journal of Dairy and Food Research**, v. 36, n. 1, p. 58-62, 2017.

Sorption isotherms, GAB parameters and isosteric heat of sorption. **Journal Science Food Agric.**, v. 85, n. 11, p. 1805–1814, 2005.

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, 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, V. B.; FUJITA, A.; THOMAZINI, M.; SILVA, E. R.; LUCON JR, J. F.; GENOVESE, M. I.; FAVARO-TRINDADE, C. S. Functional properties and stability of spray-dried pigments from Bordo grape (*Vitis labrusca*) winemaking pomace. **Food Chemistry**, v. 164, p. 380-386, 2014.

SRITONGTAE, B.; MORGAN, M. R. A.; DUANGMAL, K. Drying kinetics, physic chemical properties, antioxidant activity and phenolic composition of foam-mat dried germinated rice bean (*Vigna umbellata*) hydrolysate. **Journal of Food Science and Technology**, 2017.

STATSOFT. **Statistica for Window - Computer programa manual. Versão 7.0** Tulsa: Statsoft Inc., 2007.

STRINGHETA, P.C.; **Identificação da estrutura e estudo da estabilidade dasbantocianinas extraídas da inflorescência de capim gordura (*Melinis minutiflora*, Pal de Beauv.)**, Campinas, 1991,138 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – UNICAMP.

TAOUKIS, P. S.; LABUZA, T. P.; SAGUY, I. S. Kinetics of food deterioration and shelf-life prediction. In: VALENTAS, K. J.; ROTSTEIN, E.; SINGH, R. P. **Hanbook of Food Engineering Praticce**. Boca Raton: CRC Press, p. 361-403, 1997.TAOUKIS, P. S.; LABUZA, T. P. Summary: integrative concepts. In: FENNEMA, O. R. (Ed.). **Food chemistry**. 3rd. ed. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 1013-1042.

TEOH, L. S.; LASEKAN, O.; AZEEZ, S. Quality characteristics and volatile compounds of foam mat dried corn flour quality characteristics and volatile compounds of foam mat dried corn flour. **Jounal of Food Quality**, v. 39, p. 456-464, 2016.

TEUNOW, E.; FITZPATRICK, J. J.; SYNNOT, E. C. Characterization of food powder flowability. **Journal of Food Engineering**, v. 39, n. 1, p. 31-37, 1999.

THUWAPANICHAYANAN, R.; PRACHAYAWARAKORN, S.; SOPONRONNARIT, S. Drying characteristics and quality of banana foam mat. **Journal of Food Engineering**, v. 86, p. 573-583, 2008.

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

TONON, R.V., BRABET, C., HUBINGER, M.D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açaí (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**, n. 88, p. 411-418, 2008.

TONON, V. R.; BRABET, C.; HUBINGER, M. Spray drying of acai juice (*Euterpe oleraceae* Mart.): Effect of inlet air temperature and type of carrier agent. **Journal of Food Process and Preservation**, v. 5, p. 691-700, 2011.

TORALLES, R. P.; VENDRUSCOLO, J. L.; VENDRUSCULO, C. T.; DEL PINO, F. A. B; ANTUNES, P. L. Determinação das constantes cinéticas de degradação do ácido ascórbico em purê de pêssego: efeito da temperatura e concentração. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 18-23, 2008.

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

ULLMANN, R.; RESENDE, O.; SALES, J. F.; CHAVES, T. H. Qualidade das sementes de pinhão manso submetidas à secagem artificial. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 3, p. 442-447, 2010.

VALENTE, P.P.S. da S. **Desidratação osmótica e secagem de abacaxi (*Ananás Comosus* (L.) Merrill), variedade pérola**. 2007. Dissertação (Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas.

VAN ARSDEL, W. B.; COPLEY, M. J.; MORGAN, A. I. **Food dehydration**. 2. Ed. Westport: The Avi Publishing, 1964, v. 2, 721p.

VEGA-GÁLVEZ, A.; AH-HEN, K.; CHACANA, M.; VERGARA, J.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J.; GARCÍA-SEGOVIA, P.; LEMUS-MONDACA, R.; DI SACALA, K. Effect of temperature and air velocity on drying kinetics, antioxidant capacity, total phenolic content, colour, texture and microstructure of apple (var. *Granny Smith*) slices. **Food Chemistry**, v. 132, p. 51-59, 2012.

VERGARA, C.; SAAVEDRA, K.; SAÉNZ, C.; GARCÍA J.; ROBERT, P. Microencapsulation of pulp and ultrafiltered cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) extracts and betanin stability during storage. **Food Chemistry**, v. 157, p. 246-251, 2014.

WANITCHANG, J. Maturity sorting index of dragon fruit: *Hylocereus polyrhizus*. **Journal of Food Engineering**, v. 10, n. 3, p. 409-416, 2010.

WANG, C. Y.; SINGH, R. P. Use of variable equilibrium moisture content in modelling rice drying. **ASAE Meeting paper No. 78-6505**, St. Joseph, MI.1978

WIDYASTUTI, T. E. W.; SRIANTRA, I. Development of functional drink based on foam-mat dried papaya (*Carica papaya* L.): optimization of foam-mat drying process and its formulation. **International Journal of Food, Nutrition and Public Health**, v. 4, n. 2, 2011.

WILSON, R. A.; KADAM, D. M.; CHADHA, S.; SHARMA, M. Foam mat drying characteristics of mango pulp. **International Journal of Food Science and Nutrition Engineering**, v. 2, n. 4, p. 63–69, 2012.

WONG, C. W.; LIM, W. T. Storage stability of spray-dried papaya (*Carica papaya* L.) powder packaged in aluminium laminated polyethylene (ALP) and polyethylene terephthalate (PET). **International Food Research Journal**, v. 23, n. 5, p. 1887-1894, 2016.

WU, L. C.; HSU, H. W.; CHEN, Y. C.; CHIU, C. C.; LIN, Y.I.; HO, J. A. A. Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. **Food Chemistry**, v. 95, p. 319–327, 2006.

WYBRANIEC, S.; MIZRAHI, Y. Fruit flesh betacyanin pigments in *Hylocereus cacti*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 6086–6089, 2002.

YAH, A. R. C.; PEREIRA, S. S.; VELOZ, C. S.; SAÑUDO, R. B.; DUCH, E. S. Cambios físicos, químicos y sensoriales en frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante su desarrollo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, Chapingo, v. 31, n. 1, p. 1-5, 2008.

YUSOF, Y. A.; MOHD SALLEH, F. S.; CHIN, N. L.; TALIB, R. A. The drying and tableting of pitaya powder. **Journal of food Process Engineering**, 2011.

ZEE, F.; CHUNG-RUEN, Y.; NISHINA, M. Pitaya (Dragon fruit, Strawberry pearl). **Fruits e Nuts**, Hawaii, n. 9, p. 1-3, 2004.

ZORIC, Z.; PELAIC, Z.; PEDISIC, S.; GAROFULIC, I. E.; KOVACEVIC, D. B.; DRAGOVIC-UZELAC, V. Effect of storage conditions on phenolic content and antioxidant capacity of spray dried sour cherry powder. **Journal of Food Science and Technology**, v. 79, p. 251-259, 2017.

ZOTARELLI, M. F.; SILVA, V. M.; DURIGON, A.; HUBINGER, M. D.; LAURINDO, J. B. Production of mango powder by spray drying and cast-tape drying. **Powder Technology**, v. 305, p. 447-454, 2017

APÊNDICE A

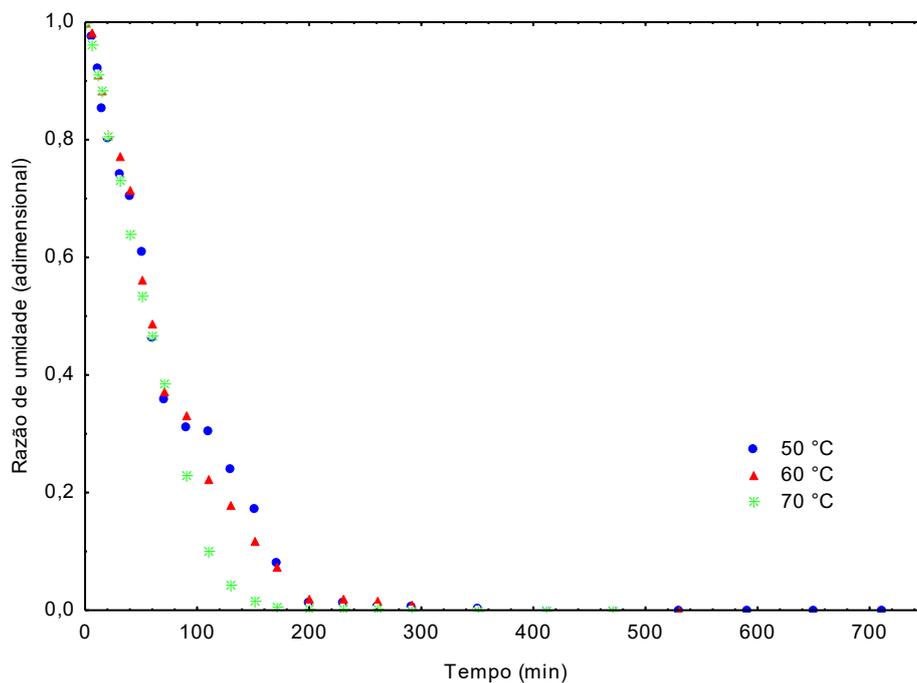


Figura A.1 – Curvas de secagem da espuma da Formulação F4 nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C

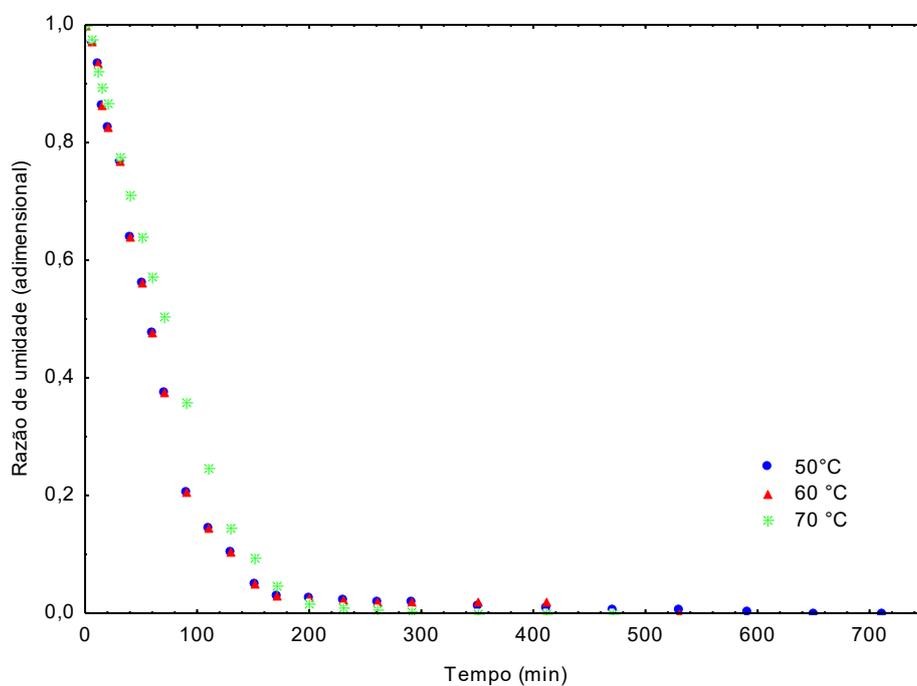


Figura A.2 – Curvas de secagem da espuma da Formulação F5 nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C

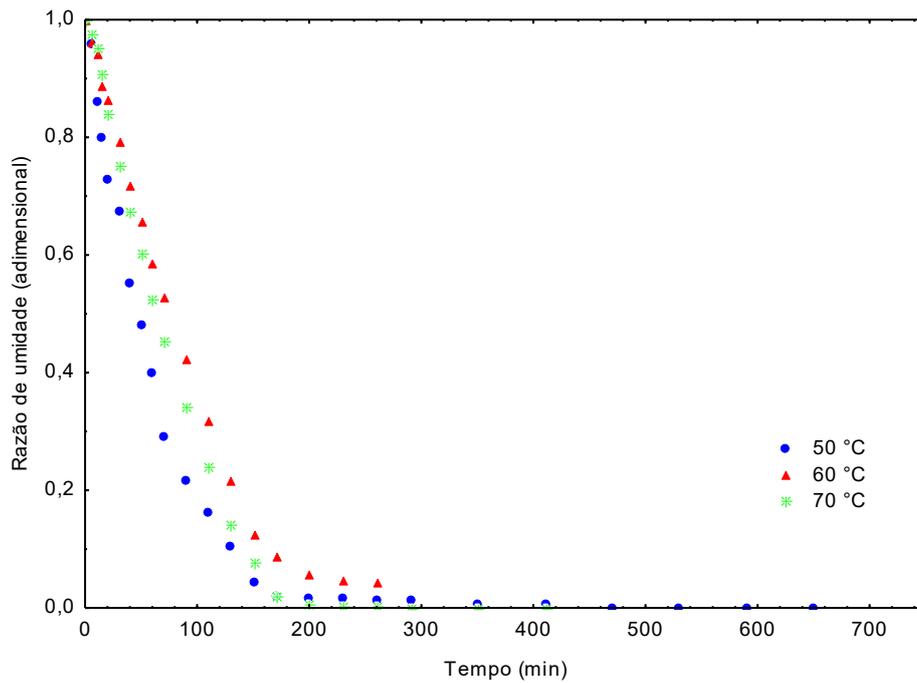


Figura A.3 – Curvas de secagem da espuma da Formulação F6 nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C

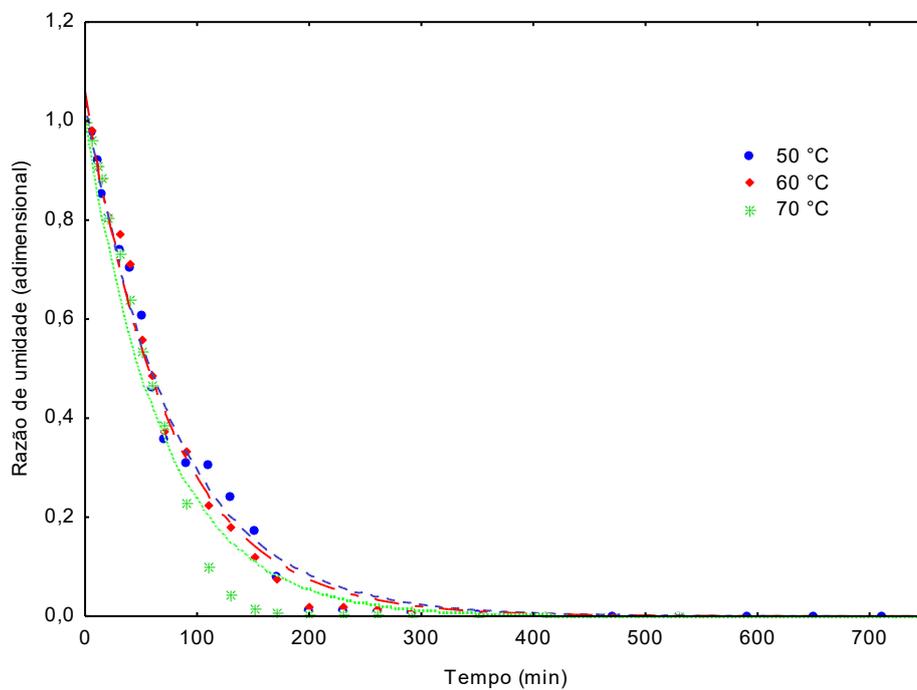


Figura A.4 – Cinéticas de secagem da Formulação F4, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Henderson e Pabis

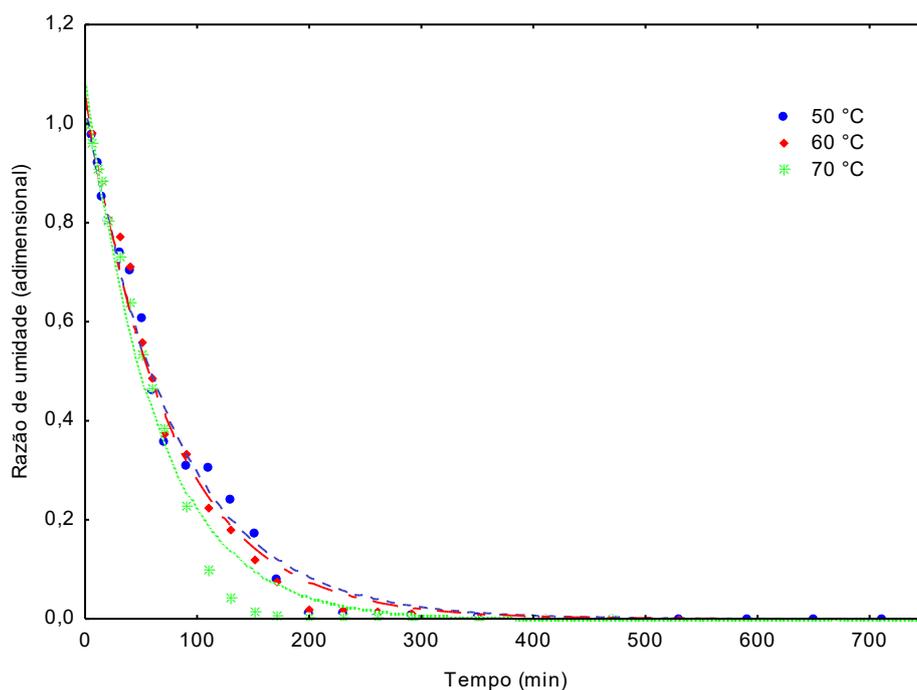


Figura A.5 – Cinéticas de secagem da Formulação F4, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Dois Termos

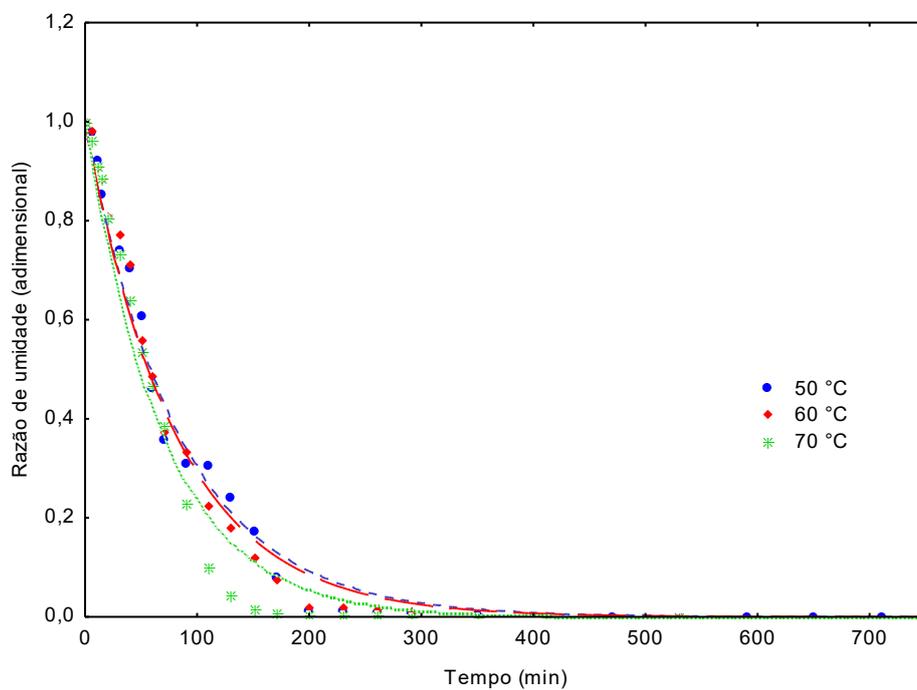


Figura A.6 – Cinéticas de secagem da Formulação F4, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Exponencial de Dois Termos

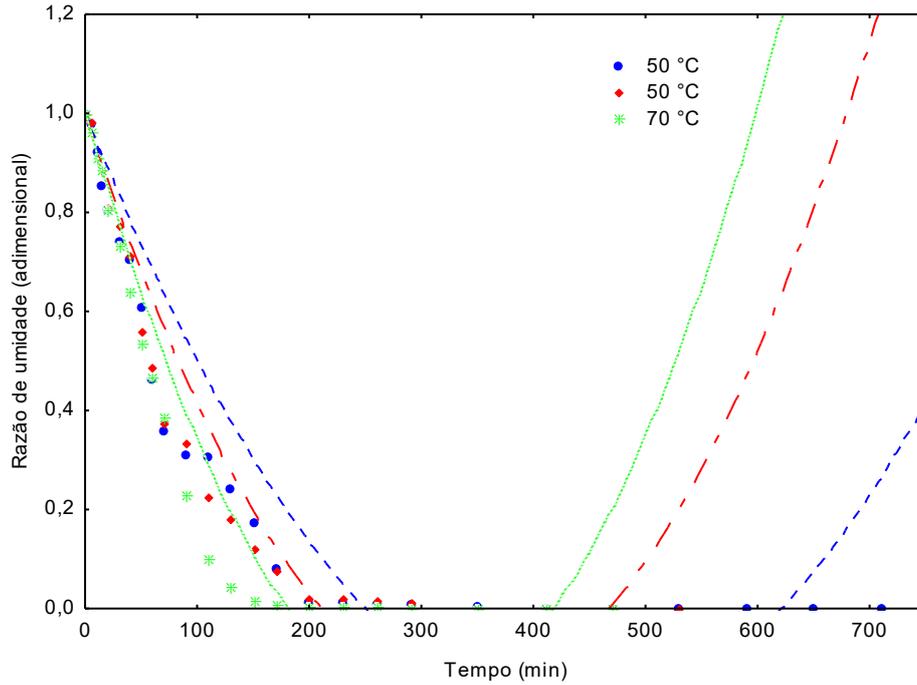


Figura A.7 – Cinéticas de secagem da Formulação F4, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Wang e Singh

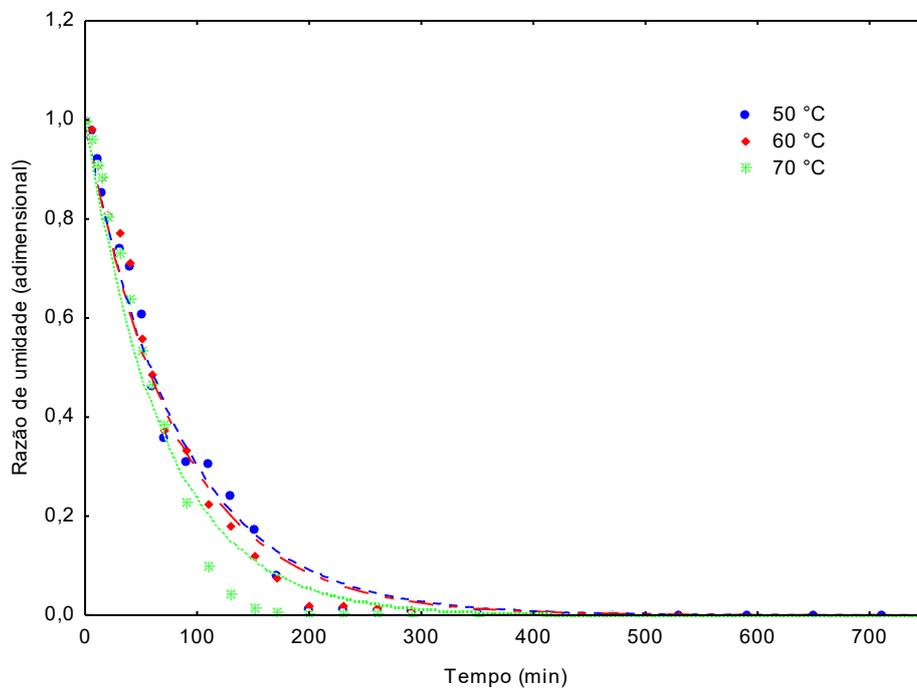


Figura A.8 – Cinéticas de secagem da Formulação F4, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Levis

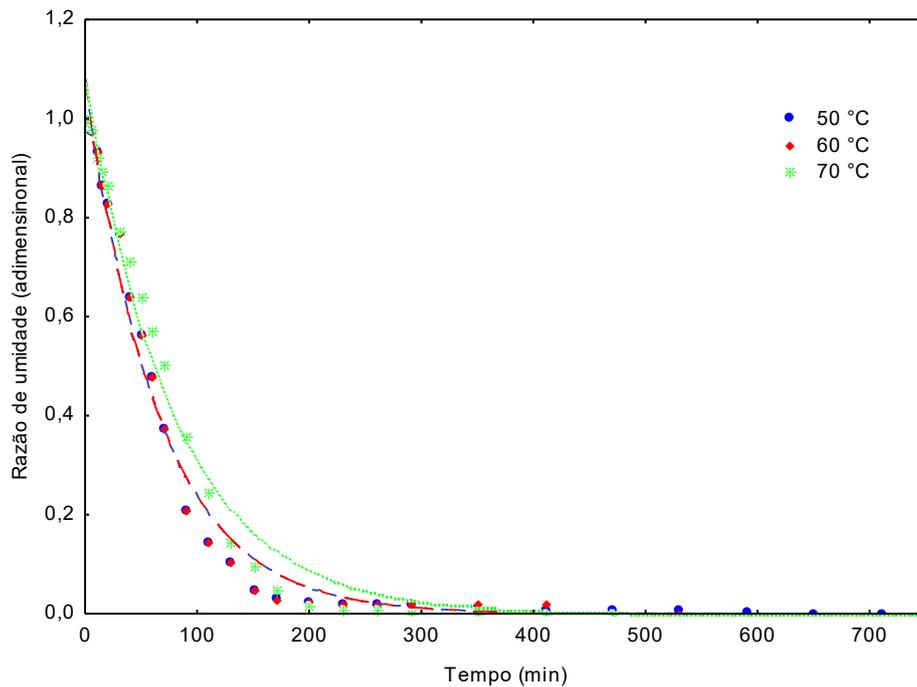


Figura A.9 – Cinéticas de secagem da Formulação F5, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Henderson e Pabis

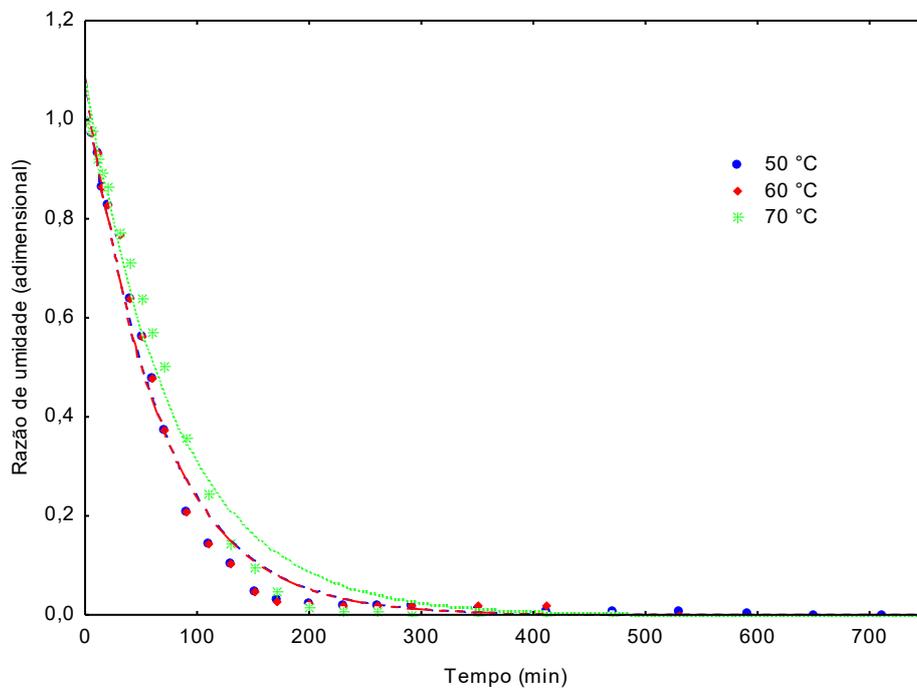


Figura A.10 – Cinéticas de secagem da Formulação F5, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Dois Termos

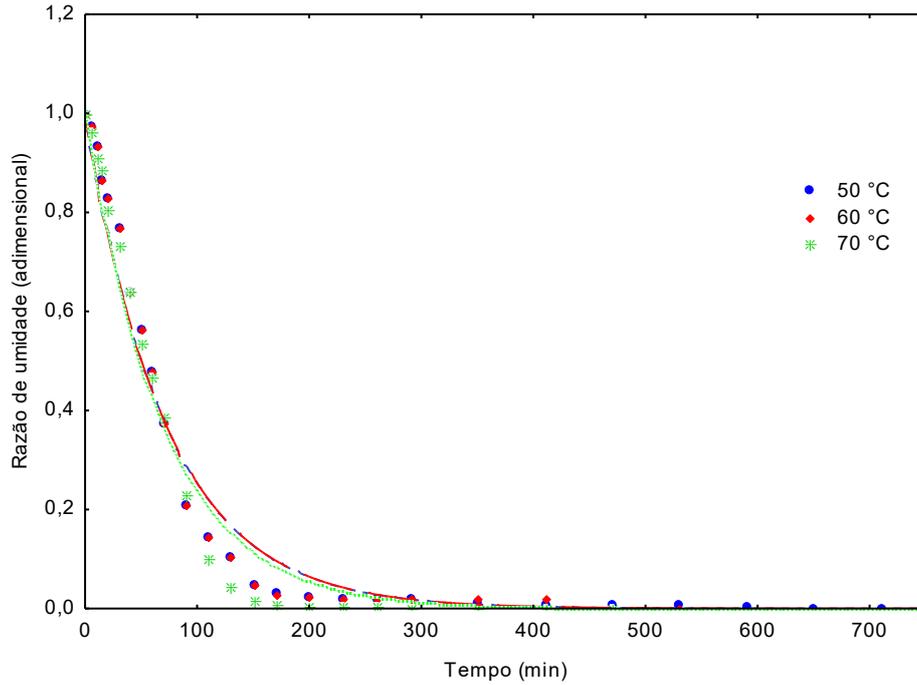


Figura A.11 – Cinéticas de secagem da Formulação F5, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Exponencial de Dois Termos

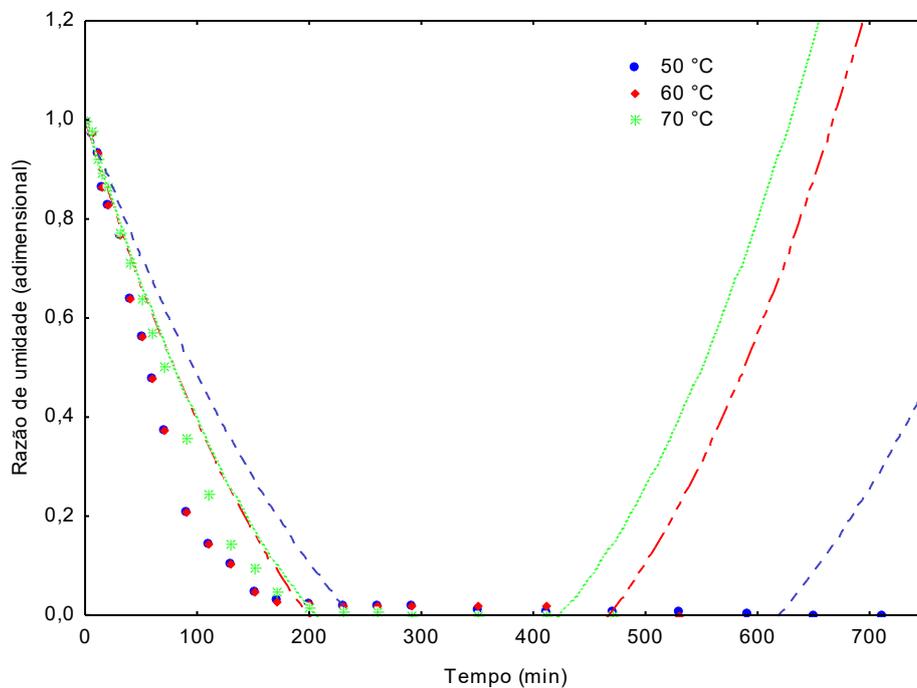


Figura A.12 – Cinéticas de secagem da Formulação F5, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Wang e Singh

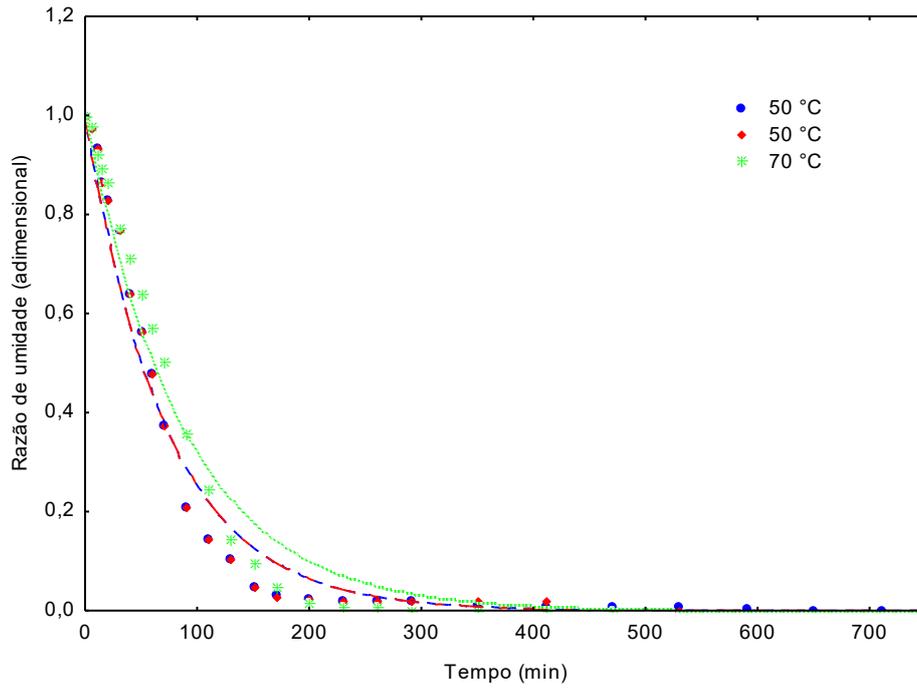


Figura A.13 – Cinéticas de secagem da Formulação F5, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Levis

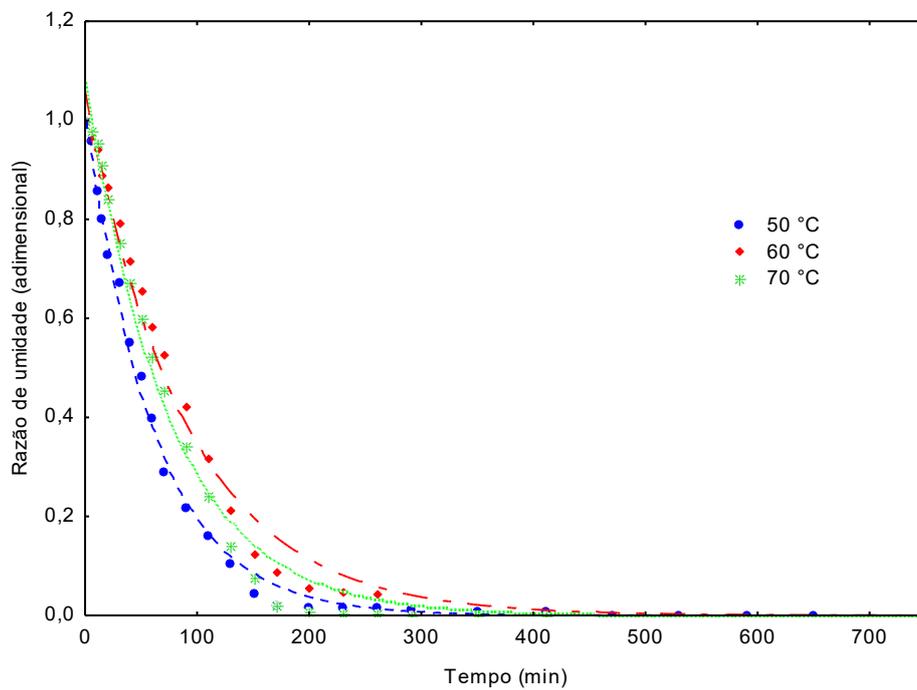


Figura A.14 – Cinéticas de secagem da Formulação F6, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Henderson e Pabis

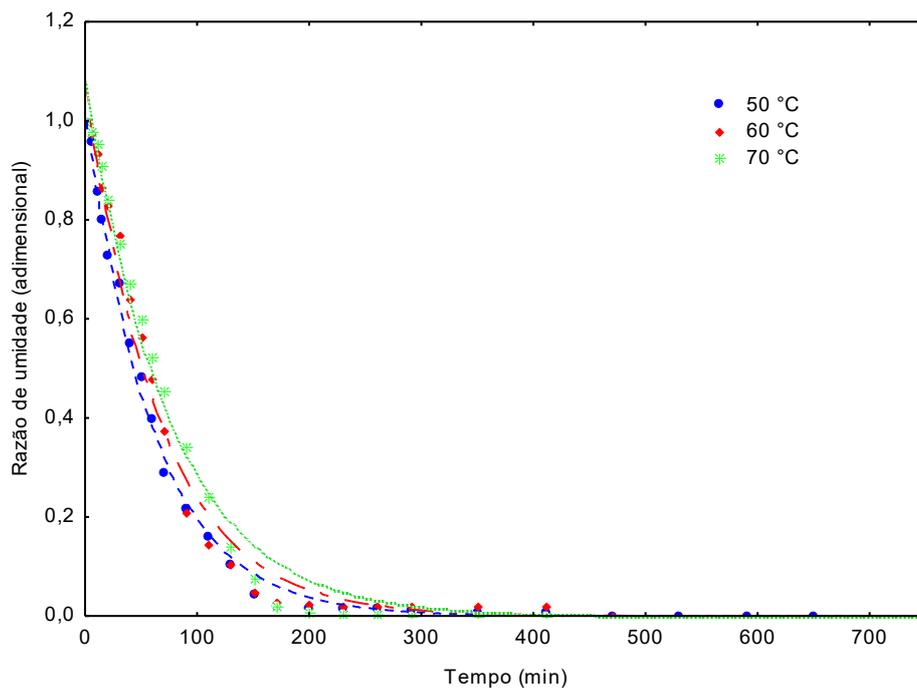


Figura A.15 – Cinéticas de secagem da Formulação F6, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Dois Termos

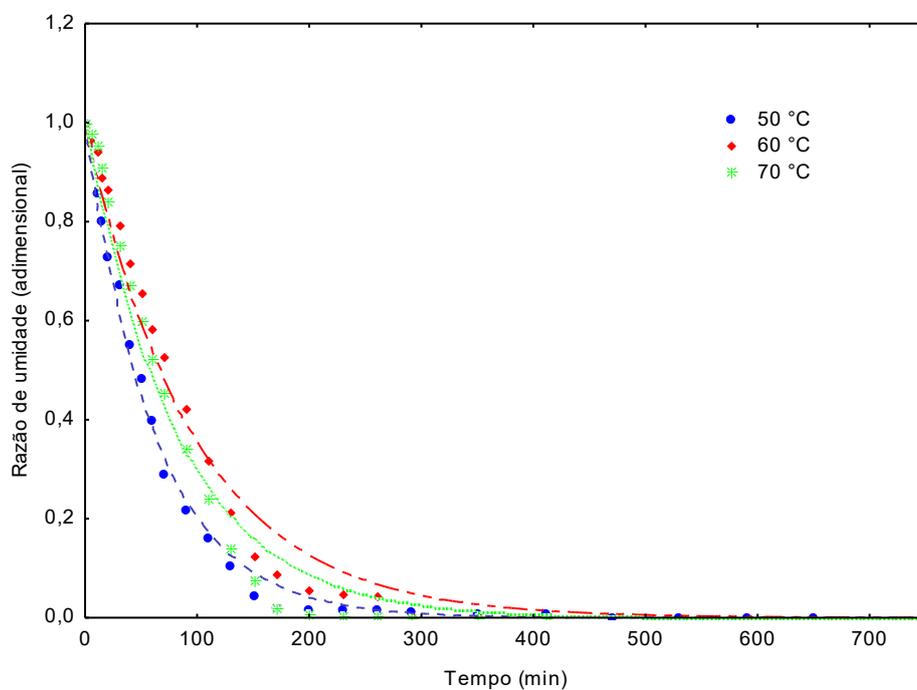


Figura A.16 – Cinéticas de secagem da Formulação F6, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Exponencial de Dois Termos

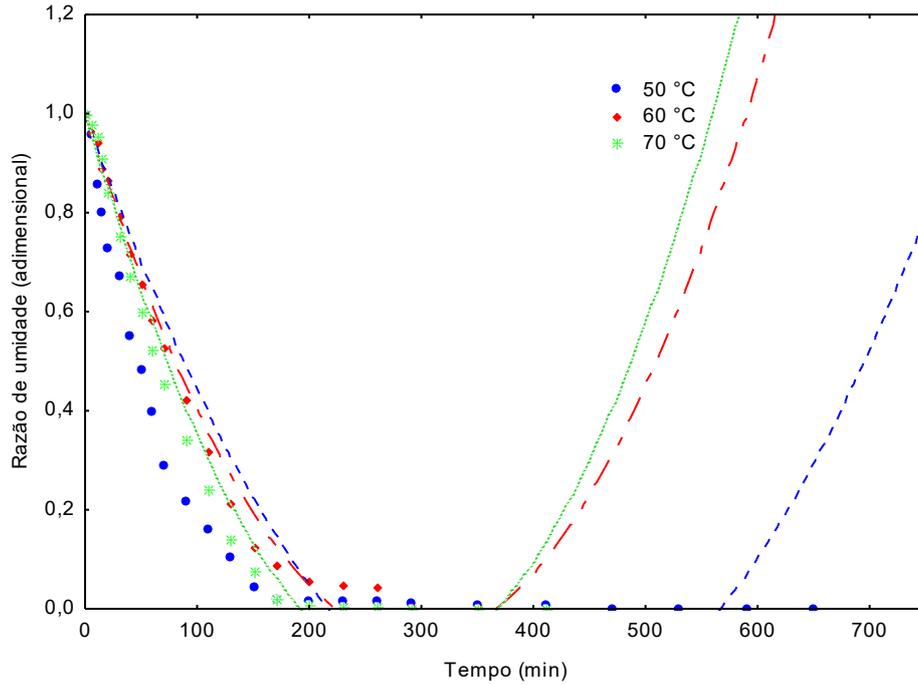


Figura A.17 – Cinéticas de secagem da Formulação F6, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Wang e Singh

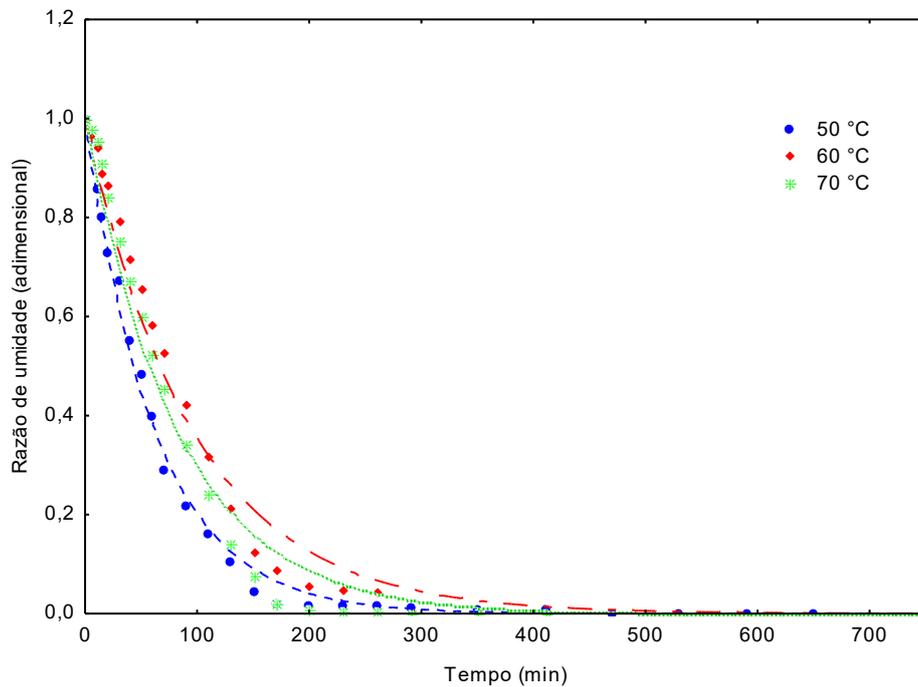


Figura A.18 – Cinéticas de secagem da Formulação F6, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C ajustadas ao modelo matemático de Levis

APÉNDICE B

Tabela B.1 – Análise de variância dos valores médios do teor de água (% b.u.) da polpa de pitaita em pó em função da temperatura de secagem (°C) e concentrações de maltodextrina (%)

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	8	16,2504	2,0313	17,2586**
Resíduos	18	2,1185	0,1177	
Total	26	18,3689		

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns - não significativo ($p \geq 0,05$)

G.L. Grau de Liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.m. – Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela B.2 – Análise de variância dos valores médios dos sólidos solúveis totais (°Brix) da polpa de pitaita em pó em função da temperatura de secagem (°C) e concentrações de maltodextrina (%)

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	8	5,1800	0,6475	15,6094**
Resíduos	18	0,7467	0,0415	
Total	26	5,9267		

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns - não significativo ($p \geq 0,05$)

G.L. Grau de Liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.m. – Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela B.3 – Análise de variância dos valores médios da acidez total titulável (% de ácido cítrico) da polpa de pitaita em pó em função da temperatura de secagem (°C) e concentrações de maltodextrina (%)

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	8	0,6319	0,0789	19,5656**
Resíduos	18	0,0727	0,0040	
Total	26	0,7046		

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns - não significativo ($p \geq 0,05$)

G.L. Grau de Liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.m. – Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela B.4 – Análise de variância dos valores médios da atividade de água da polpa de pitaia em pó em função da temperatura de secagem (°C) e concentrações de maltodextrina (%)

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	8	0,0195	0,0024	2275,3534**
Resíduos	18	0,0002	0,0000	
Total	26			

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns - não significativo ($p \geq 0,05$)

G.L. Grau de Liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.m. – Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela B.5 – Análise de variância dos valores médios da luminosidade (*L) da polpa de pitaia em pó (Formulação F4) em função da temperatura de secagem (°C) e concentrações de maltodextrina (%)

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	8	0,4088	0,0511	36,2126**
Resíduos	18	0,0254	0,0014	
Total	26	0,4342		

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns - não significativo ($p \geq 0,05$)

G.L. Grau de Liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.m. – Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela B.6 – Análise de variância dos valores médios da intensidade de vermelho (+a*) da polpa de pitaia em pó em função da temperatura de secagem (°C) e concentrações de maltodextrina (%)

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	8	94,5063	11,8133	711, 6440**
Resíduos	18	0,2988	0,0166	
Total	26	94,8051		

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns - não significativo ($p \geq 0,05$)

G.L. Grau de Liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.m. – Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela B.7 – Análise de variância dos valores médios da intensidade de azul (-b*) da polpa de pitaita em pó em função da temperatura de secagem (°C) e concentrações de maltodextrina (%)

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	8	2,2680	0,2835	40,3302**
Resíduos	18	0,1265	0,0070	
Total	26	2,3946		

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns - não significativo ($p \geq 0,05$)

G.L. Grau de Liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.m. – Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela B.8 – Análise de variância dos valores médios da densidade absoluta (g/cm^3) da polpa de pitaita em pó em função da temperatura de secagem (°C) e concentrações de maltodextrina (%)

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	8	0,0539	0,0067	0,4038 ns
Resíduos	18	0,3004	0,0167	
Total	26	0,3543		

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns - não significativo ($p \geq 0,05$)

G.L. Grau de Liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.m. – Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela B.9 – Análise de variância dos valores médios da densidade aparente (g/cm^3) da polpa de pitaita em pó em função da temperatura de secagem (°C) e concentrações de maltodextrina (%)

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	8	0,0684	0,0085	25,6154**
Resíduos	18	0,0060	0,0003	
Total	26	0,0744		

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns - não significativo ($p \geq 0,05$)

G.L. Grau de Liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.m. – Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela B.10 – Análise de variância dos valores médios da densidade compactada (g/cm^3) da polpa de pitaia em pó em função da temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$) e concentrações de maltodextrina (%)

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	8	0,1119	0,0140	35,9822**
Resíduos	18	0,0700	0,0004	
Total	26	0,1189		

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns - não significativo ($p \geq 0,05$)

G.L. Grau de Liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.m. – Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela B.11 – Análise de variância dos valores médios do Fator de Hauner da polpa de pitaia em pó em função da temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$) e concentrações de maltodextrina (%)

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	8	0,0290	0,0036	2,2597 ns
Resíduos	18	0,0289	0,0016	
Total	26	0,5794		

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns - não significativo ($p \geq 0,05$)

G.L. Grau de Liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.m. – Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela B.12 – Análise de variância dos valores médios do Índice de Carr (%) da polpa de pitaia em pó em função da temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$) e concentrações de maltodextrina (%)

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	8	178,9684	22,3710	2,4142 ns
Resíduos	18	166,7967	9,2665	
Total	26	345,7967		

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns - não significativo ($p \geq 0,05$)

G.L. Grau de Liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.m. – Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela B.13 – Análise de variância dos valores médios da porosidade (%) da polpa de pitaia em pó em função da temperatura de secagem (°C) e concentrações de maltodextrina (%)

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	8	220,3350	27,5488	1,9965 ns
Resíduos	18	248,3105	13,7950	
Total	26	468,6455		

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns - não significativo ($p \geq 0,05$)

G.L. Grau de Liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.m. – Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela B.14 – Análise de variância dos valores médios da molhabilidade (s) da polpa de pitaia em pó em função da temperatura de secagem (°C) e concentrações de maltodextrina (%)

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	8	606,6667	75,8333	136,50**
Resíduos	18	10,0000	0,5555	
Total	26	616,6667		

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns - não significativo ($p \geq 0,05$)

G.L. Grau de Liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.m. – Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela B.15 – Análise de variância dos valores médios da insolubilidade (%) da polpa de pitaia em pó em função da temperatura de secagem (°C) e concentrações de maltodextrina (%)

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	8	4,9341	0,6167	0,4453 ns
Resíduos	28	24,9288	1,3849	
Total	26	29,8629		

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns - não significativo ($p \geq 0,05$)

G.L. Grau de Liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.m. – Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela B.16 – Análise de variância dos valores médios da higroscopicidade ($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$) da polpa de pitaiá em pó em função da temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$) e concentrações de maltodextrina (%)

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	8	64,4152	8,0519	193,074 **
Resíduos	18	0,7507	0,0417	
Total	26	65,1658		

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns - não significativo ($p \geq 0,05$)

G.L. Grau de Liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.m. – Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela B.17 – Análise de variância dos valores médios das betacianinas ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$) da polpa de pitaiá em pó em função da temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$) e concentrações de maltodextrina (%)

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	8	175,1724	21,8965	87,6060 **
Resíduos	18	4,4989	0,2499	
Total	26	179,6714		

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns - não significativo ($p \geq 0,05$)

G.L. Grau de Liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.m. – Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela B.18 – Análise de variância dos valores médios das antocianinas totais ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$) da polpa de pitaiá em pó em função da temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$) e concentrações de maltodextrina (%)

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	8	122,9186	15,3648	318, 3491 **
Resíduos	18	0,8687	0,0483	
Total	26	123,7874		

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns - não significativo ($p \geq 0,05$)

G.L. Grau de Liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.m. – Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

APÊNDICE C

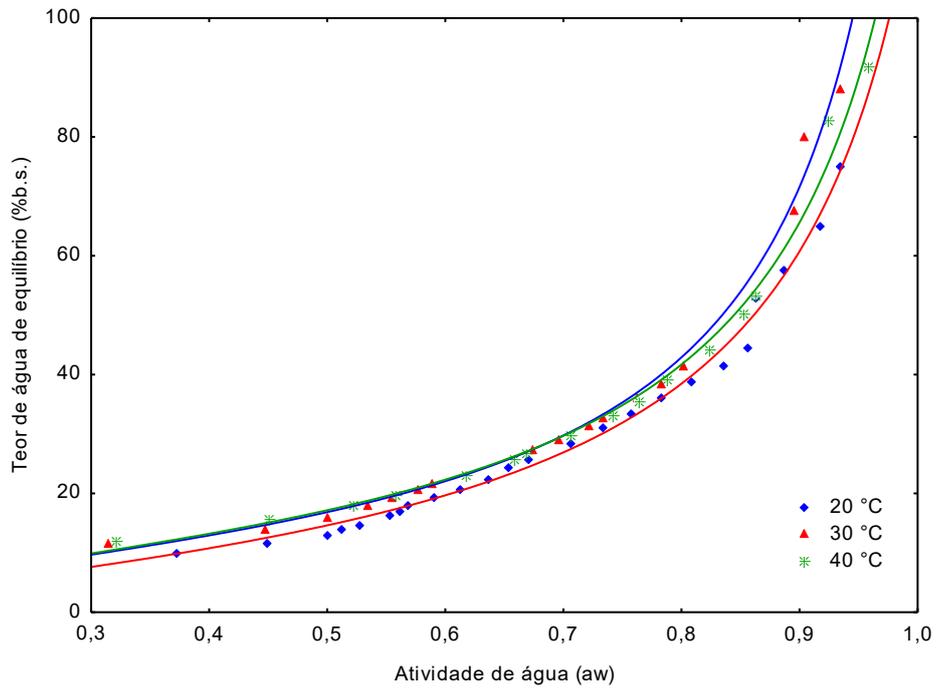


Figura C.1 Isotermas de adsorção de água, para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C, da pitaia em pó, com ajustes pelo modelo de GAB.

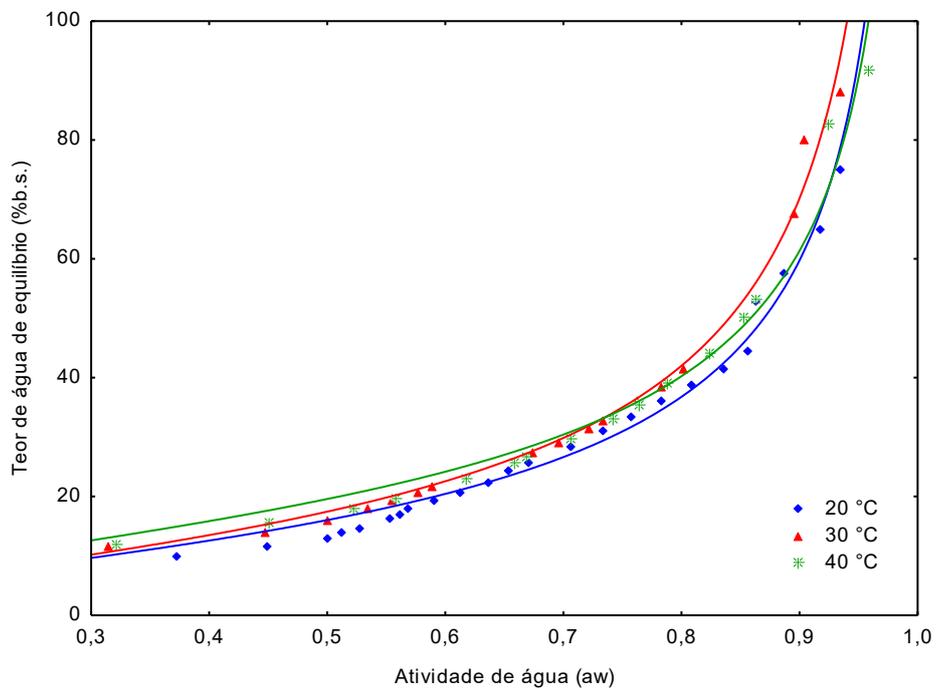


Figura C.2 Isotermas de adsorção de água, para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C, da pitaia em pó, com ajustes pelo modelo de Oswin

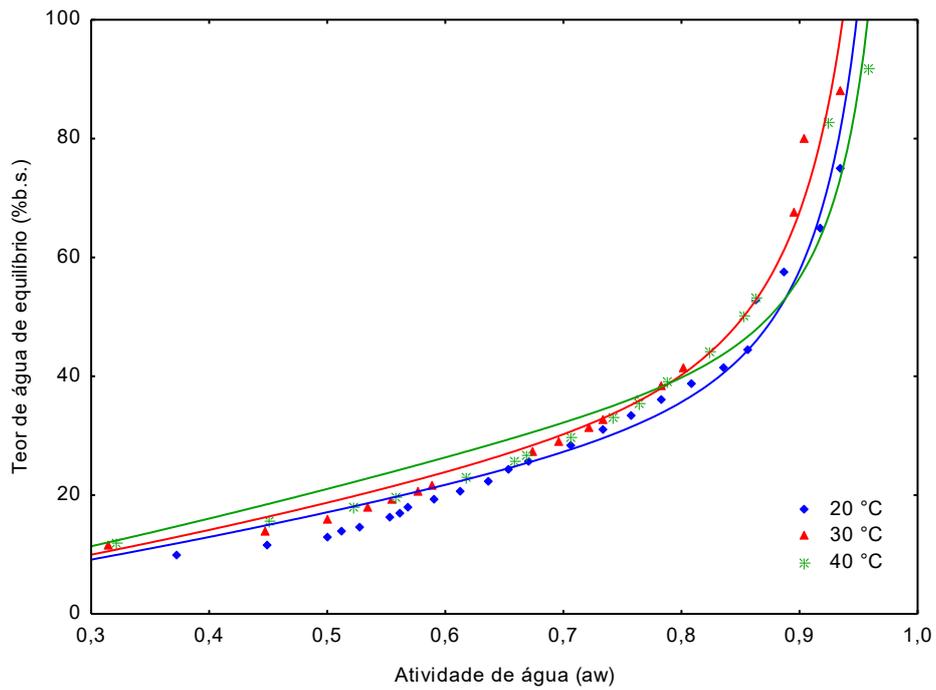


Figura C.3 Isotermas de adsorção de água, para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C, da pitaia em pó, com ajustes pelo modelo de BET

APÊNDICE D

Tabela D.1 – Análise de variância dos valores médios do teor de água (% b.u.) da polpa de pitáia em pó (Formulação F4), desidratada a 70 °C, durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83%

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F1)	6	111,0951	18,5158	146,7860 **
Tempo (F2)	2	15,5209	7,7605	61,5217 **
Interação (F1 x F2)	12	4,8536	0,4048	3,2065 **
Tratamentos	20	131,4697	6,5735	52,1119 **
Resíduos	168	21,1918	0,1261	
Total	188	152,6615		

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns - não significativo ($p \geq 0,05$)

G.L. Grau de Liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.m. – Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela D.2 – Análise de variância dos valores médios da acidez total titulável (% de ácido cítrico) da polpa de pitáia em pó (Formulação F4), desidratada a 70 °C, durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83%

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F1)	6	2,2580	0,3763	156,3153 **
Tempo (F2)	2	06487	0,3244	134,7352 **
Interação (F1 x F2)	12	0,1717	0,0143	5,9440 **
Tratamentos	20	3,0785	0,1539	63,9345 **
Resíduos	168	0,4045	0,0024	
Total	188	3,4830		

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns - não significativo ($p \geq 0,05$)

G.L. Grau de Liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela D.3 – Análise de variância dos valores médios da atividade de água da polpa de pitaia em pó (Formulação F4), desidratada a 70 °C, durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83%

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F1)	6	0,0833	0,0139	2544,9908 **
Tempo (F2)	2	0,0063	0,0031	577,3563 **
Interação (F1 x F2)	12	0,0252	0,0002	38,5361 **
Tratamentos	20	0,0922	0,0046	844,3545 **
Resíduos	168	0,0009	0,0001	
Total	188	0,0931		

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns - não significativo ($p \geq 0,05$)

G.L. Grau de Liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela D.4 – Análise de variância dos valores médios da luminosidade (L^*) da polpa de pitaia em pó (Formulação F4), desidratada a 70 °C, durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83%

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F1)	6	142,0140	23,6690	204,5115**
Tempo (F2)	2	0,3285	0,1643	1,4195 ns
Interação (F1 x F2)	12	4,9867	0,4156	3,5907 **
Tratamentos	20	147,3294	7,3665	63,6498 **
Resíduos	168	19,4434	0,1157	
Total	188	166,7730		

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns - não significativo ($p \geq 0,05$)

G.L. Grau de Liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela D.5 – Análise de variância dos valores médios da intensidade de vermelho (+a*) da polpa de pitáia em pó (Formulação F4), desidratada a 70 °C, durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83%

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F1)	6	12,4228	2,0705	106,9125 **
Tempo (F2)	2	0,0232	0,0116	0,5992 ns
Interação (F1 x F2)	12	3,5870	0,2989	15,4352 **
Tratamentos	20	16,0330	0,8016	41,3948 **
Resíduos	168	3,2535	0,0193	
Total	188	19,2865		

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns - não significativo ($p \geq 0,05$)

G.L. Grau de Liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela D.6 – Análise de variância dos valores médios da intensidade de azul (-b*) da polpa de pitáia em pó (Formulação F4), desidratada a 70 °C, durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83%

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F1)	6	147,3848	24,5641	1116,8404 **
Tempo (F2)	2	26,5232	13,2616	602,9559 **
Interação (F1 x F2)	12	18,0638	1,5053	68,4411 **
Tratamentos	20	191,9718	9,5986	436,4124 **
Resíduos	168	3,6950	0,0219	
Total	188	195,6668		

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns - não significativo ($p \geq 0,05$)

G.L. Grau de Liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela D.7 – Análise de variância dos valores médios da insolubilidade (%) da polpa de pitaia em pó (Formulação F4), desidratada a 70 °C, durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83%

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F1)	6	818,2847	136,3808	45,2291 **
Tempo (F2)	2	51,7207	25,8604	8,5763 **
Interação (F1 x F2)	12	42,2224	3,5185	1,1669 ns
Tratamentos	20	912,2279	45,6114	15,1265 **
Resíduos	168	506,5756	3,0153	
Total	188	1418,8035		

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns - não significativo ($p \geq 0,05$)

G.L. Grau de Liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela D.8 – Análise de variância dos valores médios das betacianinas ($\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$) da polpa de pitaia em pó (Formulação F4), desidratada a 70 °C, durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83%

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F1)	6	456,1688	76,0281	212,0046 **
Tempo (F2)	2	29,4306	14,7153	41,0336 **
Interação (F1 x F2)	12	39,2498	3,2708	9,1207 **
Tratamentos	20	524,8492	26,2425	73,1772 **
Resíduos	168	60,2474	0,3586	
Total	188	585,0966		

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns - não significativo ($p \geq 0,05$)

G.L. Grau de Liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela D.9 – Análise de variância dos valores médios das antocianinas ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$) da polpa de pitaiá em pó (Formulação F4), desidratada a 70 °C, durante o armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83%

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F1)	6	952,1253	158,6875	71,0123 **
Tempo (F2)	2	11,9367	5,9683	26,8921 **
Interação (F1 x F2)	12	15,6939	1,3078	5,8928 **
Tratamentos	20	979,7559	48,9878	220,7286 **
Resíduos	168	37,2854	0,2219	
Total	188	1017,0413		

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns - não significativo ($p \geq 0,05$)

G.L. Grau de Liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

APÊNDICE E

Tabela E.1 - Valores médios das antocianinas totais ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$) para as amostras em pó da Formulação F4, armazenadas por 14 dias, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C

Tempo (dias)	Temperatura (°C)		
	20	30	40
0	19,841	19,894	19,812
1	19,517	19,696	19,116
2	19,404	19,155	18,975
3	19,306	19,071	17,871
4	19,123	18,399	16,184
5	19,068	18,096	14,369
6	18,901	17,732	13,764
7	18,783	17,158	13,066
8	18,503	16,815	12,194
9	17,376	15,235	11,743
10	16,563	14,790	10,499
11	16,284	14,115	10,040
12	15,257	12,934	9,366
13	13,761	11,315	8,373
14	12,677	10,302	7,504

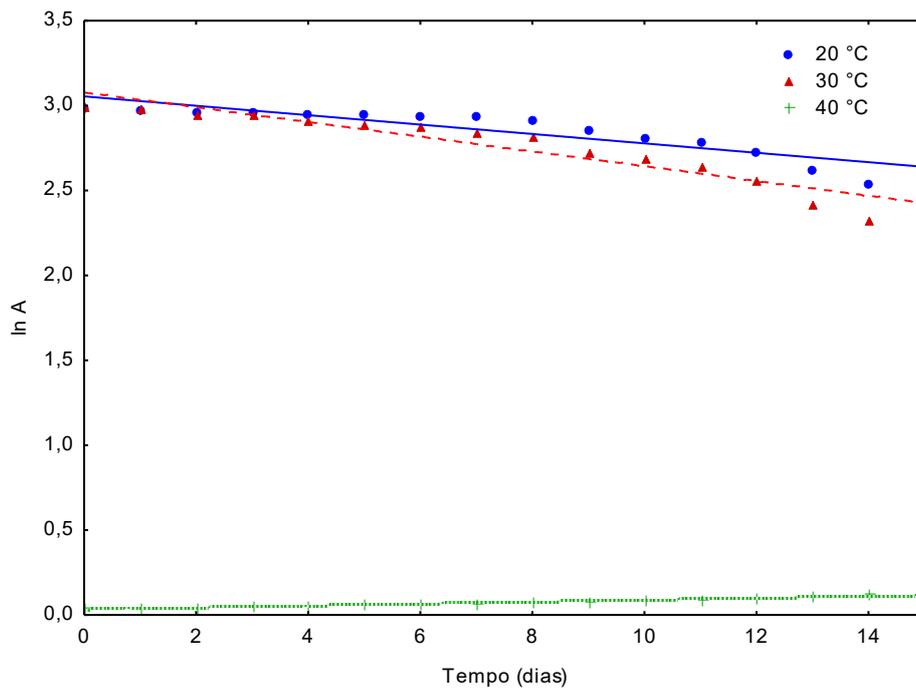


Figura E.1 – Modelo cinético de Primeira ordem da variação das antocianinas totais da polpa de pitaia em pó selecionada nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C

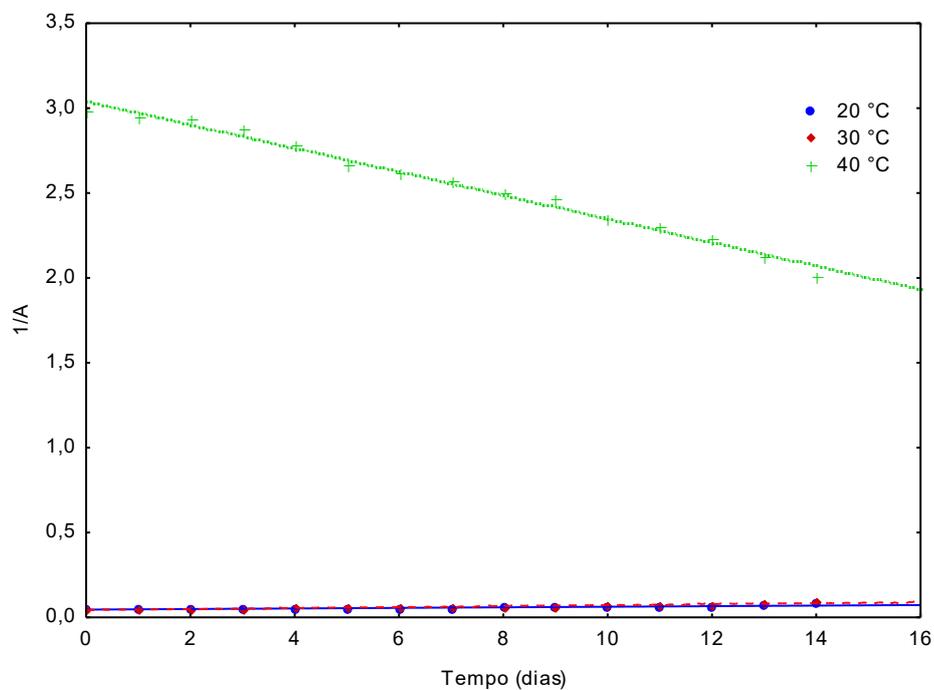


Figura E.2 – Modelo cinético de Segunda ordem da variação das antocianinas totais da polpa de pitaia em pó selecionada nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C

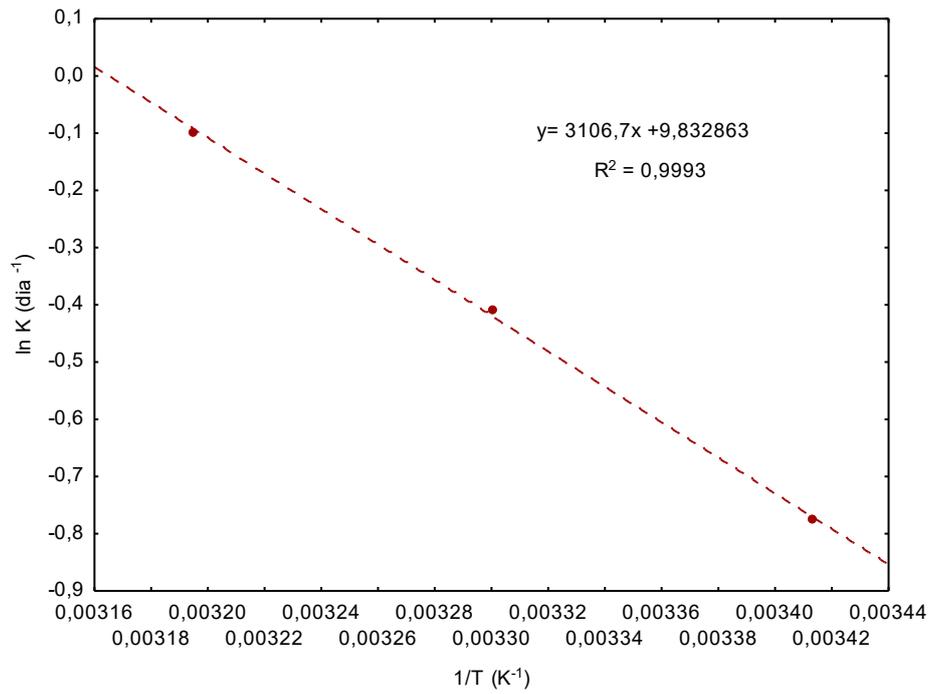


Figura E.3 – Representação gráfica da equação de Arrhenius, da constante cinética de ordem zero para a degradação das antocianinas totais da polpa de pitaia em pó da Formulação F4.

Tabela E.2 - Valores médios das das betacianinas ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$) para as amostras em pó da Formulação F4, armazenadas por 14 dias, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C

Tempo (dias)	Temperatura (°C)		
	20	30	40
0	52,105	51,930	51,920
1	51,498	50,348	50,653
2	50,496	49,234	50,871
3	49,739	48,508	49,003
4	48,398	47,331	47,287
5	47,411	45,866	46,756
6	45,820	45,103	45,669
7	45,276	44,786	43,517
8	44,571	43,580	41,284
9	44,209	42,159	38,820
10	43,213	40,800	36,717
11	43,187	39,282	35,630
12	42,565	37,636	34,621
13	41,411	36,343	33,928
14	40,881	35,525	32,242

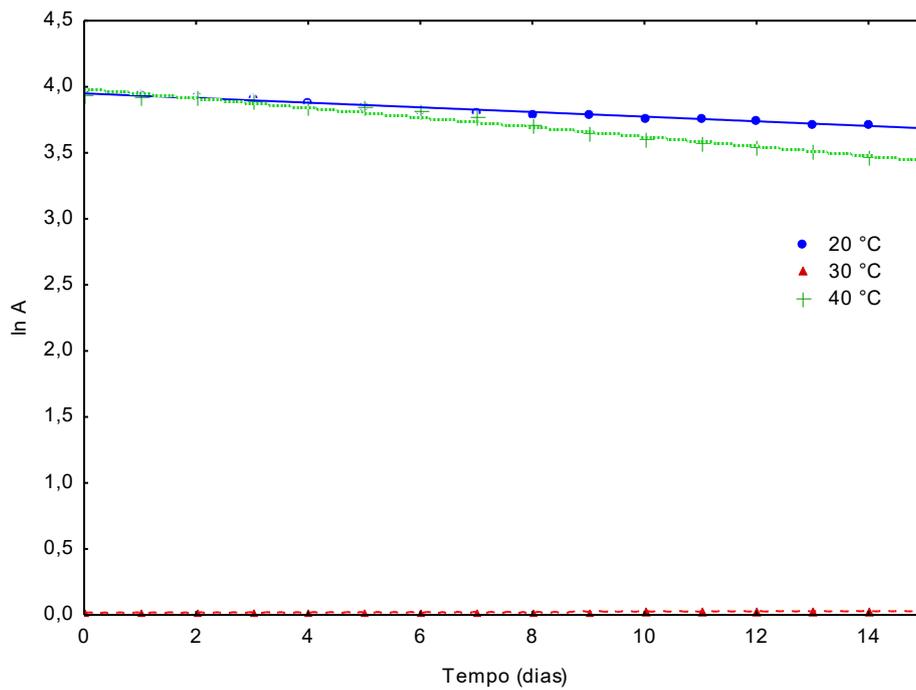


Figura E.4 – Modelo cinético de Primeira ordem da variação das betacianinas ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$) da polpa de pitaita em pó selecionada nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C

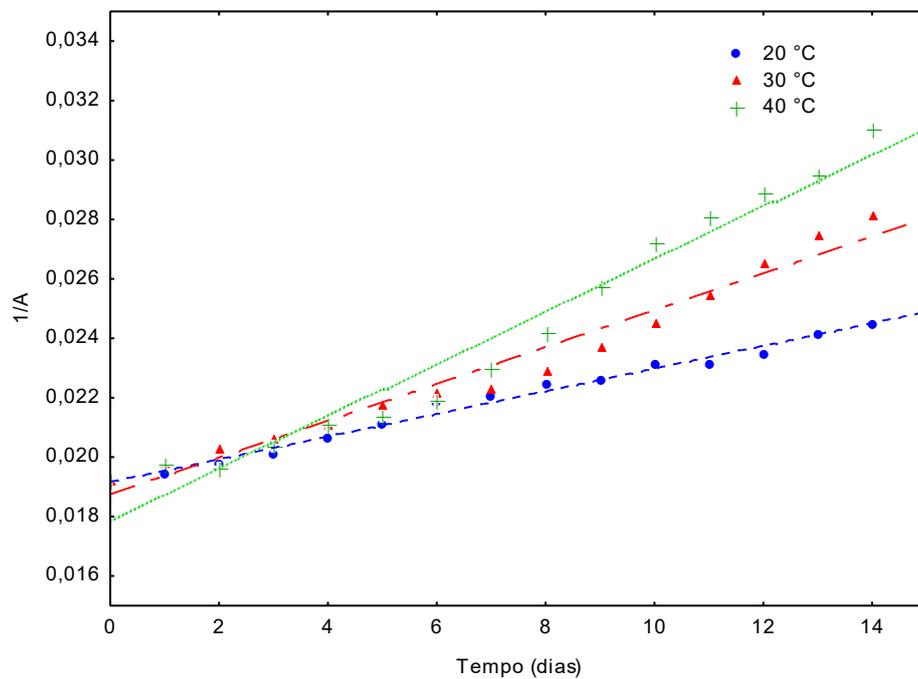


Figura E.5 – Modelo cinético de Segunda ordem da variação das betacianinas ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$) da polpa de pitaita em pó selecionada nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C

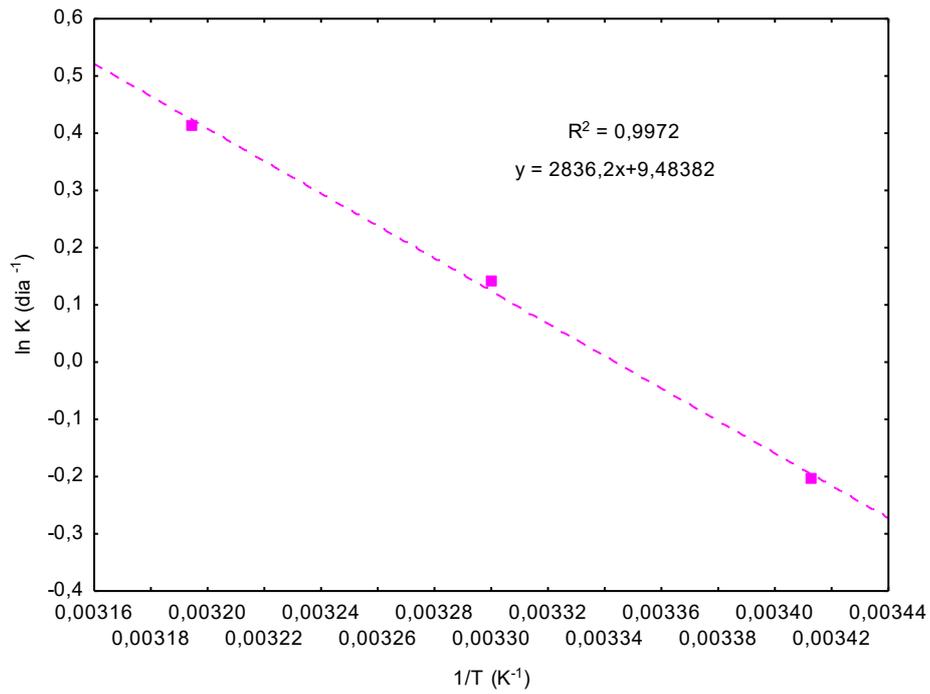


Figura E.6 – Representação gráfica da equação de Arrhenius, da constante cinética de ordem zero para a degradação das betacianinas (mg.100g⁻¹) da polpa de pitaia em pó da Formulação F4.

Tabela E.3 - Valores médios da intensidade de vermelho (+a*) para as amostras em pó da Formulação F4, armazenadas por 14 dias, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C

Tempo (dias)	Temperatura (°C)		
	20	30	40
0	37,868	37,747	37,297
1	36,730	36,857	35,840
2	36,688	36,473	35,688
3	36,560	36,393	35,538
4	36,490	36,277	35,102
5	36,062	36,247	34,687
6	36,035	36,145	34,623
7	35,895	35,650	34,093
8	35,788	35,400	33,535
9	35,635	35,202	32,488
10	35,528	35,162	31,420
11	35,350	34,923	30,555
12	35,182	34,875	29,263
13	35,137	34,755	27,887
14	35,073	33,610	26,537

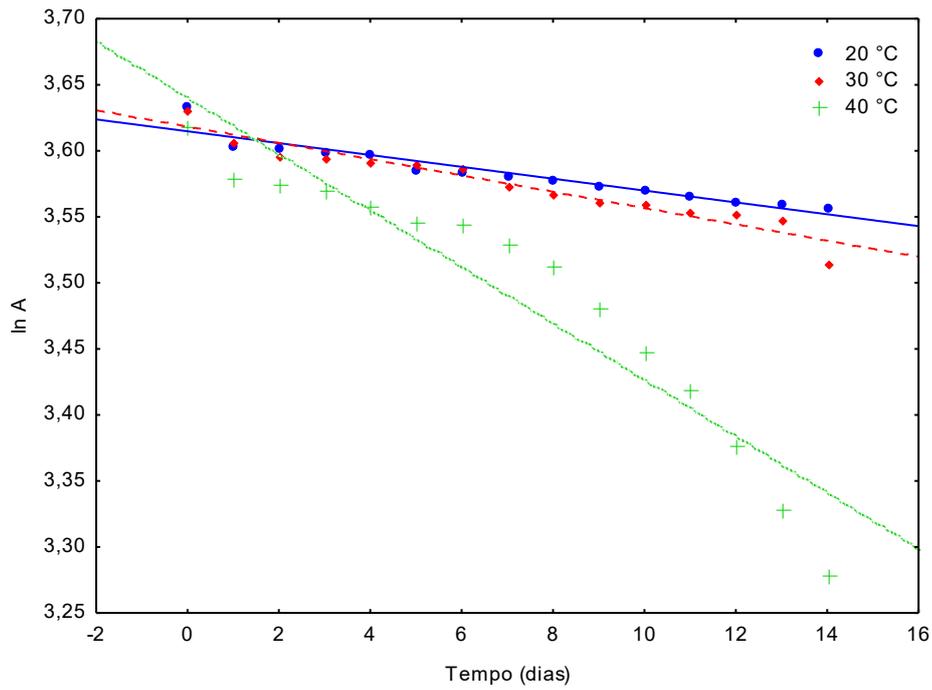


Figura E.7 – Modelo cinético de Primeira ordem da variação intensidade de vermelho (+a*) da polpa de pitáia em pó selecionada nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C

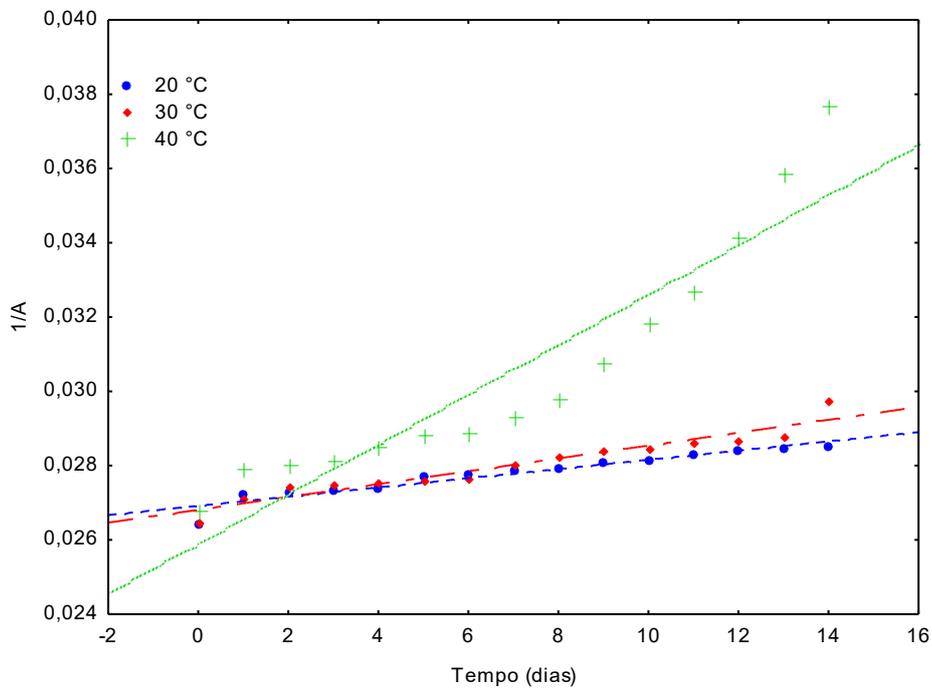


Figura E.8 – Modelo cinético de Segunda ordem da variação intensidade de vermelho (+a*) da polpa de pitáia em pó selecionada nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C

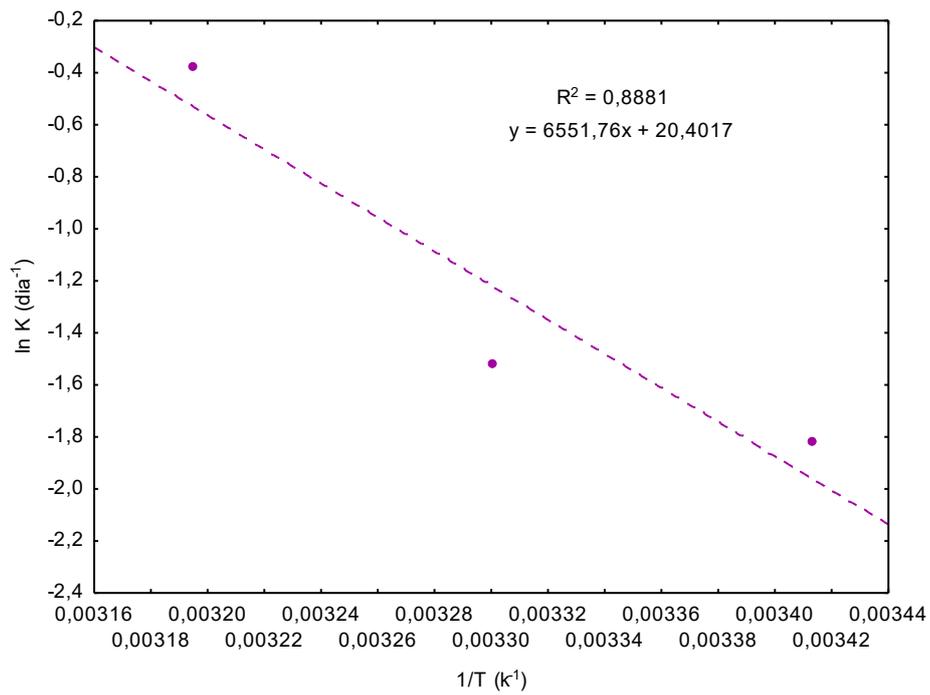


Figura E.9 – Representação gráfica da equação de Arrhenius, da constante cinética de ordem zero para a degradação intensidade de vermelho (+a*) da polpa de pitaia em pó da Formulação F4.