



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**



DISSERTAÇÃO

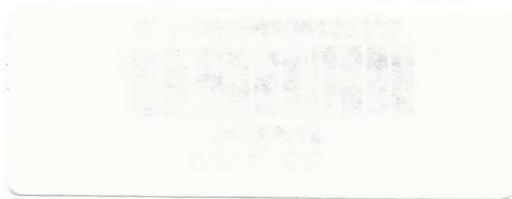
**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM PROCESSAMENTO E
ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS**

SECAGEM POR ASPERSÃO DA POLPA DO FIGO-DA-ÍNDIA

PLÚVIA OLIVEIRA GALDINO

Campina Grande – PB

Fevereiro - 2011



SECAGEM POR ASPERSÃO DA POLPA DO FIGO-DA-ÍNDIA

PLÚVIA OLIVEIRA GALDINO

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas

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

Campina Grande - PB

Fevereiro – 2011



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCC

G149s663 Galdino, Plúvia Oliveira

Secagem por Aspersão da Polpa do Figo-da-Índia / Plúvia Oliveira Galdino. — Campina Grande, 2011.

169 f. : il. ; col.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

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

Referências.

1. *Opuntia ficus indica* Mill. 2. Desidratação. 3. Maltodextrina. 4. Planejamento Experimental. I. Título.

CDU – 631.563.2(043)



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



**PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DE
MESTRADO**

Plúvia Oliveira Galdino

Secagem por aspersão da polpa do figo da Índia

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Rossana M^a F. de Figueirêdo
Dra. Rossana Maria F. de Figueirêdo - Orientadora

Aprovada

Alexandre José de Melo
Dr. Alexandre José de Melo - Examinador

APROVADO

Flávio Luiz Honorato da Silva
Dr. Flávio Luiz Honorato da Silva - Examinador

Aprovado

Mércia Melo de Almeida
Dra. Mércia Melo de Almeida - Examinadora

Aprovada

FEVEREIRO DE 2011

A meu filho, Henry Galdino, DEDICO.
A meus pais, Lúcia de Fátima Oliveira
Galdino e Ademar Galdino Correia,
OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da minha vida.

A meus pais, Ademar Galdino Correia e Lúcia de Fátima Oliveira Galdino, pois são o motivo principal por eu estar aqui, por todo carinho, dedicação constante e grande apoio nos momentos mais difíceis, dando total suporte para finalização de mais uma etapa da minha vida.

A meu filho, Henry, por existir, tornar meus dias mais fáceis e ser a razão principal para o término desta etapa da minha vida.

A minha irmã, Pablícia, pela amizade, amor, carinho, cumplicidade, dedicação e toda ajuda concedida para a realização deste trabalho, e a meu irmão, Pábblo, pela amizade, amor e atenção dedicada.

A minha sobrinha, Louara, pelo amor de todos os dias.

A Ronaldo, pelo amor, carinho, paciência, compreensão, amizade e incentivo nas horas em que queria fraquejar, dando um sentimento todo especial a este momento da minha vida.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa durante o curso.

A Corn Products Brasil, pela doação da maltodextrina.

A professora Rossana, pela orientação, incentivo, atenção, amizade e confiança em mim, durante a realização do curso.

Ao professor Alexandre, pela orientação e colaboração para a execução deste trabalho.

A todos os professores do curso, pelas informações passadas durante as disciplinas enriquecendo minha vida acadêmica e pessoal.

Aos membros da banca examinadora, Prof.^a Dr.^a Mércia Melo de Almeida e Prof. Dr. Flávio Luiz Honorato da Silva, pelas sugestões.

Ao colaborador Paulinho, por sempre me auxiliar no manuseio do secador por aspersão.

A amiga Cicera, por conseguir os frutos de figo-da-índia para a realização desta pesquisa.

Em especial aos amigos Luciene e Silas, pela amizade e disponibilidade de ajuda, sempre que precisei.

Às minhas amigas Tânila e Karla, que participaram de todos os momentos bons e difíceis no decorrer do curso, pela força, amizade e colaboração intensa, em prol da realização deste trabalho.

Aos meus amigos de curso Taciano, Flávio, Gilmara, Denize, Mônica e Vanessa, pela amizade, companheirismo e solidariedade.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a finalização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABELAS	vii
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvii
1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - Objetivo geral	3
1.1.1 - Objetivos específicos	3
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 - Figo-da-índia	4
2.2 - Secagem	7
2.2.1 - Secagem por aspersão	9
2.3 - Aditivos	11
2.3.1 - Maltodextrina	12
2.4 - Reologia	14
2.4.1 - Fluidos Newtonianos	15
2.4.2 - Fluidos não-Newtonianos	16
2.4.2.1 - Fluidos pseudoplásticos	17
2.4.2.2 - Fluidos dilatantes	17
2.4.2.3 - Fluidos de Bingham	18
2.4.2.4 - Fluidos Tixotrópicos	18
2.4.2.5 - Fluidos reopéticos	18
2.4.2.6 - Fluidos viscoelásticos	19
2.4.3 - Modelos Reológicos	19
2.5 - Planejamento experimental fatorial	20
2.6 - Isoterma de adsorção de água	22
2.7 - Armazenamento	24
3 - MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1 - Matéria-prima	26
3.2 - Processamento do figo-da-índia	26
3.3 - Caracterização química, física e fisico-química	28
3.3.1 - pH	28

3.3.2 - Sólidos solúveis totais (°Brix)	28
3.3.3 - Sólidos totais /Teor de água	28
3.3.4 - Acidez total titulável	29
3.3.5 - Açúcares totais, redutores e não-redutores	29
3.3.6 - Cinzas	29
3.3.7 - Atividade de água	29
3.3.8 - Cor	29
3.3.9 - Comportamento reológico	30
3.4 - Preparo das polpas formuladas	32
3.5 - Ensaio preliminares	32
3.5.1 - Seleção do bico pneumático	33
3.6 - Caracterização química, física e físico-química das formulações	33
3.6.1 - Análise dos dados	34
3.7 - Planejamento experimental fatorial para a secagem por aspersão	34
3.7.1 - Secagem	35
3.8 - Armazenamento do figo-da-índia em pó	36
3.8.1 - Análise dos dados	37
3.9 - Isoterma de adsorção de água	37
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1 - Polpa do figo-da-índia integral	39
4.1.1 - Caracterização química, física e físico-química	39
4.1.2 - Comportamento reológico	41
4.2 - Formulações	44
4.2.1 - Caracterização química, física e físico-química	44
4.2.2 - Comportamento reológico	48
4.3 - Planejamento experimental fatorial	54
4.3.1 - Teor de água do figo-da-índia em pó do Tipo A	55
4.3.2 - Teor de água do figo-da-índia em pó do Tipo B	59
4.3.3 - Sólidos solúveis totais do figo-da-índia em pó do Tipo A	63
4.3.4 - Sólidos solúveis totais do figo-da-índia em pó do Tipo B	65
4.3.5 - pH do figo-da-índia em pó do Tipo A	67
4.3.6 - pH do figo-da-índia em pó do Tipo B	71
4.3.7 - Acidez total titulável do figo-da-índia em pó do Tipo A	74

4.3.8 - Acidez total titulável do figo-da-índia em pó do Tipo B	77
4.3.9 - Açúcares redutores, não-redutores e açúcares totais do figo-da-índia em pó	79
4.3.10 - Cinzas do figo-da-índia em pó do Tipo A	80
4.3.11 - Cinzas do figo-da-índia em pó do Tipo B	83
4.3.12 - Luminosidade (L*) do figo-da-índia em pó do Tipo A	84
4.3.13 - Luminosidade (L*) do figo-da-índia em pó do Tipo B	86
4.3.14 - Intensidade de vermelho (+a*) do figo-da-índia em pó do Tipo A	89
4.3.15 - Intensidade de vermelho (+a*) do figo-da-índia em pó do Tipo B	91
4.3.16 - Intensidade de amarelo (+b*) do figo-da-índia em pó do Tipo A	94
4.3.17 - Intensidade de amarelo (+b*) do figo-da-índia em pó do Tipo B	97
4.3.18 - Atividade de água do figo-da-índia em pó do Tipo A	101
4.3.19 - Atividade de água do figo-da-índia em pó do Tipo B	104
4.3.20 - Seleção do pó	107
4.4 - Armazenamento do figo-da-índia em pó	107
4.4.1 - Teor de água	108
4.4.2 - Atividade de água	110
4.4.3 - Acidez total titulável	113
4.4.4 - Luminosidade	114
4.4.5 - Intensidade de vermelho	115
4.4.6 - Intensidade de amarelo	117
4.5 - Isotermas de adsorção de água	119
5 - CONCLUSÕES	123
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125
APÊNDICE A	145
APÊNDICE B	148
APÊNDICE C	157
APÊNDICE D	160
APÊNDICE E	167

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Palma forrageira (<i>Opuntia ficus indica</i> Mill.)	4
Figura 2.2 - Esquema de funcionamento do secador por aspersão	9
Figura 2.3 - Classificação do comportamento reológico	16
Figura 2.4 - Curvas de escoamento para vários tipos de fluido independentes do tempo	17
Figura 3.1 - Figos-da-índia (<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill)	27
Figura 3.2 - Fluxograma das etapas realizadas para a obtenção da polpa de figo-da-índia integral	27
Figura 3.3 - Processo de descascamento do figo-da-índia	28
Figura 3.4 - Secador por aspersão (<i>spray dryer</i>)	36
Figura 4.1 - Viscosidade aparente (Pa s) da polpa do figo integral em função da velocidade de rotação (rpm) a 25 °C	42
Figura 4.2 - Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de figo-da-índia integral com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk	44
Figura 4.3 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de figo-da-índia formulada com diferentes concentrações de maltodextrina, na temperatura de 25 °C, com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk	54
Figura 4.4 - Diagrama de Pareto do teor de água do figo-da-índia em pó do Tipo A	57
Figura 4.5 - Superfície de resposta para o teor de água do figo-da-índia em pó do Tipo A, relacionando a concentração × temperatura (180 °C)	59
Figura 4.6 - Diagrama de Pareto do teor de água do figo-da-índia em pó do Tipo B	61
Figura 4.7 - Superfície de resposta para o teor de água do figo-da-índia em pó do Tipo B relacionando a concentração × temperatura (180 °C)	63
Figura 4.8 - Diagrama de Pareto dos sólidos solúveis totais (°Brix) do figo-da-índia em pó do Tipo A	64
Figura 4.9 - Diagrama de Pareto dos sólidos solúveis totais (°Brix) do figo-da-índia em pó do Tipo B	66
Figura 4.10 - Diagrama de Pareto do pH do figo-da-índia em pó do Tipo A	68

Figura 4.11 - Superfície de resposta para o pH do figo-da-índia em pó do Tipo A, relacionando a concentração × temperatura (180 °C)	70
Figura 4.12 - Diagrama de Pareto do pH do figo-da-índia em pó do Tipo B	72
Figura 4.13 - Superfície de resposta para o pH do figo-da-índia em pó do Tipo B, relacionando a concentração x temperatura (180 °C)	74
Figura 4.14 - Diagrama de Pareto da acidez total titulável do figo-da-índia em pó do Tipo A	75
Figura 4.15 - Diagrama de Pareto da acidez total titulável do figo-da-índia em pó do Tipo B	78
Figura 4.16 - Diagrama de Pareto do teor de cinzas do figo-da-índia em pó do Tipo A	81
Figura 4.17 - Superfície de resposta para o teor de cinzas do figo-da-índia em pó do Tipo A, relacionando a concentração x temperatura (180 °C)	83
Figura 4.18 - Diagrama de Pareto da Luminosidade (L*) do figo-da-índia em pó do Tipo A	85
Figura 4.19 - Diagrama de Pareto da Luminosidade (L*) do figo-da-índia em pó do Tipo B	87
Figura 4.20 - Diagrama de Pareto da intensidade de vermelho (+a*) do figo-da-índia em pó do Tipo A	90
Figura 4.21 - Diagrama de Pareto da intensidade de vermelho (+a*) do figo-da-índia em pó do Tipo B	92
Figura 4.22 - Diagrama de Pareto da intensidade de amarelo (+b*) o figo-da-índia em pó do Tipo A	95
Figura 4.23 - Superfície de resposta para a intensidade de amarelo (+b*) o figo-da-índia em pó do Tipo A, relacionando a concentração x temperatura (180 °C)	97
Figura 4.24 - Diagrama de Pareto da intensidade de amarelo (+b*) do figo-da-índia em pó do Tipo B	99
Figura 4.25 - Superfície de resposta para a intensidade de amarelo (+b*) do figo-da-índia em pó do Tipo B, relacionando a concentração x temperatura (180 °C)	101
Figura 4.26 - Diagrama de Pareto da atividade de água do figo-da-índia em pó do Tipo A	102

Figura 4.27 - Superfície de resposta para a atividade de água do figo-da-índia em pó do Tipo A, relacionando a concentração x temperatura (180 °C)	104
Figura 4.28 - Diagrama de Pareto da atividade de água do figo-da-índia em pó do Tipo B	106
Figura 4.29 - Isoterma de adsorção de água a 25 °C, do figo-da-índia em pó (Experimento 4 – 35% de maltodextrina; 190 °C com ajuste pelo modelo de Peleg	122
Figura A.1 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de figo-da-índia integral com ajuste pelo Modelo de Ostwald-de-Waelle	146
Figura A.2 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de figo-da-índia integral com ajuste pelo Modelo de Hershel-Bulkey	147
Figura A.3 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de figo-da-índia integral com ajuste pelo Modelo de Casson	147
Figura B.1 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação das formulações da polpa de figo-da-índia com adição de diferentes concentrações de maltodextrina, na temperatura de 25 °C, pelo modelo de Ostwald-de-Waelle	155
Figura B.2 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação das formulações da polpa de figo-da-índia com adição de diferentes concentrações de maltodextrina, na temperatura de 25 °C, pelo modelo de Herschel-Bulkley	156
Figura B.3 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação das formulações da polpa de figo-da-índia com adição de diferentes concentrações de maltodextrina, na temperatura de 25 °C, pelo modelo de Casson	156
Figura E.1 - Isoterma de adsorção de água a 25 °C, da amostra em pó do Experimento nº 4 (35% de maltodextrina – DE = 10; temperatura do ar de secagem = 190 °C), com ajuste pelo modelo de GAB e de Oswin	169

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Composição físico-química, química e nutricional do figo-da-índia de acordo com vários autores	6
Tabela 3.1 - Rendimento do figo-da-índia em pó utilizando-se maltodextrina com diferente dextrose equivalente	33
Tabela 3.2 - Rendimento do figo-da-índia em pó produzido através da secagem por aspersão realizada com diferentes bicos pneumáticos	33
Tabela 3.3 - Níveis reais e codificados do planejamento fatorial 2^2	34
Tabela 3.4 - Matriz de planejamento fatorial 2^2 com 3 repetições no ponto central para a polpa formulada (polpa de figo-da-índia integral com maltodextrina - DE = 10)	35
Tabela 3.5 - Modelos de ajuste de isotermas de adsorção de água	39
Tabela 4.1 - Caracterização química, física e físico-química da polpa de figo-da-índia integral	39
Tabela 4.2 - Parâmetros dos modelos reológicos ajustados ao reograma da polpa de figo-da-índia integral a 25 °C, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P)	42
Tabela 4.3 - Caracterização química, física e físico-química das diferentes formulações elaboradas com polpa de figo-da-índia e diferentes concentrações de maltodextrina (DE = 10)	45
Tabela 4.4 - Valores médios da viscosidade aparente (Pa s) das polpas formuladas com diferentes concentrações de maltodextrina (DE = 10), na temperatura de 25 °C em função da velocidade de rotação	49
Tabela 4.5 - Equações de regressão propostas para o cálculo das viscosidades aparentes das formulações em função da velocidade de rotação, a 25 °C	50
Tabela 4.6 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (%) dos modelos reológicos ajustados aos reogramas a 25 °C das formulações de polpa de figo-da-índia com adição de maltodextrina (DE = 10)	53
Tabela 4.7 - Efeito estimado, erro, coeficiente t e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para o teor de água do pó Tipo A	56

Tabela 4.8 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para teor de água do figo-da-índia em pó do Tipo A	58
Tabela 4.9 - Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para o teor de água do pó Tipo B	60
Tabela 4.10 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para teor de água do figo-da-índia em pó do Tipo B	62
Tabela 4.11 - Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para sólidos solúveis totais do pó Tipo A	64
Tabela 4.12 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para os sólidos solúveis totais do figo-da-índia em pó do Tipo A	65
Tabela 4.13 - Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para sólidos solúveis totais do pó Tipo B	66
Tabela 4.14 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para sólidos solúveis totais do figo-da-índia em pó do Tipo B	67
Tabela 4.15 - Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para pH do pó Tipo A	68
Tabela 4.16 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para pH do figo-da-índia em pó do Tipo A	69
Tabela 4.17 - Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para pH do pó Tipo B	71
Tabela 4.18 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para o pH do figo-da-índia em pó do Tipo B	73
Tabela 4.19 - Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para a acidez total titulável do pó Tipo A	75
Tabela 4.20 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a acidez total titulável do figo-da-índia em pó do Tipo A	76
Tabela 4.21 - Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para a acidez total titulável do pó Tipo B	77

Tabela 4.22 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para acidez total titulável do figo-da-índia em pó do Tipo B	79
Tabela 4.23 - Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para o teor de cinzas do pó Tipo A	81
Tabela 4.24 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para o teor de cinzas do figo-da-índia em pó do Tipo A	82
Tabela 4.25 - Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para a luminosidade (L*) do pó Tipo A	84
Tabela 4.26 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para luminosidade (L*) do figo-da-índia em pó do Tipo A	86
Tabela 4.27 - Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para a luminosidade (L*) do pó Tipo B	87
Tabela 4.28 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para luminosidade (L*) do figo-da-índia em pó do Tipo B	88
Tabela 4.29 - Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para a intensidade de vermelho (+a*) do pó Tipo A	89
Tabela 4.30 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para intensidade de vermelho (+a*) do figo-da-índia em pó do Tipo A	91
Tabela 4.31 - Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para a intensidade de vermelho (+a*) do figo-da-índia em pó do Tipo B	92
Tabela 4.32 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para intensidade de vermelho (+a*) do figo-da-índia em pó do Tipo B	93
Tabela 4.33 - Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para a intensidade de amarelo (+b*) do pó Tipo A	94

Tabela 4.34 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para intensidade de amarelo (+b*) do figo-da-índia em pó do Tipo A	96
Tabela 4.35 - Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para a intensidade de amarelo (+b*) do figo-da-índia em pó do Tipo B	98
Tabela 4.36 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para intensidade de amarelo (+b*) o figo-da-índia em pó do Tipo B	100
Tabela 4.37 - Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para a atividade de água do pó do Tipo A	102
Tabela 4.38 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para atividade de água do figo-da-índia em pó do Tipo A	103
Tabela 4.39 - Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para a atividade de água do figo-da-índia em pó do Tipo B	105
Tabela 4.40 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para atividade de água do figo-da-índia em pó do Tipo B	107
Tabela 4.41 - Valores médios de teor de água (%) do figo-da-índia em pó do Tipo A nas diferentes temperaturas, durante o armazenamento	108
Tabela 4.42 - Equações de regressão propostas para o teor de água do figo-da-índia em pó do Tipo A, em função do tempo de armazenamento	109
Tabela 4.43 - Valores médios da atividade de água do figo-da-índia em pó do Tipo A nas diferentes temperaturas, durante o armazenamento	111
Tabela 4.44 - Equações de regressão propostas para a atividade de água do figo-da-índia em pó do Tipo A, em função do tempo de armazenamento	112
Tabela 4.45 - Valores médios da acidez total titulável do figo-da-índia em pó do Tipo A nas diferentes temperaturas, durante o armazenamento	113
Tabela 4.46 - Valores médios da luminosidade do figo-da-índia em pó do Tipo A nas diferentes temperaturas, durante o armazenamento	115
Tabela 4.47 - Valores médios da intensidade de vermelho do figo-da-índia em pó do Tipo A nas diferentes temperaturas, durante o armazenamento	116

Tabela 4.48 - Equações de regressão propostas para a intensidade de vermelho do figo-da-índia em pó do Tipo A, em função do tempo de armazenamento	117
Tabela 4.49 - Valores médios da intensidade de amarelo do figo-da-índia em pó do Tipo A nas diferentes temperaturas, durante o armazenamento	118
Tabela 4.50 - Equações de regressão propostas para a intensidade de amarelo do figo-da-índia em pó do Tipo A, em função do tempo de armazenamento	119
Tabela 4.51 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados à isoterma de adsorção de água, a 25 °C, do figo-da-índia em pó (Experimento 4 - 35% de maltodextrina; 190 °C)	121
Tabela A.1 - Valores médios da viscosidade aparente, tensão de cisalhamento e taxa de deformação para a polpa do figo-da-índia, a 25 °C, em diferentes velocidades de rotação	146
Tabela B.1 - Análise de variância dos valores médios dos teores de água das formulações em função da concentração de maltodextrina	149
Tabela B.2 - Análise de variância dos valores médios dos sólidos totais das formulações em função da concentração de maltodextrina	149
Tabela B.3 - Análise de variância dos valores médios dos sólidos solúveis totais (°Brix) das formulações em função da concentração de maltodextrina	149
Tabela B.4 - Análise de variância dos valores médios do pH das formulações em função da concentração de maltodextrina	150
Tabela B.5 - Análise de variância dos valores médios da acidez total titulável das formulações em função da concentração de maltodextrina	150
Tabela B.6 - Análise de variância dos valores médios dos açúcares redutores das formulações em função da concentração de maltodextrina	150
Tabela B.7 - Análise de variância dos valores médios dos açúcares totais das formulações em função da concentração de maltodextrina	151
Tabela B.8 - Análise de variância dos valores médios dos açúcares não-redutores das formulações em função da concentração de maltodextrina	151

Tabela B.9 - Análise de variância dos valores médios das cinzas das formulações em função da concentração de maltodextrina	151
Tabela B.10 - Análise de variância dos valores médios de atividade de água das formulações em função da concentração de maltodextrina	152
Tabela B.11 - Análise de variância dos valores médios de luminosidade (L*) das formulações em função da concentração de maltodextrina	152
Tabela B.12 - Análise de variância dos valores médios da intensidade de vermelho (+a*) das formulações em função da concentração de maltodextrina	152
Tabela B.13 - Análise de variância dos valores médios da intensidade de amarelo (+b*) das formulações em função da concentração de maltodextrina	153
Tabela B.14 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente das formulações em função da concentração de maltodextrina	153
Tabela B.15 - Análise de variância das viscosidades aparentes, a 25 °C, da Formulação com 25% de maltodextrina, em função da velocidade de rotação	154
Tabela B.16 - Análise de variância das viscosidades aparentes, a 25 °C, da Formulação com 30% de maltodextrina, em função da velocidade de rotação	154
Tabela B.17 - Análise de variância dos valores médios das viscosidades aparentes, a 25 °C, da Formulação com 35% de maltodextrina em função da velocidade de rotação	155
Tabela C.1 - Valores médios da caracterização física, química e físico-química do figo-da-índia em pó do Tipo A obtido pelo processo de secagem por aspersão	158
Tabela C.2 - Valores médios da caracterização física, química e físico-química do figo-da-índia em pó do Tipo B obtido pelo processo de secagem por aspersão	159
Tabela D.1 - Análise de variância do teor de água do figo-da-índia em pó em função da temperatura e tempo de armazenamento sob atmosfera controlada (KCl)	161

Tabela D.2 - Análise de variância da atividade de água do figo-da-índia em pó em função da temperatura e tempo de armazenamento sob atmosfera controlada (KCl)	161
Tabela D.3 - Análise de variância da acidez total titulável do figo-da-índia em pó em função da temperatura e tempo de armazenamento sob atmosfera controlada (KCl)	161
Tabela D.4 - Análise de variância da luminosidade do figo-da-índia em pó em função da temperatura e tempo de armazenamento sob atmosfera controlada (KCl)	162
Tabela D.5 - Análise de variância da intensidade de vermelho do figo-da-índia em pó em função da temperatura e tempo de armazenamento sob atmosfera controlada (KCl)	162
Tabela D.6 - Análise de variância da intensidade de amarelo do figo-da-índia em pó em função da temperatura e tempo de armazenamento sob atmosfera controlada (KCl)	163
Tabela D.7 - Análise de variância do teor de água em função do tempo de armazenamento da Formulação com 35% de maltodextrina, a 25 °C	163
Tabela D.8 - Análise de variância do teor de água em função do tempo de armazenamento da Formulação com 35% de maltodextrina, a 40 °C	164
Tabela D.9 - Análise de variância da atividade de água em função do tempo de armazenamento da Formulação com 35% de maltodextrina, a 25 °C	164
Tabela D.10 - Análise de variância da atividade de água em função do tempo de armazenamento da Formulação com 35% de maltodextrina, a 40 °C	165
Tabela D.11 - Análise de variância da intensidade de vermelho (+a*) em função do tempo de armazenamento da Formulação com 35% de maltodextrina, a 25 °C	165
Tabela D.12 - Análise de variância da intensidade de amarelo (+b*) em função do tempo de armazenamento da Formulação com 35% de maltodextrina, a 25 °C	166
Tabela D.13 - Análise de variância da intensidade de amarelo (+b*) em função do tempo de armazenamento da Formulação com 35% de maltodextrina, a 40 °C	166

Tabela E.1 - Valores médios do teor de água de equilíbrio do Experimento nº 4
(35% de maltodextrina – DE = 10; temperatura do ar de secagem =
190 °C)

168



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. AGRÍCOLA
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA



Dissertação de Mestrado: **Secagem por aspersão da polpa do figo-da-índia**

Autora: **Plúvia Oliveira Galdino**

Orientadores: **Prof. Dr.ª. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo**

Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de produzir um produto em pó a partir da polpa integral do figo-da-índia, através do método de secagem por aspersão, e avaliá-lo mesmo através do planejamento experimental como, também, sua estabilidade, durante 40 dias de armazenamento sob condições controladas de umidade relativa (83%) e temperatura (25 e 40 °C). Inicialmente, foram feitos testes preliminares para a escolha da dextrose equivalente da maltodextrina a ser usada, a concentração de maltodextrina, a temperatura do ar de secagem e, por fim, a escolha do diâmetro do bico pneumático do equipamento. Formulações foram elaboradas a partir da polpa integral com adição de 25, 30 e 35% de maltodextrina com dextrose equivalente (DE = 10); a seguir, essas formulações foram desidratadas em secador por aspersão com temperatura do ar de secagem de 170, 180 e 190 °C, bico pneumático de diâmetro de 1,2mm, vazão de bombeamento da polpa formulada de 0,5 L/h, vazão do ar comprimido de 0,3 L/min. A polpa integral e as formulações foram caracterizadas quanto aos parâmetros físicos, químicos e físico-químicos. Avaliou-se, também, o comportamento reológico das polpas nas temperaturas de 25 °C e os dados experimentais foram ajustados pelos modelos de Ostwald-de-Waele, Herschel-Bulkley, Casson e Mizrahi-Berk. Ao final do processo de secagem foram coletados dois tipos de amostras em pó: na câmara de secagem (Tipo A) e no ciclone (Tipo B), e analisados físico-quimicamente, através do planejamento experimental fatorial 2^2 com 3 pontos centrais, com a finalidade de se avaliar a influência da concentração de maltodextrina e da temperatura de secagem nos parâmetros teor de água, sólidos solúveis totais, pH, acidez total titulável, açúcares (reduzidores, totais e não-reduzidores), cinzas, cor e atividade de água. Para a seleção do melhor pó levou-se em consideração o menor teor de água das amostras; com isto selecionou-se o pó do Experimento nº4 (35% de maltodextrina e 190 °C de temperatura) como sendo o melhor, o qual foi submetido ao armazenamento durante 40 dias sob condições controladas de umidade relativa (83%) e temperatura (25 e 40°C). Analisou-se a isoterma de adsorção de água na temperatura de 25 °C, da amostra em pó selecionada e se ajustaram os modelos de GAB, Oswin e Peleg aos dados experimentais. A polpa de figo-da-índia integral foi considerada pouco ácida e se trata de um fluido pseudoplástico, em que o modelo de Mizrahi-Berk foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais. Nas formulações a adição de maltodextrina alterou as características da polpa integral, apresentando-se com comportamento também pseudoplástico, sendo o modelo de Mizrahi-Berk o que melhor se ajustou aos dados experimentais. O figo-da-índia em pó, coletado na câmara de secagem (Tipo A),

apresentou características diferentes das do figo-da-india em pó coletado no ciclone (Tipo B). Os modelos empíricos de primeira ordem para o figo-da-india em pó do Tipo A, obtidos para o teor de água, pH, cinzas e intensidade de amarelo, foram significativos e preditivos, enquanto para o figo-da-india em pó do Tipo B, apenas os modelos para o teor de água e para a intensidade de amarelo foram significativos e preditivos. Verificou-se, durante o armazenamento das amostras em pó, que as embalagens laminadas não evitaram a absorção de água aumentando, assim, o teor de água e; conseqüentemente, a atividade de água durante o armazenamento; as amostras em pó permaneceram inalteradas com relação à luminosidade e a acidez total titulável nas duas temperaturas; para a intensidade de vermelho houve um decréscimo na temperatura de 25 °C, enquanto que na temperatura de 40 °C permaneceu constante; e a intensidade de amarelo apresentou um decréscimo durante o armazenamento, mas a predominância da cor amarela não foi afetada. A isoterma de adsorção de água foi classificada como sendo do Tipo III e o modelo de Peleg foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais.

Palavras-chave: *Opuntia ficus indica* Mill., desidratação, maltodextrina, planejamento experimental



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. AGRÍCOLA
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA



Dissertação de Mestrado: **Secagem por aspersão da polpa do Figo-da-Índia**

Autora: **Plúvia Oliveira Galdino**

Orientadores: **Prof. Dr.ª. Rossana Maria Feitosa de Figueiredo**

Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz

ABSTRACT

This work was developed with the goal of producing a powder product from the full pulp of the cactus-pear, by spray drying method, and evaluate it using the same experimental design as well, its stability during 40 days storage under controlled humidity (83%) and temperature (25 and 40 °C). Initially, tests were preliminary to the choice of the dextrose equivalent of maltodextrin to use, the concentration of maltodextrin, the temperature of the drying air, and finally, the choice of nozzle diameter pneumatic equipment. Formulations were prepared from the pulp with the addition of 25, 30 and 35% maltodextrin with dextrose equivalent (DE = 10), below, these formulations were spray dried in a dryer with drying air temperature of 170, 180 and 190 °C, pneumatic nozzle diameter of 1.2 mm, flow pumping pulp made of 0.5 L / h, the air flow of 0.3 L / min. Whole pulp and the formulations were characterized for physical, chemical and physical chemists. We evaluated also the rheological behavior of slurries at temperatures of 25 °C and the experimental data were fitted by the models of Ostwald-de-Waelle, Herschel-Bulkley, Casson and Mizrahi-Berk. At the end of the drying process were collected two types of powder samples: in the drying chamber (Type A) and Cyclone (Type B), and physical-chemical analysis, by 2² factorial experimental design with three central points, with order to evaluate the influence of maltodextrin concentration and drying temperature on the parameters water content, total soluble solids, pH, total acidity, sugars (reducing, total and non-reducing), ash, color and water activity. For the selection of the best powder took into account the lower water content of the samples with that selected the dust of Experiment No. 4 (35% maltodextrin and 190 °C temperature) as the best, which was submitted to storage for 40 days under controlled humidity (83%) and temperature (25 and 40 °C). We analyzed the adsorption isotherm of water at 25 °C, the powdered sample selected and adjusted models of GAB, Oswin and Peleg the experimental data. The full pulp of the cactus-pear was considered slightly acidic and it is a pseudoplastic fluid in the Mizrahi-Berk model was the best fit to the experimental data. In addition of maltodextrin formulations to alter the characteristics of the full flesh, presenting with pseudoplastic behavior also, and the Mizrahi-Berk model that best fit the experimental data. The cactus-pear powder, collected in the drying chamber (Type A) showed different characteristics from the cactus-pear powder collected in the cyclone (type B). The empirical models of first order for the cactus-pear powder Type A, obtained for water content, pH, ash and yellow intensity, and were significant predictors, while for the cactus-pear powder Type B, only the models for the water content and the intensity of yellow were significant and predictive. It was found during storage of powder samples, the

laminated packaging did not prevent the absorption of water, thus increasing the water content and, consequently, the water activity during storage, the powder samples remained unchanged with respect luminosity and total acidity in the two temperatures, for the intensity of red was a decrease in temperature of 25 ° C, while the temperature of 40 °C remained constant, and the yellow intensity showed a decrease during storage, but the predominance yellow color was not affected. The adsorption isotherm of water was classified as Type III and Peleg model was the best fit to the experimental data.

Keywords: *Opuntia ficus indica* Mill., dehydration, maltodextrin, experimental design

1 – INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro abrange 74% da área total da região Nordeste e 13% do território do Brasil. Tradicionalmente, a população utiliza as plantas nativas e as adaptadas à caatinga, com as mais diversas finalidades, extraindo delas óleo, cera, borracha, resinas, forragens, madeiras, fármacos, cosméticos, perfumes, fibras e frutos. Em algumas microrregiões a escassez de água limita, inclusive, o uso da irrigação mas é possível produzir alimentos de culturas adaptadas às suas condições, destacando-se a fruticultura, atividade que se beneficia em qualidade e produtividade.

Dentre as espécies frutíferas que se constituem em alternativa econômica para o semiárido brasileiro e podem contribuir com o desenvolvimento da região, se destaca o fruto da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.), também denominado figo-da-índia.

A palma, apesar de nativa da América tropical, da parte Sul dos Estados Unidos e do norte do México, é excepcionalmente adaptada às condições edafoclimáticas do semiárido nordestino. É produzida na região visando à exploração dos cladódios ou “raquetes” para ração animal; entretanto, o aproveitamento dos frutos dessas cactáceas para a alimentação humana ainda é escasso na região, apesar de constituir um produto de alto valor no mercado internacional.

O figo-da-índia é um fruto doce e succulento, rico em vitaminas A e C e minerais (cálcio e magnésio), podendo ser consumido *in natura* ou processado das mais variadas formas, motivos que o tornam bastante apreciado em alguns países e em determinadas regiões do Brasil. O aproveitamento do figo-da-índia se estenderia, inclusive, ao campo dos corantes, utilização defendida em MOHAMED et al. (1996), segundo os quais a polpa em pó se presta como corante de cor amarelo-alaranjado, solúvel em água, para preparo de sobremesas, frutas ou cereais em barra, pratos instantâneos e chocolates.

O figo-da-índia é um fruto perecível, frágil, o que representa obstáculo para a comercialização na forma *in natura*, além disso, o figo-da-índia possui espinhos na superfície, dificultando seu consumo.

Dentre as técnicas empregadas para a manutenção da qualidade pós-colheita de frutas, a secagem, além de ser utilizada como método de conservação, minimizando reações deteriorativas e perdas do valor comercial, resulta ainda em uma transformação do produto, prolongando sua vida útil, agregando valor e dando origem a uma nova opção no mercado, beneficiando-se ainda das características positivas associadas ao produto

original. Em muitos casos, o novo produto é favorecido pela concentração dos princípios nutricionais, conseqüente da extração de parte do conteúdo de água.

O aproveitamento de frutas pode ser feito mediante a secagem do fruto inteiro ou processado. Como o figo-da-índia possui grande quantidade de sementes, a maneira mais viável é a secagem da polpa desse fruto.

Dentre os diversos métodos de secagem, a secagem por aspersão (*spray drying*) tem, como resultado final, um produto em pó. Este tipo de secagem possui a vantagem de permitir a obtenção de produtos de qualidade comparáveis aos obtidos pela liofilização, a custos industriais inferiores.

A secagem por aspersão é, por definição, a transformação do material líquido, que pode estar na forma de solução, emulsão, suspensão ou pasta, para o estado sólido, na forma de pó. Esta secagem se dá por meio da dispersão de gotículas do material em contato com ar aquecido dentro da câmara de secagem, resultando em partículas isoladas, grânulos ou aglomerados; essas formas dependem das propriedades físicas e químicas do material, do projeto e da operação do secador (MASTERS, 1972). A secagem por aspersão de sucos ou polpa de frutas, é caracterizada pelo curto tempo de residência da matéria-prima na câmara de secagem, minimizando os danos causados pelo aquecimento do produto.

Os produtos alimentícios em pó são cada vez mais utilizados pela indústria nacional, tendo em vista que tais produtos reduzem significativamente os custos de certas operações, tais como embalagem, transporte, armazenamento e conservação, elevando o valor agregado dos mesmos (COSTA et al., 2003).

As condições ideais de armazenamento correspondem àquelas em que os produtos podem ser acondicionados, pelo maior tempo possível, sem perda apreciável de seus atributos de qualidade, como sabor, aroma, textura, cor e teor de água (CHITARRA & CHITARRA, 2005).

Tradicionalmente, as embalagens para alimentos têm sido planejadas para proteger o produto; um de seus principais requisitos é a não interação com o alimento acondicionado, funcionando assim como uma barreira inerte entre o alimento e o ambiente. Entretanto, as tecnologias envolvendo embalagens ativas visam ao planejamento de embalagens que apresentem interações desejáveis com o produto, aumentando ou monitorando sua vida-de-prateleira (AZEREDO et al., 2000).

1.1 - Objetivo geral

Produção da polpa do figo-da-índia em pó, pelo processo de secagem por aspersão (*spray drying*) usando-se planejamento experimental e avaliação das características do produto seco, como também sua estabilidade, durante 40 dias de armazenamento sob condições controladas de umidade relativa (83%) e temperatura (25 e 40 °C)

1.1.1 - Objetivos específicos

- Caracterizar a polpa de figo-da-índia integral quanto aos parâmetros químicos, físicos e físico-químicos;
- Elaborar formulações para a secagem por aspersão, com a polpa de figo-da-índia e adição de diferentes concentrações de maltodextrina (25, 30 e 35%) e caracterizar, nessas amostras, as propriedades físicas, químicas e físico-químicas;
- Avaliar, através da matriz de planejamento fatorial, a influência das variáveis de entrada (concentração de maltodextrina e temperatura de secagem) sobre as respostas (caracterização química, física e físico-química) das amostras em pó;
- Avaliar a estabilidade do produto em pó selecionado como o melhor, a partir da análise dos resultados do planejamento experimental, acondicionado em embalagens laminadas durante 40 dias de armazenamento sob condições controladas de temperatura (25 e 40 °C) e umidade relativa (83%);
- Determinar a isoterma de adsorção de água da melhor amostra em pó na temperatura de 25 °C.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Figo-da-índia

A família Cactaceae é constituída por estimativa aproximada de 1600 a 2000 espécies. Os membros desta família são encontrados como vegetação nativa, desde o Chile, Argentina até o Canadá, e é cultivada em mais de 30 países (WALLACE & GIBSON, 2002).

A palma forrageira é uma planta que pode atingir aproximadamente de 3 a 5 m de altura, caule com 60 a 150 cm de largura (Figura 2.1); possui cladódios obvalados ou arredondados, dependendo do subgênero, com 30 a 60 cm de comprimento. As auréolas são piriformes, os espinhos são quase ausentes e, quando presentes, medem aproximadamente 1 cm de comprimento, sendo de cor cinza translúcido e as flores são da cor laranja ou amarelas (CANTWELL, 2001).



Figura 2.1 - Palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill.) (Fonte: WORDPRESS, 2009)

De acordo com HOLFMAN (2001) o fruto da palma forrageira, conhecido por figo-da-índia, é uma baga ovalada ou alongada que consiste em uma casca grossa carnosa, com

espinhos no pericarpo envolvendo uma polpa succulenta contendo muitas sementes. Cada espécie ou tipo de *Opuntia* produz frutas de diferentes formas, cores e sabores delicados.

Dentre as espécies frutíferas que se constituem em alternativa econômica para o semiárido brasileiro e podem contribuir para o desenvolvimento da região Nordeste se destaca o figo-da-índia, excepcionalmente adaptado às condições edafo-climáticas locais. A palma vegeta perfeitamente no clima semiárido brasileiro e produz, assim, forragem e frutos, mesmo em anos com menores índices pluviométricos (GRANGEIRO, 2004).

A produtividade de frutos de palma é muito variável entre os países produtores mas superior à de outras frutíferas cultivadas no semiárido, tal como a época de colheita (INGLESE, 2001). CANTWELL (2001) mencionam que a produtividade de frutos de palma oscila entre 4-10 t/ha no México, 6-15 t/há no Chile, 15-25 mil kg/ha em Israel e na Itália e de 10-30 mil kg/ha na África do Su, cuja comercialização é feita, geralmente, a granel ou em caixas.

No Brasil, no entanto, o cultivo para a produção de frutas acabou se concentrando no estado de São Paulo, por obra dos colonos italianos que trouxeram, da terra natal não só o gosto pelo fruto mas também as técnicas de manejo. Em decorrência, talvez, do incômodo causado pelos pequenos espinhos ou por conta do desconhecimento do fruto, o figo-da-índia ainda não conquistou grande espaço no mercado brasileiro. Assim, de cerca de 20 mil caixas (cada uma contendo cinco unidades, em média) produzidas anualmente, apenas 30% se destinam ao mercado interno e são os descendentes de europeus e árabes os principais consumidores. O restante é exportado para a Europa, razão pela qual todo o processo de cultivo, manejo e embalagem, segue rígido padrão de qualidade (SANTOS et al., 2007).

HERNÁNDEZ (2001) relatou que a composição nutritiva do figo-da-índia se destaca pelo elevado valor em fibras, vitamina A e C, alto conteúdo de cálcio e fósforo e baixo poder calórico, aproximadamente 50 kcal/100 g de polpa; é consumido *in natura*, em sucos ou cozido em geléias e doces, devendo-se ter cuidado ao saborear o fruto, pois o mesmo é composto de espinhos na casca.

Alguns dados encontrados na literatura sobre a composição química, físico-química e nutricional do figo-da-índia se encontram sumarizados na Tabela 2.1. O principal ácido orgânico, que contribui com a acidez e o aroma característico, encontrado no figo-da-índia é o ácido cítrico, seguido do málico; o elevado percentual de umidade explica seu reduzido valor calórico.

Tabela 2.1 - Composição físico-química, química e nutricional do figo-da-índia de acordo com vários autores

Componente	COELHO	MANICA FAO FRANCO			SEPÚLVEDA	SAWAYA	BICALHO &
	et al. (2004)	(2002)	(1997)	(1995)	& SÁENZ (1990)	et al. (1983)	PENTEADO (1981/1982)
Umidade (%)	87,27	-	-	-	83,770	85,60	84,83
Cinzas (%)	-	0,40	-	-	0,44	0,44	0,36
Acidez (% ác.cítrico)	0,124	0,18	-	-	0,059	-	0,06
Sólidos solúveis (%)	12,26	19,66	-	-	14,06	-	13,65
pH	5,948	-	-	-	6,37	-	5,33
Proteínas (%)	-	0,98	0,80	0,40	0,82	0,21	1,08
Açúc. totais (%)	-	13,42	-	13,20	14,06	12,8	-
Valor calórico (kcal/100 g)	-	-	-	55,3	-	47,30	-
Vit.C (mg/100 g)	-	-	60,0	30,0	20,33	22,0	80,91
Fibra (%)	-	2,79	0,10	-	0,23	0,02	0,02

A Food Agriculture Organization (FAO) reconhece o potencial da palma e sua importância para o desenvolvimento das regiões áridas e semiáridas, especialmente nos países em desenvolvimento, através da exploração econômica das várias espécies, com consequências sustentáveis para o meio ambiente e para a segurança alimentar. Mundialmente, a palma é utilizada para produzir forragem, verdura para consumo humano, sobretudo no México, e como fruta fresca processada para os mercados nacional e internacional, especialmente nos países Europeus, além da possibilidade de exploração das propriedades medicinais, constatadas experimentalmente no tratamento de diabetes, gastrite e obesidade (LOPES et al., 2007).

Em geral, na alimentação humana são usados em preparações culinárias os brotos da palma ou raquetes jovens (cladódios), denominados verdura e os frutos, que são

consumidos como fruta fresca ou processados. O uso do fruto da palma na alimentação humana é comum no México, desde o período que antecedeu a colonização espanhola (INGLESE, 2001). Após a conquista o fruto manteve seu papel básico na dieta da população mexicana e, decorrido um século, já estava sendo consumido no Sul da Itália e na ilha da Sicília (INGLESE, 2001).

LOPES & SILVA (2006) demonstraram, estudando a elaboração de fermentados a partir do figo-da-índia, demonstraram que os vinhos fabricados a partir da polpa e do fruto integral resultaram em bebidas dentro dos padrões estabelecidos pela legislação brasileira para vinhos de frutas.

GALDINO (2008) caracterizando físico-quimicamente e sensorialmente o iogurte produzido com leite de vaca e leite de cabra enriquecido com polpa do cladódio da palma forrageira, demonstrou que o produto obteve boa aceitabilidade por parte dos provadores.

2.2 – Secagem

Desde a antiguidade a humanidade se tem preocupado em racionalizar as fontes de alimentos, para o que desenvolveu, empiricamente, métodos artesanais de conservação e de transformação de alimentos. A remoção de água de alimentos sólidos surgiu como forma de reduzir a atividade de água (a_w) para inibir o crescimento microbiano, evitando assim a deterioração dos mesmos. Esta remoção passou a ter grande importância na redução dos custos energéticos, de transporte, embalagem e armazenagem desses alimentos (PARK et al., 2006).

A secagem é um dos processos disponíveis para a aplicação na indústria de polpas de frutas, concentrando os princípios da matéria-prima e habilitando o produto para o armazenamento em condições ambientais, por longos períodos (GOMES et al., 2004). Na polpa de fruta seca há a vantagem de se poder manter o material em temperatura ambiente, sem os gastos necessários para a conservação a frio. A polpa seca, processada na forma de pó, geralmente apresenta fácil reconstituição em água, possibilidade de formulação com outros produtos e baixa relação volume/massa, com conseqüente economia em custos de embalagem e espaço de armazenamento (ALEXANDRE et al., 2007). A redução do peso e do volume do produto pode levar também a uma economia substancial em custos de transporte.

A secagem é um processo complexo, que envolve transferência de calor e massa, sendo que o transporte de umidade do interior para a superfície do material, pode ocorrer

na forma de líquido e/ou vapor, dependendo do tipo de produto e do percentual de umidade presente. O processo de secagem deve ocorrer de forma controlada, para que possa ocorrer de maneira uniforme, evitando elevados gradientes de umidade e temperatura no interior do material, passíveis de provocar a perda da qualidade do produto. Sabendo-se que os efeitos da secagem alteram as propriedades físicas e químicas do produto e que, por sua vez, afetam o processo de transferência de calor e massa, é fundamental se conhecer seus efeitos e o controle (FARIAS et al., 2002).

Diversas são as técnicas de secagem que podem ser usadas na desidratação de alimentos, porém a escolha é orientada pela natureza do material a ser desidratado, pela forma que se deseja dar ao produto processado, pelo fator econômico e pelas condições de operação (EVANGELISTA, 1994).

Segundo PARK et al. (2006), durante a secagem é necessário não apenas fornecimento de calor para evaporar a umidade do material mas também um sorvedor de umidade, com vista a remover o vapor água, formado a partir da superfície do material a ser secado; é este processo de fornecimento de calor da fonte quente para o material úmido, que promoverá a evaporação da água do material e, em seguida, a transferência de massa arrastará o vapor formado. Observa-se, assim, que dois fenômenos ocorrem simultaneamente quando um sólido úmido é submetido a secagem:

- transferência de energia (calor) do ambiente para evaporar a umidade superficial; esta transferência depende de condições externas de temperatura, umidade do ar, fluxo e direção de ar, área de exposição do sólido (forma física) e pressão;
- transferência de massa (umidade), do interior para a superfície do material e sua subsequente evaporação, devido ao primeiro processo; o movimento interno da umidade no material sólido é função da natureza física do sólido, da sua temperatura e do conteúdo de umidade.

As vantagens de se utilizar o processo de secagem são várias, dentre as quais se tem: facilidade na conservação do produto; estabilidade dos componentes aromáticos a temperatura ambiente, por longos períodos de tempo; proteção contra degradação enzimática e oxidativa; redução do seu peso; economia de energia, por não necessitar de refrigeração e a disponibilidade do produto durante qualquer época do ano (PARK et al., 2001).

2.2.1 - Secagem por aspersão

A secagem por aspersão também é denominada secagem por atomização e secagem por nebulização, e na língua inglesa de *spray drying*.

Existe uma ampla gama de produtos que requerem a utilização do sistema de secagem por atomização, que mantém as propriedades físico-químicas dos produtos e, em alguns casos, chega a melhorar essas propriedades. Através de uma solução, emulsão, suspensão ou pasta, é enorme a diversidade de produtos que se pode secar por meio deste sistema na indústria química e alimentícia. Entretanto, para a produção de frutas em pó torna-se necessário o uso de formulações que contenham material de parede que evitem a caramelização dos açúcares que existem nas polpas das frutas (ANSELMO et al., 2006).

GAVA (1998) classificou os tipos de desidratadores em adiabáticos e de transferência de calor por superfície sólida. Os secadores por aspersão (*spray drying*) são do primeiro tipo, no qual o calor é conduzido por meio de ar quente; esse grupo inclui também os secadores de cabine, túnel, leito fluidizado, fornos e secagem em camada de espuma (*foam mat dryer*). O mesmo autor descreve os secadores por aspersão como equipamentos nos quais a secagem se faz por pulverização em processo contínuo e em que um líquido ou pasta é transformado em produto seco, caracterizando-se, pelo tempo de secagem, relativamente mais curto que nos outros secadores.

O secador por aspersão é utilizado na indústria alimentícia, principalmente para elaboração de leite em pó, café solúvel, sucos de frutas desidratados, entre outros. A Figura 2.2 ilustra o esquema de funcionamento do secador por aspersão.

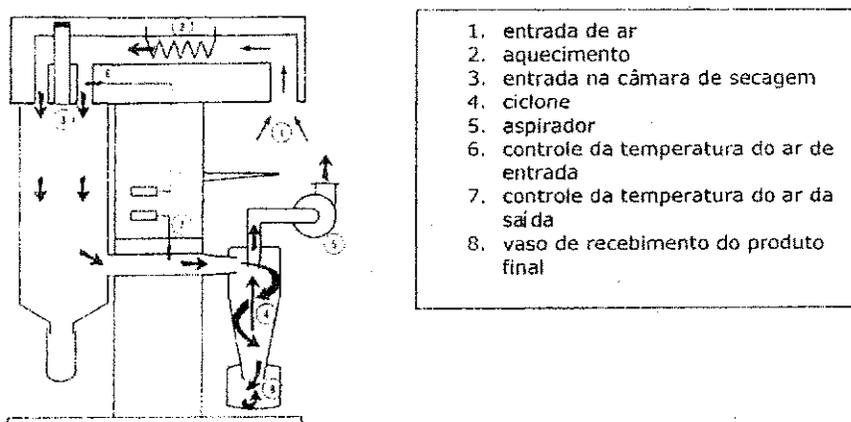


Figura 2.2 - Esquema de funcionamento do secador por aspersão (Fonte: LANNES & MEDEIROS, 2003)

De acordo com GELDART (1972), no processo de secagem por aspersão o material de parede envolve as partículas sólidas, formando uma microcápsula. Mediante este processo, simples e rápido, se consegue secar os sólidos e sólidos solúveis, com qualidade e com a preservação das características essenciais. O processo de cobertura de partículas em leito fluidizado é realizado através da suspensão de partículas sólidas, por meio de um fluxo de gás aquecido ascendente. A cobertura é dispersa por meio de um atomizador dentro de uma câmara e se deposita como uma fina camada na superfície das partículas, em movimento ascendente e descendente.

Os secadores por aspersão ou de leito fluidizado são amplamente utilizados na secagem de materiais em virtude de oferecerem um excelente contato entre as partículas e o gás. O estudo da secagem de materiais nesses secadores visa à otimização de processos industriais e à obtenção de produtos com características morfológicas (área superficial, diâmetro médio de partícula, massa específica), de acordo com as exigências do mercado. A fluidez das partículas no processo de cobertura em leito fluidizado é essencial para obtenção de um produto final homogêneo e depende do tamanho e da densidade das microcápsulas (ANSELMO et al., 2006).

Segundo DOMINGUES et al. (2002), quando bem conduzida, uma secagem por aspersão gera um produto de maior valor nutritivo, estável e também versátil, em sua utilização, podendo ser utilizado como aromatizante, corante, edulcorante, vitaminas, minerais, acidulantes e temperos, em formulações alimentícias. As propriedades físicas relacionadas com a qualidade dos produtos obtidos são influenciadas pelas condições operacionais do secador e características da suspensão de alimentação (MASTERS, 1991).

Segundo GAVA (1978), a atomização está baseada em quatro fases:

- atomização do líquido;
- contato do líquido com o ar quente;
- evaporação da água; e
- separação do produto em pó do ar de secagem.

Quando o ar quente entra em contato com a partícula úmida, ocorre a desidratação quase instantânea da gotícula e há evaporação da água na câmara de secagem, na forma de névoa. O ar de secagem sai pela parte inferior do equipamento, em temperatura que pode variar de 60 a 100 °C, passando por ciclones para recuperar as partículas finas através da força de gravidade e permitindo a saída do ar limpo para a atmosfera, através de chaminés. A construção da câmara e as condições de trabalho são ajustadas de modo a permitir a

evaporação da água sem elevar demasiadamente a temperatura do produto. A separação do produto seco do ar de secagem tem grande influência sobre as características do pó final, devido ao manuseio mecânico usado nesta etapa. O manuseio mecânico excessivo resulta em pó mais fino (DAIÚTO & CEREDA, 2003).

TANAKA (2007) estudando a influência da secagem por aspersão do suco de acerola sobre o teor de ácido ascórbico, verificou que a perda dessa vitamina foi, do início ao fim do processo, de 80,65%.

GOMES (2009), desidratando polpas de buriti formuladas em secador por aspersão, avaliou as características físicas, químicas e físico-químicas da polpa do buriti e das amostras em pó. Nas amostras em pó os parâmetros de cinzas, luminosidade, intensidade de vermelho e intensidade de amarelo, não sofreram influência da temperatura de secagem.

OLIVEIRA (2006) realizou a desidratação de polpa de pitanga em secador por aspersão e, ao analisar os pós coletados na câmara de secagem e no ciclone, verificou que as amostras em pó apresentaram diferentes tempos de escoamento, densidade, umidade, açúcares redutores e extrato alcoólico, sem demonstrar diferença estatística quanto ao teor de ácido ascórbico, acidez e proteínas.

2.3 - Aditivos

Aditivos são produtos adicionados ao alimento visando melhorar suas qualidades sensoriais e nutricionais. Existem duas classes de aditivos: intencionais e acidentais. Os intencionais são em grande número, da ordem de 2.000 – 2.500, e os acidentais são em número menor mas muito variável, pois dependem quase que totalmente de circunstâncias incontroláveis ou desconhecidas. Os aditivos intencionais são necessários aos produtos processados, dos quais o consumidor espera cor, sabor e textura, porém o aditivo deve ser comprovadamente não-tóxico aos níveis consumidos e, especialmente, não deve ter efeito tóxico cumulativo (BOBBIO & BOBBIO, 1992).

A fim de viabilizar o processo de secagem por aspersão, faz-se necessário o uso do aditivo ou material de parede, cuja função principal é envolver a partícula seca, evitando sua adesão nas paredes do secador devido à caramelização dos açúcares, além de conservar componentes voláteis constituintes do aroma (SILVA, 2008).

A maioria dos processos de atomização na indústria de alimentos é conduzida a partir de soluções aquosas, visto que o material de parede deve ser razoavelmente solúvel em água. Os polissacarídeos são os compostos mais utilizados para esta operação pois,

além de sua diversidade, atendem aos requisitos básicos e são de baixo custo (DZIEZAK, 1988). Os materiais de parede mais utilizados são a goma arábica, as maltodextrinas, os amidos modificados e a mistura entre eles.

Nos últimos anos outros polissacarídeos também têm sido testados como facilitadores da secagem. OLIVEIRA (2008) analisou a substituição (total e parcial) de maltodextrinas (MD) por goma de cajueiro (GC), um polissacarídeo semelhante à goma arábica, e avaliou o impacto das variáveis do processo de atomização - proporção adjuvante de secagem/sólidos de caju (2:1-5:1) e grau de substituição de MD por GC (0-100%), sobre a retenção de ácido ascórbico, higroscopicidade, fluidez e solubilidade do suco de caju atomizado, tendo verificado que a retenção de ácido ascórbico durante a atomização foi favorecida por maiores proporções de adjuvante de secagem/sólidos de caju (AS/SC) e maior grau de substituição de MD por GC. A goma de cajueiro mostrou-se um material bastante promissor a ser utilizado como adjuvante de secagem.

2.3.1 - Maltodextrina

As maltodextrinas são, por definição, hidrolisados de amido que consistem em unidades de α -D-glicose ligadas principalmente por ligações glicosídicas (1-4) com uma fórmula geral igual a $[(C_6H_{10}O_5)_n.H_2O]$ (KENNEDY et al., 1995).

A hidrólise de uma dispersão de amido com ácidos ou enzimas produz maltodextrinas. As maltodextrinas são usualmente descritas por sua dextrose equivalente (DE). São definidos como maltodextrinas os produtos com valores de DE menores que 20. Esses produtos são menos higroscópicos, não apresentam doçura, além de serem excelentes para contribuir com o corpo de sistemas alimentícios. A hidrólise do amido a valores de DE entre 20-60 resulta em uma mistura de moléculas que, quando seca, é denominada xarope de milho sólido. Esses produtos apresentam maior capacidade de absorver umidade, dissolvem-se rapidamente e são levemente doces (BEMILLER & WHISTER, 1996).

Maltodextrina (enzimática) é um produto em pó, de cor branca a levemente creme, sabor neutro a levemente adocicado, ausência de grânulos de amido, pH entre 4,5 e 5,5, acidez entre 0,5 e 2,0 mL de NaOH/100 g e $5 > DE < 20$, com presença de baixos teores de maltose (< 5%) e de glicose (< 3%). As maltodextrinas podem ser consideradas amidos pré-gelatinizados levemente hidrolisados por enzimas (DAIÚTO & CEREDA, 2003).

Produtos com alta DE possuem também maior poder redutor, influenciando a tendência ao escurecimento e à propriedade de proteção contra a oxidação oferecida pelos xaropes de milho sólido. Com o aumento da DE a umidade relativa na qual um pó permanece solto, é significativamente menor. Isto significa que, com uma maltodextrina com alta DE, é mais provável ocorrer colapso do que com uma maltodextrina com baixa DE, sob as mesmas condições ambientais (QI & XU, 1999; KENYON & ANDERSON, 1998).

De acordo com REINECCIUS (2001), a deficiência nas propriedades emulsificantes das maltodextrinas não é um problema se o material ativo a ser encapsulado for solúvel em água ou se um emulsificante secundário for utilizado no processamento; desta forma, as maltodextrinas são utilizadas principalmente como auxílio para materiais de difícil secagem, como suco concentrado de frutas, saborizantes solúveis em água, enzimas ou adoçantes de alta potência.

A combinação de solubilidade com baixa higroscopicidade faz com que as maltodextrinas com baixa dextrose equivalente (DE) sejam adequadas como veículo na desidratação de sucos de frutas. O uso de alta DE proporciona maior tendência a reações de escurecimento, maior higroscopicidade e solubilidade, maior doçura, menor coesividade, menor estabilidade da emulsão (MURRAY & LUFT, 1973).

Segundo REINECCIUS (1991) e SHAHIDI & HAN (1993), a maltodextrina é usada porque, além do baixo custo, apresenta baixa higroscopicidade, evitando a aglomeração das partículas; tem efeito antioxidante e mostra retenção de voláteis na faixa de 65 a 80%.

No Brasil, as maltodextrinas são muito utilizadas para desidratação de produtos, tais como sucos e polpas de frutas, achocolatados em pó, produtos farmacêuticos etc, porém parte das maltodextrinas que estão no comércio brasileiro é, na verdade, dextrinas. As maltodextrinas enzimáticas verdadeiras têm quase 10% de açúcares redutores, como glicose e maltose, o que não é o caso daquelas encontradas no mercado (DAIÚTO & CEREDA, 2003).

BEATUS et al. (1985) utilizaram vários materiais de parede em diferentes combinações na secagem por aspersão de Paprika oleoresina, quais sejam: maltodextrina (DE = 15), goma arábica, gelatina e caseinato de sódio. Dentre os materiais estudados a maltodextrina proporcionou uma proteção melhor ao corante encapsulado.

BHANDARI et al. (1993) utilizaram maltodextrinas com DE = 6, 12 e 19 na desidratação de sucos concentrados de groselha preta, damasco e framboesa. O uso de

maltodextrinas com DE mais baixa permitiu o uso de maior proporção de suco na formulação.

ANSELMO et al. (2006) verificaram, determinando a higroscopicidade do cajá em pó, desidratado por meio de secagem por aspersão com 10% de maltodextrina e 5% de amido modificado, que quanto menor a temperatura para uma mesma umidade relativa do ar ou atividade de água, maior foi o teor de água do cajá em pó.

SILVA et al. (2007) constataram, realizando análise sensorial da polpa reconstituída do cajá em pó obtido pelo processo de secagem por atomização com 15% de maltodextrina, 10% de maltodextrina + 5% de amido modificado e 7,5% de maltodextrina + 7,5% de amido modificado, que a formulação que obteve características sensoriais mais próximas da polpa *in natura* foi a do cajá em pó, secado com 15% de maltodextrina, conservando melhor a cor e a aparência. Constataram, ainda, que o aumento da proporção do amido modificado está relacionado com o escurecimento e a alteração das características sensoriais da polpa e do suco de cajá.

2.4 – Reologia

A viscosidade é a propriedade do fluido que descreve a magnitude da resistência a forças cisalhantes do fluido (SHARMA et al., 2000). Conforme STREETER (1996) define-se um fluido como uma substância que se deforma continuamente quando submetida a um esforço constante, sem importar quão pequeno seja este esforço.

Fluidos reais se deformam irreversivelmente, ou seja, quando tensões são aplicadas sobre esses materiais, eles escoam. A energia de deformação é dissipada dentro dos fluidos em forma de calor e não pode se recuperada se a tensão aplicada for cessada. Devido ao escoamento esses materiais são estudados na reologia, pela relação entre a taxa e a tensão de cisalhamento (STEFFE, 1996).

Na reologia de sólidos a propriedade de maior interesse é a elasticidade ao passo que, em líquidos, a viscosidade é a propriedade mais importante. A viscosidade de um material pode ser definida como a propriedade física dos fluidos que caracterizam sua resistência ao escoamento (PARK & LEITE, 2011). O comportamento de maior ou menor fluidez de um material depende da interação física entre as moléculas que o compõem e essa interação depende, sobremaneira, das forças de atração e repulsão entre as moléculas (BOBBIO & BOBBIO, 2003).

De acordo com SHARMA et al. (2000), a reologia desempenha papel fundamental no desenvolvimento, fabricação e processamento de produtos alimentícios; as propriedades reológicas também servem como meio de controlar e monitorar um processo industrial. A importância do conhecimento do comportamento reológico dos derivados de frutas está na sua utilização como medida de qualidade além de ser indispensável em projetos, avaliação e operação dos equipamentos processadores de alimentos, porém de importância essencial na economia de energia (HAMINIUK, 2005).

O comportamento reológico representa o comportamento mecânico dos materiais quando em processo de deformação devido a um campo de tensões. Importantes nos fenômenos relacionados à transferência de massa que tem lugar nos processos industriais, as características reológicas são também imprescindíveis na otimização, no controle e nos cálculos de processos. Esses conhecimentos servem, igualmente, para o desenvolvimento de produtos e correlação de parâmetros físicos e sensoriais (BEZERRA, 2000).

Na secagem por aspersão a viscosidade das soluções tem influência direta na secagem, interferindo no tamanho das gotículas nebulizadas, nas incrustações na parede do secador, no tamanho das partículas desidratadas e na qualidade final do pó, em especial na retenção de aromas (GOMES, 2009).

Os líquidos são, em geral, classificados em função do seu comportamento reológico, que envolve a determinação e análise da relação entre a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento para determinada condição de temperatura e pressão. De maneira bem abrangente, os fluidos podem ser classificados, reologicamente, como Newtonianos e não-Newtonianos (STEFFE, 1996).

2.4.1 – Fluidos Newtonianos

No fluido Newtoniano somente ocorrem efeitos de atrito mecânico e o nível energético dessas interações se aproxima do nível energético para ruptura e formação de pontes de hidrogênio num líquido (IZIDORO, 2007).

Nesses fluidos o gradiente da deformação ($\dot{\gamma}$) é diretamente proporcional à força (tensão) aplicada, (σ), sendo a proporcionalidade dada por uma constante intrinsecamente dependente da natureza do fluido; essa constante é o coeficiente de viscosidade (η) que representa o atrito mecânico entre as camadas, Equação 2.1, que independe da variação de σ e $\dot{\gamma}$, ou seja, as propriedades reológicas de fluidos Newtonianos são independentes da

taxa de deformação e do histórico anterior de cisalhamento e dependentes apenas da composição e da temperatura (STEFFE, 1996). Num fluido Newtoniano o valor da viscosidade caracteriza o fluido e este valor não varia com a tensão aplicada.

$$\sigma = \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (2.1)$$

em que:

σ - tensão de cisalhamento (N/m^2)

$\dot{\gamma}$ - taxa de cisalhamento (s^{-1})

η - viscosidade Newtoniana (Pa.s)

Entre os alimentos que possuem comportamento de fluidos Newtonianos, tem-se: bebidas destiladas, refrigerantes, leite, óleos, soluções de sacarose e de vários sais (BOBBIO, 1995).

2.4.2 – Fluidos não-Newtonianos

Quando há interação entre os componentes de um fluido e essas interações dependem e afetam a velocidade de deformação causada por forças externas, então o fluido é chamado não-Newtoniano. A essa categoria pertence a grande maioria dos colóides hidrofílicos. O coeficiente de viscosidade (η) para esses sistemas varia com a tensão aplicada e é chamado viscosidade aparente η_{ap} (BOBBIO, 1995). Um exemplo de classificação simples do comportamento reológico de fluidos é apresentado na Figura 2.3:

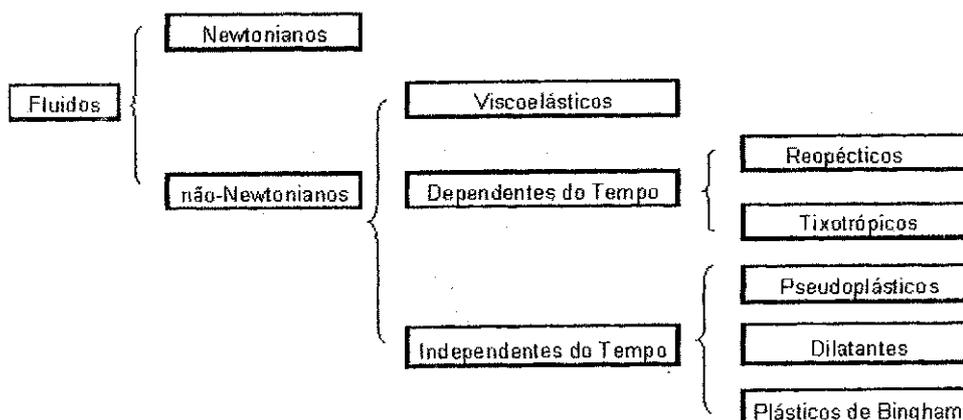


Figura 2.3 – Classificação do comportamento reológico (Fonte: IZIDORO, 2007)

2.4.2.1 – Fluidos pseudoplásticos

Neste grupo se encontra a maioria dos fluidos de comportamento não-Newtoniano (VIDAL & GASPARETTO, 2000). Quando a viscosidade aparente diminui com o aumento da tensão de cisalhamento, independentemente do tempo de aplicação da força, tem-se um tipo de fluido, chamado pseudoplástico e, ao cessar a causa deformante, o fluido volta a ter o valor de viscosidade inicial (MCCLEMENTS, 2011). Nesses fluidos a taxa de deformação versus a tensão de cisalhamento, forma uma linha convexa Figura 2.4 (SHARMA et al., 2000).

OLIVEIRA (2006), analisando o comportamento reológico da polpa formulada de pitanga (polpa de pitanga adicionada de 15% de maltodextrina e 30% de água destilada) em diferentes temperaturas (10, 20, 30, 40 e 50 °C), verificou que as amostras apresentaram comportamento não-newtoniano e pseudoplástico.

2.4.2.2 – Fluidos dilatantes

Nos fluidos dilatantes a viscosidade aparente aumenta com o aumento da tensão de cisalhamento. Esse tipo de fluxo é encontrado em líquidos que contêm alta proporção de partículas rígidas insolúveis em suspensão (BOURNE, 1982). Alguns tipos de mel e suspensões de amido se enquadram nesta categoria (SHARMA et al. 2000; STEFFE, 1996).

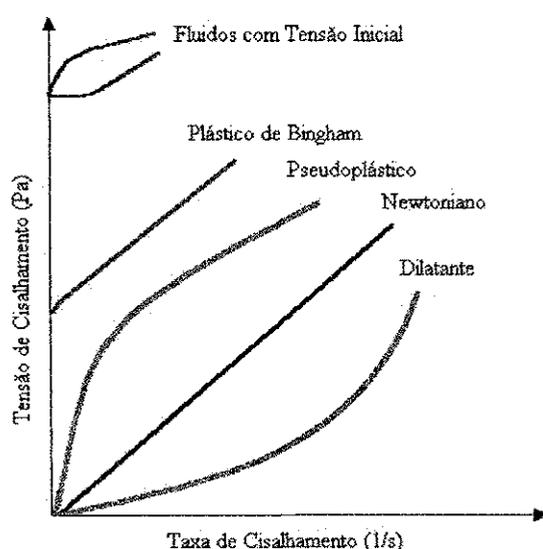


Figura 2.4 – Curvas de escoamento para vários tipos de fluido independentes do tempo
(Fonte: SHARMA et al., 2000)

2.4.2.3 - Fluidos de Bingham

Segundo MCCLEMENTS (2011), o fluido de Bingham se comporta como sólido sob condições estáticas. Certa quantidade de força deve ser aplicada antes que o fluxo seja induzido (tensão inicial). De acordo com BOBBIO (1995), os fluidos plásticos de Bingham exibem comportamento semissólido não autodeformável, mas deformável pela aplicação de uma força superior à força mínima de escoamento. Purê de batata, mostarda e catchup, são alguns exemplos de fluidos de Bingham (BOURNE, 1982).

2.4.2.4 - Fluidos Tixotrópicos

Existem dois casos em que os efeitos produzidos pela aplicação de força externa de deformação perduram parcialmente quando cessa a força aplicada, isto é, o fluido demora um tempo maior daquele em que foi aplicada a força para voltar ao estado inicial. Tais fluidos são denominados tixotrópicos e reopéticos. Os fluidos tixotrópicos e reopéticos exibem histerese, isto é, a viscosidade dos sistemas sujeitos a uma força por um tempo t não é mesma, quando medida no mesmo tempo t , depois de cessada a ação da força (BOBBIO, 1995).

Fluidos desse grupo apresentam comportamento reológico dependente do tempo e são conhecidos por conterem pequenas partículas (cristais ou biopolímeros) que são mantidas juntas por forças fracas. O cisalhamento do material separa as partículas agregadas e então ocorre uma resistência menor ao escoamento e a viscosidade decresce com o tempo, até um valor constante ser alcançado (MCCLEMENTS, 2011). Entre os alimentos que apresentam comportamento tixotrópico estão os géis de pectina, géis de alginato, gelatinas, cremes, manteigas, molho para saladas, entre outros. O tixotropismo pode ser atribuído à presença de ligações de hidrogênio presentes entre as micelas coloidais e que, rompidas pela agitação, voltam a se formar no sistema em repouso (SHARMA et al., 2000).

2.4.2.5 - Fluidos reopéticos

Em alguns alimentos a viscosidade aparente do fluido aumenta com o tempo quando sujeito a uma taxa constante de cisalhamento. Há diferentes razões para este comportamento, em que a mais importante é o fato de que o cisalhamento aumenta a

frequência das colisões entre as moléculas ou partículas dos fluidos, que pode levar para um aumento de agregados e, conseqüentemente, a um aumento na viscosidade aparente (MCCELEMENTS, 2011). Este tipo de comportamento não é comum em alimentos mas pode ocorrer em soluções de amido altamente concentradas (SHARMA et al., 2000).

2.4.2.6 - Fluidos viscoelásticos

Segundo MCCLEMENTS (2011), muitos produtos não são líquidos puros ou sólidos puros, mas possuem propriedades reológicas que são parcialmente viscosas e parcialmente elásticas. Quase todas as soluções de polímeros, mesmo diluídas, apresentam comportamento viscoelástico e, muitas vezes, este comportamento não é detectado por instrumentos não configurados para essas medidas. Clara de ovo é o exemplo típico de comportamento viscoelástico (VIDAL, 2000).

2.4.3 – Modelos Reológicos

O comportamento reológico de produtos alimentícios pode ser estimado por meio de modelos reológicos, em que sua principal função é representar, matematicamente, a relação entre os valores experimentais da tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, para determinado fluido e, assim, permitir o tratamento analítico do escoamento desses materiais (VIEIRA, 1996). Tem-se, na literatura, vários modelos que podem ser utilizados para prever o comportamento reológico de polpa de frutas e de outros produtos alimentícios. Dentre os modelos mais conhecidos tem-se o de Ostwald-de-Waelle ou Lei da Potência, Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk e Casson.

De acordo com os modelos de Ostwald-de-Walle ou Lei da Potência (Equação 3.1), Herschel-Bulkley (Equação 3.2) e Mizrahi-Berk (Equação 3.3), pode-se avaliar o comportamento do fluido em estudo, através do parâmetro (n), onde segundo LEWIS (1987), para valores de $n < 1$, a viscosidade aparente decresce com o aumento do gradiente de velocidade, caracterizando o fluido como pseudoplástico; para $n > 1$, é caracterizado como fluido dilatante e, para $n = 1$, o fluido é classificado como newtoniano.

BRANCO & GASPARETTO (2003), estudando o comportamento reológico de misturas de manga, laranja e cenoura, verificaram que o modelo de Ostwald-de-Waelle descreveu satisfatoriamente o comportamento reológico das formulações estudadas, nas temperaturas de 10 e 60 °C.

FERNANDES (2010) verificou, avaliando o comportamento reológico da polpa de cajá integral na temperatura de 25 °C, que os modelos Herschel-Bulkley e Mizrahi-Berk se ajustaram bem aos dados experimentais, apresentando coeficientes de determinação (R²) superiores a 0,98 e desvios percentuais médios (P) inferiores a 4%.

SILVA et al. (2005), analisando o comportamento reológico do suco industrializado de acerola com concentrações de sólidos solúveis totais de 4, 7, 10, 13 e 16 °Brix nas temperaturas entre 5 e 85 °C, verificaram que o modelo de Herschel-Bulkley descreveu adequadamente o comportamento reológico do suco industrializado de acerola, e constataram o comportamento pseudoplástico do suco.

OLIVEIRA et al. (2009) constataram, determinando o comportamento reológico do suco de uva, que o modelo de Ostwald-de-Waele descreveu adequadamente o suco com comportamento pseudoplástico, além de apresentar redução na viscosidade aparente com o aumento de temperatura (20, 25, 30 e 35 °C).

2.5 – Planejamento experimental fatorial

Através de planejamentos experimentais baseados em princípios estatísticos, pode-se extrair, do sistema em estudo, o máximo de informações úteis, fazendo-se um mínimo de experimentos. A falta de planejamento experimental é causa, muitas vezes do insucesso de uma investigação, sendo raros os pesquisadores que pensam em estatística antes de realizar seus experimentos (BARROS NETO et al., 2001).

O planejamento experimental é uma ferramenta poderosa para estudar o efeito do conjunto de vários fatores sobre uma variável resposta de interesse. Uma das técnicas mais conhecidas é o planejamento fatorial, no qual estão envolvidos k fatores (ou variáveis) cada um deles presente em diferentes níveis. O caso mais simples é aquele que, em cada fator, k está presente em apenas dois níveis. Na realização de um experimento com k fatores em dois níveis, são feitas $2 \times 2 \times \dots \times 2$ (k vezes) = 2^k observações da variável resposta e, portanto, tal planejamento é denominado experimento fatorial 2^k (NEVES & SCHVARTZMAN, 2002).

No planejamento de qualquer experimento a primeira coisa a fazer é decidir quais são os fatores e as respostas de interesse. Em geral, os fatores são as variáveis que o pesquisador tem condições de controlar e podem ser qualitativas ou quantitativas. As respostas são as variáveis de saída do sistema nas quais se tem interesse e que serão – ou não – afetadas por modificações provocadas nos fatores; também podem ser qualitativas ou

quantitativas. Dependendo do problema, pode-se ter várias respostas de interesse, que talvez precisem ser consideradas simultaneamente (BARROS NETO et al., 2001).

A essência de um bom planejamento consiste em projetar um experimento de forma que ele seja capaz de fornecer exatamente o tipo de informação que se procura; para isto, é necessário definir claramente que objetivo se pretende alcançar com os experimentos, porque isto determinará que tipo de planejamento experimental deve ser utilizado. Quando se deseja fazer uma triagem inicial dos fatores é vantajoso começar pela execução de planejamentos fatoriais fracionários. Esses planejamentos são extremamente econômicos e podem ser usados para estudar 20 ou mais fatores experimentais ao mesmo tempo, enquanto os planejamentos fatoriais completos avaliam quantitativamente a influência das variáveis sobre a resposta de interesse, bem como suas possíveis interações. Quando o objetivo principal do pesquisador é otimizar seu sistema, isto é, maximizar ou minimizar algum tipo de resposta, utiliza-se a metodologia de superfície de resposta (RSM) (BARROS NETO et al., 2001).

Alguns cuidados devem ser observados para que se possa obter o máximo de informações na realização do planejamento fatorial. Dentre esses se encontra a necessidade de realizar repetições de alguns ensaios para que se possa estimar o erro experimental. As replicatas devem ser repetições autênticas, devendo representar adequadamente o espaço experimental no qual o planejamento fatorial foi desenvolvido. Outro cuidado a ser observado refere-se à realização dos experimentos. É importante que todos os ensaios e replicatas previstos no desenvolvimento do fatorial sejam realizados de forma aleatória. Esses cuidados visam evitar distorções estatísticas que possam comprometer a qualidade dos resultados obtidos e dos efeitos calculados para as variáveis estudadas (BRASIL et al., 2007).

A metodologia de superfície de resposta (MSR) pode ser definida como um método estatístico que utiliza dados quantitativos de um desenho experimental adequado para determinar e, simultaneamente, solucionar equações multivariadas. Essas equações podem ser representadas graficamente como superfícies de resposta, que podem ser usadas de três formas: descrever como as variáveis em teste afetam as respostas; para determinar as interrelações entre as variáveis em teste e para descrever efeitos combinados de todas as variáveis em teste sobre a resposta (MONTGOMERY, 1984).

A MSR apresenta uma ampla aplicação na pesquisa, porque ela considera vários fatores em níveis diferentes e as interações correspondentes entre esses fatores e níveis. No contexto de planejamento de experimentos o principal objetivo dos pesquisadores é

caracterizar a relação entre uma ou mais variáveis resposta e um conjunto de fatores de interesse. Isto pode ser executado através da construção de um modelo que descreva a variável resposta em função dos valores aplicáveis desses fatores (SILVA, 2008).

TONON (2009), avaliou a produção do suco de açaí em pó obtido pelo método de secagem por aspersão através do planejamento experimental fatorial completo 2^3 com três pontos centrais, utilizando como variáveis de entrada a temperatura de secagem (140 °C), a vazão mássica (15 g/min) e o agente carreador (6%: maltodextrina – DE=10; maltodextrina DE=20; goma arábica e fécula de mandioca), sobre as variáveis resposta teor de água, higroscopicidade, retenção de antocianinas e rendimento do processo. Observou-se, com o planejamento experimental fatorial, que a temperatura de secagem exerceu influência significativa sobre todas as respostas estudadas. A vazão mássica de alimentação da mistura afetou negativamente o rendimento do processo e a higroscopicidade e, positivamente, o teor de água. A concentração de agente carreador apresentou efeito negativo sobre a higroscopicidade do pó e o rendimento do processo.

GOMES (2009) utilizou, desidratando polpas de buriti formuladas com maltodextrina (DE = 10, 14 e 20) em secador por aspersão, planejamento experimental fatorial completo 2^2 com 2 pontos centrais, avaliando os efeitos das variáveis de entrada, temperatura de secagem (130, 150 e 170 °C) e concentração de maltodextrina (5, 10 e 15%) sobre as variáveis resposta teor de água, acidez total titulável, cinzas, densidade e cor. De acordo com o planejamento experimental fatorial aplicado, somente a variável resposta densidade apresentou o modelo empírico proposto como sendo significativo e preditivo.

2.6 – Isoterma de adsorção de água

A água é um dos mais importantes componentes dos alimentos, capaz de afetar as propriedades físicas, químicas e microbiológicas. A forma como a água afeta a natureza física e as propriedades dos alimentos, é complicada, devido à interação entre a água e o meio, o que envolve a estrutura física e a composição química dos diversos solutos incluindo polímeros e colóides ou partículas dispersas. É possível estabelecer uma relação estreita entre o teor de água livre no alimento e sua conservação. O teor de água livre é expresso pela atividade de água (a_w) que é dada pela relação entre a pressão de vapor de água em equilíbrio sobre o alimento e a pressão de vapor de água pura, à mesma temperatura, ou seja, a umidade relativa em equilíbrio com o produto na temperatura considerada (PARK et al., 2006).

As isotermas de sorção podem ser definidas como a representação analítica da variação do teor de água de um produto, em função de sua umidade relativa. Têm vasto número de aplicações na área de alimentos e representam o estado de equilíbrio de todos os processos nos quais moléculas de água se combinam reversivelmente com alimentos (MEDEIROS et al., 2002).

As isotermas de sorção exercem particular importância no projeto do processo de desidratação de alimentos, especialmente na determinação do ponto final de secagem, garantindo viabilidade econômica e segurança microbiológica. Seus dados permitem que se calculem o tempo de vida-de-prateleira do produto e a escolha de tipo de embalagem adequada para armazená-lo. Modelos matemáticos são usados para descrever a sorção de água com base nas teorias de adsorção química (AROGBA, 2001; HINZ, 2001; HOSSAN et al., 2001; LEWICKI, 2000).

As informações acerca da umidade de equilíbrio são imprescindíveis no processamento e armazenamento de alimentos. No processo de secagem a umidade de equilíbrio é a umidade final que o produto pode atingir se o processo for conduzido em longo período de tempo (PARK et al., 2001).

Nas amostras em pó a qualidade e a vida útil têm forte dependência com o seu teor de água, que exerce influência sobre a palatabilidade, digestibilidade, estrutura física e manuseio. Praticamente, todos os processos deteriorativos que ocorrem com os alimentos também são influenciados pela concentração e mobilidade da água presente (ALEXANDRE et al., 2007).

As isotermas da adsorção de água de muitos alimentos são não lineares, geralmente apresentam forma sigmóide e têm sido classificadas como isotermas do tipo II, sendo que no caso dos frutos predominam formas com concavidade voltada para o eixo das abcissas, até níveis intermediários de umidade relativa, passando a uma forma exponencial em regiões de umidades relativas elevadas. Alimentos ricos em componentes solúveis, açúcares, arroz, café e ácido cítrico cristalino em geral, são do tipo III. As isotermas dos tipos I, IV e V, não apresentam interesse maior no caso de alimentos (LIMA, 2006).

Existem, na literatura, diversos modelos para a representação das isotermas de sorção, geralmente empíricos e úteis na caracterização dos produtos, como os modelos de GAB, Peleg e Oswin.

SILVA et al. (2007) determinando, pelo método dinâmico as isotermas de adsorção de água nas temperaturas de 10 a 50 °C, do cajá em pó, secado em secador por aspersão com diferentes tipos e concentrações de aditivos, verificaram que o modelo de Henderson

modificado por Cavalcanti-Mata, foi o que melhor representou os dados experimentais do cajá em pó secado com 15% de maltodextrina e do secado com 7,5% de maltodextrina + 7,5% de amido modificado, enquanto o modelo de Oswin modificado foi o que melhor representou os dados experimentais do cajá em pó secado com 10% de maltodextrina + 5% de amido modificado.

RIGHETTO (2003) verificou, ao determinar, pelo método gravimétrico, as isotermas de adsorção de água nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C, do suco de acerola verde desidratado por secagem por aspersão e por liofilização, curvas com formato sigmoidal classificadas do Tipo II e outras do tipo III, bom ajuste do modelo de G.A.B aos dados experimentais e modificações das propriedades físicas das amostras em $a_w > 0,43$.

GOMES (2009) constatou, determinando as isotermas de adsorção de água nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C da polpa de buriti em pó, obtida da secagem por aspersão e coletada na câmara de secagem, que os modelos de GAB, Peleg e Oswin se ajustaram bem aos dados experimentais.

2.7 – Armazenamento

De acordo com PUZZI (1986), a armazenagem vem a ser a atividade destinada à guarda e conservação, em condições inalteradas de qualidade e quantidade, de produtos agrícolas.

Produtos submetidos a secagem, embora se beneficiem do retardo no crescimento de microrganismos e do aumento no tempo de conservação necessitam, nas fases de transporte e armazenamento, de embalagem adequada, que mantenha as características do produto obtidas na secagem (EVANGELISTA, 1992).

Entre os fatores ambientais que afetam a estabilidade de alimentos, o mais estudado é a temperatura, o que se justifica não apenas por seu grande efeito sobre as taxas de reação mas também pelo fato de ser um fator totalmente imposto pelo ambiente ao alimento; neste contexto, as propriedades de barreira contra a ação desses fatores representam papel de grande importância na estabilidade de alimentos durante o armazenamento (TAOUKIS et al., 1997).

A qualidade dos produtos desidratados se altera com o tempo de armazenamento, devido às diversas reações de natureza enzimática, oxidativa, entre outras. De maneira geral, tais produtos, quando embalados de forma a serem protegidos para evitar o contato com o oxigênio e o ganho de umidade, apresentam maior vida de prateleira (SILVA et al.,

2005). Em produtos alimentícios armazenados o tipo de embalagem empregada influencia as reações metabólicas, diminuindo seu ritmo por meio da modificação do microclima criado em seu interior, constituindo-se numa barreira que impede ou dificulta o contato entre o ambiente externo e o produto (GARCIA et al., 1989).

A vida-de-prateleira depende, fundamentalmente, da proteção oferecida pela embalagem contra a absorção de umidade presente no ambiente de estocagem (ALVES, 2001).

Embalagens laminadas têm sido mais efetivas em relação às embalagens de polietileno, no prolongamento de vida útil de produtos desidratados, conforme demonstram alguns resultados da literatura, devido à maior proteção contra oxidação e absorção de umidade (SOARES et al., 2001).

ENDO et al. (2007) avaliaram a vida útil do suco de maracujá desidratado por secagem por aspersão, natural e adicionado de açúcar, embalado em embalagens laminadas e armazenado em ambientes com 30 e 40 °C e 84% de umidade relativa. O produto foi avaliado através de determinações físicas e microbiológicas, tendo-se verificado, durante o armazenamento, que a cor e o tamanho das partículas se alteraram, tornando-se escuros e aglomerados, principalmente os que foram adicionados de açúcar e expostos a 40 °C. Quanto aos parâmetros microbiológicos, os sucos desidratados sem adição de açúcar permaneceram estáveis. Considerou-se 120 dias a 30 °C e 60 dias a 40 °C como período de armazenamento seguro pois, aos 180 dias, ocorreu um decréscimo na umidade, além de aumento no tamanho das partículas, indicativo de aglomeração e posterior dificuldade de reconstituição.

LISBÔA (2010) avaliou a estabilidade da polpa de figo-da-índia em pó, obtida a partir do processo de secagem em camada de espuma, acondicionada em embalagens laminadas, durante 100 dias de armazenamento sob condições controladas de temperatura (25 e 40 °C) e umidade relativa (55,4 e 83,3%). Durante o armazenamento das amostras em pó, as embalagens laminadas não evitaram a absorção de água nas duas temperaturas de armazenamento, com conseqüente aumento da atividade de água e diminuição dos açúcares redutores; as amostras em pó armazenadas a 40 °C sofreram escurecimento.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas – LAPP, pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande.

3.1 - Matéria-prima

A matéria-prima utilizada foi figo-da-índia (*Opuntia ficus-indica* (L). Mill), adquirido no município de Boqueirão, PB, em estágio de maturação maduro, determinado pela coloração da casca, variando entre alaranjado e vermelho e em bom estado físico. O referido município está localizado na região do semiárido paraibano, apresenta altitude de 355 m, clima tropical chuvoso com verão seco; com temperatura máxima de 37 °C e mínima de 16 °C, encontra-se a 40 km do município de Campina Grande e a 146 km da capital, João Pessoa.



Figura 3.1 – Figos-da-índia (*Opuntia ficus-indica* (L). Mill)

3.2 – Processamento do figo-da-índia

Após a colheita os frutos foram acondicionados em caixas plásticas e transportados até o ambiente de laboratório onde foram processados de acordo com o fluxograma da Figura 3.2, para obtenção da polpa integral do figo-da-índia.

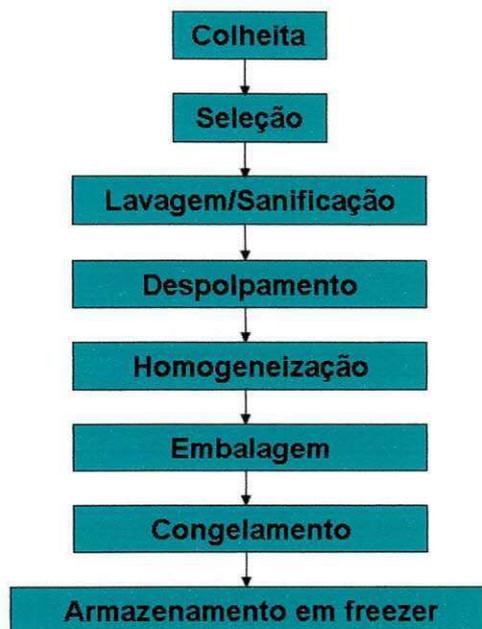


Figura 3.2 - Fluxograma das etapas realizadas para a obtenção da polpa de figo-da-índia integral

Os frutos foram selecionados manualmente quanto ao estágio de maturação, danos mecânicos e podridão; em seguida, os mesmos passaram por um processo de lavagem em água corrente; com o auxílio de uma esponja, foram eliminadas as sujidades e os gloquídeos; logo após foram sanitizados por imersão dos frutos em uma solução de hipoclorito de sódio a 50 ppm, durante 10 minutos; posteriormente, foram enxaguados em água corrente para retirada do excesso da solução sanitizante.

Após escoamento natural da água os frutos foram cortados manualmente, ao meio, (Figura 3.3) com o auxílio de uma faca de aço inoxidável para extração do endocarpo (polpa + sementes).

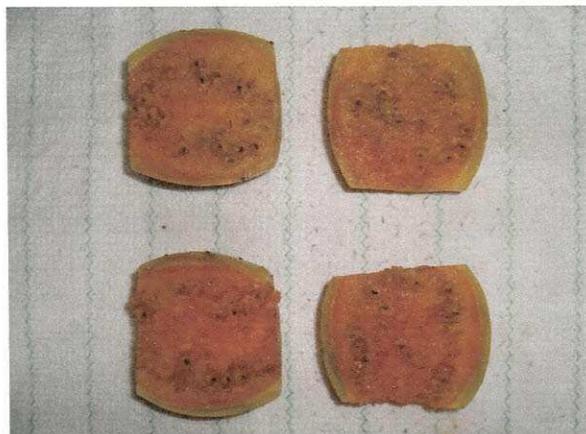


Figura 3.3 – Processo de descascamento do figo-da-índia

A polpa, juntamente com as sementes, seguiu para uma despoldadeira mecânica, onde então foi obtida a polpa integral do figo-da-índia. O processo de embalagem foi realizado manualmente e a polpa foi embalada em sacos de polietileno de baixa densidade, com capacidade para 500 g; em seguida, as polpas embaladas foram imersas em nitrogênio líquido, a temperatura de -196 °C para congelamento rápido, sendo armazenadas em freezer a uma temperatura de -22 °C para posterior utilização nos experimentos.

3.3 – Caracterização química, física e físico-química

A polpa do figo-da-índia integral e as polpas formuladas foram caracterizadas física, química e físico-quimicamente, quanto ao pH, sólidos solúveis totais (°Brix), teor de água/sólidos totais, acidez total titulável, açúcares totais, açúcares redutores e não redutores, cinzas, atividade de água, cor e comportamento reológico. Todos esses procedimentos foram realizados em triplicata.

3.3.1 - pH

O pH foi determinado pelo método potenciométrico; o potenciômetro foi previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0; os resultados foram expressos em unidades de pH.

3.3.2 - Sólidos solúveis totais (°Brix)

Os sólidos solúveis totais (°Brix) foram determinados por leitura direta em refratômetro Abbé, com correção de temperatura pela tabela contida no manual do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005).

3.3.3 - Sólidos totais /Teor de água

Os sólidos totais e o teor de água foram determinados através do método descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005), expressos em percentagem (%).

3.3.4 – Acidez total titulável

A acidez total titulável foi determinada através do método titulométrico do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005), cujas amostras foram tituladas com solução padronizada de NaOH 0,1 N e os resultados expressos em percentagem de ácido cítrico.

3.3.5 - Açúcares totais, redutores e não-redutores

Os açúcares redutores, totais e não-redutores foram determinados utilizando-se o método de redução alcalina, a metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005) e os resultados expressos em percentagem de glicose.

3.3.6 - Cinzas

O teor de cinzas foi determinado através da metodologia descrita pela AOAC (1997), utilizando-se uma mufla na temperatura de 525 °C; os resultados foram expressos em percentagem (%).

3.3.7 - Atividade de água

A atividade de água da polpa do figo-da-índia foi determinada com o equipamento Aqualab 3TE, da Decagon Devices. A medição foi feita com as amostras a 25 °C.

3.3.8 - Cor

Os parâmetros de cor da polpa do figo-da-índia foram determinadas utilizando-se o espectrofotômetro MiniScan HunterLab XE Plus; neste instrumento, equipado com iluminante D65, ângulo de observação de 10° e calibrado com placa padrão branca (X=80,5; Y=85,3; Z=90,0) foram determinados os seguintes parâmetros: L* - luminosidade; a* - transição da cor verde (-a*) para o vermelho (+a*); e b* - transição da cor azul (-b*) para a cor amarela (+b*).

3.3.9 – Comportamento reológico

As determinações das medidas das viscosidades aparentes da polpa de figo-da-índia integral e nas polpas formuladas foram realizadas utilizando-se um viscosímetro Brookfield modelo RVT, fabricado por Brookfield Engineering Laboratories, EUA., em diferentes velocidades de rotação do equipamento (0,5; 1; 2,5; 5; 10; 20; 50 e 100 rpm), a 25 °C, em sextuplicata.

Com os dados coletados no viscosímetro da polpa de figo-da-índia integral e de suas formulações, fez-se um tratamento dos dados, transformando-se as leituras (torque) realizadas no viscosímetro em medidas reológicas. Para tal, foi utilizada a metodologia proposta por MITSCHKA (1982) obtendo-se, desta forma, valores da tensão de cisalhamento e da taxa de deformação.

Os modelos reológicos de Ostwald-de-Waelle ou Lei da potência (Equação 3.1), Mizrahi–Berk (Equação 3.2), Herschel–Bulkley (Equação 3.3) e Casson (Equação 3.4) foram ajustados às curvas da tensão de cisalhamento, em função da taxa de deformação para descrever o comportamento reológico da polpa de figo-da-índia integral e de suas formulações, utilizando-se o programa computacional Statistica versão 5.0.

Ostwald-de-Waelle

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad (3.1)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

$\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s^{-1})

K - índice de consistência ($Pa s^n$)

n - índice de comportamento do fluido (adimensional)

Mizrahi–Berk

$$\tau^{0,5} = K_{OM} + K_M \dot{\gamma}^{n_M} \quad (3.2)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

$\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s^{-1})

K_{OM} - raiz quadrada da tensão inicial (Pa)

K_M - índice de consistência (Pa sⁿ)

n_{HM} - índice de comportamento do fluido (adimensional)

Herschel-Bulkley

$$\tau - \tau_{OH} = K_H \dot{\gamma}^{n_H} \quad (3.3)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

$\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s⁻¹)

τ_{OH} - tensão de cisalhamento inicial (Pa)

K_H - índice de consistência (Pa sⁿ)

n_H - índice de comportamento do fluido (adimensional)

Casson

$$\tau^{1/2} = K_{0C} + K_C \dot{\gamma}^{1/2} \quad (3.4)$$

em que:

τ - Tensão de cisalhamento (Pa)

$\dot{\gamma}$ - Taxa de deformação (s⁻¹)

$K_{0C}^2 = \tau_{0c}$ - Tensão de cisalhamento inicial (Pa)

K_C - viscosidade plástica de Casson (Pa s)

Foram utilizados, como critérios de determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais, o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio percentual médio (P), calculado pela Equação 3.5.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|x_{\text{exp}} - x_{\text{pred}}|}{x_{\text{exp}}} \quad (3.5)$$

em que:

P - desvio percentual médio (%)

x_{exp} - valores obtidos experimentalmente

x_{pred} - valores preditos pelo modelo

n - número de dados experimentais

Para as amostras formuladas realizou-se uma análise estatística dos dados da viscosidade aparente em esquema fatorial 8 (velocidades de rotação) x 3 (concentração de maltodextrina) usando-se o programa ASSISTAT. Com essas amostras aplicaram-se, ainda, equações de regressão polinomiais para estimar a viscosidade aparente, em função da velocidade de rotação.

3.4 - Preparo das polpas formuladas

As polpas de figo da índia integrais foram descongeladas até atingir a temperatura ambiente ($\approx 25\text{ }^{\circ}\text{C}$); em seguida, foram elaboradas três formulações com as mesmas e com adição de maltodextrina (Mor Rex®), com dextrose equivalente (DE) igual a 10, em diferentes concentrações (25, 30 e 35%). Tais formulações foram homogeneizadas e analisadas em triplicata, quanto aos parâmetros químicos, físicos e físico-químicos, segundo as metodologias do item 3.3, para posteriormente serem secadas.

3.5 – Ensaio preliminares

Com a finalidade de selecionar a dextrose equivalente da maltodextrina que apresentasse melhor desempenho ao ser misturada à polpa de figo-da-índia para obter o máximo de rendimento possível de pó pelo método de secagem por aspersão (*spray dryer*), foram testados dois tipos de maltodextrina com diferentes dextrose equivalente (DE 10 e 20), ambos cedidos pela Corn Products Brasil.

Dos ensaios preliminares verificou-se que a maltodextrina com dextrose equivalente DE = 20, na concentração de 15% e se utilizando uma temperatura do ar de secagem de $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, não impediu o processo de caramelização da polpa de figo-da-índia nas paredes da câmara de secagem obtendo-se, conseqüentemente, baixo rendimento de pó enquanto a maltodextrina com dextrose equivalente DE = 10 com concentração de 30% e se utilizando uma temperatura do ar de secagem de $180\text{ }^{\circ}\text{C}$, não caramelizou a polpa formulada na câmara de secagem mas apresentou rendimento um pouco acima, quando comparado com a maltodextrina com DE = 20, conforme apresentado na Tabela 3.1; decidiu-se com base nesses resultados, trabalhar apenas com a maltodextrina com DE = 10.

Tabela 3.1 – Rendimento do figo-da-índia em pó utilizando-se maltodextrina com diferente dextrose equivalente

Maltodextrina	Concentração (%)	Temperatura do ar de secagem (°C)	Rendimento (% m/m)
DE = 10	15	150	4,53
DE = 20	30	180	3,00

3.5.1 – Seleção do bico pneumático

Logo após se escolher a maltodextrina com dextrose equivalente DE = 10 para ser o aditivo adicionado a polpa integral, iniciaram-se novos ensaios com a finalidade de selecionar o bico pneumático a ser utilizado no processo de secagem. Foram testados três (3) bicos de diâmetros distintos (0,7, 1,0 e 1,2 mm), identificando-se qual deles proporcionaria maior rendimento de pó, tanto na câmara de secagem quanto no ciclone (Tabela 3.2). Com os resultados preliminares, selecionou-se o bico aspessor com diâmetro de 1,2 mm.

Tabela 3.2 – Rendimento do figo-da-índia em pó produzido através da secagem por aspersão realizada com diferentes bicos pneumáticos

Diâmetro do bico (mm)	Concentração de maltodextrina (%)	Temperatura do ar de secagem (°C)	Rendimento do pó (% m/m)	
			Câmara (Tipo A)	Ciclone (Tipo B)
0,7	30	180	2,71	3,5
1,0	30	180	4,53	2,79
1,2	30	180	12,6	6,15

3.6 – Caracterização química, física e físico-química das formulações

Os parâmetros seguintes foram determinados quanto às características químicas, físicas e físico-químicas das formulações: pH, sólidos solúveis totais (°Brix), teor de água/sólidos totais, acidez total titulável, açúcares totais, redutores e não-redutores, cinzas,

atividade de água, cor e viscosidade, de acordo com as metodologias descritas nos itens 3.3 e 3.4.

3.6.1 – Análise dos dados

Para a análise estatística dos dados obtidos através da caracterização física, química e físico-química das polpas formuladas, utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado com 3 concentrações de maltodextrina (25, 30 e 35%) e 3 repetições. Para a comparação entre médias foi utilizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade. O programa computacional utilizado para essas análises foi o ASSISTAT versão 7.5 Beta (SILVA & AZEVEDO, 2009).

3.7 – Planejamento experimental fatorial para a secagem por aspersão

O planejamento experimental fatorial utilizado neste trabalho teve, como objetivo, avaliar a influência das variáveis de entrada (concentração de maltodextrina e temperatura do ar de secagem) sobre as respostas (teor de água; sólidos solúveis totais; pH; acidez total titulável; açúcares redutores; açúcares totais; açúcares não-redutores; cinzas; luminosidade; intensidade de vermelho; intensidade de amarelo e atividade de água) reduzindo, assim, a quantidade de ensaios e conseqüentemente, a redução de tempo e custo.

Utilizou-se um planejamento experimental fatorial 2^2 com três repetições, no ponto central (nível 0), conforme Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Níveis reais e codificados do planejamento fatorial 2^2

Variável	Nível -1	Nível 0	Nível +1
Concentração de maltodextrina (%)	25	30	35
Temperatura do ar de secagem (°C)	170	180	190

Com o objetivo de verificar a influência das variáveis de entrada sobre as respostas, a matriz de planejamento (Tabela 3.4) foi elaborada com quatro experimentos distintos e três pontos centrais.

Para a análise de regressão dos dados experimentais do planejamento experimental fatorial e na construção das figuras, utilizou-se o programa STATISTICA 5.0.

Tabela 3.4 – Matriz de planejamento fatorial 2^2 com 3 repetições no ponto central para a polpa formulada (polpa de figo-da-índia integral com maltodextrina - DE = 10)

Experimento (n ^o)	Concentração de maltodextrina (%)	Temperatura do ar de secagem (°C)
1	-1(25)	-1(170)
2	+1(35)	-1(170)
3	-1(25)	+1(190)
4	+1(35)	+1(190)
5	0(30)	0(180)
6	0(30)	0(180)
7	0(30)	0(180)

3.7.1 – Secagem

A maltodextrina com dextrose equivalente DE = 10, foi escolhida para ser o aditivo utilizado no preparo das polpas formuladas, como também o bico pneumático de 1,2 mm, baseados nos resultados preliminares de rendimento. A concentração de 30% de maltodextrina e a temperatura do ar de secagem de 180 °C foram escolhidas para ser o ponto central do planejamento experimental fatorial.

As polpas formuladas (polpa de figo-da-índia integral + maltodextrina) foram desidratadas em secador por aspersão (*spray dryer*), modelo LM MSD 1.0 da marca Labmaq do Brasil (Figura 3.4). O secador foi utilizado com um bico pneumático com diâmetro de 1,2 mm, vazão de bombeamento da polpa formulada de 0,5 L/h, vazão do ar comprimido de 0,3 L/min e temperaturas do ar de secagem de 170, 180 e 190 °C.

Após as secagens das polpas formuladas dois tipos de pó foram coletados no secador: pó coletado na câmara de secagem, denominado Tipo A, e pó coletado no ciclone, denominado Tipo B.

As amostras do figo-da-índia em pó coletadas na câmara de secagem (Tipo A) e no ciclone (Tipo B) foram avaliadas quanto aos seguintes parâmetros físicos, químicos e físico-químicos: pH, sólidos solúveis totais (°Brix), teor de água, acidez total titulável, açúcares redutores, açúcares não-redutores açúcares totais, cinzas e atividade de água, e cor, de acordo com as metodologias descritas no item 3.3.

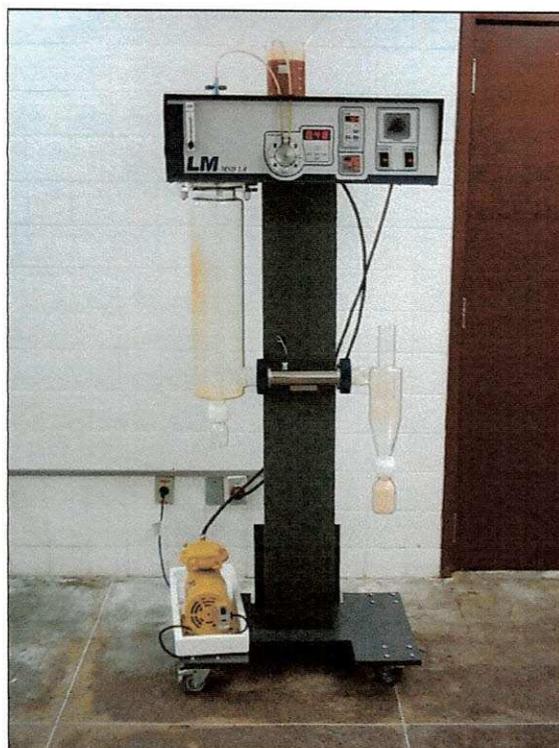


Figura 3.4 - Secador por aspersão (*spray dryer*) (Fonte: OLIVEIRA, 2006)

3.8 – Armazenamento do figo-da-índia em pó

A partir da análise dos resultados do planejamento experimental das amostras em pó do figo-da-índia do Tipo A, fez-se a seleção do melhor pó levando-se em consideração principalmente o parâmetro determinado logo após a secagem por aspersão. O pó que obteve menor teor de água (Tabela C.1) foi indicado para o estudo do armazenamento que corresponde ao Experimento nº 4 (polpa de figo-da-índia + 35% de maltodextrina, secado a temperatura de 190 °C).

O figo-da-índia em pó selecionado (Experimento nº 4) foi submetido a um armazenamento acelerado sob condições de temperatura e umidade relativa controlada.

A amostra em pó foi colocada em embalagens flexíveis laminadas compostas de uma camada de PET cristal (polietileno tereftalato cristal) com espessura de 12 μm , uma camada de PET metal (polietileno tereftalato metal) com espessura de 12 μm e uma camada de PEBD cristal (polietileno de baixa densidade cristal) com espessura de 50 μm possuindo espessura total de aproximadamente 74 μm . As embalagens tinham aproximadamente 8 cm de cada lado e continham aproximadamente 8 g da amostra em cada embalagem; após colocadas nessas embalagens as amostras em pó foram fechadas, utilizando-se seladora mecânica; a seguir, três embalagens contendo as amostras em pó

foram colocadas em cada recipiente de vidro hermético, contendo soluções saturadas de cloreto de potássio (KCl), as quais propiciam um ambiente de umidade relativa controlada de 84,34% na temperatura de 25 °C e 82,32% na temperatura de 40 °C. Tais recipientes foram colocados em câmaras do tipo BOD, nas temperaturas de 25 e 40 °C.

No início do armazenamento (tempo zero) e a cada 10 dias, durante 40 dias, foi feito o acompanhamento da estabilidade das amostras em pó, através da determinação dos parâmetros de qualidade: teor de água, atividade de água, acidez total titulável e cor, utilizando-se as metodologias descritas no item 3.3.

3.8.1 – Análise dos dados

Para a análise estatística dos dados obtidos experimentalmente ao longo do armazenamento, utilizou-se o programa computacional ASSISTAT versão 7.5 Beta (SILVA & AZEVEDO, 2009). Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial (2 x 5), com 2 temperaturas (25 e 40 °C), 5 tempos de armazenamento (0, 10, 20, 30 e 40 dias) e 3 repetições. Para a comparação entre médias foi utilizado o teste de Tukey.

Também foram aplicadas regressões polinomiais aos dados experimentais dos parâmetros analisados separadamente, em função do tempo de armazenamento e para cada condição de armazenamento (umidade relativa e temperatura) quando houve tendência de aumento ou redução das características avaliadas com o tempo de armazenamento.

3.9 – Isoterma de adsorção de água

Determinou-se a isoterma de adsorção de água a 25 °C do figo-da-índia em pó, Tipo A, produzido de acordo com o Experimento nº 4 (polpa de figo-da-índia + 35% de maltodextrina, secado na temperatura de 190 °C), utilizando-se o método estático-indireto, descrito por CAPRISTE & ROTSTEIN (1982).

As medidas das atividades de água da amostra em pó foram determinadas no equipamento medidor de atividade de água AquaLab 3TE (Decagon), enquanto o teor de água de equilíbrio em base seca foi determinado pela relação entre a massa de água e a massa seca das amostras (Equação 3.6).

$$X_{eq} = \frac{m_{eq} - m_s}{m_s} \cdot 100 \quad (3.6)$$

em que:

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

m_{eq} - massa da amostra no equilíbrio (g)

m_s - massa seca da amostra (g)

Os dados experimentais da isoterma de adsorção de água da amostra em pó foram ajustados através dos modelos matemáticos de GAB, Peleg e Oswin (Tabela 3.5), fazendo-se uso de regressão não linear e se utilizando o programa STATISTICA, versão 5.0.

Tabela 3.5 - Modelos de ajuste de isotermas de adsorção de água

Modelo	Equação
GAB	$X_e = \frac{X_m CKa_w}{(1 - Ka_w)(1 - Ka_w + CKa_w)}$
Peleg	$X_e = K_1 a_w^{n_1} + K_2 a_w^{n_2}$
Oswin	$X_e = a \left(\frac{a_w}{(1 - a_w)} \right)^b$

onde: X_e - teor de água 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 , K_2 , n_1 , n_2 , a e b - constantes da equação

Os critérios utilizados para determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais, foram: o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio percentual médio (P), este último, calculado pela Equação 3.7.

$$P = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|(X_{exp} - X_{pred})|}{X_{exp}} \quad (3.7)$$

em que:

P - desvio percentual médio (%)

X_{exp} - valores obtidos experimentalmente

X_{pred} - valores preditos pelo modelo

n - número de dados experimentais

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Polpa do figo-da-índia integral

4.1.1 - Caracterização química, física e fisico-química

Na Tabela 4.1 estão expressos os resultados médios e os desvios padrão encontrados na determinação da caracterização física, química e fisico-química da polpa de figo-da-índia integral.

Tabela 4.1 – Caracterização química, física e fisico-química da polpa de figo-da-índia integral

Parâmetro	Média e desvio padrão
pH	5,59 ± 0,01
Acidez total titulável (% ácido cítrico)	0,07 ± 0,00
Sólidos solúveis totais (°Brix)	11,07 ± 0,00
Teor de água (% b.u.)	86,97 ± 0,35
Sólidos totais (%)	13,03 ± 0,35
Cinzas (%)	0,30 ± 0,02
Açúcares redutores (% glicose)	8,51 ± 0,21
Açúcares totais (% glicose)	12,13 ± 0,00
Açúcares não-redutores (% sacarose)	3,66 ± 0,17
Luminosidade (L*)	17,26 ± 0,12
Intensidade de vermelho (+a*)	11,12 ± 0,07
Intensidade de amarelo (+b*)	25,98 ± 0,16
Atividade de água (a _w)	0,976 ± 0,001

Observa-se que o valor médio encontrado para o pH da polpa de figo-da-índia integral foi de 5,59 inferior, portanto, aos valores encontrados por SÁENZ et al. (2001) para a polpa de figo-da-índia em diferentes estádios de maturação, que variaram entre 5,9 e 6,2 unidades de pH. ESQUIVEL (2004) também obteve valores de pH superiores, de 6,20 para os frutos da *Opuntia ficus-indica* e de 6,6 para os frutos da *Opuntia amyclaea*. Do resultado apresentado verifica-se que a polpa do figo-da-índia integral é um produto com alto pH, quando comparado com polpa de frutas como a acerola (pH = 2,8), graviola (pH =

3,5) e maracujá (pH – 2,7 a 3,8) (BRASIL & GUIMARÃES, 2000). De acordo com a classificação de BARUFFALDI & OLIVEIRA (1998) a polpa do figo-da-índia integral se enquadra na categoria de alimentos pouco ácidos (pH > 4,5).

A acidez total titulável da polpa do figo-da-índia integral foi, em média, de 0,07% de ácido cítrico, valor este bem inferior ao encontrado por GURRIERI et al. (2000), de 0,11% para a polpa do figo-da-índia vermelho da cultivar “Silician”, e por PALUDO et al. (2008) que foi de 1,3%.

Os sólidos solúveis totais (SST) são os compostos dissolvidos na polpa da fruta, formados principalmente por açúcares, que dão o sabor doce ou ácido (ALMEIDA et al., 2009). O valor de SST (11,07 °Brix) observado na polpa de figo-da-índia integral no presente trabalho foi próximo ao dos frutos de outras cactáceas como a polpa de mandacaru, avaliada por ALMEIDA et al. (2008), que obtiveram o valor de 10,50 °Brix, e com a polpa de quipá, que apresentou o valor de 9,00 °Brix, ao ser estudada por SOUZA et al. (2007).

Quanto aos teores de água e sólidos totais da polpa de figo-da-índia integral, os valores foram de 89,97% b.u. e 13,03%; logo, o teor de água foi semelhante ao estabelecido por COELHO et al. (2004) para a polpa do mesmo fruto, ao apresentar o valor médio de 87,27% b.u.

O teor de cinzas da polpa de figo-da-índia foi em média 0,30%, valor inferior ao encontrado por BARBOSA et al. (2006), ou seja, de 0,44% para a polpa do mesmo fruto. LIMA et al. (2005) encontraram teores de cinza variando de 1,16 a 1,50% para a polpa do facheiro extraída da região do parênquima armazenador.

GOMES et al. (2002) relatam que os açúcares solúveis presentes nos frutos na forma combinada são responsáveis pela doçura, sabor e cor atrativos. O teor de açúcares redutores, totais e não-redutores, foram de 8,51% glicose, 12,13% glicose e 3,66% sacarose, respectivamente, valores estes inferiores aos encontrados por BARBOSA et al. (2006) para os açúcares redutores (11,43% glicose) e totais (13,45% glicose) e superior aos açúcares não redutores, que foram de 2,02% sacarose, para a polpa do mandacaru, sendo também inferiores aos açúcares redutores (11,43% glicose) determinados por CANUTO et al. (2007) para o fruto da palma (figo-da-índia).

Para os parâmetros cor da polpa do figo-da-índia integral foram determinados os atributos luminosidade (L*) com valor médio de 17,26, intensidade de vermelho (+a*) com valor médio de 11,12 e intensidade de amarelo (+b*) com valor médio de 25,98. Devido ao fato da polpa do figo-da-índia apresentar coloração alaranjada, previa-se uma

predominância da cor amarela, o que justifica o alto valor encontrado para o atributo intensidade de amarelo, quando comparado aos demais. MELO et al. (2008) também encontraram, ao trabalhar com polpa de melão, predominância na intensidade de amarelo.

A atividade de água foi, em média, de 0,976, valor este que indica que a polpa do figo-da-índia integral está classificada como alimento com alto teor de água, sendo assim um produto que sofre facilmente contaminação microbológica (RIBEIRO & SERAVALLI, 2007). Valores superiores de atividade de água foram encontrados por BRANDÃO et al. (2003) para manga *in natura*, da ordem de 0,982, e por PEREIRA et al. (2003), de 0,991, para a goiaba da variedade Paluma.

4.1.2 – Comportamento reológico

Na Tabela A.1 (Apêndice A) são apresentados os valores médios das viscosidades aparentes, tensão de cisalhamento e taxa de deformação para a polpa do figo-da-índia integral, determinados na temperatura de 25 °C, em diferentes velocidades de rotação.

Na Figura 4.1, se encontram representados, graficamente, os dados experimentais das viscosidades aparentes (Pa s) da polpa do figo-da-índia integral, em função da velocidade de rotação, determinados a 25 °C. Pode-se observar que a viscosidade aparente diminuiu com o aumento da velocidade de rotação. Comportamento semelhante foi verificado por GRANJEIRO et al. (2007), para a polpa do mesmo fruto, com teor de SST igual a 16 °Brix na temperatura de 20 °C; se utilizando as mesmas velocidades de rotação, a viscosidade média decresceu de 10,27 Pa s para 0,29 Pa s, e por TORRES et al. (2003) ao determinarem a viscosidade aparente da polpa de umbu-cajá integral com diferentes concentrações do teor de sólidos solúveis totais.

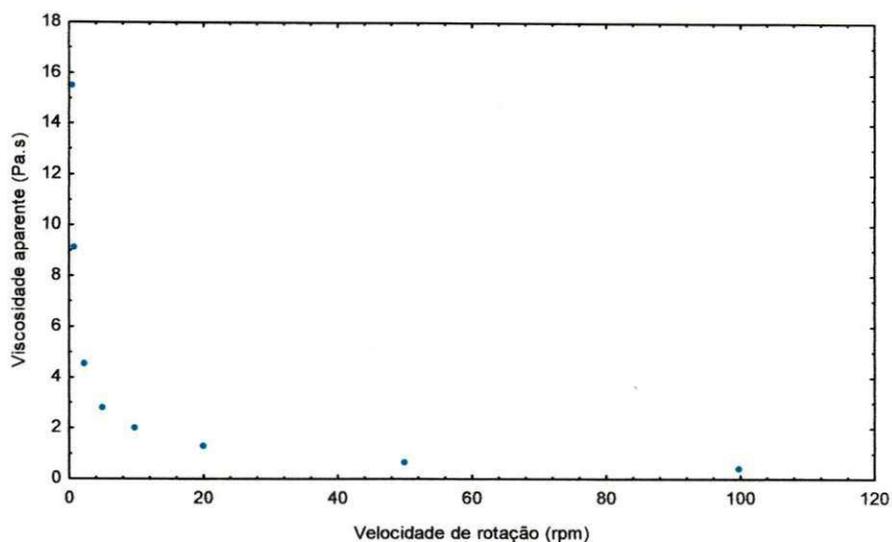


Figura 4.1 – Viscosidade aparente (Pa s) da polpa do figo-da-índia integral em função da velocidade de rotação (rpm) a 25 °C

Na Tabela 4.2 se encontram os valores dos parâmetros dos modelos reológicos de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência), Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk e Casson, ajustados aos dados experimentais da curva de tensão de cisalhamento, em função da taxa de deformação da polpa do figo-da-índia integral na temperatura de 25 °C, assim como os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios percentuais médios (P).

Tabela 4.2 - Parâmetros dos modelos reológicos ajustados ao reograma da polpa de figo-da-índia integral a 25 °C, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P)

Modelo	Parâmetro			R^2	P (%)
Ostwald-de-Waele	K	n		0,9857	5,70
	2,7623	0,3084			
Herschel-Bulkley	τ_{OH}	K_H	n_H	0,9866	6,24
	- 0,8138	3,5097	0,2689		
Mizrahi-Berk	K_{OM}	K_M	n_M	0,9858	2,84
	- 0,2249	1,8709	0,1425		
Casson	K_{OC}	K_C		0,9227	6,32
	1,5217	0,2136			

Pode-se observar que todos os modelos utilizados apresentaram coeficientes de determinação (R^2) acima de 0,9 e desvios percentuais médios (P) menores que 10%. Diante desses valores constata-se que todos os modelos reológicos avaliados podem ser utilizados, com boa precisão experimental, para representar o comportamento reológico da polpa do figo-da-índia integral. Entretanto, pode-se considerar como o melhor modelo para a estimativa dos dados, o de Mizrahi-Berk, em razão de ter apresentado o menor valor de P e alto R^2 , embora o modelo de Herschel-Bulkley tenha apresentado um R^2 superior porém com P maior. PELEGRINE et al. (2002) encontraram, trabalhando com polpa de manga na temperatura de 30 °C ao ajustarem o modelo de Mizrahi-Berk ao reograma coeficiente de determinação igual a 0,999. SILVA et al. (2005) verificaram, ao analisar o comportamento do suco industrializado de acerola, que dos modelos aplicados o que melhor se ajustou foi o modelo de Herschel-Bulkley; já OLIVEIRA et al. (2009a) ao aplicar os modelos de Ostwald-de-Waele, Bingham e Herschel-Bulkley aos dados experimentais da polpa de uva, concluíram que o modelo de Ostwald-de-Waele foi o que melhor descreveu o comportamento reológico desta polpa.

Avaliando os parâmetros n , n_H e n_M , pode-se caracterizar o comportamento dos fluidos, em geral. Todos os modelos aplicados apresentaram os parâmetros n , n_H e n_M inferiores a 1, o que evidencia que a polpa do figo-da-índia integral é um fluido não newtoniano, com características pseudoplásticas, ou seja, a viscosidade aparente diminui com o aumento da tensão de cisalhamento, independentemente do tempo de aplicação da força; ao cessar a causa deformante, o fluido volta a ter o valor da viscosidade inicial (MCCLEMENTS, 2011). O mesmo comportamento foi encontrado por PEREIRA et al. (2003) para a polpa de açaí diluída em água destilada até a obtenção de teores de sólidos totais de 15,2, 12,5 e 9,7%, que apresentaram o valor do índice de comportamento de fluido (n), menor que 1 para todos os casos, indicando um comportamento pseudoplástico para a polpa de açaí.

Segundo MACHADO (2002), o índice de consistência (K) do modelo Ostwald-de-Waele (Lei da Potência) indica o grau de resistência do fluido diante do escoamento. Observa-se, através dos parâmetros K, K_H e K_M , que a polpa integral do figo-da-índia não é um fluido consistente devido aos baixos valores desses parâmetros.

Nas Figuras A.1 a A.3 (Apêndice A) tem-se os reogramas (tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação) da polpa integral de figo-da-índia com ajustes pelos modelos de Ostwald-de-Waele, Herschel-Bulkley e Casson e, na Figura 4.2, tem-se o reograma com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk, o qual foi considerado o modelo

melhor. Com o aumento da taxa de deformação nota-se que houve aumento da tensão de cisalhamento confirmando, assim, que a polpa integral do figo-da-índia é um fluido não-newtoniano, de caráter pseudoplástico. FERNANDES et al. (2008) verificaram, para a polpa de umbu-cajá com adição de diferentes concentrações de maltodextrina, que o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais foi também o de Mizrahi-Berk e que o aumento da taxa de deformação fez com que ocorresse um aumento da tensão de cisalhamento.

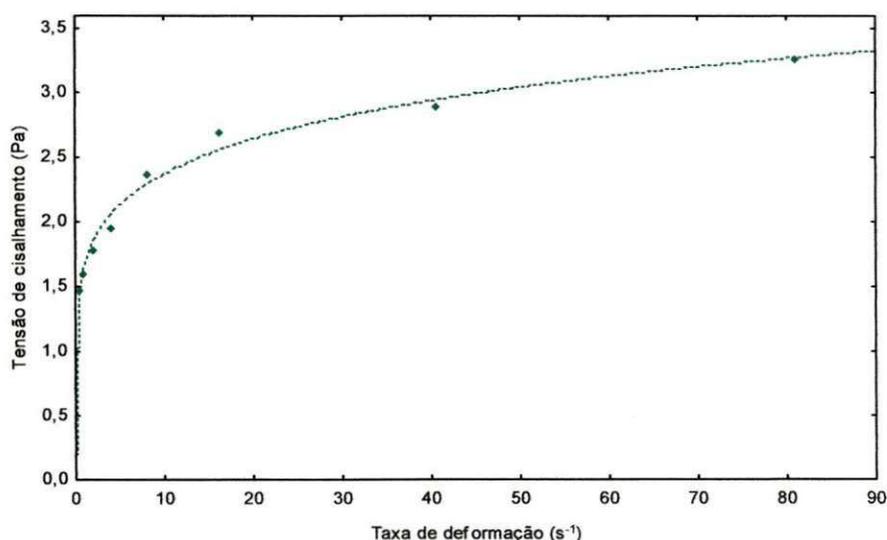


Figura 4.2 - Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de figo-da-índia integral com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk

4.2 – Formulações

4.2.1 – Caracterização química, física e físico-química

No Apêndice B se encontram as Tabelas B.1 a B.15, nas quais se observam as análises de variância aplicadas aos dados experimentais dos parâmetros físicos, químicos e físico-químicos determinados nas diferentes formulações. Nota-se que houve influência estatisticamente significativa a 1% de probabilidade pelo teste F, para o fator concentração de maltodextrina sobre todos os parâmetros avaliados nas formulações.

Na Tabela 4.3 estão expressos os resultados médios e os desvios padrão encontrados na determinação das características físicas, químicas e físico-químicas das

formulações elaboradas com a polpa do figo-da-índia integral e maltodextrina (DE = 10) em diferentes concentrações (25, 30 e 35%).

Tabela 4.3 – Caracterização química, física e físico-química das diferentes formulações elaboradas com polpa de figo-da-índia e diferentes concentrações de maltodextrina (DE = 10)

Parâmetros	Média e desvio padrão		
	25% de maltodextrina	30% de maltodextrina	35% de maltodextrina
pH	5,43 ± 0,01 a	5,44 ± 0,00 a	5,44 ± 0,00 a
Sólidos solúveis totais (°Brix)	28,73 ± 0,144 c	31,31 ± 0,239 b	34,14 ± 0,250 a
Teor de água (% b.u.)	73,648 ± 0,421 a	69,738 b ± 0,802 b	63,111 ± 0,421 c
Sólidos totais (%)	26,351 ± 0,076 c	30,261 ± 0,802 b	36,888 ± 0,421 a
Acidez total titulável (% ácido cítrico)	0,060 ± 0,000 b	0,066 ± 0,000 a	0,066 ± 0,000 a
Cinzas (%)	0,337 ± 0,027 a	0,316 ± 0,065 b	0,283 ± 0,005 c
Açúcares redutores (% glicose)	7,236 ± 0,260 c	8,220 ± 0,000 b	12,510 ± 0,000 a
Açúcares não-redutores (% sacarose)	3,804 ± 0,036 c	4,685 ± 0,349 b	4,969 ± 0,368 a
Açúcares totais (% glicose)	11,036 ± 0,248 c	12,906 ± 0,349 b	17,479 ± 0,396 a
Luminosidade (L*)	22,583 ± 0,050 c	27,716 ± 0,101 b	29,966 ± 0,021 a
Intensidade de vermelho (+a*)	9,780 ± 0,012 c	10,146 ± 0,046 b	10,890 ± 0,036 a
Intensidade de amarelo (+b*)	32,910 ± 0,017 c	35,450 ± 0,017 b	38,796 ± 0,133 a
Atividade de água (a _w)	0,975 ± 0,001 a	0,978 ± 0,001 a	0,978 ± 0,003 a

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

Nota-se que os valores experimentais encontrados nas caracterizações química, física e físico-química das polpas de figo-da-índia formuladas, foram alterados com a adição de maltodextrina, quando comparados com os valores experimentais encontrados na caracterização da polpa integral de figo-da-índia (Tabela 4.1).

Analisando-se a Tabela 4.3 constata-se que os parâmetros pH e atividade de água não foram influenciados significativamente com o aumento da concentração de

maltodextrina, apresentando valores estatisticamente iguais entre as três formulações. O teor de sólidos solúveis totais se elevou significativamente com o aumento da concentração de maltodextrina, o que se esperava, visto que a maltodextrina é um hidrolisado de amido que consiste em unidades de α -D-glicose. Da mesma forma, os parâmetros sólidos totais, açúcares redutores, açúcares não redutores, açúcares totais, luminosidade, intensidade de vermelho e intensidade de amarelo, aumentaram estatisticamente com o aumento da concentração de maltodextrina e o teor de cinzas diminuiu com o aumento da concentração de maltodextrina.

Pode-se observar que o pH não diferiu estatisticamente entre si nas três concentrações de maltodextrina utilizadas. CALEGUER & BENASSI (2007) observaram, ao adicionar goma acácia aos formulados de refresco de laranja, que o valor do pH aumentou com relação ao valor padrão sem goma acácia. SOARES et al. (2001) não encontraram diferença no pH das espumas (polpa de acerola com adição de pectina cítrica, emustab e super liga neutra) nem da polpa *in natura* de acerola.

Os teores dos sólidos solúveis totais ($^{\circ}$ Brix) diferiram estatisticamente entre si, aumentando significativamente com o aumento da concentração de maltodextrina, passando de 28,73 $^{\circ}$ Brix na concentração de 25% de maltodextrina para 31,31 $^{\circ}$ Brix e 34,14 $^{\circ}$ Brix, nas concentrações de 30 e 35% de maltodextrina, respectivamente. OLIVEIRA et al. (2006) verificaram, ao avaliar a polpa de pitanga formulada com 15% de maltodextrina, que os SST aumentaram de 7,00 $^{\circ}$ Brix (polpa integral) para 15,33 $^{\circ}$ Brix (polpa formulada).

Com relação ao parâmetro teor de água, percebe-se que o mesmo diminuiu significativamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey, com o aumento da concentração de maltodextrina; já para os sólidos totais ocorreu o inverso (aumento significativo), o que já era previsto, pelo fato da incorporação do aditivo à polpa, ter significado a adição de mais sólidos à mesma. O teor de água das formulações variou entre 63,111 e 73,648% sendo inferior o determinado por LISBÔA (2010) para a emulsão elaborada com polpa do figo-da-índia e 2% de Emustab, 0,5% de Super Liga Neutra e 5% de extrato de soja, que foi de 82,70%.

A acidez total titulável encontrada para as formulações com 25, 30 e 35% de maltodextrina, foi de 0,060; 0,066; 0,066% ácido cítrico, respectivamente. Nota-se que a adição de maltodextrina diminuiu a acidez quando comparada com a acidez da polpa integral. Embora a concentração de 25% se tenha apresentado estatisticamente diferente das demais, pode-se dizer que a acidez total titulável se manteve constante pela

aproximação dos dados obtidos, em média de 0,064% ácido cítrico. CHAVES et al. (2008), trabalhando com polpa de araçá-boi em diferentes concentrações de Emustab, encontraram diminuição na acidez com o aumento da concentração de Emustab.

O aumento da concentração de maltodextrina resultou em uma diminuição estatisticamente significativa do teor de cinzas. Este comportamento era esperado em razão da maltodextrina ser um amido e não conter componentes minerais. Resultados diferentes foram encontrados por GOMES (2009) que, avaliando o teor de cinzas da polpa de buriti formulada com concentrações de 5, 10 e 15% de maltodextrina, fizeram com que esse parâmetro aumentasse com o aumento do aditivo, passando de 0,31 para 0,37%. ALMEIDA et al. (2009) encontraram, em fruto de mandacaru, teores de cinza variando entre 0,20 e 0,15%.

Quanto aos açúcares redutores e como esperado, houve um acréscimo significativo com o aumento da concentração de maltodextrina, em razão da maltodextrina possuir, em sua estrutura, açúcares redutores, como unidades de glicose e maltose (DAIÚTO & CEREDA, 2003; KENNEDY et al., 1995). Já OLIVEIRA et al. (2006) verificaram, para a polpa de pitanga formulada, que ocorreu redução no percentual dos açúcares redutores, justificada em razão da incorporação da maltodextrina e da água destilada contribuírem para a diluição dos açúcares redutores. Os açúcares não redutores apresentaram o mesmo comportamento dos açúcares redutores, aumentando significativamente com o aumento da concentração de maltodextrina e apresentando valores médios de 3,804 (25% de maltodextrina); 4,685 (30% de maltodextrina) e 4,969 (35% de maltodextrina). Observa-se, ainda, que a parcela dos açúcares redutores nas formulações foi superior à dos açúcares não redutores.

Os açúcares totais aumentaram estatisticamente com o aumento da concentração de maltodextrina, apresentando o valor médio de 13,807% glicose, fato explicado pela elevada quantidade de aditivo adicionado à polpa. MELO et al. (2008) encontraram, caracterizando a polpa de bacuri formulada (70% de polpa de bacuri, 30% de leite e 14% de açúcar) um valor médio próximo para os açúcares totais, de 15,7703% glicose.

Analisando-se a de cor da polpa de figo-da-índia formulada com 25, 30 e 35% de maltodextrina, nota-se que, nas três concentrações, o parâmetro luminosidade (L^*) diferiu estatisticamente entre si, e L^* aumentou significativamente com o aumento da concentração de maltodextrina. Comparando-se com a polpa integral, percebe-se que a adição de maltodextrina fez com que a polpa ficasse mais clara visto que os valores

aumentaram passando de 17,26 (polpa integral) para, em média, 26,755 (polpas formuladas).

Verifica-se que o parâmetro intensidade de vermelho ($+a^*$) aumentou com o aumento da concentração de maltodextrina, ou seja, aumentou a intensidade da cor vermelha no produto. LISBÔA (2010) encontrou, caracterizando a polpa de figo-da-índia integral e formulada com 2% de Emustab, 0,5% de Super Liga Neutra e 5% de extrato de soja, que a luminosidade e a intensidade de vermelho da polpa aumentaram significativamente com a adição dos aditivos, passando de 26,29 para 58,73 na luminosidade e 12,20 para 15,40 para a intensidade de vermelho, respectivamente.

A intensidade de amarelo ($+b^*$) aumentou significativamente com o aumento da concentração de maltodextrina, indicando que a incorporação da maltodextrina reduz a tonalidade de amarelo, provocada pela cor quase branca da maltodextrina. Quando comparada com a polpa integral, observa-se que a adição de maltodextrina à polpa de figo-da-índia, diminuiu muito a intensidade de amarelo, passando de 25,98 (integral) para 35,54 (formulada) em média. Contudo, a incorporação de maltodextrina na polpa figo-da-índia não afeta a predominância da cor amarela no produto estudado, apresentado menores valores para a intensidade de vermelho. OLIVEIRA et al. (2006) observaram, comparando a polpa de pitanga integral com a polpa formulada com 15% de maltodextrina e 30% de água destilada, os maiores valores de luminosidade (L^*), intensidade de vermelho ($+a^*$) e intensidade de amarelo ($+b^*$) na amostra integral.

A atividade de água das polpas formuladas com figo-da-índia resultou em valores estatisticamente iguais entre todas as amostras. Quando comparada com a polpa integral a adição de maltodextrina não alterou a atividade de água da mesma, que foi em média de 0,976. Segundo DINIZ et al. (2003) o tamanho e o peso das moléculas têm a capacidade de redução da atividade de água e não a quantidade de sólidos.

4.2.2 – Comportamento reológico

Na Tabela B.17 (Apêndice B) é apresentada a análise de variância dos valores das viscosidades aparentes das formulações, em função da concentração de maltodextrina na temperatura de 25 °C, da velocidade de rotação e a interação entre concentração e velocidade. Verifica-se, para todas as fontes de variação, que houve efeito significativo a 1% de probabilidade, de acordo com o teste F.

A Tabela 4.4 expressa os valores médios da viscosidade aparente da polpa formulada de figo-da-índia, em função das diferentes concentrações de maltodextrina e velocidades de rotação, na temperatura de 25 °C.

Analisando as viscosidades aparentes das polpas formuladas de figo-da-índia nas diferentes concentrações, constata-se que com o aumento da velocidade de rotação ocorreram decréscimos nas viscosidades, fato esperado, em virtude da polpa integral do fruto estudado se tratar de um fluido pseudoplástico. Segundo MCCLEMENTS (2011), quando a viscosidade aparente diminui com o aumento da tensão de cisalhamento, tem-se um tipo de fluido chamado pseudoplástico e, ao cessar a causa deformante, o fluido volta a ter o valor de viscosidade inicial. FERREIRA et al. (2008), também observaram comportamento pseudoplástico para a polpa de cupuaçu integral (9°Brix) nas temperaturas de 10 a 60 °C; já com o aumento da concentração de maltodextrina ocorreram aumentos estatisticamente significativos das viscosidades aparentes das formulações estudadas, nas velocidades de rotação de 0,5 a 10 rpm, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Nas velocidades de rotação de 50 e 100 rpm as viscosidades aparentes entre as formulações não diferiram estatisticamente entre si. REUL et al. (2009) verificaram, determinando as viscosidades aparentes da polpa de figo-da-índia com adição de diferentes concentrações de maltodextrina (10, 15 e 20%), que a viscosidade aparente das amostras diminuiu com o aumento da velocidade de rotação e com o aumento da temperatura.

Tabela 4.4 – Valores médios da viscosidade aparente (Pa s) das polpas formuladas com diferentes concentrações de maltodextrina (DE = 10), na temperatura de 25 °C em função da velocidade de rotação

Conc. de malto. (%)	Velocidade de rotação (rpm)							
	0,5	1,0	2,5	5,0	10	20	50	100
25	16,33 cA	9,33 cB	6,83 cC	3,85 cD	2,32 cE	1,71 aF	1,09 aG	0,65 aH
30	23,33 bA	14,17 bB	7,80 bC	4,55 bD	2,75 bE	1,87 aF	1,14 aG	0,72 aG
35	29,83 aA	18,08 aB	8,93 aC	5,28 aD	3,24 aE	2,04 aF	1,21 aG	0,79 aG

DMS para colunas = 0,34; DMS para linhas = 0,44; MG = 6,99; CV% = 3,52; 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

GRANGEIRO et al. (2007) obtiveram, avaliando a viscosidade aparente de polpas de figo-da-índia concentradas, mesmo comportamento de aumento da viscosidade com o aumento da concentração de sólidos solúveis totais.

Nas Tabelas B.15 a B.17 (Apêndice B) são observadas as análises de variância das regressões polinomiais das viscosidades aparentes das polpas de figo-da-índia formuladas com diferentes concentrações de maltodextrina (DE = 10), na temperatura de 25 °C; se verifica que todas as equações foram significativas a 1% de probabilidade pelo teste F, exceto a equação de regressão de 4º grau da polpa de figo-da-índia formulada com 35% de maltodextrina.

Na Tabela 4.5 estão expostas as equações de regressão polinomiais significativas a 1% de probabilidade pelo teste F, propostas para o cálculo da viscosidade aparente das formulações com diferentes concentrações de maltodextrina (DE = 10), na temperatura de 25 °C, em função da velocidade de rotação. Constata-se, para todas as formulações, que a equação de 5º grau foi a que melhor estimou os dados experimentais, apresentando coeficientes de determinação acima de 0,9. As equações de 4º grau apresentaram R² satisfatórios, acima de 0,8 para todas as formulações testadas; já as equações de terceiro, segundo e primeiro graus, devem ser evitadas para estimar as viscosidades aparentes, em razão de apresentarem R² < 0,8.

Tabela 4.5 - Equações de regressão propostas para o cálculo das viscosidades aparentes das formulações em função da velocidade de rotação, a 25 °C

Conc. de maltod. (%)	Equação	R ²
	$\eta = 7,3722 - 0,0892V$ **	0,335
	$\eta = 9,1879 - 0,3589V + 0,0028V^2$ **	0,546
25	$\eta = 11,4901 - 1,0423V + 0,0244V^2 - 0,0001V^3$ **	0,747
	$\eta = 14,1049 - 2,5973V + 0,1525V^2 - 0,0029V^3 + 0,00002V^4$ **	0,881
	$\eta = 16,5445 - 5,1643V + 0,6193V^2 - 0,0290V^3 + 0,0005V^4 - 2,758 \times 10^{-6}V^5$ **	0,936
30	$\eta = 9,9888 - 0,1248V$ **	0,301

	$\eta = 12,6508 - 0,5201V + 0,0041V^2$ **	0,510
	$\eta = 16,1022 - 1,5446V + 0,0365V^2 - 0,0002V^3$ **	0,717
	$\eta = 20,2411 - 4,0061V + 0,2392V^2 - 0,0046V^3 + 0,00003V^4$ **	0,872
	$\eta = 24,5652 - 8,5557V + 1,0665V^2 - 0,0508V^3 + 0,0009V^4 - 4,887 \times 10^{-6}V^5$ **	0,951
	$\eta = 12,3866 - 0,1571V$ **	0,286
	$\eta = 15,8028 - 0,6644V + 0,0053V^2$ **	0,4919
35	$\eta = 20,2635 - 1,9885V + 0,0472V^2 - 0,0003V^3$ **	0,699
	$\eta = 25,7028 - 5,2234V + 0,3135V^2 - 0,0061V^3 + 0,00003V^4$ *	0,859
	$\eta = 31,6709 - 11,5028V + 1,4554V^2 - 0,0698V^3 + 0,0012V^4 - 6,746 \times 10^{-6}V^5$ **	0,950

η - viscosidade aparente (Pa s); v - velocidade de rotação (rpm); **significativa a 1% de probabilidade pelo teste; *significativa a 5% de probabilidade pelo teste

Na Tabela 4.6 se encontram os valores dos parâmetros reológicos dos modelos de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência), Herschel-Bulkley, Casson e Mizrahi-Berk, os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios percentuais médios (P) para as polpas formuladas com figo-da-índia e diferentes concentrações de maltodextrina (DE = 10).

Observando os R^2 , percebe-se que todos os modelos aplicados foram bem ajustados aos dados experimentais, com $R^2 > 0,95$ e $P < 10\%$, podendo-se utilizar qualquer um na estimativa dos reogramas das polpas formuladas. Dos modelos empregados o que apresentou o melhor ajuste aos dados experimentais foi o de Mizrahi-Berk, com os maiores R^2 e os menores P, em todas as amostras. Semelhantemente, PELEGRINE et al. (2000), observaram, no estudo reológico a 30 °C das polpas de manga e abacaxi, integrais e centrifugadas, que o melhor ajuste ocorreu com o modelo de Mizrahi-Berk, em todas as amostras.

Avaliando-se os índices de comportamento de fluido (n , n_H e n_M) constata-se que todos apresentaram valores inferiores a 1, confirmando que as polpas formuladas são fluidos não-newtonianos de caráter pseudoplástico. Este mesmo comportamento foi encontrado em estudos realizados para purê homogêneo de pêssego (TORALLES, 2006). PEREIRA et al. (2003) ao avaliarem o comportamento reológico na temperatura de 30 °C da polpa de açaí nas concentrações de sólidos totais de 9,7; 12,5 e 15,2% também os classificaram como fluidos pseudoplásticos.

Analisando os parâmetros de ajuste do modelo de Ostwald-de-Waelle, tem-se que para o índice de consistência (K), o aumento da concentração de maltodextrina fez com que houvesse um aumento de K e tendência de diminuição do índice de comportamento do fluido (n). Resultados contrários foram determinados por CABRAL et al. (2002), ao avaliarem o comportamento reológico da polpa de cupuaçu nas temperaturas de 10, 15, 20, 25 e 30 °C, e constataram que o parâmetro K do modelo de Ostwald-de-Waelle diminuiu com o aumento da temperatura, enquanto o n apresentou tendência de aumento.

Para o modelo de Herschel-Bulkley, o parâmetro índice de comportamento do fluido (n_H) aumentou com o aumento da concentração de maltodextrina; já o índice de consistência (K_H) diminuiu. Comportamento contrário foi encontrado por FERNANDES et al. (2008), que analisando a polpa de umbu-cajá formulada com 2,5, 5,0 e 7,5% de maltodextrina, encontraram que o parâmetro K_H aumentou e o índice de comportamento do fluido (n) apresentou-se constante com o aumento da concentração de maltodextrina.

Avaliando o modelo de Casson, o parâmetro K_{0C} aumentou enquanto a viscosidade plástica (K_C) diminuiu com o aumento da concentração de maltodextrina. SILVA (2008), observando o comportamento reológico da polpa de jenipapo com diferentes teores de sólidos totais (6,0; 7,5; 9,0 e 10,5%) na temperatura de 20 °C, detectou que o parâmetro K_{0C} do modelo de Casson aumentou com o aumento da concentração dos sólidos solúveis totais.

Na aplicação do modelo de Mizrahi-Berk, o parâmetro K_{om} aumentou, assim como o índice de comportamento do fluido (n_M) e o índice de consistência (K_M) diminuiu consideravelmente com o aumento da concentração de maltodextrina. FERNANDES (2010) encontrou o mesmo comportamento dos parâmetros K_{om} e n_M do modelo de Mizrahi-Berk para a polpa de cajá formulada com 1, 2 e 3% de Emustab.

Tabela 4.6 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (%) dos modelos reológicos ajustados aos reogramas a 25 °C das formulações de polpa de figo-da-índia com adição de maltodextrina (DE = 10)

Modelo	Maltodextrina (%)	Parâmetro			R^2	P (%)
		K	n			
Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência)	25	3,5754	0,4055		0,9879	6,93
	30	4,0272	0,3741		0,9934	6,67
	35	4,6031	0,3491		0,9902	7,19
	Maltodextrina (%)	τ_{OH}	K_H	n_H	R^2	P (%)
Herschel-Bulkley	25	-0,1310	3,6900	0,3992	0,9879	7,12
	30	1,6259	2,6617	0,4549	0,9966	2,79
	35	2,9088	2,2070	0,4898	0,9992	1,89
	Maltodextrina (%)	K_{OC}	K_c		R^2	P (%)
Casson	25	1,5465	0,3915		0,9517	8,05
	30	1,8066	0,3368		0,9761	4,69
	35	2,0225	0,3089		0,9854	3,27
	Maltodextrina (%)	K_{OM}	K_M	n_M	R^2	P (%)
Mizrahi-Berk	25	0,1758	1,7127	0,2175	0,9883	3,28
	30	1,0477	1,0301	0,2834	0,9966	1,33
	35	1,4784	0,7859	0,3199	0,9991	0,83

Nas Figuras B.1 a B.3 (Apêndice B) tem-se os gráficos da relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação das polpas formuladas de figo-da-índia com diferentes concentrações de maltodextrina (DE = 10), na temperatura de 25 °C, com ajustes pelos modelos de Ostwald-de-Waelle, Herschel-Bulkley e Casson.

concentração de maltodextrina. Este modelo também foi utilizado para descrever o comportamento reológico de outros alimentos, tais como polpas de caju e goiaba (FERREIRA et al., 2002) e polpa de manga, nas temperaturas de 10 a 40 °C (BEZERRA et al., 2001).

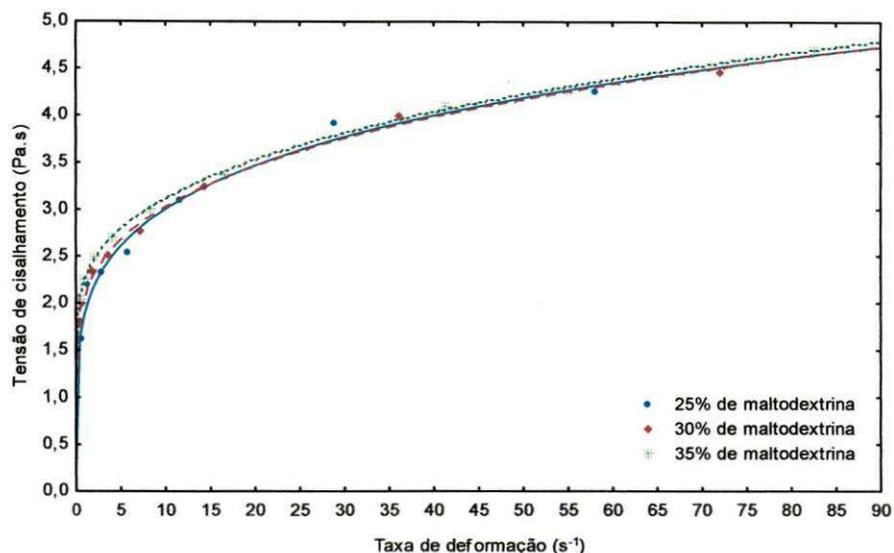


Figura 4.3 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de figo-da-índia formulada com diferentes concentrações de maltodextrina, na temperatura de 25 °C, com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk

4.3 – Planejamento experimental fatorial

Para a realização da secagem das formulações com três diferentes concentrações de maltodextrina (25, 30 e 35%) foi elaborado um planejamento experimental fatorial 2^2 , com 4 combinações dos níveis +1 e -1, e 3 experimentos no ponto central, totalizando 7 ensaios. Como se detectaram visualmente, características bem distintas das amostras em pó coletadas na câmara de secagem e no ciclone, fez-se toda a análise de todas as variáveis respostas e dos tratamentos dos dados experimentais separadamente, denominando-se o pó coletado na câmara de secagem como Tipo A, e o pó coletado no ciclone como Tipo B. O objetivo deste planejamento foi avaliar a influência das variáveis de entrada (independentes) temperatura do ar de secagem, concentração de maltodextrina (DE = 10), sobre as variáveis de resposta (dependentes): teor de água, sólidos solúveis totais (°Brix), pH, acidez total titulável, açúcares redutores, açúcares não-redutores e açúcares totais, cinzas, cor (luminosidade, intensidade de vermelho e intensidade de amarelo) e atividade

de água. Nas Tabelas C.1 e C.2 se encontram os valores médios dos dados experimentais das variáveis resposta para o figo-da-índia em pó do Tipo A e do Tipo B, respectivamente.

Através da utilização do programa Statistica 5.0 foram avaliados os efeitos das variáveis independentes sobre as respostas estudadas, e determinados os erros padrão, os coeficientes t e a significância estatística (p). Por meio da análise dos efeitos da temperatura de secagem e da concentração de maltodextrina sobre as respostas de interesse pode-se proceder a obtenção de um modelo matemático e de superfícies de respostas para representar a variação dessas variáveis, pelo teste F .

Os efeitos estimados indicam quanto cada fator influencia na resposta estudada. O valor de t indica o quão grande é a variável em relação ao seu desvio (KUROZAWA, 2005). Assim, quanto maior o valor de t maior também a probabilidade da variável ser estatisticamente significativa. O valor do coeficiente p está relacionado ao nível de significância da variável independente sobre a resposta em estudo (TONON, 2009). Segundo RODRIGUES (2005), o teste F é uma ferramenta estatística que auxilia na avaliação do modelo aplicado para explicar fenômenos ocorridos durante o processo em estudo, em que o valor de F (média quadrática da regressão / média quadrática dos resíduos) é calculado pela análise de variância (ANOVA) e comparado com o valor tabelado, correspondente ao nível de confiança aplicado no modelo. Quanto maior o valor de F calculado em relação ao valor de F tabelado, maior é a razão ($F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$), e melhor é o ajuste do modelo matemático aos dados experimentais. A validação dos modelos foi feita analisando-se os valores de F_{tabelado} e $F_{\text{calculado}}$ a 95% de confiança com valor de p menor que 0,05, calculados por análise de variância (ANOVA).

4.3.1 – Teor de água do figo-da-índia em pó do Tipo A

Na Tabela C.1 (Apêndice C), encontram-se os valores médios do teor de água do figo-da-índia em pó do Tipo A, dos diferentes experimentos do planejamento experimental fatorial. Nota-se que o teor de água variou entre 2,46 e 4,52% b.u., valores que foram próximos aos encontrados por PENA et al. (2008) para o açaí em pó obtido pelo método de secagem por aspersão com teor de água médio de 3,1%.

Na Tabela 4.7 estão expressos os valores dos efeitos significativos e não significativos, os erros padrão, os coeficientes t e o grau de significância estatística (p) da concentração de maltodextrina e temperatura de secagem, sobre o teor de água do pó do Tipo A, durante o processo de desidratação da polpa de figo-da-índia pelo método de

secagem por aspersão. Observa-se que os efeitos dos fatores lineares (concentração e temperatura) e a média se encontram em negrito; logo, foram significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$). Os dados foram obtidos considerando-se o erro puro.

Tabela 4.7 - Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para o teor de água do pó Tipo A

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	t (2)	Significância Estatística (p)
Média	3,55143	0,013274	267,5543	0,000014
Concentração	-0,36000	0,035119	-10,2509	0,009383
Temperatura	-1,70000	0,035119	-48,4071	0,000426
Concentração x Temperatura	-0,07000	0,035119	-1,9932	0,184428

Verifica-se que a temperatura foi a variável que mais influenciou no teor de água final do figo-da-índia em pó do Tipo A, fato evidenciado quando se observam os valores do efeito estimado de cada fator linear avaliado; nota-se que a temperatura apresenta valor absoluto maior (módulo), quando comparado com a variável concentração, 1,70 e 0,36, respectivamente. Com relação à interação Concentração x Temperatura, nota-se que a mesma não foi significativa, pois apresentou um $p > 0,05$. Constata-se também que as variáveis de entrada apresentaram efeitos estimados negativos, ou seja, apresentam efeito decrescente sobre a resposta, quando passa de um nível -1 para um nível +1; isto implica dizer que, quanto maior a temperatura de secagem ou quanto maior a concentração de maltodextrina, menor será o teor de água do figo-da-índia em pó proporcionando, assim, maior estabilidade e tempo de conservação do produto. Segundo PEDRO (2009) existe tendência de que, com o aumento da concentração de maltodextrina, ocorra um decréscimo no teor de água do produto final e, de acordo com QUEK et al. (2007), a adição de maltodextrina aumenta o teor de sólidos e reduz a quantidade de água para evaporação. MOREIRA (2009) verificou, analisando a desidratação da polpa de cupuaçu com adição de diferentes concentrações de sacarose (0, 10, 20 e 30%) em estufa com circulação de ar forçada em uma temperatura de 60 °C, que o teor de água da polpa diminuiu com a adição de açúcar, apresentando um valor médio de 26,2; 23,7; 26,0 e 18,3%, respectivamente.

A Figura 4.4 mostra o diagrama de Pareto, uma das formas de se avaliar visualmente a influência dos fatores estudados sobre a resposta. A magnitude dos efeitos é representada pelas barras enquanto a linha transversal às barras representa a magnitude dos

efeitos com significado estatístico para $p = 0,05$, ou seja, os fatores que são estatisticamente significativos a 95% de confiança; daí, visualizando o diagrama de Pareto pode-se confirmar o que foi discutido anteriormente, em que a temperatura de secagem foi o efeito que mais influenciou no teor de água final do produto. Observa-se que a interação concentração x temperatura não ultrapassou a linha vermelha, portanto, não foi significativa.

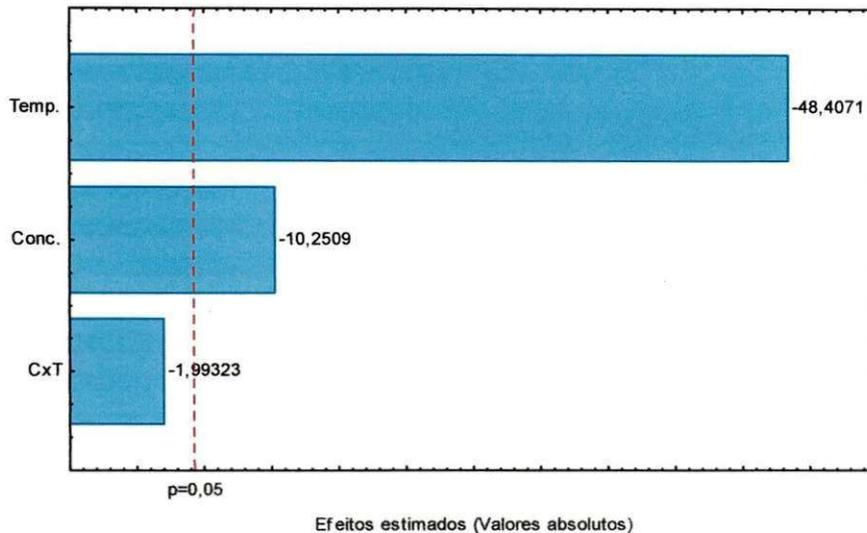


Figura 4.4 – Diagrama de Pareto do teor de água do figo-da-índia em pó do Tipo A

Com a realização do planejamento fatorial para o parâmetro teor de água, foi possível fazer uma regressão linear (Equação 4.1) com os valores obtidos, em função da média, concentração de maltodextrina e temperatura de secagem. Como já discutido, a interação (CxT) não foi significativa; logo, não se incluiu seu valor no modelo linear.

$$\text{Teor de água} = 3,551429 - 0,180000 C - 0,850000 T \quad (4.1)$$

em que:

C – concentração de maltodextrina (%)

T – Temperatura de secagem (°C)

A Tabela 4.8 demonstra a análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para o teor de água do figo-da-índia em pó do Tipo A; verifica-se significância da regressão e falta de ajuste a 95% de confiança ($p \leq 0,05$), pelo teste F. Pode-se notar, para a regressão, que o valor de $F_{\text{calculado}}$ foi maior que o valor do F_{tabelado} ; logo, o modelo linear do teor de

água foi estatisticamente significativo e, levando-se em consideração o valor da razão entre o $F_{\text{calculado}}$ e F_{tabelado} , que foi de aproximadamente 36,27 para o nível de 95% de confiança, pode-se afirmar que, de acordo com o teste F, o modelo linear do teor de água foi estatisticamente significativo e preditivo visto que, segundo BOX & WETZ (1973), para que uma regressão seja não apenas significativa mas também preditiva, os valores da razão entre o $F_{\text{calculado}}$ e o F_{tabelado} , devem ser no mínimo maiores que 4. A falta de ajuste se apresentou não significativa, pois o $F_{\text{calculado}}$ foi inferior ao F_{tabelado} , o que vem a ser confirmado pelo coeficiente de determinação (R^2) do modelo ajustado, que foi de 99,70% da variação dos dados observados. GOUVEIA et al. (2002), utilizando planejamento experimental, também verificaram efeito significativo da temperatura de secagem sobre a redução da razão de umidade na cinética de secagem de caju em secador de leito fixo, tendo sido verificado, através da análise de regressão, que o modelo quadrático foi o que melhor representou os dados experimentais.

Tabela 4.8 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para teor de água do figo-da-índia em pó do Tipo A

	SQ	GL	MQ	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}^*
Regressão	3,0245	3	1,0082	336,5898	9,28
Resíduo	0,0090	3	0,0030		
Falta de ajuste	0,006519	1	0,0065	5,2857	18,51
Erro puro	0,002467	2	0,0012		
Total	3,033486	6			

$R^2 = 99,70\%$; *Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$. SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

A Figura 4.5 apresenta a superfície de resposta para o teor de água do figo-da-índia em pó, através do modelo proposto (Equação 4.1), variando os valores de concentração de maltodextrina e da temperatura de secagem.

Observa-se que as interferências da concentração de maltodextrina e da temperatura do ar de secagem são semelhantes, ou seja, a perda máxima do teor de água no processo ocorre quando se utilizam alta temperatura (190 °C) e concentração de maltodextrina elevada (35%). No entanto, o uso de altas temperaturas durante o processo de secagem por aspersão, deve ser evitado, visto que produto final pode ter sua coloração alterada, apresentando escurecimento e grande quantidade de grânulos.

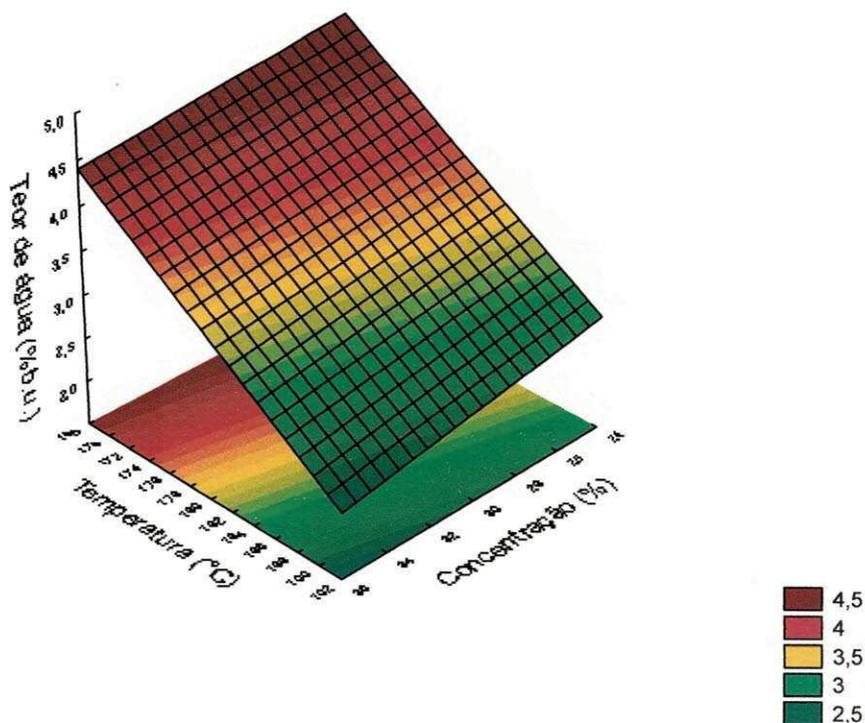


Figura 4.5 - Superfície de resposta para o teor de água do figo-da-índia em pó do Tipo A, relacionando a concentração × temperatura (180 °C)

4.3.2 – Teor de água do figo-da-índia em pó do Tipo B

Na Tabela C.2 (Apêndice C), se encontram os valores médios do teor de água do figo-da-índia em pó do Tipo B, dos diferentes experimentos do planejamento experimental fatorial. Nota-se que o teor de água variou entre 0,35 e 2,75% b.u., sendo inferior ao determinado por OLIVEIRA et al. (2006), ao analisarem a polpa de pitanga em pó Tipo B, obtida pela secagem por aspersão utilizando 15% de maltodextrina e 30% de água destilada, encontraram um teor de água médio de 7,64% b.u. GOULA et al. (2005), estudando o tomate em pó obtido pela secagem por aspersão com temperatura variando de 110 a 140 °C, verificaram que o conteúdo de água dos pós de tomate variou de 3,11% a 9,43%.

Observa-se que o teor de água do figo-da-índia em pó do Tipo B (ciclone) foi inferior ao do Tipo A (câmara de secagem) em todos os experimentos; uma explicação para tal fato seria que, durante o processo de aspersão (nebulização), algumas gotículas podem ter diâmetros diferentes; logo, as gotículas menores secam mais do que as gotículas

de maior diâmetro e são arrastadas por serem mais leves, com o ar de secagem; quando então ficam retidas no ciclone.

Na Tabela 4.9 estão expressos os valores dos efeitos significativos e não significativos, os erros padrão, os coeficientes *t* e o grau de significância estatística (*p*) da concentração de maltodextrina e temperatura de secagem, sobre o teor de água do figo-da-índia em pó, do Tipo B, durante o processo de desidratação da polpa de figo-da-índia pelo método de secagem por aspersão. Observa-se que, igualmente ao figo-da-índia em pó do Tipo A, a média, e os fatores lineares (concentração e temperatura) foram significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$).

Tabela 4.9 - Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para o teor de água do pó Tipo B

Fatores	Efeito	Erro	t (2)	Significância
	Estimado	Padrão		Estatística (p)
Média	1,57000	0,011547	135,9660	0,000054
Concentração	-0,52500	0,030551	-17,1847	0,003369
Temperatura	-1,87500	0,030551	-61,3738	0,000265
Concentração x Temperatura	-0,09500	0,030551	-3,1096	0,089717

Embora todos os efeitos tenham sido significativos exceto, a interação dos mesmos pode-se constatar, mais uma vez, que a temperatura foi a variável que mais influenciou no conteúdo de água do produto final, seguida da variável concentração, porém todos os fatores lineares apresentaram efeito decrescente no teor de água do figo-da-índia em pó do Tipo B, ou seja, quanto maior a concentração de maltodextrina ou a temperatura de secagem, menor será o teor de água no produto em pó. Esta significância estatística pode ser melhor visualizada na Figura 4.6.

O diagrama de Pareto demonstra que todos os efeitos lineares foram estatisticamente significativos a 95% de confiança de vez que apresentaram $p \leq 0,05$, ultrapassando, assim, a linha vertical vermelha.

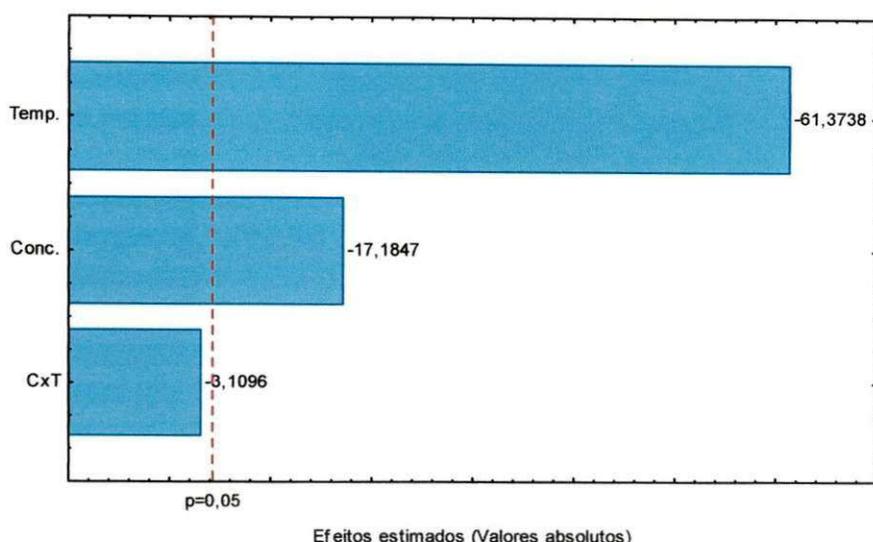


Figura 4.6 – Diagrama de Pareto do teor de água do figo-da-índia em pó do Tipo B

Através dos dados obtidos pelo planejamento fatorial em função da temperatura de secagem (170, 180 e 190 °C) e concentração de maltodextrina (25, 30 e 35%) no conteúdo final de água do produto em pó, foi feita a equação de regressão. A Equação 4.2 demonstra que todos os efeitos foram significativos com 95% de confiança, visto que os mesmos se encontram em negrito.

$$\text{Teor de água} = \mathbf{1,570000} - \mathbf{0,262500 C} - \mathbf{0,937500 T} \quad (4.2)$$

em que:

C – concentração de maltodextrina (%)

T – temperatura de secagem (°C)

Verifica-se, na Tabela 4.10 (ANOVA), a significância da regressão e da falta de ajuste a 95% de confiança ($p \leq 0,05$), pelo teste F. Constata-se que o modelo linear proposto para o teor de água do figo-da-índia em pó do Tipo B foi estatisticamente significativo e preditivo, pois o $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$, e a razão entre eles foi de 86,0, com coeficiente de determinação (R^2) de 99,87%, fato também constatado no modelo proposto para o teor de água do figo-da-índia em pó Tipo A, que ainda apresentou uma falta de ajuste não significativa. TONON (2009) ao estudar a secagem da polpa de açaí em secador por aspersão utilizando concentração de maltodextrina de 10, 20 e 30% e temperatura do ar de secagem de 138, 170 e 202 °C, usando planejamento fatorial, avaliou que o modelo

linear para o teor de água foi estatisticamente significativo e preditivo, com R^2 superior a 0,906.

Tabela 4.10 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para teor de água do figo-da-índia em pó do Tipo B

	SQ	GL	MQ	F_{calculado}	F_{tabelado*}
Regressão	3,8003	3	1,2668	425,8011	9,28
Resíduo	0,0089	3	0,0030		
Falta de ajuste	0,007058	1	0,0071	7,5625	18,51
Erro puro	0,001867	2	0,0009		
Total	3,809200	6			

$R^2 = 99,77\%$; *Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$. SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

A Figura 4.7 apresenta a superfície de resposta para o teor de água do figo-da-índia em pó do Tipo B. Observa-se que o ponto ótimo para se obter um pó com menor teor de água (0,5%) é a condição extrema, ou seja, concentração de maltodextrina de 35% e temperatura do ar de secagem de 190 °C, enquanto o maior teor de água (2,5%) foi encontrado na menor concentração de maltodextrina (25%) e na menor temperatura de secagem (170 °C), comportamento este verificado também no teor de água do figo-da-índia em pó do Tipo A, após o processo de secagem por aspersão. GRABOWSKI et al. (2006), trabalhando com o purê de batata doce em pó obtido pelo processo de secagem por aspersão utilizando maltodextrina e amilase como aditivos, também observaram diminuição do teor de água das partículas com o aumento da temperatura de secagem.

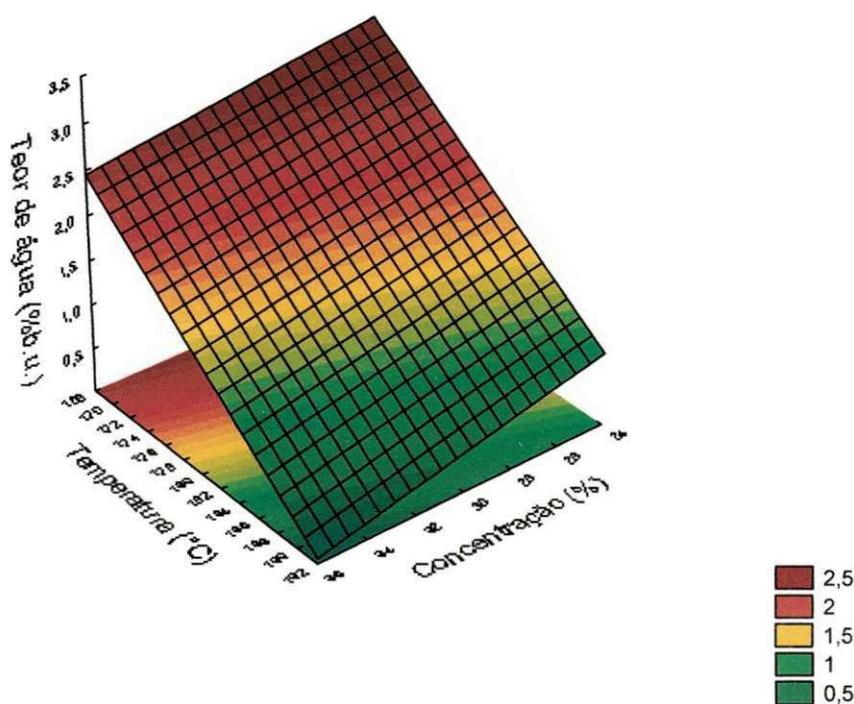


Figura 4.7 - Superfície de resposta para o teor de água do figo-da-índia em pó do Tipo B relacionando a concentração × temperatura (180 °C)

4.3.3 – Sólidos solúveis totais do figo-da-índia em pó do Tipo A

Observando-se a Tabela C.1 (Apêndice C), nota-se que o teor de sólidos solúveis totais (SST) do figo-da-índia em pó do Tipo A, variou de 15,93 a 24,83 °Brix. OLIVEIRA et al. (2006), avaliando o pó de pitanga obtido também por secagem por aspersão, encontraram SST em média de 15,33 °Brix, estando próximo ao valor mínimo encontrado nos experimentos do presente estudo.

A Tabela 4.11 apresenta o resultado da análise estatística dos efeitos significativos de cada fator no teor de sólidos solúveis totais do produto na secagem por aspersão. Os efeitos significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$) estão em negrito visando a uma visualização melhor. Observa-se que a média dos ensaios, as variáveis de entrada (concentração de maltodextrina e a temperatura de secagem), tal como sua interação, foram significativas a 95% de confiança ($p \leq 0,05$) sobre o teor de SST. Para o teor de SST, este comportamento pode ser visto de melhor forma através do diagrama de Pareto (Figura 4.8), ao qual observa que a temperatura de secagem foi o fator que influenciou, de forma mais significativa, atingindo um valor absoluto de aproximadamente 22,1789 seguido da

concentração (-13,5059). O sinal positivo do fator temperatura indica que a diminuição da temperatura do ar de secagem acarreta na obtenção de um produto com um °Brix mais elevado; já no fator concentração o sinal negativo indica que, quanto maior a concentração de maltodextrina menor é o teor de SST do produto final.

Tabela 4.11 - Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para sólidos solúveis totais do pó Tipo A

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	t (2)	Significância Estatística (p)
Média	19,41714	0,072342	268,4084	0,000014
Concentração	-2,58500	0,191398	-13,5059	0,005438
Temperatura	4,24500	0,191398	22,1789	0,002027
Concentração x Temperatura	0,91500	0,191398	4,7806	0,041078

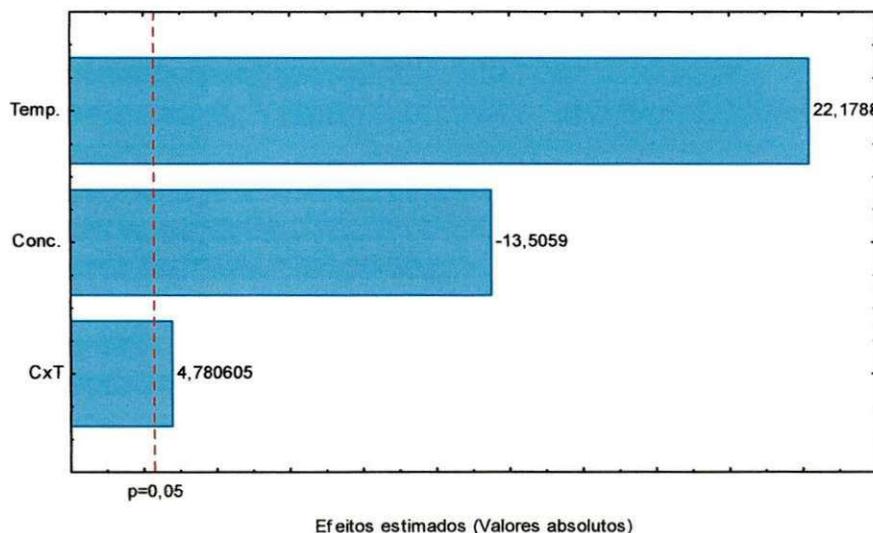


Figura 4.8 – Diagrama de Pareto dos sólidos solúveis totais (°Brix) do figo-da-índia em pó do Tipo A

O modelo matemático de 1ª ordem para o teor de sólidos solúveis totais do figo-da-índia em pó do Tipo A, está representado na Equação 4.3.

$$\text{SST} = 19,41714 - 1,29250 C + 2,12250 T + 0,45750 CxT \quad (4.3)$$

em que:

SST - sólidos solúveis totais (°Brix)

C – concentração de maltodextrina (%)

T – temperatura de secagem (°C)

Nesta equação, que prediz o teor de sólidos solúveis totais, todos os efeitos lineares foram significativos, tal como, também, a média e a interação desses fatores.

Analisando a Tabela 4.12 nota-se, para a regressão, que o valor do $F_{\text{calculado}}$ foi menor que o valor do F_{tabelado} ; logo, pode-se afirmar que o modelo de 1ª ordem proposto para o teor de sólidos solúveis totais do figo-da-índia em pó do Tipo A não foi significativo a 95% de confiança. A falta de ajuste se apresentou significativa, sendo demonstrada pelo baixo percentual obtido pelo modelo, na explicação da variação dos dados observados ($R^2 = 31,19\%$).

Tabela 4.12 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para os sólidos solúveis totais do figo-da-índia em pó do Tipo A

	SQ	GL	MQ	F_{calculado}	F_{tabelado*}
Regressão	25,5395	3	8,5132	0,4533	9,28
Resíduo	56,3419	3	18,7806		
Falta de ajuste	56,26860	1	56,2686	1535,9946	18,51
Erro puro	0,07327	2	0,0366		
Total	81,88134	6			

$R^2 = 31,19\%$; *Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$. SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

4.3.4 - Sólidos solúveis totais do figo-da-índia em pó do Tipo B

Observando-se a Tabela C.2 (Apêndice C), nota-se que o teor de sólidos solúveis totais do figo-da-índia em pó do Tipo B variou entre 16,13 a 24 °Brix. Valores superiores foram obtidos por SOARES et al. (2001) para o pó de acerola seco, em camada de espuma, com teor de sólidos solúveis totais de 62,30 °Brix.

A Tabela 4.13 demonstra os valores dos efeitos estimados, erros, coeficientes t e grau de significância estatística para cada fator no modelo real, para o parâmetro de sólidos solúveis totais para o figo-da-índia em pó, do Tipo B. Observa-se que a média, todos os fatores lineares e sua interação, foram significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$). Este fato pode ser melhor visualizado através do diagrama de Pareto (Figura 4.9).

Tabela 4.13 - Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para sólidos solúveis totais do pó Tipo B

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	t (2)	Significância Estatística (p)
Média	19,55000	0,015275	1279,848	0,000001
Concentração	-3,00000	0,040415	-74,231	0,000181
Temperatura	3,00000	0,040415	74,231	0,000181
Concentração x Temperatura	2,16000	0,040415	53,446	0,000350

Pode-se analisar, na Figura 4.9, que os fatores concentração de maltodextrina e temperatura de secagem influenciaram o teor de sólidos solúveis totais no mesmo nível e, em seguida, tem-se, com menor influência, a interação Concentração x Temperatura. Nota-se que tanto a concentração de maltodextrina quanto a temperatura de secagem apresentaram valores absolutos iguais porém com sinais diferentes, significando que a concentração, por apresentar um sinal negativo (efeito decrescente) torna-se o fator de maior influência no parâmetro estudado; já a temperatura, com sinal positivo, significa um efeito crescente no parâmetro avaliado.

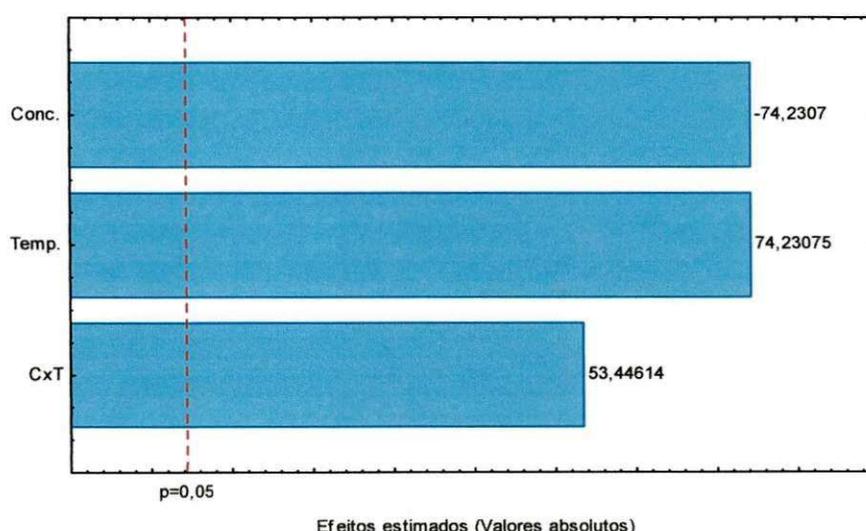


Figura 4.9 – Diagrama de Pareto dos sólidos solúveis totais do figo-da-índia em pó do Tipo B

De acordo com a Tabela 4.13 e se partindo dos efeitos significativos, propõe-se o modelo de 1ª ordem, apresentado na Equação 4.4:

$$SST = 19,55000 - -1,50000 C + 1,50000 T + 1,08000 C.T. \quad (4.4)$$

em que:

SST - sólidos solúveis totais (°Brix)

C – concentração de maltodextrina (%)

T – temperatura de secagem (°C)

Analisando a Tabela 4.14 nota-se, para a regressão, que o valor do $F_{\text{calculado}}$ foi menor que o valor do F_{tabelado} ; logo, pode-se afirmar que o modelo de 1ª ordem proposto para o teor de sólidos solúveis totais do figo-da-índia em pó do Tipo B, não foi significativo, demonstrado também pelo baixo coeficiente de determinação ($R^2 = 27,50\%$). Este mesmo comportamento foi verificado no teor de sólidos solúveis totais do figo-da-índia em pó, do Tipo A, após o processo de secagem por aspersão, onde também apresentou falta de ajuste significativa ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$), indicando que houve grande falta de ajuste dos dados ao modelo obtido.

Tabela 4.14 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para sólidos solúveis totais do figo-da-índia em pó do Tipo B

	SQ	GL	MQ	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}^*
Regressão	22,6656	3	7,5552	0,3794	9,28
Resíduo	59,7450	3	19,9150		
Falta de ajuste	59,74173	1	59,7417	36576,5714	18,51
Erro puro	0,00327	2	0,0016		
Total	82,41060	6			

$R^2 = 27,50\%$; *Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$. SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

4.3.5 – pH do figo-da-índia em pó do Tipo A

Na Tabela C.1 (Apêndice C), se encontram os valores médios do pH do figo-da-índia em pó, do Tipo A, para os diferentes experimentos do planejamento experimental fatorial. Nota-se que o pH variou entre 4,63 e 5,28, havendo tendência de aumento do pH com o aumento da temperatura; resultados semelhantes foram encontrados por BASTOS et al. (2005) que também verificaram este comportamento para a desidratação em camada de espuma da polpa de manga, nas temperaturas de 70 e 85 °C.

A Tabela 4.15 e a Figura 4.10, apresentam os efeitos principais e a interação das variáveis independentes, tendo como resposta o pH para um modelo de 1ª ordem, considerando-se um limite de confiança de 95%. Os dados foram obtidos com base no erro puro. Consta-se, na Tabela 4.15, que todos os efeitos estimados dos fatores lineares (concentração de maltodextrina e temperatura do ar de secagem) e a interação entre os mesmos, se encontram em negrito; logo, foram significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$). Conforme mostra o gráfico de Pareto (Figura 4.10) que envolve a variável concentração (C), temperatura (T) e a interação entre as mesmas, também se constata que as variáveis e sua interação foram estatisticamente significativas sobre a variável resposta, pH.

Tabela 4.15 - Efeito estimado, erro, coeficiente t e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para pH do pó Tipo A

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	t (2)	Significância Estatística (p)
Média	5,020000	0,003780	1328,167	0,000001
Concentração	-0,100000	0,010000	-10,000	0,009852
Temperatura	0,130000	0,010000	13,000	0,005865
Concentração x Temperatura	0,520000	0,010000	52,000	0,000370

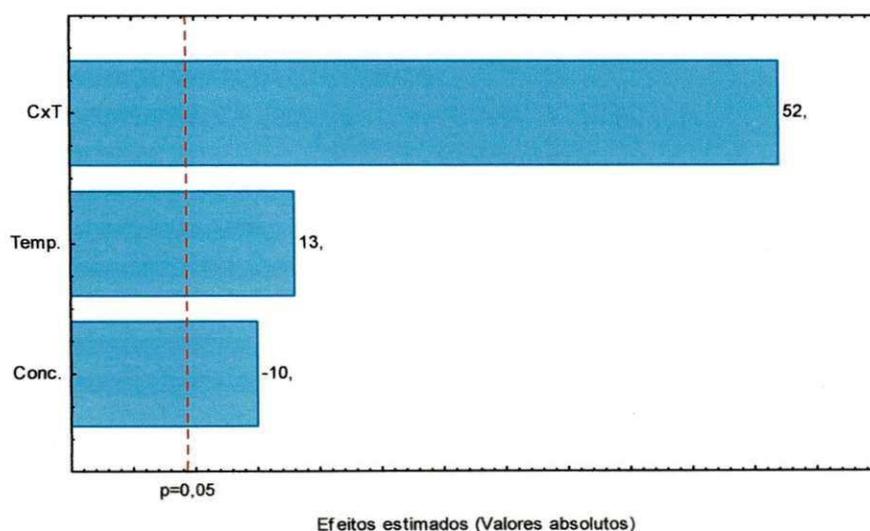


Figura 4.10 – Diagrama de Pareto do pH do figo-da-índia em pó do Tipo A

Analisando a Figura 4.10, observa-se que a interação dos fatores (CxT) influenciou, de forma mais significativa, atingindo um valor de t de aproximadamente 52,0. No fator

concentração o sinal negativo indica que quanto maior a concentração de maltodextrina menor é o pH do produto final. Destaca-se que, como os efeitos principais e a interação foram significativos, não se deve analisar as variáveis independentes isoladamente.

De acordo com a Tabela 4.15 e se partindo dos efeitos significativos, propôs-se o modelo da Equação 4.5:

$$\text{pH} = 5,020000 - 0,050000 C + 0,065000 T + 0,260000 C.T. \quad (4.5)$$

em que:

C – concentração de maltodextrina (%)

T – Temperatura de secagem (°C)

Analisando a Tabela 4.16, nota-se que o valor do $F_{\text{calculado}}$ foi maior que o valor do F_{tabelado} e o valor da razão entre os mesmos foi de aproximadamente 13,93 para o nível de 95% de confiança; pode-se, então, afirmar que o modelo proposto para o pH do figo-da-índia em pó do Tipo A foi significativo e preditivo. A falta de ajuste apresentou um $F_{\text{calculado}}$ um pouco superior ao F_{tabelado} , não indicando, portanto maior significância visto que o modelo explicou 99,23% da variação dos dados observados. LINS (2010) verificou, ao estudar o desenvolvimento de fruta estruturada de três genótipos de cajazeira, que o modelo de 1ª ordem ajustado para o pH estruturado do genótipo IPA 11.2 foi considerado preditivo, em virtude de apresentar regressão significativa e falta de ajuste não significativa (95% de confiança), além de $R^2 = 91\%$.

Tabela 4.16 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para pH do figo-da-índia em pó do Tipo A

	SQ	GL	MQ	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}^*
Regressão	0,29730	3	0,099100	129,2608696	9,28
Resíduo	0,00230	3	0,000767		
Falta de ajuste	0,002100	1	0,002100	21	18,51
Erro puro	0,000200	2	0,000100		
Total	0,299600	6			

$R^2 = 99,23\%$; *Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$. SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

Tem-se na Tabela 4.16, que o valor do coeficiente de determinação (R^2) foi de 99,23%, indicando que o modelo de 1ª ordem representa bem a relação entre os efeitos e a resposta.

A Figura 4.11 apresenta a superfície de resposta para o pH do figo-da-índia em pó do Tipo A, relacionando a concentração x temperatura no ponto central. Para uma concentração de maltodextrina de 25% e temperatura do ar de secagem de 170 °C, obteve-se um pH de 5,4, enquanto o menor pH encontrado (4,6) foi para a condição de maior concentração de maltodextrina (35%) com menor temperatura do ar de secagem (170 °C). Segundo PELCZAR JR. et al. (1997) a maioria dos microrganismos cresce melhor em valores de pH entre 6,5 e 7,5 e poucos abaixo de 5 ou acima de 9; desta forma, a referida amostra se apresenta numa faixa de pH razoavelmente segura. Como o pH das amostras encontra-se numa faixa entre 4,6 e 5,4, constata-se que o pH de 4,6 é o mais indicado para o armazenamento do figo-da-índia em pó do Tipo A, garantindo uma conservação maior do produto por um tempo maior. De acordo com PEREIRA et al. (2006), é desejável se ter, em geral, um pH inferior a 4,5 para impedir a proliferação de microrganismos no produto final.

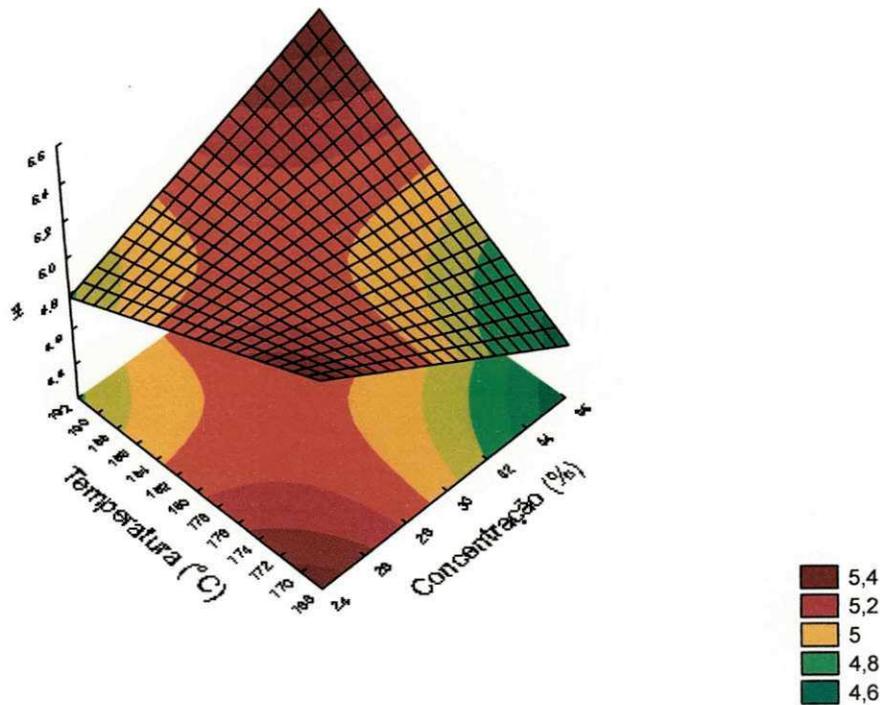


Figura 4.11 - Superfície de resposta para o pH do figo-da-índia em pó do Tipo A, relacionando a concentração x temperatura (180 °C)

4.3.6 – pH do figo-da-índia em pó do Tipo B

Na Tabela C.2 (Apêndice C), tem-se os valores médios do pH do figo-da-índia em pó do Tipo B para os diferentes experimentos do planejamento experimental fatorial. Percebe-se que o pH do figo-da-índia em pó do Tipo B (ciclone) apresentou todos os valores superiores ao pH do figo-da-índia em pó do Tipo A (câmara) em todos os experimentos, variando de 5,09 a 5,42 unidades de pH, significando que as partículas coletadas no ciclone sofreram, provavelmente por serem menores maior oxidação, em consequência da maior área superficial exposta às altas temperaturas de secagem. Ficou demonstrado mais uma vez, que as amostras coletadas na câmara e no ciclone possuem características diferentes. Valores inferiores foram obtidos por MEDEIROS (2007) ao determinarem o pH mangaba em pó, secada pelo processo de secagem em camada de espuma nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, que foi em média de 3,2 unidades de pH.

Os resultados da análise estatística aplicados aos dados experimentais do pH do figo-da-índia em pó Tipo B, são apresentados na Tabela 4.17. Os efeitos da média e da interação, em negrito, foram significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$), diferentemente dos valores experimentais do pH do figo-da-índia em pó Tipo A, demonstrados na Tabela 4.15, em que todos os efeitos dos fatores lineares, da média e da interação, se apresentaram significativos com nível de confiabilidade de 95%, fato que também pode ser nitidamente visualizado através do diagrama de Pareto (Figura 4.12).

Tabela 4.17 - Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para pH do pó Tipo B

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	t (2)	Significância Estatística (p)
Média	5,270000	0,013628	386,7123	0,000007
Concentração	-0,060000	0,036056	-1,6641	0,237999
Temperatura	0,060000	0,036056	1,6641	0,237999
Concentração x Temperatura	0,270000	0,036056	7,4885	0,017369

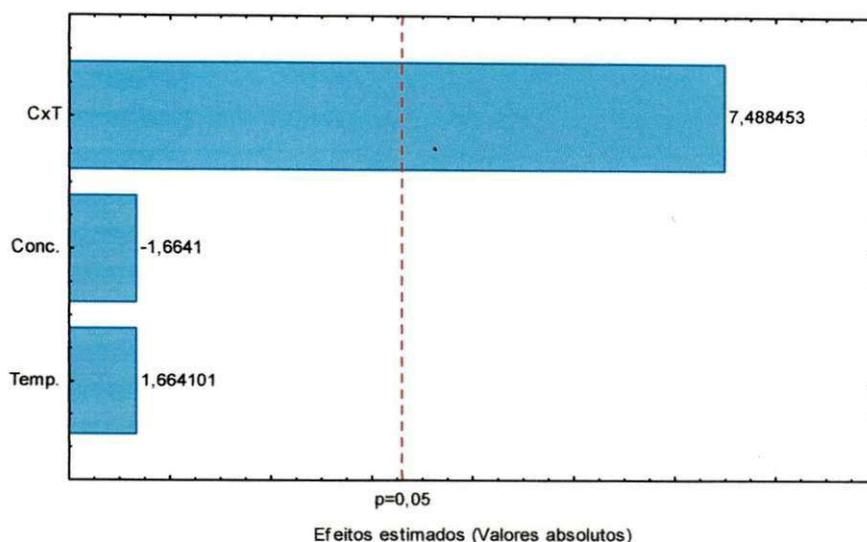


Figura 4.12 – Diagrama de Pareto do pH do figo-da-índia em pó do Tipo B

Na Figura 4.12 o sinal positivo do valor absoluto da interação dos fatores indica que o aumento da temperatura do ar de secagem e da concentração de maltodextrina promove a produção do figo-da-índia em pó do Tipo B, com um pH mais elevado.

Eliminando-se os fatores não-significativos, verificou-se significância da regressão a 95% de confiança ($p \leq 0,05$), através do teste F, na análise de variância. O modelo proposto para representar a pH do figo-da-índia em pó Tipo B, dentro dos limites de concentração de maltodextrina e temperatura do ar de secagem, é descrito pela Equação 4.6:

$$\text{pH} = 5,270000 + 0,135000 \text{ C.T.} \quad (4.6)$$

em que:

C – concentração de maltodextrina (%)

T – temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$)

A Tabela 4.18 expressa a análise de variância do modelo ajustado para o pH do figo-da-índia em pó do Tipo B, obtida através da eliminação dos fatores que não foram significativos. Pode-se observar que o modelo apresentou regressão significativa a nível de 95% de confiança ($F_{\text{calculado}}$ superior ao F_{tabelado}). Calculando-se o valor da razão entre o $F_{\text{calculado}}$ e o F_{tabelado} , tem-se um valor aproximado de 1,94 para o nível de 95% de confiança; sendo assim, o modelo ajustado para o pH no processo de secagem da polpa de figo-da-índia em secador por aspersão, foi considerado significativo e não preditivo, apresentando

um coeficiente de determinação (R^2) para o modelo ajustado de 0,9446, indicando que o modelo explicou 94,46% da variação dos dados observados, fato explicado pela não significância da falta de ajuste ($F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$). LINS (2010) verificou, ao estudar o desenvolvimento de fruta estruturada de três genótipos de cajazeira, que o modelo de 1ª ordem ajustado para o pH da fruta estruturada do genótipo IPA 11.2 foi considerado preditivo, em razão de apresentar regressão significativa e falta de ajuste não significativa (95% de confiança), além de $R^2 = 91\%$.

Tabela 4.18 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para o pH do figo-da-índia em pó do Tipo B

	SQ	GL	MQ	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}^*
Regressão	0,0801	3	0,0267	17,0426	9,28
Resíduo	0,0047	3	0,0016		
Falta de ajuste	0,002100	1	0,0021	1,6154	18,51
Erro puro	0,002600	2	0,0013		
Total	0,084800	6			

$R^2 = 94,46\%$; *Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$. SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

Analisando a Figura 4.13 percebe-se que a utilização da menor concentração de maltodextrina (25%) e da menor temperatura de secagem (170 °C), permite a obtenção de um pó do Tipo B com pH (5,4) próximo ao da formulação (suspensão) antes da secagem, levando-se em consideração o ponto central. O menor pH ($\approx 5,1$) do figo-da-índia em pó do Tipo B foi encontrado na maior concentração de maltodextrina (35%) e na menor temperatura de secagem (170 °C), Experimento nº 2. Esse fato explica a interação (CxT) ter sido o único fator significativo a 95% de confiança, ou seja, a utilização de uma concentração de maltodextrina e de uma temperatura do ar de secagem baixa ou elevada, não interfere no pH ótimo do figo-da-índia em pó Tipo B; este mesmo comportamento foi verificado no pH do figo-da-índia em pó Tipo A, embora apresentando fatores lineares (concentração de maltodextrina e temperatura) significativos a 95% de confiança; no entanto, a interação (CxT) foi o fator que mais influenciou na resposta (Figura 4.9), sendo assim a utilização de uma concentração de maltodextrina e de uma temperatura baixa ou elevada, não há interferência no pH ótimo do produto final.

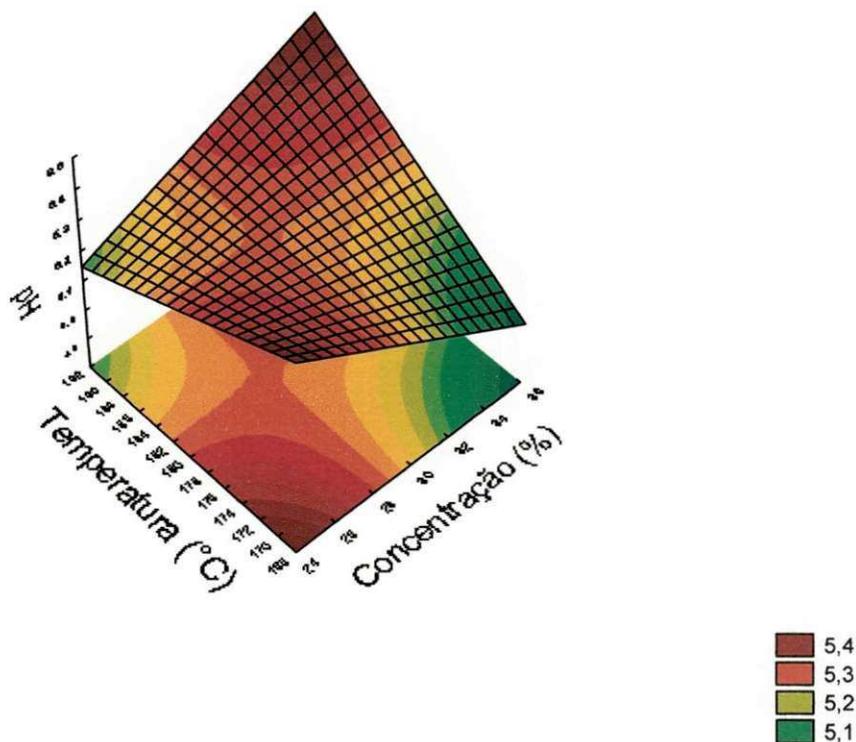


Figura 4.13 - Superfície de resposta para o pH do figo-da-índia em pó do Tipo B, relacionando a concentração x temperatura (180 °C)

4.3.7 – Acidez total titulável do figo-da-índia em pó do Tipo A

Na Tabela C.1 (Apêndice C), se encontram os valores médios da acidez total titulável do figo-da-índia em pó do Tipo A, para os diferentes experimentos do planejamento experimental fatorial. Nota-se que a acidez variou entre 0,33 e 0,50% de ácido cítrico; resultados superiores foram encontrados por ALMEIDA et al. (2009) para mangas em pó, obtidas através do processo de liofilização, das variedades Tommy Atkins e Rosa, cujos valores de ATT foram de 0,93 e 2,1%, respectivamente.

Com relação à acidez total titulável do figo-da-índia em pó Tipo A, na Tabela 4.19 são apresentados os resultados da análise estatística dos efeitos significativos de cada fator, nesta resposta. Os efeitos significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$) estão em negrito para melhor visualização. Observa-se que a média, a concentração e a interação concentração x temperatura, foram significativas a 95% de confiança ($p \leq 0,05$), apresentando significância para o modelo proposto. No entanto a temperatura não foi significativa, por apresentar $p > 0,05$.

Tabela 4.19 - Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para a acidez total titulável do pó Tipo A

Fatores	Efeito	Erro	t (2)	Significância
	Estimado	Padrão		Estatística (p)
Média	0,388571	0,004364	89,03290	0,000126
Concentração	-0,080000	0,011547	-6,92820	0,020204
Temperatura	-0,010000	0,011547	-0,86603	0,477767
Concentração x Temperatura	-0,090000	0,011547	-7,79423	0,016065

A Figura 4.14 evidencia o que foi comentado anteriormente; a interação (CxT) foi o fator que mais influenciou na acidez total titulável do figo-da-índia em pó do Tipo A, seguido do fator concentração de maltodextrina, com valor absoluto de -7,79423 e -6,9282, respectivamente, indicando a grandeza desses fatores em relação ao desvio; percebe-se que esses dois fatores significativos apresentaram efeito decrescente na acidez total titulável do produto, indicando que, ao passarem do nível -1 para o nível +1, a acidez diminui, fenômeno interpretado pelo sinal negativo.

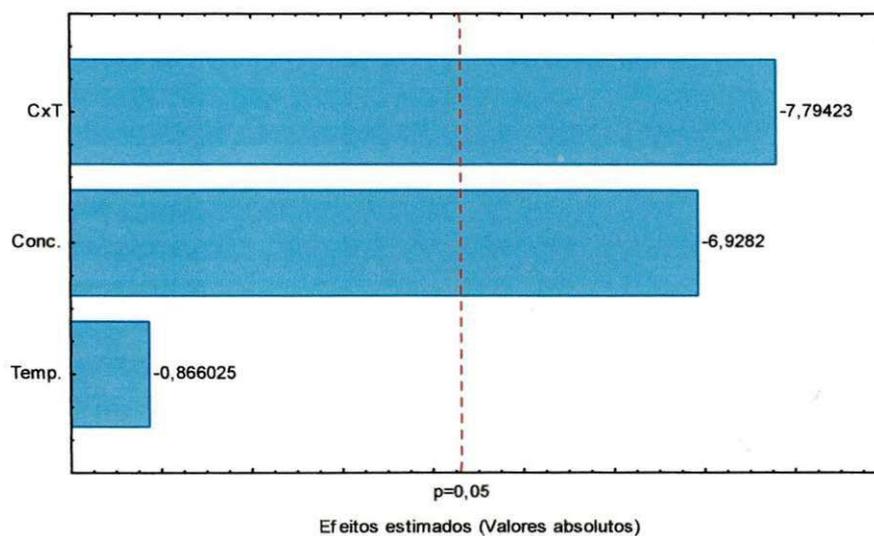


Figura 4.14 – Diagrama de Pareto da acidez total titulável do figo-da-índia em pó do Tipo A

Eliminando-se o fator não-significativo (temperatura de secagem) e com os dados obtidos da acidez total titulável do figo-da-índia em pó do Tipo A, propôs-se o modelo de 1ª ordem (Equação 4.7) desses dados experimentais, em função da média, da concentração

de maltodextrina e da interação (concentração x temperatura), os quais se apresentam em negrito e foram significativos a 95% de confiança.

$$ATT = 0,388571 - 0,040000 C - 0,045000 CxT \quad (4.7)$$

em que:

ATT – acidez total titulável (% ácido cítrico)

C – concentração de maltodextrina (%)

T – temperatura do ar de secagem (°C)

Observa-se que a influência da interação (CxT) é levemente superior àquela da concentração de maltodextrina, para a acidez total titulável, no decorrer do processo. Na Tabela 4.20, a qual apresenta a ANOVA, constata-se que o modelo apresentou regressão não significativa a nível de 95% de confiança, fato coerente com o coeficiente de determinação (R^2) que foi relativamente baixo (0,6062), devido a falta de ajuste ter se apresentado significativa. Em relação ao teste F, o valor do $F_{\text{calculado}}$ foi inferior ao F_{tabelado} , logo o modelo proposto para a acidez total titulável do figo-da-índia em pó do Tipo A não foi estatisticamente significativo a 95% de confiança. Observa-se, ainda, que o $F_{\text{calculado}}$ da falta de ajuste resultou em um valor muito alto, evidenciando também que existiu uma falta de ajuste do modelo aos dados experimentais.

Tabela 4.20 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a acidez total titulável do figo-da-índia em pó do Tipo A

	SQ	GL	MQ	F_{calculado}	F_{tabelado*}
Regressão	0,0146	3	0,0049	1,5392	9,28
Resíduo	0,0095	3	0,0032		
Falta de ajuste	0,009219	1	0,0092	69,1429	18,51
Erro puro	0,000267	2	0,0001		
Total	0,024086	6			

$R^2 = 60,62\%$; *Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$. SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

4.3.8 – Acidez total titulável do figo-da-índia em pó do Tipo B

Na Tabela C.2 (Apêndice C), se encontra os valores médios da acidez total titulável do figo-da-índia em pó do Tipo B, para os diferentes experimentos do planejamento fatorial. Observa-se que os percentuais da acidez total titulável variaram entre 0,28 e 0,42% de ácido cítrico. SILVA et al. (2005), encontraram, analisando a polpa de umbu- cajá em pó obtida pelo processo de secagem em camada de espuma, um valor muito superior ao do presente trabalho, que foi de 5,4% ácido cítrico. Constata-se que a acidez total titulável do figo-da-índia em pó do Tipo B foi inferior à do Tipo A, para os respectivos experimentos confirmando-se, mais uma vez, a diferença entre as características do pó Tipo A e do Tipo B. Provavelmente este comportamento também pode ser justificado, pelo tamanho das partículas que, quanto menor for o seu tamanho, mais sujeitas estão a oxidação, devido à sua maior área superficial; hipótese semelhante foi levantada para o pH.

Observam-se, na Tabela 4.21, os efeitos estimados, erros padrão, coeficientes *t* e graus de significância estatística (*p*), de cada fator para a acidez total titulável do figo-da-índia em pó do Tipo B; verifica-se que apenas a média e o fator concentração foram significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$).

Tabela 4.21 - Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para a acidez total titulável do pó Tipo B

Fatores	Efeito	Erro	t (2)	Significância
	Estimado	Padrão		Estatística (p)
Média	0,327143	0,004364	74,95785	0,000178
Concentração	-0,085000	0,011547	-7,36122	0,017959
Temperatura	0,035000	0,011547	3,03109	0,093783
Concentração x Temperatura	-0,005000	0,011547	-0,43301	0,707230

Na Figura 4.15 estão expressas as significâncias estatísticas (*p*) dos fatores lineares e da interação (concentração de maltodextrina x temperatura de secagem). Constata-se que a concentração foi o único fator que influenciou significativamente na acidez total titulável do figo-da-índia em pó do Tipo B, com valor de *t* de -7,36122; o fator linear

(concentração) apresenta efeito decrescente na acidez do pó Tipo B, ou seja, o aumento neste parâmetro resultou em menores valores de acidez do pó.

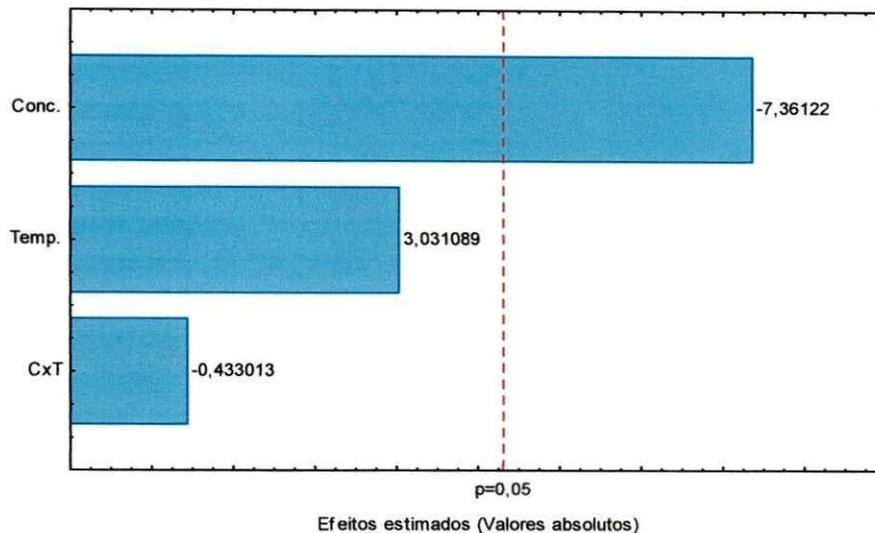


Figura 4.15 – Diagrama de Pareto da acidez total titulável do figo-da-índia em pó do Tipo B

Com os dados obtidos, usando planejamento experimental, da acidez total titulável das amostras do figo-da-índia em pó do Tipo B, fez-se a regressão linear (Equação 4.8) desses dados experimentais em função da média e da concentração, que se apresentam em negrito e foram significativas a 95% de confiança.

$$ATT = \mathbf{0,308365} - \mathbf{0,134683} C \quad (4.8)$$

em que:

ATT – acidez total titulável (% ácido cítrico)

C – concentração de maltodextrina

Na Tabela 4.22, que apresenta a ANOVA, o modelo não apresentou regressão significativa a 95% de confiança, visto que o valor do $F_{\text{calculado}}$ foi menor que o valor do F_{tabelado} ; assim, de acordo com o teste F, o modelo linear da acidez total titulável não foi estatisticamente significativo, fato que pode ser explicado pelo baixo coeficiente de determinação ($R^2 = 47,73\%$) encontrado, o qual indicou que o modelo explicou um baixo percentual da variação dos dados observados, e pela falta de ajuste ter sido significativa a 95% de confiança ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$). Da mesma maneira para o pó de figo-da-índia do

Tipo A, o modelo de 1ª ordem proposto não foi significativo a 95% de confiança, apresentando um R² mais elevado (0,6062), porém não explicando satisfatoriamente a variação dos dados experimentais.

Tabela 4.22 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para acidez total titulável do figo-da-índia em pó do Tipo B

	SQ	GL	MQ	F _{calculado}	F _{tabelado*}
Regressão	0,0085	3	0,0028	0,9557	9,28
Resíduo	0,0089	3	0,0030		
Falta de ajuste	0,008601	1	0,0086	64,5089	18,51
Erro puro	0,000267	2	0,0001		
Total	0,017343	6			

R² = 48,87%; *Valores tabelados de F a p ≤ 0,05. SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

4.3.9 – Açúcares redutores, não-redutores e açúcares totais do figo-da-índia em pó

Na Tabela C.1 (Apêndice C), estão os valores médios dos açúcares redutores, açúcares não-redutores e açúcares totais do figo-da-índia em pó, do Tipo A, dos diferentes experimentos do planejamento experimental fatorial. Nota-se que o teor de açúcares redutores variou entre 17,52 a 25,42% de glicose; valor superior obtiveram PEREIRA et al. (2006) após o processo de secagem do tomate do cultivar SM 16 em secador de bandejas a 70 °C e transformado em pó através da trituração em multiprocessador, de 42,31% de glicose.

Os açúcares não redutores do figo-da-índia em pó do Tipo A, variaram entre 1,21 e 10,55% de sacarose, próximos aos valores determinados por FERNANDES (2010), para as polpas de cajá em pó obtidas pelo método de secagem em camada de espuma, que variaram entre 3,01 e 16,94% de sacarose.

Nota-se que os teores dos açúcares totais do figo-da-índia em pó do Tipo A, variaram entre 25,42 e 30,52% de glicose; resultados inferiores foram encontrados por TONON et al. (2009), ao avaliarem a polpa de açaí em pó obtida pelo método de secagem por aspersão, utilizando 20% de maltodextrina e temperaturas de 140, 170 e 200 °C, obtendo o valor médio de açúcares totais de 0,48% glicose. Constata-se, ainda, que após a secagem a maior parcela dos açúcares do figo-da-índia em pó do Tipo A, foi a dos redutores.

Na Tabela C.2 (Apêndice C), se encontram os valores médios dos açúcares redutores, açúcares não-redutores e açúcares totais do figo-da-índia em pó do Tipo B, dos diferentes experimentos do planejamento experimental fatorial. Pode-se observar que as amostras apresentaram valores médios dos açúcares redutores variando entre 17,13 e 25,42% glicose. GALDINO et al. (2003) encontraram, ao avaliar a estabilidade da polpa de umbu em pó pelo método de secagem em camada de espuma, na temperatura de 70 °C, valor superior dos açúcares redutores, de 96,39% de glicose.

Constata-se que as amostras coletadas no ciclone (Tipo B) apresentaram valores médios dos açúcares redutores semelhantes aos das amostras coletadas na câmara (Tipo A), e que os valores médios dos açúcares não redutores do pó Tipo B dos diferentes experimentos do planejamento experimental fatorial, variaram entre 7,47 e 10,79% sacarose. Os valores médios dos açúcares totais do figo-da-índia em pó do Tipo B dos diferentes experimentos do planejamento experimental fatorial, variaram entre 28,45 a 32,89 % glicose. COSTA et al. (2007), relataram valores superiores para os açúcares totais para o pó obtido da casca de abacaxi (37,33%) e para o pó do bagaço do abacaxi (36,05%).

Realizou-se, da mesma forma que para os outros parâmetros, a análise dos açúcares redutores, açúcares não redutores e açúcares totais do figo-da-índia em pó dos Tipos A e B no programa Statistica; entretanto, não houve qualquer fator significativo, inclusive as médias, não sendo gerados os coeficientes t, os graus de significância estatística (p), nem os diagramas de Pareto.

4.3.10 - Cinzas do figo-da-índia em pó do Tipo A

Na Tabela C.1 (Apêndice C), estão os valores médios do teor de cinzas do figo-da-índia em pó do Tipo A, dos diferentes experimentos do planejamento experimental fatorial. Nota-se que o conteúdo mineral (cinzas) variou entre 0,85 e 1,51%. COSTA et al. (2009) obtiveram, ao avaliar a alcachofra em pó obtida em secador por aspersão, um percentual superior de cinzas, de 2,02%.

A Tabela 4.23 apresenta os valores dos efeitos estimados, erros padrão, coeficientes t e grau de significância, para os fatores no modelo real para o teor de cinzas do figo-da-índia em pó do Tipo A; analisando a significância estatística (p), pode-se observar que a média, a concentração de maltodextrina e a interação concentração x temperatura, foram significativas a 95% de significância; este fato pode ser melhor observado na Figura 4.15.

Tabela 4.23 - Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para o teor de cinzas do pó Tipo A

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	t (2)	Significância Estatística (p)
Média	1,207143	0,017043	70,82774	0,000199
Concentração	-0,330000	0,045092	-7,31829	0,018164
Temperatura	-0,060000	0,045092	-1,33060	0,314752
Concentração x Temperatura	-0,330000	0,045092	-7,31829	0,018164

A Figura 4.16 demonstra o comportamento para cada fator no modelo real, com seus respectivos valores absolutos. Percebe-se que tanto a concentração de maltodextrina quanto a interação Concentração x Temperatura de secagem, obtiveram o mesmo valor absoluto apresentando-se, assim, significativos a 95% de confiança, e com o mesmo grau de influência sobre a resposta. O sinal negativo representa um efeito decrescente dos fatores no teor de cinzas do figo-da-índia em pó do Tipo A, significando que houve tendência de diminuição do teor de cinzas com o aumento da concentração de maltodextrina e da interação com a temperatura.

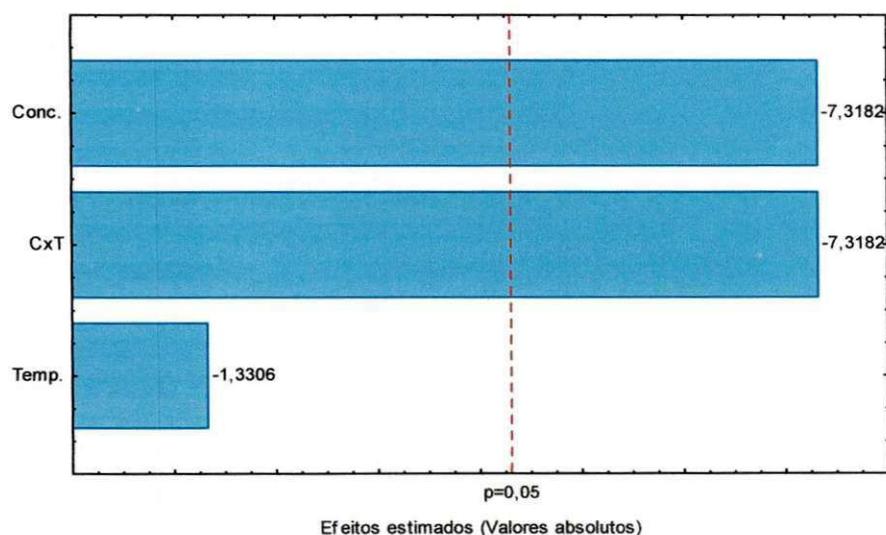


Figura 4.16 – Diagrama de Pareto do teor de cinzas do figo-da-índia em pó do Tipo A

O modelo matemático proposto para o teor de cinzas do figo-da-índia em pó do Tipo A, é representado na Equação 4.9.

$$\text{Cinzas} = 1,207143 - 0,165000 C - 0,165000 C.T \quad (4.9)$$

em que:

C – concentração de maltodextrina (%)

T – temperatura de secagem (°C)

Na Tabela 4.24 tem-se a análise de variância (ANOVA) do ajuste do modelo de 1ª ordem para o teor de cinzas do figo-da-índia em pó do Tipo A. Observa-se, para a regressão, que o valor do $F_{\text{calculado}}$ (53,4414) foi maior que o valor de F_{tabelado} (9,28), para um nível de 95% de confiança; como a razão entre esses valores foi de aproximadamente 6,03, pode-se afirmar, de acordo com o teste F, que o modelo de 1ª ordem proposto apresentou regressão significativa e preditiva com um $R^2 = 0,9825$, indicando que o modelo explicou 98,25% da variação dos dados, fato também explicado pelo $F_{\text{calculado}}$ da falta de ajuste ter sido inferior ao F_{tabelado} .

Tabela 4.24 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para o teor de cinzas do figo-da-índia em pó do Tipo A

	SQ	GL	MQ	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}^*
Regressão	0,2214	3	0,0738	53,4414	9,28
Resíduo	0,0041	3	0,0014		
Falta de ajuste	0,000076	1	0,0001	0,0375	18,51
Erro puro	0,004067	2	0,0020		
Total	0,225543	6			

$R^2 = 98,16\%$; *Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$. SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

A Figura 4.17 mostra a superfície de resposta gerada através do modelo proposto, considerando-se os pontos médios de concentração de maltodextrina e temperatura do ar de secagem. Observa-se que o maior teor de cinzas (1,8%) para o pó Tipo A levando-se em consideração, o ponto central foi observado quando a temperatura de secagem foi de 190 °C e a concentração de maltodextrina foi de 25%. Logo, o valor mínimo do teor de cinzas (0,8%) foi alcançado na temperatura de 190 °C, com concentração de 35%. Resultados superiores foram encontrados por LANNES & MEDEIROS (2003) para o achocolatado de cupuaçu em pó, de 5,10%.

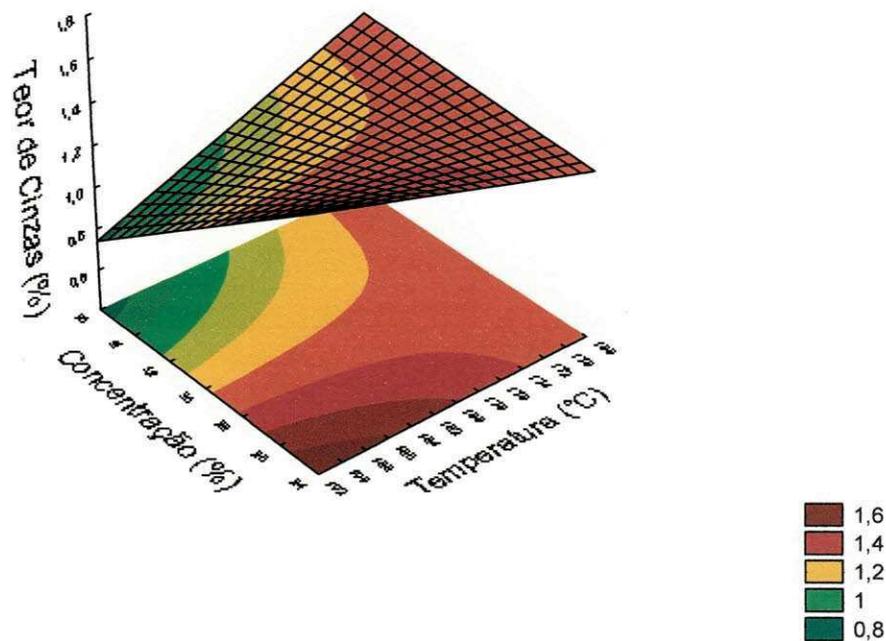


Figura 4.17 - Superfície de resposta para o teor de cinzas do figo-da-índia em pó do Tipo A, relacionando a concentração x temperatura (180 °C)

4.3.11 - Cinzas do figo-da-índia em pó do Tipo B

Observando-se a Tabela C.2 (Apêndice C), nota-se que o teor de cinzas do figo-da-índia em pó do Tipo B, variou entre 0,29 a 1,49%; Quando comparado com o figo-da-índia em pó do Tipo A, verificar-se que o teor de cinzas do pó Tipo B apresentou-se com valores inferiores em todos os experimentos comprovando também, por este parâmetro, as diferenças entre as características das amostras coletadas na câmara e no ciclone. COSTA et al. (2007) encontraram, analisando o pó alimentício obtido a partir do bagaço do abacaxi obtido em estufa a vácuo, a 65 °C, um teor superior de cinzas de 2,15%.

Realizou-se, da mesma forma que para os outros parâmetros, a análise das cinzas do figo-da-índia em pó do Tipo B no programa Statistica; entretanto não houve qualquer fator significativo, inclusive a média, não sendo gerados os coeficientes t, os graus de significância estatística (p), nem os diagramas de Pareto.

4.3.12 - Luminosidade (L^*) do figo-da-índia em pó do Tipo A

Avaliando a Tabela C.1 (Apêndice C), observa-se que os valores médios obtidos da luminosidade (L^*) do figo-da-índia em pó do Tipo A, variaram entre 61,51 e 78,08. SAÉNZ et al. (2009), encontraram um valor de luminosidade próximo ao do estudo em questão, para a polpa do figo da índia em pó com adição de maltodextrina, também obtida em secador por aspersão, que foi de 65,6. A luminosidade dessas amostras foi alta, indicando serem claras em razão da luminosidade variar entre o valor zero (preto) e o valor 100 (branco).

Na Tabela 4.25 se apresentam os efeitos significativos e os não significativos da concentração de maltodextrina e temperatura do ar de secagem sobre a luminosidade do figo-da-índia em pó Tipo A; neste caso, todos os efeitos lineares, inclusive a média e a interação (CxT), foram significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$).

Tabela 4.25 - Efeito estimado, erro, coeficiente t e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para a luminosidade (L^*) do pó Tipo A

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	t (2)	Significância Estatística (p)
Média	70,16571	0,032587	2153,189	0,000000
Concentração	10,43000	0,086217	120,974	0,000068
Temperatura	-6,14000	0,086217	-71,216	0,000197
Concentração x Temperatura	-5,17000	0,086217	-59,965	0,000278

Pela análise dos efeitos na Figura 4.18, nota-se que as duas variáveis independentes estudadas, apresentaram efeito significativo a um intervalo de confiança de 95% sobre a luminosidade. Pode-se observar que os efeitos lineares da temperatura e concentração durante o processo de secagem são positivos e negativos, respectivamente, ou seja, o aumento da concentração de maltodextrina ao longo do processo aumenta a luminosidade enquanto o aumento da temperatura de secagem diminui a luminosidade do produto final. Contudo, a concentração de maltodextrina é o fator que exerce maior influência na luminosidade do figo-da-índia em pó Tipo A, durante a secagem por aspersão. SOUSA et al. (2008) também verificaram efeito significativo da temperatura de secagem sobre a luminosidade do tomate em pó secado em secador por aspersão. Já TONON et al. (2009),

também verificaram não apenas a influência da temperatura de secagem mas também da concentração de maltodextrina na luminosidade do suco de açaí em pó, secado em secador por aspersão, tendo-se observado que, com o aumento da concentração de maltodextrina, houve um aumento de L^* , justificado pela diluição da coloração roxa do suco de açaí com a maltodextrina.

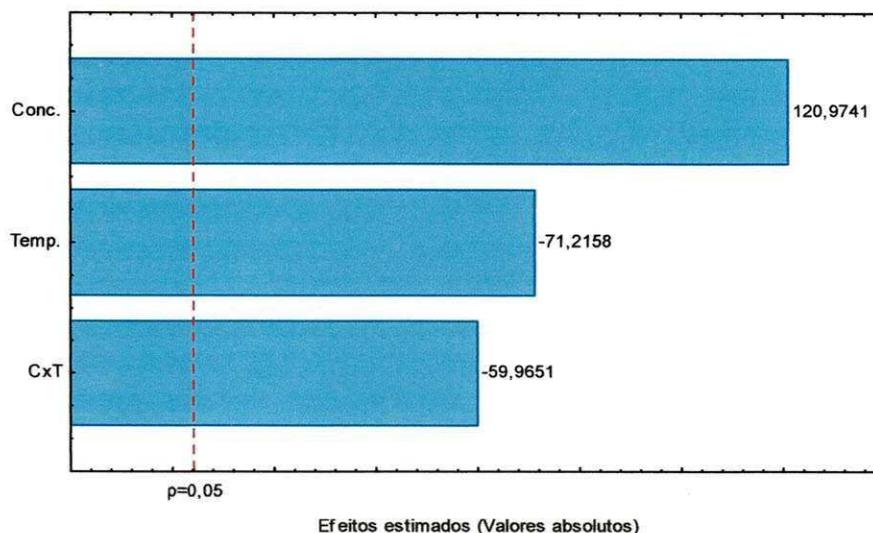


Figura 4.18 – Diagrama de Pareto da Luminosidade (L^*) do figo-da-índia em pó do Tipo A

Através dos efeitos significativos observados para a luminosidade foi possível estabelecer um modelo estatístico (Equação 4.10) para descrever o comportamento das variáveis estudadas, com base nos coeficientes de regressão; em seguida, foi realizada análise de variância para sua validação.

$$L^* = 70,16571 + 5,21500 C - 3,07000 T - 2,58500 C.T. \quad (4.10)$$

em que:

L^* - luminosidade

C – concentração de maltodextrina (%)

T – temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$)

Na Tabela 4.26 é apresentada a análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para luminosidade (L^*); a análise estatística mostrou que o modelo proposto para a luminosidade não é significativo nem preditivo, constatando-se este fato através do R^2 (68%), da análise de variância, que apresentou regressão não significativa a 95% de

confiança, visto que o $F_{\text{calculado}}$ foi inferior ao F_{tabelado} e da razão entre eles igual a 0,23, assim como a falta de ajuste significativa ($F_{\text{calculado}} \gg F_{\text{tabelado}}$). Então, não foi possível obter a superfície de resposta para a luminosidade, em função da temperatura do ar de secagem e da concentração de maltodextrina, durante a secagem.

Tabela 4.26 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para luminosidade (L^*) do do figo-da-índia em pó do Tipo A

	SQ	GL	MQ	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}^*
Regressão	173,2134	3	57,7378	2,1239	9,28
Resíduo	81,5532	3	27,1844		
Falta de ajuste	81,5383	1	81,5383	10969,2787	18,51
Erro puro	0,0149	2	0,0074		
Total	254,7666	6			

$R^2 = 67,99\%$; *Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$. SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

4.3.13 - Luminosidade (L^*) do figo-da-índia em pó do Tipo B

Na Tabela C.2 (Apêndice C), se observam os valores médios da luminosidade (L^*) para o figo-da-índia em pó do Tipo B, variaram entre 75,09 e 90,84. Constata-se, ainda, que a luminosidade do pó do Tipo B foi superior ao pó do Tipo A, em todos os experimentos, indicando que referidas amostras são mais claras que as amostras do Tipo A e possuem, também, para este parâmetro, características diferentes. Uma possível explicação para este fato é que o pó coletado na câmara de secagem apresenta grânulos de coloração mais escura devido à permanência das gotas de diâmetro maior na câmara; com isto, o produto recebe uma quantidade de calor durante o período maior no processo de secagem enquanto o pó coletado no ciclone é proveniente de gotas de diâmetros menores; com isto, são mais leves e arrastadas para o ciclone ficando em contato com uma temperatura mais amena apresentando, assim, coloração mais clara. ERSUS & YURDAGEL (2007), encontraram valores de luminosidade inferiores, de 55,91-56,82 para os extratos etanólicos de cenoura secados em secador por aspersão, com adição de maltodextrina (DE = 10).

Os resultados da análise estatística aplicados aos dados experimentais da luminosidade do figo-da-índia em pó do Tipo B, estão apresentados na Tabela 4.27. Os

efeitos da média, dos fatores lineares e da interação, que se encontram em negrito, logo foram significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$).

Tabela 4.27 - Efeito estimado, erro, coeficiente t e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para a luminosidade (L^*) do pó Tipo B

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	t (2)	Significância Estatística (p)
Média	84,89571	0,028619	2966,410	0,000000
Concentração	2,61500	0,075719	34,536	0,000837
Temperatura	-1,25500	0,075719	-16,574	0,003620
Concentração x Temperatura	-9,41500	0,075719	-124,342	0,000065

Na Figura 4.19 é possível visualizar melhor a influência dos fatores estudados através do diagrama de Pareto, em que todos os fatores influenciaram no parâmetro luminosidade e a interação concentração x temperatura foi o fator que mais influenciou, com valor absoluto de 124,342, seguida da concentração e, por último, da temperatura. Percebe-se que a concentração apresentou efeito crescente (sinal positivo) sobre a luminosidade do figo-da-índia em pó do Tipo B, ou seja, quanto maior a concentração de maltodextrina maior também será a luminosidade do produto. O sinal negativo do fator temperatura indica que um aumento da temperatura do ar de secagem acarreta na obtenção de um produto com menor luminosidade.

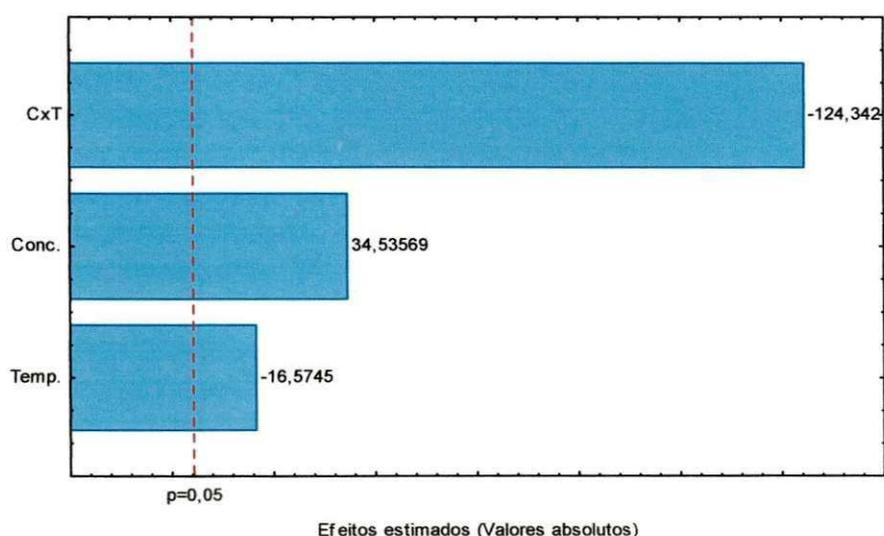


Figura 4.19 – Diagrama de Pareto da Luminosidade (L^*) do figo-da-índia em pó do Tipo B

Através dos dados obtidos com o planejamento fatorial da luminosidade (L^*) das amostras do figo-da-índia em pó do Tipo B, propôs-se a Equação 4.11 desses dados experimentais em função de todos os fatores, os quais foram significativos a 95% de confiança.

$$L^* = 84,89571 + 1,30750 C - 0,62750 T - 4,70750 C.T. \quad (4.11)$$

em que:

L^* - luminosidade

C – concentração de maltodextrina (%)

T – temperatura de secagem ($^{\circ}C$)

Na Tabela 4.28 é apresentada a análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para luminosidade (L^*) do figo-da-índia em pó do Tipo B. Verifica-se que o modelo apresentou regressão não significativa a 95% de confiança ($F_{\text{calculado}}$ inferior ao F_{tabelado}) e falta de ajuste significativa ($F_{\text{calculado}} \gg F_{\text{tabelado}}$); este mesmo comportamento foi verificado no modelo ajustado para a luminosidade do figo-da-índia em pó do Tipo A e, em assim sendo, o modelo ajustado para a luminosidade no processo de secagem da polpa de figo-da-índia em secador por aspersão, foi considerado não significativo e não preditivo, indicado também pelo baixo coeficiente de determinação de 0,3475, significando que o modelo explicou apenas 34,75% da variação dos dados observados.

Tabela 4.28 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para luminosidade (L^*) do figo-da-índia em pó do Tipo B

	SQ	GL	MQ	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}^*
Regressão	97,0555	3	32,3518	0,5327	9,28
Resíduo	182,2039	3	60,7346		
Falta de ajuste	182,1924	1	182,1924	31777,7494	18,51
Erro puro	0,0115	2	0,0057		
Total	279,2594	6			

$R^2 = 34,75\%$; *Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$. SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

4.3.14 – Intensidade de vermelho (+a*) do figo-da-índia em pó do Tipo A

Avaliando-se a Tabela C.1 (Apêndice C), tem-se que os valores médios da intensidade de vermelho (+a*) do figo-da-índia em pó do Tipo A, variaram entre 3,46 e 8,28. Resultado superior da intensidade de vermelho (+a* = 22,93) foi encontrado por PEREIRA et al. (2006), para o tomate em pó desidratado em secador de bandejas (70 °C), e próximo à faixa determinada por CAMPELO (2009), para o figo-da-índia em pó produzido por secagem em camada de espuma, que variou entre 4,3-11,3.

Os efeitos da média, dos fatores lineares e das interações, assim como o erro, o coeficiente t e a significância estatística, podem ser observados na Tabela 4.29. Os efeitos da média, do fator linear temperatura e da interação CxT, se apresentam em negrito; logo, foram significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$). Analisando os efeitos estimados pode-se afirmar que a temperatura foi o fator que mais influenciou no parâmetro intensidade de vermelho do produto visto que foi o fator que apresentou o maior valor em relação a este parâmetro.

Tabela 4.29 - Efeito estimado, erro, coeficiente t e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para a intensidade de vermelho (+a*) do pó Tipo A

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	t (2)	Significância Estatística (p)
Média	5,364286	0,039821	134,7099	0,000055
Concentração	0,045000	0,105357	0,4271	0,710878
Temperatura	4,235000	0,105357	40,1968	0,000618
Concentração x Temperatura	-0,585000	0,105357	-5,5526	0,030938

A Figura 4.20 demonstra melhor a significância estatística dos fatores e qual o fator que mais influenciou na intensidade de vermelho do produto final. Como já foi comentado, verifica-se que tanto a temperatura quanto a interação (CxT) foram significativas, porém a temperatura exerceu uma influência maior na coloração vermelha do produto, apresentando efeito positivo, ou seja, ao passar de um valor mínimo a um valor máximo da variável, a resposta aumenta.

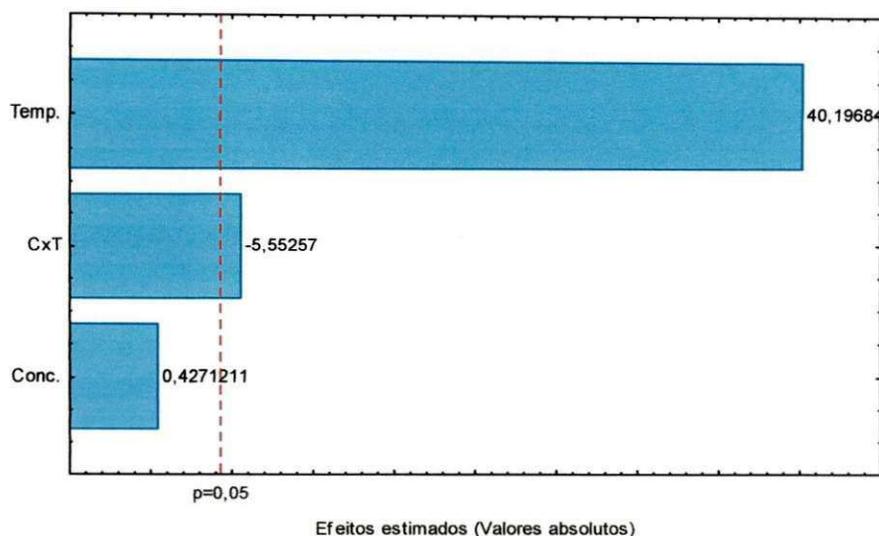


Figura 4.20 – Diagrama de Pareto da intensidade de vermelho (+a*) do figo-da-índia em pó do Tipo A

Através dos dados obtidos no planejamento fatorial da intensidade de vermelho (+a*) das amostras do figo-da-índia em pó do Tipo A, propôs-se o modelo de 1ª ordem (Equação 4.12) desses dados experimentais, em função dos fatores significativos a 95% de confiança.

$$+a^* = 5,364286 + 2,117500 T - 0,292500 C.T. \quad (4.12)$$

em que:

+a* - intensidade de vermelho

C – concentração de maltodextrina (%)

T – temperatura de secagem (°C)

Eliminando-se os fatores não-significativos, verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a $p \leq 0,05$, através do teste F, na análise de variância do modelo ajustado para intensidade de vermelho (+a*) do figo-da-índia em pó do Tipo A. Na Tabela 4.30 se encontram os valores calculados e tabelados de F. Verifica-se, para a regressão, que o valor do $F_{\text{calculado}}$ foi inferior ao F_{tabelado} e a falta de ajuste foi significativa a 95% de confiança; assim de acordo com o teste F, o modelo de 1ª ordem proposto não foi estatisticamente significativo apesar do coeficiente de determinação, de 87,44%. QUEK et al. (2007) verificaram, para a melancia em pó secada em secador por

aspersão, que com o aumento da temperatura de secagem (145, 155 e 165 °C) ocorreu aumento da intensidade de vermelho (+a*).

Tabela 4.30 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para intensidade de vermelho (+a*) do figo-da-índia em pó do Tipo A

	SQ	GL	MQ	F _{calculado}	F _{tabelado*}
Regressão	18,2795	3	6,0932	6,9602	9,28
Resíduo	2,6263	3	0,8754		
Falta de ajuste	2,60410	1	2,6041	234,6033	18,51
Erro puro	0,02220	2	0,0111		
Total	20,90577	6			

R² = 87,44%; *Valores tabelados de F a p ≤ 0,05. SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

4.3.15 – Intensidade de vermelho (+a*) do figo-da-índia em pó do Tipo B

Observando-se a Tabela C.2 (Apêndice C), tem-se os valores médios da intensidade de vermelho (+a*) do figo-da-índia em pó do Tipo B, para os diferentes experimentos do planejamento experimental fatorial. Consta-se que a intensidade de vermelho variou de 0,82 a 10,74. GOMES et al. (2004) observaram, estudando a acerola em pó obtida por secagem em leito de jorro, valor superior da intensidade de vermelho, de aproximadamente 12,5.

Verifica-se, ainda, que os valores da intensidade de vermelho (+a*) do figo-da-índia em pó do Tipo B foram inferiores aos do Tipo A, em todos os experimentos, exceto no Experimento n° 3; tal comportamento indica que as amostras coletadas no ciclone possuem cor menos vermelha do que as amostras coletadas na câmara, fato que pode estar relacionado com a exposição das amostras a temperaturas mais elevadas na câmara de secagem, quando comparada com as amostras do ciclone e/ou ao tamanho das partículas.

A Tabela 4.31 expressa os valores dos efeitos estimados, erros padrão, coeficientes t e grau de significância estatística para cada fator no modelo real, para o parâmetro de intensidade de vermelho (+a*) do figo-da-índia em pó do Tipo B. Observa-se que todos os fatores foram estatisticamente significativos a 95% de confiança por apresentarem p < 0,05. Analisando os efeitos estimados, pode-se afirmar que, da mesma forma, na intensidade de vermelho do pó Tipo A a temperatura foi o fator que mais influenciou.

Tabela 4.31 - Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para a intensidade de vermelho (+a*) do figo-da-índia em pó do Tipo B

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	t (2)	Significância Estatística (p)
Média	3,01429	0,005774	522,090	0,000004
Concentração	-3,80500	0,015275	-249,096	0,000016
Temperatura	4,60500	0,015275	301,468	0,000011
Concentração x Temperatura	-3,77500	0,015275	-247,132	0,000016

A Figura 4.21 confirma o que já foi discutido indicando, pelas barras e pelos valores absolutos, que o fator de maior influência na intensidade de vermelho do produto final foi a temperatura, com efeito positivo sobre a resposta. Observa-se que a concentração e a interação apresentaram um sinal negativo em seu valor de *t*, significando um efeito decrescente desses fatores no parâmetro de intensidade de vermelho (+a*) do figo-da-índia em pó do Tipo B, ou seja, quanto maior a concentração de maltodextrina e sua interação com a temperatura do ar de secagem, menor será a intensidade de vermelho do produto.

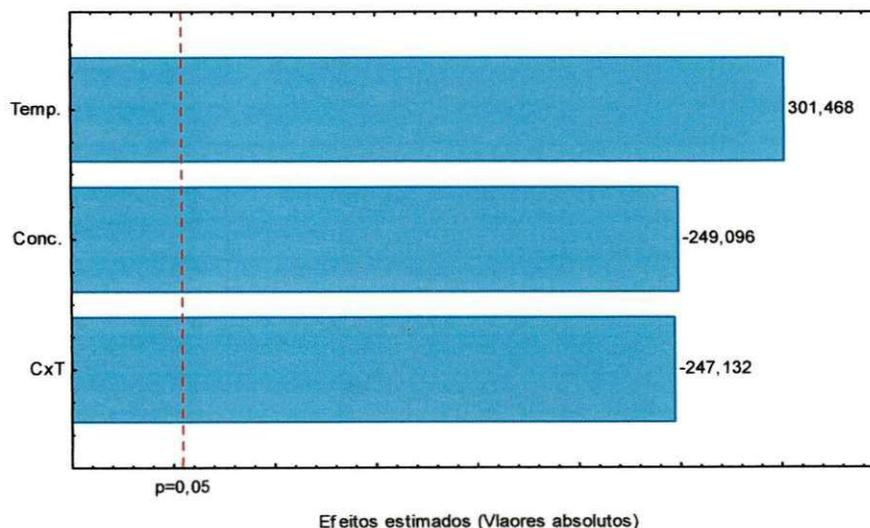


Figura 4.21 – Diagrama de Pareto da intensidade de vermelho (+a*) do figo-da-índia em pó do Tipo B

O modelo proposto para representar a intensidade de vermelho do figo-da-índia em pó Tipo B, dentro dos limites da concentração de maltodextrina e temperatura do ar de secagem, é descrito na Equação (4.13).

$$+a^* = 3,01429 - 1,90250 C + 2,30250 T - 1,88750 C.T. \quad (4.13)$$

em que:

+a* - intensidade de vermelho

C - concentração de maltodextrina (%)

T - temperatura de secagem (°C)

A Tabela 4.32 apresenta a análise de variância (ANOVA) do modelo de 1ª ordem ajustado para intensidade de vermelho (+a*) do figo-da-índia em pó do Tipo B, verificando-se a significância da regressão e da falta de ajuste e, ainda, que o valor do $F_{\text{calculado}}$ da regressão foi inferior ao F_{tabelado} , enquanto o $F_{\text{calculado}}$ da falta de ajuste foi superior ao F_{tabelado} , sinalizando haver grande falta de ajuste dos dados ao modelo obtido a nível de 95% de confiança; de acordo com o teste F, o modelo de 1ª ordem proposto não foi estatisticamente significativo o que também pode ser evidenciado pelo coeficiente de determinação relativamente baixo ($R^2 = 0,6673$), ou seja, o modelo explicou 66,73% da variação dos dados observados. Fato este constatado também no parâmetro de intensidade de vermelho do figo-da-índia em pó Tipo A, cujo modelo de 1ª ordem não foi significativo, embora apresentando um coeficiente de terminação de 0,8744.

Tabela 4.32 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para intensidade de vermelho (+a*) do figo-da-índia em pó do Tipo B

	SQ	GL	MQ	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}^*
Regressão	49,9347	3	16,6449	2,0057	9,28
Resíduo	24,8961	3	8,2987		
Falta de ajuste	24,89563	1	24,8956	106695,5561	18,51
Erro puro	0,00047	2	0,0002		
Total	74,83077	6			

$R^2 = 66,73\%$; *Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$. SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

4.3.16 – Intensidade de amarelo (+b*) do figo-da-índia em pó do Tipo A

Com a avaliação da Tabela C.1 (Apêndice C), observa-se que os valores médios obtidos de intensidade de amarelo (+b*) para o figo-da-índia em pó do Tipo A, se situaram entre 35,75 e 40,47, indicando predominância desta cor. Resultados inferiores foram encontrados por FIGUEIRÊDO et al. (2005) para o pó de acerola obtido pelo método de secagem aspersão, utilizando 15% de maltodextrina e 5% de goma arábica, encontraram uma intensidade de amarelo média de 12,06.

São apresentados, na Tabela 4.33, os valores dos efeitos estimados, erros padrão, coeficientes *t* e grau de significância estatística para cada fator no modelo real, para o parâmetro de intensidade de amarelo (+b*) para o figo-da-índia em pó do Tipo A. Observa-se que todos os fatores inclusive a média, foram estatisticamente significativos a 95% de confiança, em virtude de apresentarem $p < 0,05$. Analisando os efeitos estimados pode-se afirmar que a interação (CxT) foi o fator que mais influenciou no parâmetro intensidade de amarelo do produto.

Tabela 4.33 - Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para a intensidade de amarelo (+b*) do pó Tipo A

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	t (2)	Significância Estatística (p)
Média	38,84000	0,070339	552,1805	0,000003
Concentração	1,93000	0,186100	10,3707	0,009170
Temperatura	1,77000	0,186100	9,5110	0,010875
Concentração x Temperatura	-2,79000	0,186100	-14,9919	0,004420

Verifica-se, na Figura 4.22, o diagrama de Pareto, que demonstra o comportamento dos fatores com relação à intensidade de amarelo (+b*) do figo-da-índia em pó do Tipo A; observa-se, então, que a interação foi o fator que mais influenciou, seguida da concentração e da temperatura, respectivamente. Avaliando-se os valores absolutos percebe-se que tanto a concentração quanto a temperatura apresentaram sinal positivo, ou seja, quanto maior forem esses fatores, menor será a intensidade de amarelo enquanto a interação apresentou efeito decrescente na intensidade de amarelo do produto final, isto é,

o aumento da temperatura do ar de secagem e da concentração de maltodextrina promove a produção do figo-da-índia em pó do Tipo B, com menor intensidade de amarelo.

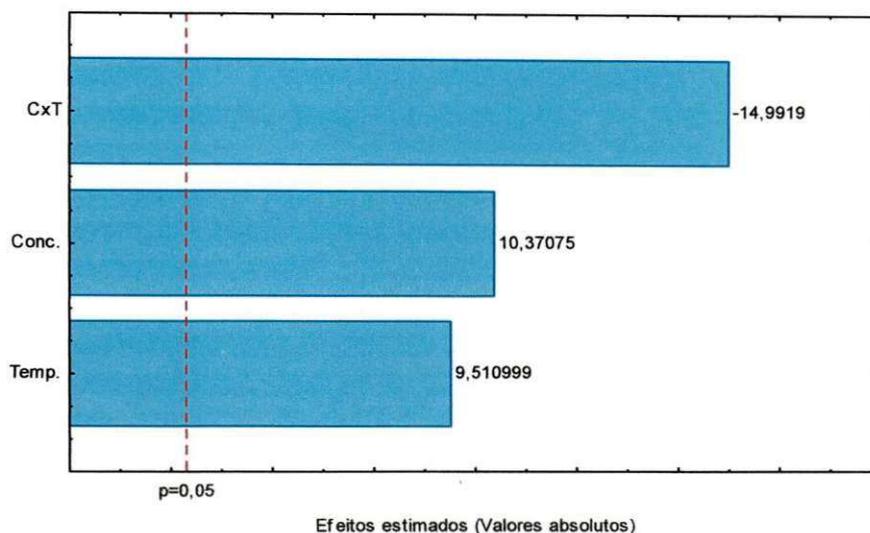


Figura 4.22 – Diagrama de Pareto da intensidade de amarelo (+b*) o figo-da-índia em pó do Tipo A

Através dos dados obtidos pelo planejamento fatorial em função da temperatura de secagem (170, 180 e 190 °C) e da concentração de maltodextrina (25, 30 e 35%) na intensidade de amarelo do produto em pó, foi proposto um modelo de 1ª ordem. A Equação 4.14 demonstra que todos os efeitos foram significativos com 95% de confiança, visto que os mesmos se encontram em negrito.

$$+b^* = \mathbf{38,84000} + \mathbf{0,96500} C + \mathbf{0,88500} T - \mathbf{1,39500} C.T. \quad (4.14)$$

em que:

+b* - Intensidade de amarelo

C – concentração de maltodextrina (%)

T – temperatura de secagem (°C)

Na Tabela 4.34 encontra-se a análise de variância (ANOVA) da regressão e da falta de ajuste do modelo de 1ª ordem ajustado para intensidade de amarelo (+b*) do o figo-da-índia em pó do Tipo A. Verifica-se que o valor do $F_{\text{calculado}}$ foi superior ao F_{tabelado} para o nível de 95% de confiança e, levando-se em consideração a razão entre esses dois valores, que foi de aproximadamente 11,38, pode-se afirmar, portanto, que, de acordo com o teste

F, o modelo de 1ª ordem proposto foi estatisticamente significativo e preditivo. A falta de ajuste, por sua vez, apresentou um $F_{\text{calculado}}$ inferior ao F_{tabelado} , indicando boa precisão no ajuste dos dados observados, o que pode ser confirmado pelo coeficiente de determinação, de 98,03%.

Tabela 4.34 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para intensidade de amarelo (+b*) do figo-da-índia em pó do Tipo A

	SQ	GL	MQ	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}^*
Regressão	14,6419	3	4,8806	49,8872	9,28
Resíduo	0,2935	3	0,0978		
Falta de ajuste	0,22423	1	0,2242	6,4745	18,51
Erro puro	0,06927	2	0,0346		
Total	14,93540	6			

$R^2 = 98,03\%$; *Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$. SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

A Figura 4.23 apresenta a superfície de resposta para a intensidade de amarelo do figo-da-índia em pó do Tipo A, relacionando a concentração x temperatura, no ponto central. Observa-se que a condição ótima para se obter um produto com maior intensidade de amarelo (+b* = 40), é aquela com maior concentração de maltodextrina e menor temperatura do ar de secagem; já a condição para se obter um produto com intensidade de amarelo menor (+b* = 35), é uma concentração menor de maltodextrina seguida de menor temperatura. Levando-se em consideração o maior valor encontrado para a intensidade de amarelo (+b* = 40), pode-se utilizar concentrações e temperaturas medianas a elevadas. Esse fato explica a interação (CxT) ter sido o fator que mais influenciou sobre a resposta, ou seja, a utilização de uma concentração de maltodextrina e de uma temperatura do ar de secagem média (180 °C) ou elevada (190 °C), acarretará em uma intensidade de amarelo de 39 a 40.

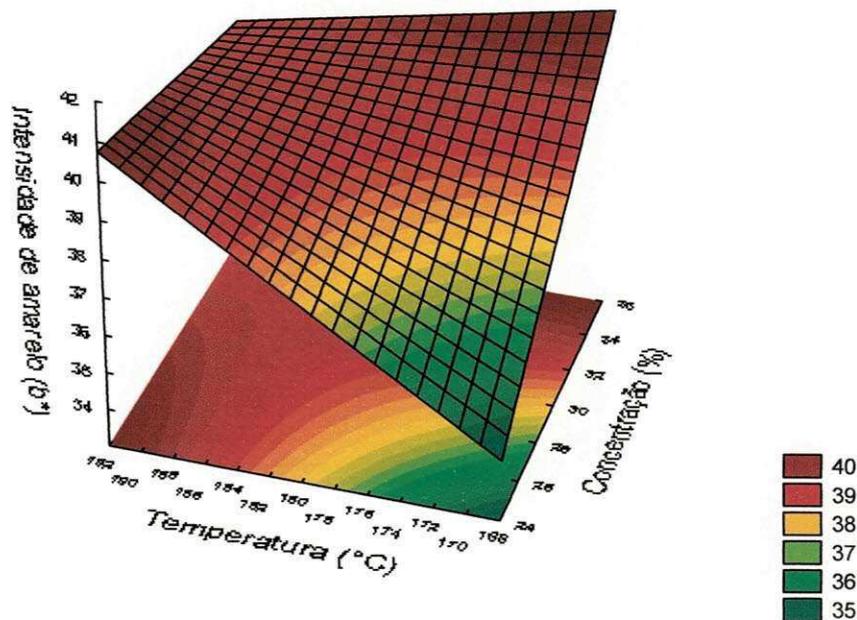


Figura 4.23 – Superfície de resposta para a intensidade de amarelo (+b*) o figo-da-índia em pó do Tipo A relacionando a concentração x temperatura (180°C)

4.3.17 – Intensidade de amarelo (+b*) do figo-da-índia em pó do Tipo B

Avaliando-se a Tabela C.2 (Apêndice C) observa-se que os valores médios obtidos de intensidade de amarelo (+b*) para o figo-da-índia em pó do Tipo B variaram entre 25,74 e 35,36, demonstrando também predominância da cor nestas amostras. SILVA et al. (2005) encontraram, estudando a secagem em camada de espuma da polpa de umbu-cajá, valor de intensidade de amarelo (+b*) igual a 28. Verifica-se, ainda, que os valores médios obtidos da intensidade de amarelo (+b*) para o figo-da-índia em pó do Tipo B foram inferiores aos do Tipo A em todos os experimentos, significando que as amostras coletadas no ciclone são menos amarelas do que as coletadas na câmara e possuem esta característica diferente, dependendo do local de coleta do secador. O pó coletado no ciclone apresenta-se com menor intensidade de amarelo, pois, provavelmente, as partículas com maior quantidade de polpa são encontradas nas amostras coletadas na câmara de secagem enquanto no ciclone há uma concentração maior de maltodextrina e, como a mesma apresenta coloração branca, o produto coletado no ciclone possui o componente amarelo menos intenso.

São apresentados na Tabela 4.35 os valores dos efeitos estimados, erros padrão, coeficientes *t* e grau de significância estatística para cada fator no modelo real, para o parâmetro de intensidade de amarelo (+b*) para o figo-da-índia em pó do Tipo B. Observa-se que a média, os fatores (concentração e temperatura) e a interação CxT, foram significativos a 95% de confiança ($p < 0,05$); este mesmo comportamento pode ser visto de melhor forma, através do diagrama de Pareto, para a intensidade de amarelo (+b*) (Figura 4.34).

Tabela 4.35 - Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para a intensidade de amarelo (+b*) do figo-da-índia em pó do Tipo B

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	t (2)	Significância Estatística (p)
Média	29,77000	0,010000	2977,000	0,000000
Concentração	-5,48000	0,026458	-207,125	0,000023
Temperatura	1,65000	0,026458	62,364	0,000257
Concentração x Temperatura	-4,14000	0,026458	-156,477	0,000041

Verifica-se, na Figura 4.24, o que já foi comentado, ou seja, a concentração foi o fator que mais influenciou na intensidade de amarelo (+b*) do pó seguida da interação CxT, em que ambas apresentam efeito decrescente sobre a intensidade de amarelo do pó Tipo B de figo-da-índia, ou seja, quanto maior a concentração de maltodextrina e sua interação com a temperatura do ar de secagem, menor é a intensidade de amarelo no produto estudado enquanto a temperatura exerce um efeito crescente na resposta, isto é, quanto maior a temperatura de secagem maior também a intensidade de amarelo.

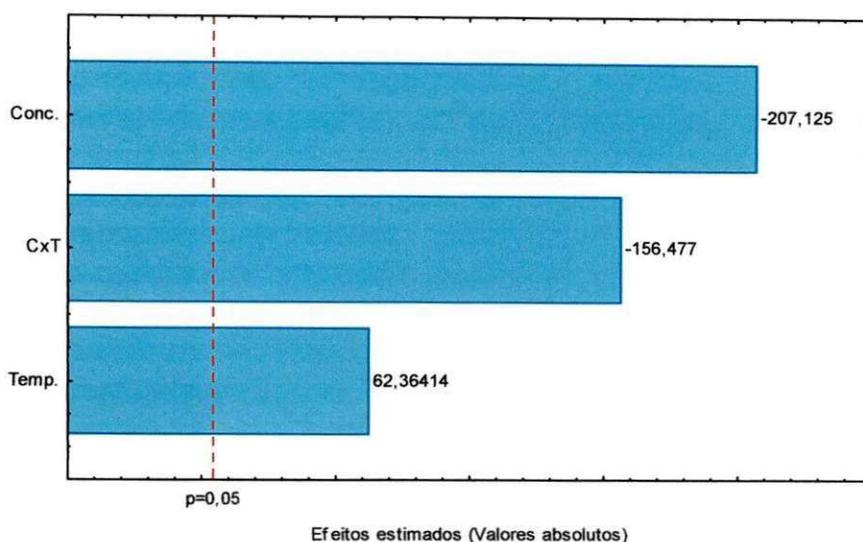


Figura 4.24 – Diagrama de Pareto da intensidade de amarelo (+b*) do figo-da-índia em pó do Tipo B

O modelo proposto para representar a intensidade de amarelo do figo-da-índia em pó do Tipo B após o processo de secagem por aspersão, e dentro dos limites de concentração de maltodextrina e temperatura do ar de secagem, é descrito na Equação (4.15).

$$+b^* = 29,77000 - 2,74000 C + 0,82500 T - 2,07000 C.T. \quad (4.15)$$

em que:

+b* - intensidade de amarelo

C – concentração de maltodextrina (%)

T – temperatura de secagem (°C)

Com base em todos os fatores significativos, verificou-se significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 95% de confiança, através do teste F, na análise de variância (ANOVA) Tabela 4.36. Verifica-se que o valor do $F_{\text{calculado}}$ da regressão foi superior ao F_{tabelado} , de acordo, portanto com o teste F, o modelo de 1ª ordem proposto é significativo a 95% de confiança, com coeficiente de determinação de 0,9456 e, como a razão entre $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}} = 264,84$, o modelo também é considerado preditivo. A falta de ajuste apresentou $F_{\text{calculado}}$ um pouco maior do que o F_{tabelado} , com o que se conclui que o modelo apresentou uma pequena falta de ajuste, a qual não prejudicou a eficiência do

modelo na explicação dos dados observados, visto que o mesmo explicou 99,96% dos dados.

Tabela 4.36 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para intensidade de amarelo (+b*) o figo-da-índia em pó do Tipo B

	SQ	GL	MQ	F_{calculado}	F_{tabelado*}
Regressão	49,8925	3	16,6308	2457,7586	9,28
Resíduo	0,0203	3	0,0068		
Falta de ajuste	0,01890	1	0,0189	27,0000	18,51
Erro puro	0,00140	2	0,0007		
Total	49,91280	6			

R² = 99,96%; *Valores tabelados de F a p ≤ 0,05. SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

A Figura 4.25 apresenta a superfície de resposta para a intensidade de amarelo do figo-da-índia em pó do Tipo B, relacionando a concentração x temperatura no ponto central. Observa-se que a condição ótima para se obter um produto com maior intensidade de amarelo (+b* = 36), é com uma concentração menor de maltodextrina e maior temperatura do ar de secagem, confirmando a influência da concentração de maltodextrina na intensidade de amarelo do pó do Tipo B; já a condição para se obter um produto com intensidade de amarelo menor (+b* = 26) é com uma concentração maior de maltodextrina seguida de maior temperatura de secagem, diferentemente do pó do Tipo A, em que a utilização de concentração de 30 a 35% de maltodextrina com uma temperatura de secagem de 180 a 190 °C resulta em produtos com tonalidade de amarelo semelhantes.

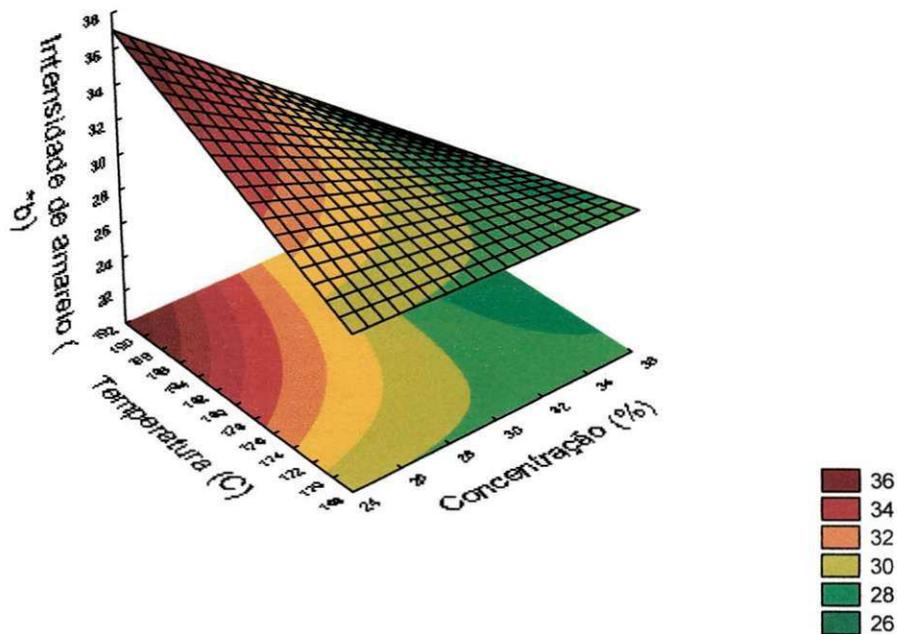


Figura 4.25 – Superfície de resposta para a intensidade de amarelo (+b*) do figo-da-índia em pó do Tipo B relacionando a concentração x temperatura (180 °C)

4.3.18 – Atividade de água do figo-da-índia em pó do Tipo A

Através da Tabela C.1 (Apêndice C), observa-se que os valores médios obtidos da atividade de água (a_w) para o figo-da-índia em pó do Tipo A variaram entre 0,21 e 0,33, havendo pequenas oscilações de acréscimo e decréscimo em todos os experimentos do planejamento fatorial. Alta atividade de água indica mais água livre disponível para as reações bioquímicas e, conseqüentemente, vida útil mais curta. Constata-se que o figo-da-índia em pó do Tipo A encontra-se estável com relação às alterações microbiológicas, haja vista que, de acordo com QUEK et al. (2006), alimentos com $a_w < 0,6$, são considerados microbiologicamente estáveis e a ocorrência de deteriorações é induzida por reações químicas ao invés de microrganismos. BARBOSA (2010), analisando o suco em pó de mistura de frutas obtido em secagem por aspersão, utilizando como agente carreador maltodextrina (DE = 10 e DE = 20) nas concentrações de 12, 15, 18 e 21% e temperaturas de secagem de 155 e 165 °C obteve atividades de água próximas às do presente trabalho, em torno de 0,26 e 0,33.

São apresentados, na Tabela 4.37, os valores dos efeitos estimados, erros padrão, coeficientes *t* e grau de significância estatística para cada fator no modelo real, para a atividade de água do figo-da-índia em pó do Tipo A. Observa-se que todos os fatores e a interação CxT foram significativos a 95% de confiança ($p < 0,05$); este mesmo comportamento pode ser visto de melhor forma através do diagrama de Pareto, para a intensidade de amarelo (+b*) (Figura 4.23).

Tabela 4.37 - Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para a atividade de água do pó do Tipo A

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	t (2)	Significância Estatística (p)
Média	0,240000	0,002182	109,9818	0,000083
Concentração	0,040000	0,005774	6,9282	0,020204
Temperatura	-0,040000	0,005774	-6,9282	0,020204
Concentração x Temperatura	-0,080000	0,005774	-13,8564	0,005168

A Figura 4.26 demonstra o comportamento dos fatores com relação à atividade de água do figo-da-índia em pó do Tipo A. Constata-se que a interação (CxT) foi o fator que mais influenciou na atividade de água do pó, com efeito decrescente. A concentração e a temperatura apresentaram valores absolutos iguais, sendo que com efeitos positivo e negativo, respectivamente.

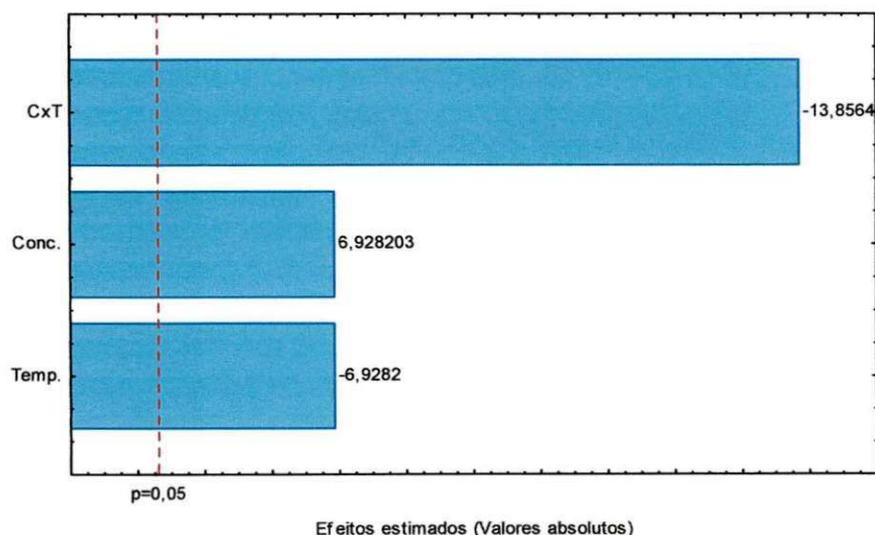


Figura 4.26 – Diagrama de Pareto da atividade de água do figo-da-índia em pó do Tipo A

Utilizando-se os dados obtidos pelo planejamento fatorial de atividade de água das amostras de figo-da-índia em pó do Tipo A, foi possível propor o modelo de 1ª ordem, expresso na Equação 4.16, em função da média, dos fatores lineares e da interação (CxT) que foram significativos a 95% de confiança.

$$a_w = 0,240000 + 0,020000 C - 0,020000 T - 0,040000 C.T. \quad (4.16)$$

em que:

a_w – atividade de água

C – concentração de maltodextrina (%)

T – temperatura de secagem (°C)

A Tabela 4.38 apresenta a análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a atividade de água do figo-da-índia em pó do Tipo A. Verifica-se, para a regressão que o valor do $F_{\text{calculado}}$ foi superior ao F_{tabelado} para o nível de 95% de confiança; desta forma e de acordo com o teste F, o modelo proposto é significativo, com coeficiente de determinação de 0,9057, mas como a razão entre $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}} = 1,8$, o modelo não foi preditivo. A falta de ajuste apresentou seu $F_{\text{calculado}}$ superior ao F_{tabelado} indicando que, embora o modelo de 1ª ordem tenha sido significativo, explicando 90,57% da variação dos dados observados, ocorreu uma pequena falta de ajuste entre os mesmos.

Tabela 4.38 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para atividade de água do figo-da-índia em pó do Tipo A

	SQ	GL	MQ	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}^*
Regressão	0,0096	3	0,0032	9,6000	9,28
Resíduo	0,0010	3	0,0003		
Falta de ajuste	0,000933	1	0,0009	28,0000	18,51
Erro puro	0,000067	2	0,0000		
Total	0,010600	6			

$R^2 = 90,57\%$; *Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$. SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

A Figura 4.27 apresenta a superfície de resposta para a atividade de água do figo-da-índia em pó, do Tipo A, relacionando concentração x temperatura no ponto central. Observa-se que a condição para se obter um produto com maior atividade de água ($a_w = 0,34$), é com uma concentração maior de maltodextrina e menor temperatura do ar de

secagem; já a condição para se obter um produto com atividade de água menor ($a_w = 0,2$) é com uma concentração maior de maltodextrina, seguida de temperatura maior. Como a melhor condição em relação à atividade de água para se obter um pó é que o mesmo apresente menor a_w , em decorrência da diminuição na incidência de microrganismos, a superfície de resposta vem confirmar que a utilização da concentração de maltodextrina em interação com a temperatura, acarretará em produtos com atividade de água em torno de (0,2 a 0,24), ou seja, uma a_w baixa, que dificulta o desenvolvimento de microrganismos.

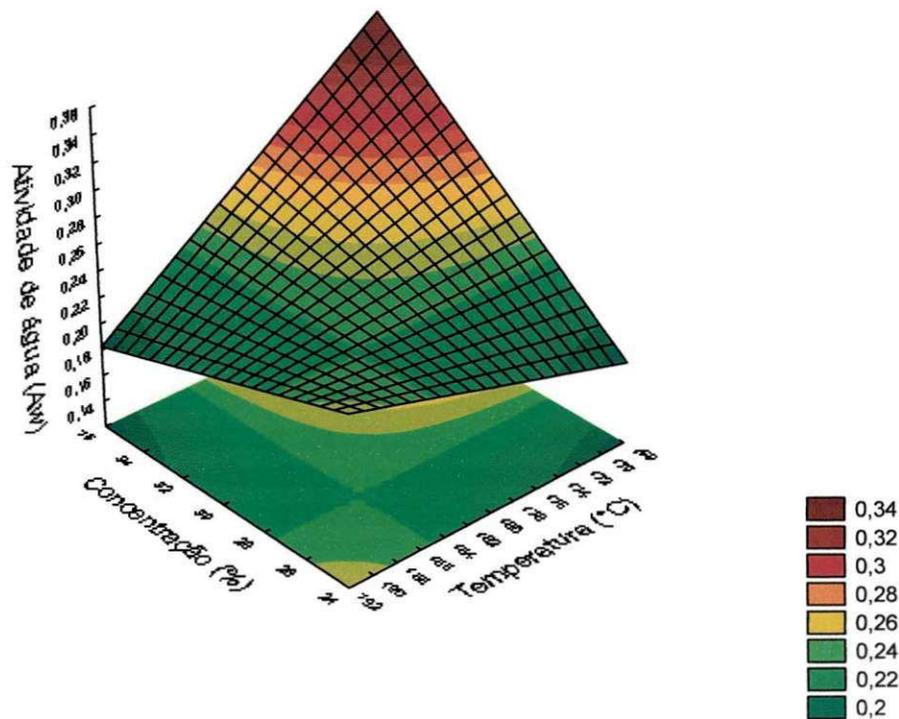


Figura 4.27 – Superfície de resposta para a atividade de água do figo-da-índia em pó do Tipo A relacionando concentração x temperatura (180 °C)

4.3.19 – Atividade de água do figo-da-índia em pó do Tipo B

Avaliando-se a Tabela C.2 (Apêndice C), conclui-se que os valores médios obtidos das atividades de água para o figo-da-índia em pó do Tipo B variaram entre 0,17 e 0,21, e, verifica-se ainda, que os valores médios obtidos da atividade de água para o figo-da-índia em pó do Tipo B, foram inferiores aos do Tipo A, em todos os experimentos. Uma provável explicação para este fato é que as gotas líquidas são transformadas em partículas sólidas em que as partículas maiores geralmente ficam retidas na câmara de secagem enquanto as partículas menores são recuperadas pelo ciclone, através de uma ventilação de

aspiração e tendem a ficar suspensas no ciclone, durante todo o processo de secagem. Por serem partículas menores e estarem em contato constante com uma ventilação de temperatura elevada durante todo o processo de secagem, o pó coletado no ciclone tende a apresentar uma atividade de água inferior à do pó coletado na câmara de secagem. RIGHETTO (2003), analisando a atividade de água dos pós de suco de acerola verde obtidos em secagem por aspersão, encontrou que a atividade de água variou entre 0,199, para o suco formulado com 50% de maltodextrina e 0,257, para o suco formulado com 12,5% de maltodextrina e 37,5% de goma arábica.

Na Tabela 4.39 estão apresentados os resultados da análise estatística, aplicados aos dados experimentais da atividade de água obtidos na secagem da polpa de figo-da-índia. Os efeitos da média, dos fatores lineares e da interação, em negrito, são significativos a 95% de confiança ($p < 0,05$). Através da Tabela 4.39 verifica-se que a média, a temperatura e a interação CxT, apresentaram efeito significativo sobre a atividade de água, $p \leq 0,05$.

Tabela 4.39 - Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para a atividade de água do figo-da-índia em pó do Tipo B

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	t (2)	Significância Estatística (p)
Média	0,196714	0,000577	340,7191	0,000009
Concentração	0,000000	0,001528	0,0000	1,000000
Temperatura	-0,010000	0,001528	-6,5465	0,022547
Concentração x Temperatura	-0,030000	0,001528	-19,6396	0,002583

Na Figura 4.28; na qual é apresentado o diagrama de Pareto para atividade de água visualiza-se, de melhor forma, a interação CxT significativa. Analisando-se os valores absolutos, percebe-se que a interação CxT apresentou valor superior ao da temperatura, fato que torna a interação o fator de maior influência sobre a resposta, embora tanto a interação quanto a temperatura apresentem efeito decrescente sobre a atividade de água do figo-da-índia em pó do Tipo B, ou seja, quanto maior a temperatura e sua interação com a concentração de maltodextrina, menor será a atividade de água do produto final.

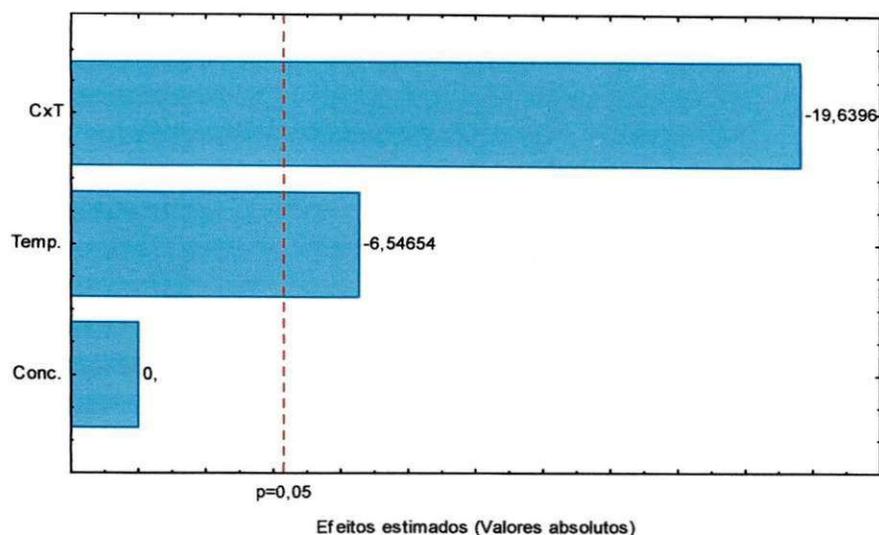


Figura 4.28 – Diagrama de Pareto da atividade de água do figo-da-índia em pó do Tipo B

Através dos dados obtidos pelo planejamento fatorial de atividade de água das amostras do figo-da-índia em pó do Tipo B, foi possível propôr a Equação 4.18, em função da média, da temperatura e da interação (CxT), que foram significativas a 95% de confiança.

$$a_w = 0,196714 - 0,005000 T - 0,015000 C.T. \quad (4.18)$$

em que:

a_w – atividade de água

C – concentração de maltodextrina (%)

T – temperatura de secagem ($^{\circ}C$)

Eliminando-se os fatores não-significativos, verificou-se significância da regressão e da falta de ajuste a 95% de confiança ($p \leq 0,05$), através do teste F, na análise de variância (ANOVA). A Tabela 4.40 apresenta os valores calculados e tabelados de F. O modelo apresentou regressão não significativa a 95% de confiança ($F_{\text{calculado}}$ inferior ao F_{tabelado}) e falta de ajuste significativa no mesmo nível de confiança ($F_{\text{calculado}}$ superior ao F_{tabelado}); sendo assim, o modelo de 1^a ordem ajustado para a atividade de água do figo-da-índia em pó do Tipo B, foi considerado não significativo e não preditivo. O coeficiente de determinação (R^2) para o modelo ajustado foi de 0,7315, indicando que o modelo explicou 73,15% da variação dos dados observados.

Tabela 4.40 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para atividade de água do figo-da-índia em pó do Tipo B

	SQ	GL	MQ	F _{calculado}	F _{tabelado*}
Regressão	0,0010	3	0,0003		
Resíduo	0,0004	3	0,0001	2,3506	9,28
Falta de ajuste	0,000421	1	0,0004		
Erro puro	0,000005	2	0,0000	180,3265	18,51
Total	0,001425	6			

R² = 73,15%; *Valores tabelados de F a p ≤ 0,05. SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

4.3.20 – Seleção do pó

Com base no planejamento experimental fatorial empregado e dos resultados analisados, recomenda-se que o planejamento seja expandido axialmente para os níveis + α e - α , em razão de todos os parâmetros avaliados não apontarem uma única amostra como sendo a melhor. Então, avaliando-se os pós dos diferentes experimentos coletados na câmara (Tipo A), obtidos pela secagem por aspersão, usando-se planejamento experimental fatorial, selecionou-se o pó do Experimento 4 (35% de maltodextrina, secado a temperatura de 190 °C) como sendo aquele com melhor com características dentre as quais menor teor de água e atividade de água, que proporcionam maior tempo de vida útil, e maior teor de sólidos solúveis totais e de açúcares totais.

4.4 – Armazenamento do figo-da-índia em pó

O estudo do armazenamento do figo-da-índia em pó coletado na câmara de secagem (Tipo A) foi realizado para a amostra selecionada no item anterior, como a melhor amostra (Experimento 4), a qual foi produzida com uma concentração de 35% de maltodextrina e desidratada a uma temperatura do ar de secagem de 190 °C. O armazenamento dessas amostras acondicionadas em embalagens flexíveis laminadas, foi realizado durante 40 dias, sob atmosfera controlada em estufas BOD, nas temperaturas de 25 e 40 °C e umidade relativa média de 83% proporcionada por solução saturada de KCl.

4.4.1 – Teor de água

Na Tabela D.1 (Apêndice D), tem-se a análise de variância do teor de água do figo-da-índia em pó do Tipo A, em função da temperatura e do tempo de armazenamento sob atmosfera controlada (KCI). Verifica-se que os fatores avaliados e sua interação, foram significativos a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Na Tabela 4.41 são apresentados os valores médios do teor de água (%) do figo-da-índia em pó do Tipo A, com concentração de 35% de maltodextrina e desidratado a uma temperatura de 190 °C, armazenado durante 40 dias nas temperaturas de 25 e 40 °C, e umidade relativa média de 83%.

Observa-se que nas duas temperaturas estudadas o teor de água aumentou significativamente ao longo do armazenamento, aumento este mais evidente na temperatura de 40 °C, passando de 3,37 para 7,25% na temperatura de 25 °C e de 3,37 para 8,36% na temperatura de 40 °C, ou seja, um aumento de 115% e 148%, respectivamente. Isto demonstra que o tipo de embalagem utilizada ou o fechamento da mesma não foi eficaz no impedimento de absorção de umidade pela amostra. Resultado divergente foi observado por FIGUEIRÊDO et al. (2001) que não constataram tendência de acréscimo do teor de água do suco de acerola microencapsulado em secador por aspensão, com o tempo de armazenamento sob temperatura e umidade relativa ambiente, em embalagem laminada. Constatou-se, então, que o figo-da-índia em pó produzido se trata de um produto higroscópico.

Tabela 4.41 - Valores médios de teor de água (%) do figo-da-índia em pó do Tipo A nas diferentes temperaturas, durante o armazenamento

Tempo de armazenamento (dia)	Teor de água (%)	
	25 °C	40 °C
0	3,3743 eA	3,3743 eA
10	4,4231 dB	4,8271 dA
20	5,0782 cB	5,8668 cA
30	6,1477 bB	7,2970 bA
40	7,2542 aB	8,3605 aA

DMS para colunas = 0,1911; DMS para linhas = 0,2682; MG = 5,6003%; CV% = 3,64

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

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Comparando as amostras armazenadas nas duas temperaturas verifica-se que diferiram estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey, a partir do tempo 10 dias, indicando que a temperatura interferiu significativamente na absorção da umidade. Do tempo de armazenamento de 10 dias até o tempo de 40 dias, constata-se que na temperatura de 40 °C os teores de água foram estatisticamente superiores aos das amostras armazenadas na temperatura de 25 °C. ENDO et al. (2007) também observaram diferenças entre os teores de umidade do suco de maracujá em pó, desidratado em secador por aspersão, acondicionado em embalagens laminadas, entre as amostras armazenadas em ambientes com temperaturas de 30 e 40 °C e umidade relativa de 84%, a partir dos 120 dias de armazenamento, com os maiores teores, também observados na maior temperatura de estocagem.

Nas Tabelas D.7 e D.8 (Apêndice D) tem-se as análises de variância das regressões polinomiais do teor de água do figo-da-índia em pó do Tipo A, em função do tempo de armazenamento (dias) armazenado nas temperaturas de 25 e 40 °C e umidade relativa média de 83%, respectivamente. Todas as equações polinomiais testadas (linear, quadrática, cúbica e de quarto grau) foram significativas a 1% de probabilidade para as amostras armazenadas a 25 °C enquanto para as amostras armazenadas a 40 °C apenas a equação linear foi significativa a 1% de probabilidade e a de quarto grau, a 5% de probabilidade, sendo as demais não significativas.

Na Tabela 4.42 se encontram as equações de regressão propostas para a estimativa do teor de água, em função do tempo de armazenamento, para o figo-da-índia em pó do Tipo A, acondicionado em embalagem laminada e armazenado em ambientes com umidade relativa média de 83% e temperaturas de 25 e 40 °C.

Tabela 4.42 – Equações de regressão propostas para o teor de água do figo-da-índia em pó do Tipo A, em função do tempo de armazenamento

Temp. (°C)	Equação	R ²
25	$X = 3,3586 + 0,9484 t$ **	0,993
	$X = 3,4343 + 0,7971t + 0,0378t^2$ **	0,998
	$X = 3,3912 + 1,1056 t - 0,1774 t^2 + 0,0359 t^3$ **	0,998
	$X = 3,3743 + 1,8113 t - 1,1442 t^2 + 0,4311 t^3 - 0,0494 t^4$ **	0,999
40	$X = 3,4789 + 1,2220 t$ **	0,998
	$X = 3,3743 + 2,3450 t - 1,3743 t^2 + 0,5518 t^3 - 0,0696 t^4$ *	0,999

Em que: X – teor de água (%); t – tempo de armazenamento (dia); ** - significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * - significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$)

Avaliando a temperatura de armazenamento de 25 °C, tem-se que as equações linear, quadrática, cúbica e polinomial de 4º grau, foram significativas a 1% de probabilidade e com coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,99, todas estimando satisfatoriamente os dados experimentais. Entretanto, sugere-se dar preferência à utilização da equação linear na estimativa do teor de água do figo-da-índia em pó do Tipo A armazenado a 25 °C, pois ela possui menor número de parâmetros e resultou também em um R^2 acima de 0,99, além de ter significado físico, demonstrando que o teor de água aumenta com o tempo de armazenamento.

Nota-se, na temperatura de armazenamento de 40 °C, que somente as equações linear e polinomial de 4º grau foram significativas a 1 e 5 % de probabilidade, com R^2 de 0,998 e 0,999, respectivamente, também se recomendam preferência à utilização da equação linear, no ajuste dos dados. Resultados semelhantes obtiveram PILON et al. (2006), ao utilizarem equações de regressão lineares para avaliar o comportamento da umidade de pimentões minimamente processados durante o armazenamento, obtendo R^2 de 0,87. De maneira geral, e se analisando essas equações verifica-se, quando as amostras são colocadas na temperatura de 40 °C, tendência de que, a esta temperatura, o aumento do teor de água com o tempo de armazenamento seja maior do que na temperatura de 25 °C.

4.4.2 – Atividade de água

Na Tabela D.2 (Apêndice D), é observada a análise de variância da atividade de água do figo-da-índia em pó do Tipo A em função da temperatura e do tempo de armazenamento sob atmosfera controlada ($KCl - UR_{média} = 83\%$). Verifica-se que os fatores avaliados (temperatura e tempo de armazenamento) foram significativos a 1% de probabilidade pelo teste F enquanto sua interação não foi significativa.

Na Tabela 4.43 são apresentados os valores médios de atividade de água para o figo-da-índia em pó do Tipo A, armazenado a temperaturas de 25 e 40 °C na umidade relativa média de 83%. Observa-se que a atividade de água das amostras armazenadas a 25 °C aumentou gradativamente ao longo do armazenamento e este aumento foi estatisticamente significativo entre o tempo inicial, 10 e 20 dias, apresentando valores estatisticamente iguais entre 20 e 30 dias e entre 30 e 40 dias. Com relação às amostras armazenadas na temperatura de 40 °C, a atividade de água também apresentou tendência de aumento ao longo do tempo de armazenamento, com diferenças significativas entre as médias dos tempos 30 e 40 dias com relação aos demais. Ao final do armazenamento as

amostras armazenadas nas temperaturas de 25 e 40 °C tiveram a a_w aumentada em 35 e 34%, respectivamente. Resultados semelhantes foram encontrados por FERREIRA NETO et al. (2005), que, estudando o armazenamento de farinhas de mandioca nas temperaturas de 25, 30 e 35 °C durante 180 dias, verificaram que a atividade de água da amostra A0 aumentou no decorrer do armazenamento, com variações significativas entre os valores iniciais e finais, nas três temperaturas estudadas.

Tabela 4.43 - Valores médios da atividade de água do figo-da-índia em pó do Tipo A nas diferentes temperaturas, durante o armazenamento

Tempo de armazenamento (dia)	Atividade de água	
	25 °C	40 °C
0	0,260 dA	0,260 cA
10	0,300 cA	0,281 bcB
20	0,328 bA	0,301 bB
30	0,346 abA	0,332 aA
40	0,352 aA	0,348 aA

DMS para colunas = 0,0158; DMS para linhas = 0,0221; MG = 0,31118; CV% = 5,39997

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

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Comparando-se a atividade de água das amostras armazenadas nas temperaturas de 25 e 40 °C, pode-se constatar, de maneira geral, que a temperatura não influenciou na a_w , visto que as atividades de água das amostras armazenadas na temperatura de 40 °C se apresentaram estatisticamente inferiores às da temperatura de 25 °C, apenas aos 10 e 20 dias, sendo estatisticamente iguais nos demais tempos.

Segundo FELLOWS (2006), quase toda atividade microbiana é inibida abaixo da $a_w = 0,6$. Seguindo este contexto, o figo-da-índia em pó se encontrava dentro de uma faixa de segurança para a proliferação de microrganismo, podendo ser armazenado por um período mais longo do que o estudado no presente trabalho, de vez que o mesmo se apresentou, após 40 dias de armazenamento, com uma a_w de no máximo 0,35.

Nas Tabelas D.9 e D.10 (Apêndice D) tem-se as análises de variância das regressões polinomiais das atividades de água do figo-da-índia em pó do Tipo A, em função do tempo de armazenamento (dias), armazenado em diferentes temperaturas (25 e 40 °C). Nota-se, para a temperatura de 25 °C, que as equações linear e quadrática foram

significativas a 1% de probabilidade, a equação cúbica foi estatisticamente significativa a 5% de probabilidade e a equação de quarto grau, por sua vez, não foi significativa, enquanto na temperatura de 40 °C as equações linear e quadrática foram significativas a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, e as equações cúbica e de quarto grau não foram significativas.

Na Tabela 4.44 se encontram as equações de regressão ajustadas aos dados experimentais da atividade de água do figo-da-índia em pó do Tipo A, armazenado em temperaturas de 25 e 40 °C, sob umidade relativa média de 83%, em função do tempo de armazenamento.

Tabela 4.44 – Equações de regressão propostas para a atividade de água do figo-da-índia em pó do Tipo A, em função do tempo de armazenamento

Temp. (°C)	Equação	R ²
25	$a_w = 0,2717 + 0,023 t$ **	0,922
	$a_w = 0,2603 + 0,0457 t - 0,0057 t^2$ **	0,999
	$a_w = 0,2604 + 0,0453 t - 0,0054 t^2 - 0,00005 t^3$ *	0,999
40	$a_w = 0,2592 + 0,0227 t$ **	0,991
	$a_w = 0,2593 + 0,00226 t + 0,00003 t^2$ *	0,991

Em que: X – teor de água (%); t – tempo de armazenamento (dia); ** - significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * - significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$)

Observa-se, para a temperatura de 25 °C, que as equações linear, quadrática e cúbica ajustadas aos dados experimentais, apresentaram coeficientes de determinação (R²) acima de 0,9. A equação quadrática e a cúbica resultaram no mesmo coeficiente de terminação 0,999; entretanto se recomenda neste caso, a utilização da equação quadrática, em virtude do menor número de parâmetros que ela possui; com relação à temperatura de 40 °C, a equação linear e a quadrática foram ajustadas satisfatoriamente, apresentando coeficientes de determinação iguais a 0,991 devendo-se, neste caso, dar a preferência ao uso da equação linear para a predição dos dados de atividade de água do figo-da-índia em pó, em razão de ter significado físico e de ter maior precisão (1% de probabilidade). GARCIA (2010), armazenando farelo de arroz das cultivares BRS Sertaneja, BRS Primavera e IRGA 417, determinou a atividade de água em função do tempo de torra,

encontrando que as equações quadráticas foram as que melhor representaram os dados, obtendo R^2 de 0,9259, 0,8656 e 0,8722, respectivamente.

4.4.3 – Acidez total titulável

A Tabela 4.45 apresenta os valores médios de acidez total titulável do figo-da-índia em pó do Tipo A, armazenado sob condições controladas de temperatura (25 e 40 °C) e umidade de relativa (84,34 e 82,32%), pelo tempo de 40 dias.

Tabela 4.45 - Valores médios da acidez total titulável do figo-da-índia em pó do Tipo A nas diferentes temperaturas, durante o armazenamento

Tempo de armazenamento (dia)	Acidez total titulável (% ác. cítrico)	
	25 °C	40 °C
0	0,3248 cA	0,3248 bA
10	0,3653 aA	0,3180 bB
20	0,3586 abA	0,3654 aA
30	0,3113 cA	0,3181 bA
40	0,3315 bcA	0,3245 bA

DMS para colunas = 0.0232; DMS para linhas = 0.0325; MG = 0.33423; CV% = 7.38208

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

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Verificam-se, analisando os resultados dos valores médios de acidez total titulável do figo-da-índia em pó do Tipo A, armazenado nas duas temperaturas, pequenas oscilações em seus valores médios, com o tempo de armazenamento. Observa-se, na temperatura de 25 °C, que não existem diferenças significativas entre a acidez no tempo inicial e nos dois tempos finais (30 e 40 dias) e na temperatura de 40 °C só há diferença significativa entre a acidez no tempo 20 e os demais tempos. Como as diferenças ocorridas foram, na maioria dos casos, entre os tempos intermediários e como nos demais tempos foram obtidos valores sem diferenças significativas entre si, conclui-se que a acidez não sofreu alterações relacionadas ao tempo no período estudado. Resultados semelhantes foram encontrados por GALDINO et al. (2003), ao armazenarem umbu em pó desidratado pelo método secagem em camada de espuma, ao longo de 60 dias de armazenamento, verificando-se que a acidez do produto sofreu pequenas oscilações ao longo de todo o período de armazenamento porém com tendência de manutenção da acidez, em todo o período

avaliado. Essas pequenas diferenças entre alguns valores da acidez, podem estar relacionadas a um provável acúmulo de polpa ou de aditivos, em algumas partículas, gerando diferenças entre médias sem, no entanto, representar tendência de comportamento.

Comparando-se os valores de acidez total titulável das amostras armazenadas entre as diferentes temperaturas, constata-se que apenas no tempo 10 dias ocorreram diferenças de valores estatisticamente significativas, podendo-se considerar que a acidez das amostras não sofreu alterações sob efeito da temperatura. OLIVEIRA et al. (2006), observaram, ao avaliar o pó de pitanga obtido pelo método de secagem por aspersão acondicionado em embalagens laminadas e de polietileno e armazenado por 120 dias sob condições ambientais de laboratório, decréscimo da acidez até o tempo de 40 dias, mantendo-se estável no restante do tempo de armazenamento.

4.4.4 – Luminosidade

Na Tabela 4.46 se apresentam os valores médios do parâmetro de cor, expresso pela luminosidade do figo-da-índia em pó do Tipo A, armazenado sob condições controladas de temperatura (25 e 40 °C) e umidade relativa média de 83%, durante 40 dias.

Avaliando-se os valores obtidos para luminosidade do figo-da-índia em pó do Tipo A, armazenado na temperatura de 25 °C, pode-se observar que a mesma permaneceu constante do início (tempo 0) até 10 dias de armazenamento e entre os tempos de 30 e 40 dias. No tempo de 20 dias, excepcionalmente a luminosidade apresentou diferença estatisticamente significativa em relação aos demais tempos configurando, assim, um comportamento isolado. Diante disso a luminosidade do figo-da-índia em pó do Tipo A, armazenado na temperatura de 25 °C, apresentou tendência de estabilidade durante os 40 dias de armazenamento.

Para o figo-da-índia em pó do Tipo A, armazenado na temperatura de 40 °C, constata-se também que a luminosidade não apresentou diferenças significativas entre o início e o fim do armazenamento e com médias estatisticamente iguais do tempo zero até 30 dias de armazenamento. Com isto e de maneira geral, a luminosidade apresentou tendência de manutenção com o tempo de armazenamento, nas duas temperaturas avaliadas sem apresentar diferenças significativas entre o início e o fim do armazenamento.

Comparando-se os valores da luminosidade entre as temperaturas para cada tempo de armazenamento, constata-se que não houve diferenças significativas entre as médias, exceto no tempo de 30 dias; desta forma, pode-se afirmar que a temperatura não

influenciou na luminosidade da amostra, e a embalagem, por sua vez, protegeu bem o produto contra alterações provocadas por incidência da luz. Contrariamente, MOURA et al. (2007) verificaram, durante estudo realizado com maçã-passa armazenada em embalagens de polietileno e submetidas ao armazenamento com condições controladas de umidade relativa (40%) e temperatura (35 °C), que durante o período de armazenamento (189 dias) as amostras armazenadas apresentaram escurecimento.

Tabela 4.46 - Valores médios da luminosidade do figo-da-índia em pó do Tipo A nas diferentes temperaturas, durante o armazenamento

Tempo de armazenamento (dia)	Luminosidade	
	25 °C	40 °C
0	68,86 aA	68,85 abA
10	68,91 aA	69,16 abA
20	64,36 bA	64,36 bA
30	69,23 aA	68,06 bB
40	68,86 aA	69,32 aA

DMS para colunas = 0.8979; DMS para linhas = 1.2599; MG = 68.07767; CV% = 1.40562

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

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

4.4.5 – Intensidade de vermelho

Apresentam-se, na Tabela 4.47, se apresentam os valores médios do parâmetro de intensidade de vermelho do figo-da-índia em pó do Tipo A, armazenado sob condições controladas de temperatura (25 e 40 °C) e umidade relativa média de 83%, pelo período de 40 dias. Analisando-se os resultados apresentados constata-se redução na intensidade de vermelho e se Observa que para a temperatura de 25 °C não ocorreram diferenças significativas entre o tempo zero e os tempos de 20 e de 30 dias; já no tempo 40 dias, o parâmetro de intensidade de vermelho demonstrou decréscimo significativo em relação ao tempo zero. Com relação à temperatura de 40 °C, a intensidade de vermelho apresentou decréscimo significativo isolado no tempo 20, voltando a permanecer constante a partir do tempo 30, até o final do armazenamento. De forma geral, foi notória a tendência de estabilidade da intensidade de vermelho da amostra armazenada a 40 °C com o tempo de armazenamento, para a amostra armazenada a 25 °C, o decréscimo no final do

armazenamento em relação ao início, foi de apenas 10%. AGUIRRE et al. (2003) relataram que a alteração mais evidente na cor da acerola em pó armazenada, foi o decréscimo na intensidade de vermelho. SILVA et al. (2005), que estudaram o armazenamento de umbu- cajá em pó durante 60 dias, observaram aumento no valor de $+a^*$, de 13,33 para 15,07, para as polpas armazenadas em embalagens de polietileno, ao final do armazenamento.

Avaliando-se os resultados de intensidade de vermelho entre temperaturas, notam-se diferenças nos tempos 10, 20 e 40 dias, mas sem configurar tendência consistente de valores maiores, seja em 25 ou 40 °C.

Tabela 4.47 – Valores médios da intensidade de vermelho do figo-da-índia em pó do Tipo A nas diferentes temperaturas, durante o armazenamento

Tempo de armazenamento (dia)	Intensidade de vermelho	
	25 °C	40 °C
0	7,55 bA	7,55 abA
10	8,44 aA	7,90 aB
20	7,51 bA	6,86 cB
30	7,01 bcA	7,01 bcA
40	6,79 cB	7,27 abcA

DMS para colunas = 0.4704; DMS para linhas = 0.6600; MG = 7.39111; CV% = 6.78215

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

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Na Tabela D.11 (Apêndice D) tem-se as análises de variância dos valores médios da intensidade de vermelho do figo-da-índia em pó do Tipo A, armazenado na temperatura de 25 °C, em função do tempo de armazenamento (dias).

Na Tabela 4.48 se encontram as equações de regressão ajustadas aos dados experimentais da intensidade de vermelho do figo-da-índia em pó do Tipo A, armazenado na temperatura de 25 °C, em função do tempo de armazenamento. Constata-se, para as amostras armazenadas a 25 °C, que as equações linear, quadrática e cúbica foram significativas pelo teste F; deve-se, porém, dar preferência ao uso da equação cúbica na predição dos dados experimentais da intensidade de vermelho do figo-da-índia em pó, em razão desta equação ter sido significativa a 1% de probabilidade e por apresentar um coeficiente de determinação maior (0,950). PEREIRA et al. (2006) avaliaram que o

parâmetro de intensidade de vermelho do tomate em pó pode ser representado pelas equações linear e quadrática, em função do tempo de armazenamento.

Tabela 4.48 – Equações de regressão propostas para a intensidade de vermelho do figo-da-índia em pó do Tipo A, em função do tempo de armazenamento

Temp. (°C)	Equação	R ²
	$a = 8,0502 - 0,2942 t$ **	0,536
25	$a = 7,7934 + 2194 t - 0,1284 t^2$ *	0,679
	$a = 7,5838 + 1,7212 t - 1,1762 t^2 + 0,1746 t^3$ **	0,950

Em que: X – teor de água (%); t – tempo de armazenamento (dia); ** - significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * - significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$)

4.4.6 – Intensidade de amarelo

Na Tabela 4.51 se apresentam os valores médios do parâmetro de intensidade de amarelo do figo-da-índia em pó do Tipo A, armazenado sob condições controladas de temperatura (25 e 40 °C) e umidade relativa média 83%, pelo período de 40 dias.

Analisando-se os resultados dos valores médios do parâmetro intensidade de amarelo (+b*) das amostras do figo-da-índia em pó do Tipo A, ao longo do armazenamento em cada temperatura isolada (Tabela 4.49), observa-se que para a temperatura de 25 °C não ocorreu alteração significativa entre o tempo inicial e o tempo de 30 dias de armazenamento; aos 30 dias vê-se diferença em relação aos tempos 10, 20 e 40 dias, ficando demonstrada a tendência de redução da intensidade de amarelo com o tempo de armazenamento; para a temperatura de 40 °C tem-se que apenas o tempo inicial difere estatisticamente dos demais; entre o tempo inicial e final, nota-se decréscimo no parâmetro intensidade de amarelo, refletindo a alteração, percebida visualmente nas amostras, ao longo do armazenamento. Resultados divergentes foram encontrados por FIGUEIRÊDO et al. (2005) estudando a estabilidade da acerola em pó obtida pelo método de secagem por aspersão, com 15% de maltodextrina e 5% de goma arábica em condições de armazenamento com umidade relativa média de 84,40% e temperatura de 15, 25 e 35 °C, tendo-se observado que as amostras armazenadas nas três temperaturas estudadas apresentaram decréscimo significativo na intensidade de amarelo, ao longo dos 30 dias.

Com relação ao comportamento das amostras entre as duas temperaturas, nota-se uma diferença significativa apenas entre as médias dos valores de +b*, no tempo 30 dias;

assim e de maneira geral, constata-se que não houve influência significativa entre as duas temperaturas de armazenamento; a pequena variação nos valores do parâmetro intensidade de amarelo (+b*) durante o armazenamento, foi verificada por SOARES et al. (2001) ao manterem acerola em pó obtida pelo processo de camada de espuma em embalagem laminada, a temperatura ambiente.

Tabela 4.49 - Valores médios da intensidade de amarelo do figo-da-índia em pó do Tipo A nas diferentes temperaturas, durante o armazenamento

Tempo de armazenamento (dia)	Intensidade de amarelo	
	25 °C	40 °C
0	42,08 aA	42,08 aA
10	40,28 bcA	40,06 bA
20	39,11 cA	39,89 bA
30	42,00 aA	40,52 bB
40	40,67 bA	40,45 bA

DMS para colunas = 0.8445; DMS para linhas = 1.1850; MG = 40.71478; CV% = 2.21046

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

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Nas Tabelas D.12 e D.13 (Apêndice D) tem-se as análises de variância dos valores médios da intensidade de amarelo do figo-da-índia em pó do Tipo A, armazenado em diferentes temperaturas (25 e 40 °C), em função do tempo de armazenamento (dias). Nas amostras armazenadas a 25 °C (Tabela D.12) a equação linear não foi significativa mas as equações quadrática, cúbica e de quarto grau, foram significativas a 1% de probabilidade; para a temperatura de 40 °C (Tabela D.13), as equações linear, quadrática e cúbica foram significativas a 1% de probabilidade porém a equação de quarto grau não foi significativa.

Na Tabela 4.50 se apresentam as equações de regressão ajustadas aos dados experimentais da intensidade de amarelo (+b*) do figo-da-índia em pó do Tipo A, armazenado em diferentes temperaturas (25 e 40 °C) e sob umidade relativa de 83%, em função do tempo de armazenamento. De maneira geral, pode-se afirmar que somente a equação de quarto grau pode ser utilizada para ajuste dos dados experimentais, tendo em vista o valor de R^2 ser acima de 0,8.

Tabela 4.50 – Equações de regressão propostas para a intensidade de amarelo do figo-da-índia em pó do Tipo A, em função do tempo de armazenamento

Temp. (°C)	Equação	R ²
25	$b = 41,7686 - 1,5390t + 0,3569t^2$ **	0,306
	$b = 42,2510 - 5,0228t + 2,7875t^2 - 0,4051t^3$ **	0,685
	$b = 42,0833 + 1,9619t - 6,7816t^2 + 3,5064t^3 - 0,4889t^4$ **	0,999
40	$b = 41,1555 - 0,2737t$ **	0,248
	$b = 41,8386 - 1,6397t + 0,3415t^2$ **	0,790
	$b = 42,0896 - 3,4385t + 1,5965t^2 - 0,2092t^3$ **	0,999

Em que: X – teor de água (%); t – tempo de armazenamento (dia); ** - significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * - significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$)

Analisando a temperatura de 40 °C, constata-se, diferentemente da temperatura anterior, que a equação linear foi significativa a 1% de probabilidade; entretanto, apresentou um R² muito baixo (0,248), ou seja, não prediz satisfatoriamente com os dados experimentais. A equação cúbica foi a que melhor se ajustou aos dados devido ao seu maior coeficiente de determinação, quando comparado com os coeficientes das equações linear e quadrática. RAMOS et al. (2008), estudando o efeito do tipo de embalagem e do tempo de armazenamento na qualidade físico-química do abacaxi desidratado, verificaram que a equação de regressão linear estimou satisfatoriamente os dados experimentais com R² de 0,99 e 0,95 para o abacaxi armazenado em embalagem de polietileno transparente e o abacaxi armazenado em embalagem de policloreto de vinilideno a vácuo transparente, respectivamente.

4.5 – Isoterma de adsorção de água

Na Tabela E.1 (Apêndice E) se encontram os valores médios da atividade de água (a_w) e seus respectivos teores de água de equilíbrio (% b.s.), a 25 °C, da amostra de figo-da-índia em pó, coletada na câmara de secagem (Tipo A), produzida de acordo com as condições do Experimento n° 4 (35% de maltodextrina – DE = 10; temperatura do ar de secagem = 190 °C) do planejamento experimental fatorial. Observa-se que o teor de água de equilíbrio aumentou com o aumento da atividade de água, sendo o acréscimo da a_w cerca de 20 vezes na $a_w = 0,913$, em relação à $a_w = 0,311$, demonstrando tratar-se de um

produto muito higroscópico. GUERRA & LAJOLO (2005), ao determinarem as isotermas de adsorção de água na temperatura de 25 °C do leite bubalino em pó, obtido através de secagem por aspersão utilizando uma temperatura de 140 °C, também relataram que o teor de água de equilíbrio aumentou com o aumento da atividade de água. Este mesmo comportamento foi encontrado por PENA et al. (2008) quando analisaram as isotermas de adsorção de água nas temperaturas de 10, 30 e 50 °C do açaí em pó obtido por secagem por aspersão.

Na Tabela 4.51 são apresentados os parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados aos dados de adsorção de água, a 25 °C para a amostra em pó, coletada na câmara de secagem (Tipo A), do Experimento n° 4 (35% de maltodextrina – DE = 10 e temperatura do ar de secagem = 190 °C).

Analisando os parâmetros do modelo de GAB, constata-se que a umidade na monocamada molecular (X_m) foi em torno de 14,62%. Segundo MISHRA et al. (1996), o parâmetro da umidade na monocamada molecular (X_m), representa o teor de umidade para uma armazenagem segura, na qual o material tem estabilidade máxima. SYAMALADEVI et al. (2009), encontraram valores inferiores de X_m ao ajustarem o modelo de GAB às isotermas de adsorção de água (25 °C) do mirtilo ($X_m = 11,3\%$) e da framboesa ($X_m = 10,9\%$) liofilizados. Os parâmetros K e C do modelo de GAB, resultaram nos valores de 0,34 e 0,90, respectivamente. O parâmetro K representa o fator de correção das propriedades das moléculas na multicamada com relação ao volume do líquido, enquanto a constante de sorção C, é função das interações entre os sítios ativos do produto e as moléculas de água (ALEXANDRE et al., 2007); esses autores encontraram, analisando as isotermas de adsorção de água da pitanga em pó na temperatura de 20°C obtida através de secagem por camada de espuma, valores para os parâmetros K e C de 0,8961 e 1949218,0, respectivamente.

Observa-se que todos os modelos aplicados (GAB, Oswin e Peleg) foram bem ajustados aos dados experimentais, resultando em coeficientes de determinação (R^2) acima de 0,99. Levando-se em consideração o maior R^2 e o menor desvio percentual médio (P), constata-se que o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais foi o modelo de Peleg. Resultado semelhante foi encontrado por GOULA et al. (2005) ao ajustarem o modelo de Peleg às isotermas de adsorção de água, a 20 °C, da polpa de tomate em pó, obtida também através de secagem por aspersão, apresentando $R^2 = 0,9993$ e $P = 1,52\%$. PENA et al. (2010), determinando a isoterma de adsorção na temperatura de 30 °C do pó

de açaí obtido pela secagem por aspersão, encontraram que o modelo de Oswin ajustado aos dados experimentais, apresentou um R^2 de 0,996.

De acordo com a classificação de BLAHOVEC (2004), a isoterma de adsorção de água do figo-da-índia em pó produzido de acordo com o Experimento nº 4 do planejamento fatorial, é do Tipo III, em razão de apresentar $0 < K \leq 1$ e $0 \leq C \leq 2$.

Tabela 4.51 – Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados à isoterma de adsorção de água, a 25 °C, do figo-da-índia em pó (Experimento 4 - 35% de maltodextrina; 190 °C)

Modelo	Parâmetro				R^2	P (%)
	X_m	c	k			
GAB	14,6246	0,3451	0,8971		0,996	9,79
	a	b		R^2		
Oswin	6,6730	0,8706		0,993	17,05	
Peleg	k_1	n_1	k_2	n_2	R^2	P (%)
	49,2755	3,2890	126,4261	24,2083		

A Figura E.1 (Apêndice E) apresenta a isoterma de adsorção de água a 25 °C, do figo-da-índia em pó Experimento nº 4 (35% de maltodextrina – DE = 10 e temperatura do ar de secagem = 190 °C), com ajustes pelos modelos de GAB e Oswin.

Na Figura 4.29 encontra-se a isoterma de adsorção de água a 25 °C do figo-da-índia em pó, do Experimento nº 4 (35% de maltodextrina – DE = 10 e temperatura do ar de secagem = 190 °C), com ajuste pelo modelo de Peleg, considerado o melhor modelo dentre os testados, para estimar a isoterma. Observa-se que a curva apresenta o formato da letra J, que é uma característica das isotermas do Tipo III (PARK & NOGUEIRA, 1992; ORDÓÑEZ, 2005). As isotermas do tipo III são características de sistemas em que as moléculas do adsorbato apresentam maior interação entre si do que com o sólido (TEIXEIRA et al., 2001). LISBÔA (2010), ao avaliar a isoterma de adsorção do figo-da-índia em pó, a 20 °C, obtido pelo método de secagem em camada de espuma, também concluiu que a isoterma era do Tipo III.

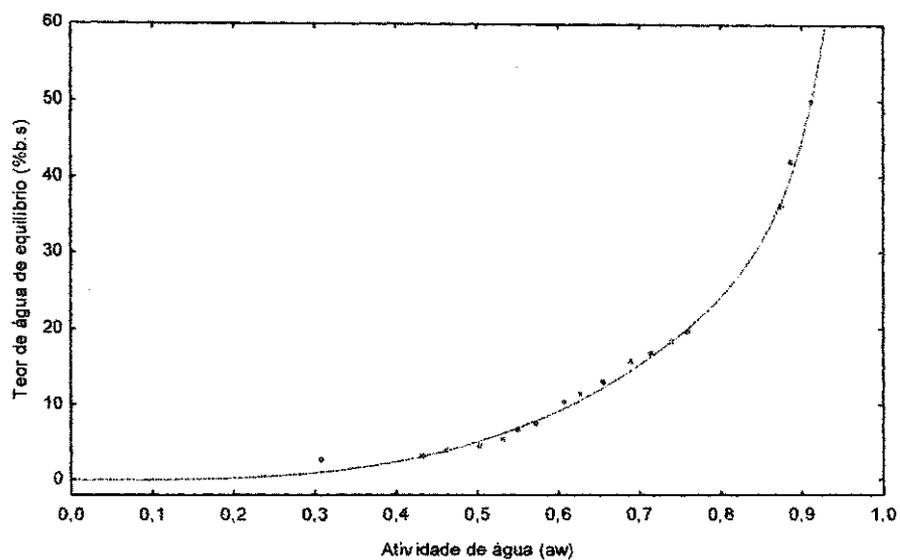


Figura 4.29 – Isoterma de adsorção de água a 25 °C, do figo-da-índia em pó (Experimento 4 - 35% de maltodextrina; 190 °C) com ajuste pelo modelo de Peleg

5 – CONCLUSÕES

- A polpa integral do figo-da-índia apresentou-se pouco ácida e com predominância da cor amarela;
- A polpa do figo-da-índia integral apresentou-se como fluido não-newtoniano, de caráter pseudoplástico, e o modelo reológico que melhor se ajustou aos dados experimentais desta polpa, foi o de Mizrahi-Berk;
- A adição de 25, 30 e 35% de maltodextrina, alterou as características da polpa de figo-da-índia, exceto o pH;
- As formulações demonstraram comportamento pseudoplástico com melhor ajuste dos dados experimentais pelo modelo de Mizrahi-Berk;
- O figo-da-índia em pó coletado na câmara de secagem (Tipo A), apresentou características diferentes das do figo-da-índia em pó, coletado no ciclone (Tipo B);
- Os modelos empíricos de primeira ordem para o figo-da-índia em pó do Tipo A, obtidos para o teor de água, pH, cinzas e intensidade de amarelo, foram significativos e preditivos enquanto os modelos estabelecidos para os parâmetros sólidos solúveis totais, acidez total titulável, luminosidade e intensidade de vermelho, não foram estatisticamente significativos e, para o parâmetro atividade de água, o modelo proposto foi significativo porém não preditivo;
- O modelo empírico de primeira ordem para o figo-da-índia em pó do Tipo B, obtido para o pH, foi significativo porém não preditivo, e o teor de água e a intensidade de amarelo foram significativos e preditivos enquanto os modelos estabelecidos para os parâmetros sólidos solúveis totais, acidez total titulável, luminosidade, intensidade de vermelho e atividade de água, não foram estatisticamente significativos;
- As embalagens flexíveis laminadas não foram eficazes contra o aumento do teor de água e da atividade de água das amostras em pó do Tipo A, do Experimento nº 4, durante o armazenamento sob condições controladas de umidade relativa e temperatura;
- A acidez total titulável não sofreu alterações nas amostras em pó Tipo A, do Experimento nº 4, relacionadas ao tempo no período de armazenamento estudado;
- A luminosidade das amostras em pó do Tipo A do Experimento nº 4, armazenadas sob atmosfera controlada, praticamente permaneceu constante, do início ao final do armazenamento, nas temperaturas de 25 e 40 °C;

- A intensidade de vermelho das amostras do Tipo A diminuiu durante o armazenamento na temperatura de 25 °C enquanto na temperatura de 40 °C, permaneceu constante;

- A intensidade de amarelo das amostras em pó do Tipo A do Experimento nº 4, armazenadas durante 40 dias, apresentaram decréscimo do início ao final do armazenamento mas a predominância da cor amarela se manteve;

- A isoterma de adsorção de água do figo-da-índia em pó do Tipo A (câmara de secagem), produzida de acordo com o Experimento nº 4, foi classificada como do Tipo III e o modelo de Peleg, dentre os avaliados, foi o que melhor se ajustou a esta isoterma.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIRE, J. M.; TOCCHINI, R. P.; NISIDA, A. L. C.; ANIOS, V. D. A. Desidratação de acerola. In: FITO, P.; MULET, A.; CHIRALT, A.; ANDRÉS, A. **Ingeniería de alimentos nuevas fronteras em el siglo XXI: Deshidratación de alimentos y propiedades relacionadas**. Valencia: Editorial UPV, 2003. p. 133-138.
- 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.
- ALMEIDA, M. M.; SILVA, F. L. H.; CONRADO, L. S.; FREIRE, R. M. M.; VALENÇA, A. R.. Caracterização física e físico-química de frutos do mandacaru. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 11, n. 1, p. 15-20, 2009.
- ALMEIDA, P.; MEIRA, T.; ALENCAR, L. C.; FREITAS, A.; HERCULANO, L. Avaliação físico-química de pós alimentícios de manga (*Mangifera indica* L.) de diferentes variedades obtidos pelo processo de liofilização. In: ENCONTRO DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO, 9.; ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 9.; SIMPÓSIO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 3., 2009, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, 2009. CD Rom.
- ALVES, R. M. V. **Embalagem para frutas e hortaliças desidratadas e frutas secas**. Campinas: CETEA/ITAL, 2001. 12 p.
- ANSELMO, G. C. S.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; ARRUDA, P. C.; SOUZA, M. C. Determinação da higroscopicidade do cajá em pó por meio da secagem por atomização. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 2, p. 58-65, 2006.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. AOAC. **Official Methods of Analysis**, Williams, S. (Ed) 14.ed. Arlington, 1997. 1141p.

AROGBA, S. S. Effect of temperature on the moisture sorption isotherm of a biscuit containing processed mango (*Mangifera indica*) kernel flour. **Journal of Food Engeneering**, v. 48, n. 2, p. 121-125, 2001.

AZEREDO, H. M. C.; FARIA, J. A. F.; AZEREDO, A. M. C. Embalagens ativas para alimentos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, n. 3, p. 1-9, 2000.

BARBOSA, S. J. **Qualidade de suco em pó de mistura de frutas obtido por spray drying**. 2010. 107 f. Dissertação (Mestrado em produção Vegetal) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba.

BARBOSA, A. S.; ARAÚJO, A.P.; CANUTO, T. M.; FRANÇA, V. C. Avaliação preliminar da composição físico-química dos frutos do mandacaru (*Cereus jamacaru*) e xique-xique (*Cereus gounellei*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 2006, Salvador. **Anais...** Salvador, 2006. CD Rom.

BARROS NETO, B.; SCARMINO, I.S.; BRUNS, R.E. **Como fazer experimentos – Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2001. 401p.

BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. Fatores que condicionam a estabilidade de alimentos. In: BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. **Fundamentos de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1998. v. 3, cap. 2, p. 13-25.

BASTOS, D. S.; SOARES, D. M. B. G.; ARAÚJO, K. G. L.; VERRUMA-BERNARDI, M. R. Desidratação da Polpa de Manga “Tommy Atkins” Utilizando a Técnica de foam mat drying - Avaliações Químicas, Físico-químicas e Sensoriais. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.8, n.4, p. 283-290, 2005.

BEATUS, Y.; RAZIEL, A.; ROSENBERG, M.; KOPELMAN, I. J. Spray-drying microencapsulation of Paprika oleoresin. **Lebensmittel Wissenschaft and Technologie**. v. 18, n. 1, p. 28-34, 1985.

BE MILLER, J. N.; WHISTLER, R. L. Carbohydrates. In: FENNEMA, O.R. **Food Chemistry**. 3ed. 1996. Cap. 4, p. 157 - 224.

BEZERRA, J. R. M. V.; QUEIROZ, A. J. de M.; GASPARETTO, C. A. Reologia de polpa de manga e ajuste dos parâmetros reológicos em função da temperatura. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 3, n. 1, p.37-42, 2001.

BEZERRA, J. R. M. V. **Comportamento da polpa de manga**. 2000. 159 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BHANDARI, B.R.; SENOUSI, A.; DUMOULIN, E.D.; LEBERT, A. Spray drying of concentrated fruit juices. **Drying Technology**, v. 11, n. 5, p 1081-1093, 1993.

BLAHOVEC, J. Sorption isotherms in materials of biological origin mathematical and physical approach. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 4, p. 489-495, 2004.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Manual de laboratório de química de alimentos**. 1. ed. São Paulo: Varela, 2003. 135 p.

BOBBIO, P. A. **Química do processamento de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Varela, 1995. 151 p.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Varela, 1992. 145 p.

BOURNE, M. C. **Food texture and viscosity: concept and measurement**. New York: Academic Press, 1982. 324 p.

BOX, G. E. P.; WETZ, J. **Criteria for judging adequacy of estimation by approximate response function**. Wisconsin: University of Wisconsin, 1973. 95p. (Technical Report, n.9).

BRANDAO, M. C. C.; MAIA, G. A.; LIMA, D. P.; PARENTE, E. J. S.; CAMPELLO, C. C.; NASSU, R. T.; FEITOSA, T.; SOUSA, P. H. M. Análise físico-química, microbiológica e sensorial de frutos de manga submetidos à desidratação osmótico-solar. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 1, p. 38-41, 2003.

BRANCO, I.G.; GASPARETTO, C.A. Aplicação da metodologia de superfície de resposta para o estudo do efeito da temperatura sobre o comportamento reológico de misturas ternárias de polpa de manga e sucos de laranja e cenoura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, p. 166-171, 2003.

BRASIL, J. L.; VAGHETTI, J. C. P.; ROYER, B.; SANTOS, A. A.; SIMON, N. M.; PAVAN, S. A.; DIAS, S. L. P.; LIMA, E. C. Planejamento estatísticos de experimentos como uma ferramenta para otimização das condições de biossorção de Cu(II) em batelada utilizando-se casca de nozes pecã como biossorvente. **Química nova**, v. 30, n. 3, 548-553, 2007.

BRASIL. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasília: Ministério da Saúde, 2005.

BRASIL, I. M.; GUIMARÃES, A. C. L. **Curso de especialização em tecnologia de processamento de sucos e polpas tropicais: química e bioquímica do processamento**. Brasília, DF: ABEAS, 2000. v. 5, p 109.

CABRAL, M. F. P., QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Comportamento reológico da polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* schum.) peneirada. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 4, n. 1, p.37-40, 2002.

CALEGUER, V. F.; BENASSI, M. T. Efeito da adição de polpa, carboximetilcelulose e goma arábica nas características sensoriais e aceitação de preparados em pó para refresco sabor laranja. **Revista Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 2, p. 270-277, 2007.

CAMPELO, I. K. M. **Secagem em camada de espuma da polpa do figo-da-índia**. 2009. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

CANTWELL, M. Manejo pós-colheita de frutas e verdura de palma forrageira. In: BARBERA, G.; INGLESE, P. (Eds.). **Agroecologia, cultivos e usos da palma forrageira**. Paraíba: SEBRAE/PB, 2001. p. 20-27.

CANUTO, T. M.; PIRES, V. C. F.; ARAÚJO, A. P.; BARBOSA, A. S.; BARBOSA, A. S. Avaliação da composição físico-química da polpa do fruto da palma. In: CONGRESSO NORTE-NORDESTE DE QUÍMICA, 1, 2007, Natal. **Anais...** Natal, 2007. CD Rom.

CAPRISTE, G. H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorptional equilibrium data for starchcontaining foodstuffs. **Journal of Food Science**, v. 47, n. 8, p. 1501-1507, 1982.

CHAVES, M. A.; SOARES, E. C.; PINTO, E. G.; SOARES, R. D. Efeito da concentração do emustab nas características da espuma de araçá-boi (*Eugenia stipitata* Mc Yaugh). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 21, 2008, Belo Horizonte. **Anais...**, Belo Horizonte, 2008. CD-ROM.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: ESAL/FAEPE, 2005. 785 p.

COELHO, R. R. P.; FERREIRA-NETO, C. J.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Características físicas e físico-químicas do fruto da palma cultivado na região do Curimataú Paraibano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 19., 2004, Recife. **Anais...**, Recife, 2004. CD-Rom.

COSTA, R. S.; OZELA, E. F.; BARBOSA, W. L. R.; PEREIRA, N. L.; JUNIOR, J. O. C. S. Caracterização física, química e físico-química do extrato seco por nebulização (*spraydrying*) de *Cynara scolymus* L. (Asteraceae), **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 90, n. 3, p. 169-174, 2009.

COSTA, J. M. C.; FELIPE, E. M. F.; MAIA, G. A.; BRASIL, I. M.; HERNANDEZ, F. F. H. Comparação dos parâmetros físico-químicos e químicos de pós alimentícios obtidos de resíduos de abacaxi. **Revista Ciência Agronômica**, v.38, n.2, p.228-232, 2007.

COSTA, J. M. C.; MEDEIROS, M. F. D.; MATA, A. L. M. L. Isotermas de adsorção de pós de beterraba (*Beta vulgaris* L.), abóbora (*Cucurbita moschata*) e cenoura (*Daucus carota*) obtidos pelo processo de secagem em leito de jorro: estudo comparativo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 34, n. 1, p. 5-9, 2003.

DAIÚTO, E. R.; CEREDA, M. P. Amido como suporte na desidratação por atomização e em microencapsulamento. In: CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F. **Tecnologias, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2003. v. 3. cap. 16, p. 449-474. (Série: Culturas de tuberosas amiláceas Latino Americanas).

DINIZ, E.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Atividade de água e condutividade elétrica de polpas de acerola concentradas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Especial, n.1, p. 9-17, 2003.

DOMINGUES, A. de M.; ABADIO, F. D. B.; OLIVEIRA, V. M. de; BORGES, S. V.; GAY, J. Caracterização das propriedades físicas do suco de abacaxi (*Ananas comosus*) em pó desidratado por spray dryer otimizado através da análise de superfície de resposta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS DE ALIMENTOS, 18., 2002, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: 2002. CD-Rom.

DZIEZAK, J.D. Microencapsulation and encapsulated ingredients. **Food Technology**, v.42, n.4, p.136-151, 1988.

ENDO, E.; BORGES, V. S.; DAIUTO, R. E.; CEREDA, P. M.; AMORIM, E. Avaliação da vida de prateleira do suco de maracujá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) desidratado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 2, n. 2, p. 1-10, 2007.

ERSUS, S.; YURDAGEL, U. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota* L.) by spray drier. **Journal of Food Engineering**, v. 80, n. 3, p. 805-812, 2007.

ESQUIVEL, P. Los frutos de las cactáceas y su potencial como material prima. **Agronomia Mesoamericana**, v 15, n. 2, p. 215-219. 2004.

- EVANGELISTA, J. **Tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1992. 652 p.
- EVANGELISTA, J. **Tecnologia dos alimentos**. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 1994. 270 p.
- FARIAS, E. S.; GOUVEIA, J. P. G.; ALMEIDA, F. A. C.; BRUNO, L.A.; NASCIMENTO, J. Secagem de cajá em um secador de leito fixo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 18., 2002, Belém. **Anais...** SBF: Belém, 2002. CD-Rom.
- FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 1. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602 p.
- FERNANDES, T. K. S. **Secagem em camada de espuma da polpa de cajá**. 2010. 190 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- FERNANDES, T. K. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; MELO, K. S.; BEZERRA, M. C. Estudo do comportamento reológico da polpa de umbucajá em função da concentração de maltodextrina. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 10, n. 2, p.171-180, 2008.
- FERREIRA, G. M.; GUIMARAES, M. J. O. C.; MAIA, M. C. A.. Efeito da temperatura e taxa de cisalhamento nas propriedades de escoamento da polpa de Cupuaçu (*T. grandiflorum Schum*) integral. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 2, p. 385-389, 2008 .
- FERREIRA NETO, C. J.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. de M. Avaliação sensorial e da atividade de água em farinhas de mandioca temperadas. **Ciência agrotécnica**, v. 29, n. 4, p. 795-802, 2005.
- FERREIRA, G. M.; QUEIROZ, A. J. de M.; CONCEIÇÃO, R. S. da; GASPARETTO, C. A. Efeito da temperatura no comportamento reológico das polpas de caju e goiaba. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 4, n. 2, p. 175-183, 2002.

FIGUEIRÊDO, 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**, v. 7, n. 1, p.49-57, 2005.

FIGUEIRÊDO, F. M. R.; GRANDINI, A.; MARTUCCI, T. E. Armazenamento do suco de acerola microencapsulado. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 3, n. 1, p. 1-6, 2001.

GALDINO, P. O. **Caracterização físico-química e sensorial de iogurtes elaborados com leite de vaca e de cabra enriquecidos com polpa de palma forrageira (*Napolea cochonillifera*)**. 2008. 120 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de curso) – Universidade Federal da Paraíba, Areia.

GALDINO, P. O.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; SILVA, R. N. G. Avaliação da estabilidade da polpa de umbu em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 5, n. 1, p. 73-80, 2003.

GARCIA, M. C. **Influência do tempo de torra por microondas nas características sensoriais, físicas e químicas de farelos de cultivares de arroz e sua aplicação em barras de cereais**. 2010. 152 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

GARCIA, E.E.C.; PADULA, M.; SARANTÓPOULOS, C.I.G.L. **Embalagens plásticas: Propriedades de barreira**. Campinas: ITAL, 1989. 44p.

GAVA, J. A. **Princípios da tecnologia de alimentos**. São Paulo: Nobel. 1998. 284 p.

GAVA, A. J. **Princípios de tecnologia de alimentos**. 1 ed., Nobel, São Paulo, 1978.

GELDART, D. The Effect of Particle Size and Size Distribution on the Behavior of Gasfluidized Beds. **Powder Technology**, v. 6, n. 4, p. 201-215, 1972.

GOMES, W. C. **Secagem por aspersão da polpa de buriti**. 2009. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

GOMES, P. M. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIRO, A. J. M. Armazenamento da polpa de acerola em pó a temperatura ambiente. **Revista Brasileira de Ciências e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 3, p. 384-389, 2004.

GOMES, R. de C. M.; CAVALCANTI, N. B.; ANTONIASSI, R.; FREITAS, S. C. de.; BORGES, S. V.; MAIA, M. C. A. Perfil lipídico e mineral da semente de umbu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 18., Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SBCTA, 2002. CD-Rom.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air:II. The effect on powder properties. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 1, p. 35–42, 2005.

GOUVEIA, J. P. G.; MOURA, R. S. F.; ALMEIDA, A. M. V. O.; SILVA, M. M. Avaliação da cinética de secagem de caju mediante um planejamento experimental. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 471-474, 2002.

GRABOWSKI, J.A.; TRUONG, V.D.; DAUBERT, C.R. Spray-drying of amylase hydrolyzed sweetpotato puree and physicochemical properties of powder. **Journal of Food Science**, v. 71, n. 5, p. E209-E217, 2006.

GRANGEIRO, A. A.; QUEIROZ, A. J. M; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. Viscosidades de polpas concentradas de figo-da-índia. **Revista Brasileira Agrociência**, v. 13, n. 2, p. 219-224, 2007.

GRANGEIRO, A. A. **Reologia da polpa de figo-da-índia**. 2004. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

GUERRA, N. B.; LAJOLO, F. M. Ação antioxidante de especiarias face diferentes atividades de água. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 1, p. 45-50, 2005.

GURRIERI, S.; MICELI, L.; LANZA, C. M. TOMASELLI, F.; BONOMO, R. P.; RIZZARELLI, E. Chemical Characterization of Sicilian Prickly Pear (*Opuntia ficus Indica*) and Perspectives for the Storage of Its Juice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, n. 11, p. 5424-5431, 2000.

HAMINIUK, C. W. I. **Comportamento reológico e fracionamento pécico das polpas integrais de araçá (*Psidium cattleianum* sabine) e amora-preta (*Rubus* spp.)**. 2005. 99 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

HERNÁNDEZ, D. Fabricação de alimentos e obtenção de subprodutos. In: BARBERA, G.; INGLESE, P. (Eds.). **Agroecologia, cultivos e usos da palma forrageira**. Paraíba: SEBRAE/PB, 2001. p. 140-146.

HINZ, C. Description of sorption data with isotherm equations. **Journal Food Engeneering**, v. 99, n. 3-4, p. 225-243, 2001.

HOLFMAN, W. Etnobotânica. In: BARBERA, G.; INGLESE, P. (Eds.). **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. Paraíba: SEBRAE/PB, 2001. p.12-19.

HOSSAIN, M. D.; BALA, B. K.; HOSSAIN, M. A.; MONDOL, M. R. A. Sorption isotherms and heat of sorption of pineapple. **Journal Food Engeneering**, v. 43, n. 2, p. 103-107, 2001.

INGLESE, P. Plantação e manejo do pomar. In: BARBERA, G.; INGLESE, P. (Eds.). **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. Paraíba: SEBRAE/PB, 2001, p.79-93.

IZIDORO, D. R. **Influência da polpa de banana (*Musa cavendishii*) verde no comportamento reológico, sensorial e físico-químico de emulsão**. 2007. 167 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

KENNEDY, J.F; KNILL, C.J.; TAYLOR, D.W. Maltodextrins. In: KEARSLEY, M.W.; DZIEDZIC, S.Z. (Ed.). **Handbook of Starch Hydrolysis Products and Their Derivatives**. 1. ed. Glasgow: Blackie Academic & Professional, 1995. p. 65-82.

KENYON, M. M.; ANDERSON, J. Maltodextrins and low dextrose-equivalence corn syrup solids. In: RISCH, S. J.; REINECCIUS, G. A. (Eds.) **Flavor encapsulation**. Washington: American Chemical Society, 1988, p. 87 – 102.

KUROZAWA, L. E. **Efeito das condições de processo na cinética de secagem de cogumelo (*Agaricus blazei*)**. 2005. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

LANNES, S. C. S.; MEDEIROS, M. L. Processamento de achocolatado de cupuaçu por spray-dryer. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 39, n. 1, p. 115-123, 2003.

LEWICKI, P. P. Raoult's law food water sorption isotherm. **Journal Food Engineering**, v. 43, n. 1, p. 31-40, 2000.

LEWIS, M.J. **Physical properties of foods and food processing systems**. 1.ed. Chichester: Ellis Horwood Ltd, 1987, 465 p.

LISBÔA, C. G. C. **Armazenamento de figo-da-índia em pó sob atmosfera controlada**. 2009. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

LIMA, E. M. **Produção e armazenamento da farinha de facheiro**. 2006. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

LIMA, E. E.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; SILVA, A. S. Estudo das polpas do facheiro em função da parte do ramo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 34., 2005, Canoas. **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 2005. CD-Rom.

LINS, A. C. DE A. **Desenvolvimento de fruta estruturada com umidade intermediária obtida de polpas concentradas de três genótipos de cajazeira (*Spondias mombin* L.)**. 2010. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia do Alimento) - Universidade Federal Rural de Pernambuco.

LOPES, E. B.; SANTOS, D. C.; VASCONCELOS, M. F. **Cultivo da palma forrageira. Palma Forrageira: Cultivo, Uso Atual e Perspectivas de Utilização no Semi-árido Nordestino**. Ed. Edson Batista Lopes. João Pessoa: EMEPA/FAEPA, 2007. cap. 1. p. 1-33.

LOPES, R. V. V.; SILVA, F. L. H. **Elaboração de fermentados a partir do figo-da-índia. Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 2, p. 305-315, 2006.

MACHADO, J. C. **Reologia e escoamento de fluidos: ênfase na indústria do petróleo**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência/Petrobrás, 2002. 257 p.

MCCLEMENTS, J. Food biopolymers and colloids research laboratory. University of massachusetts amherst. Disponível em <http://www.unix.oit.umass.edu/~mcclemen/581Rheology.html>. Acessado em: 22/01/2011.

MASTERS, K. **Spray drying: an introduction to principles, operation practice and applications**. London: Leonard Hill Books, 1972. 668 p.

MASTERS, K. **Spray drying Handbook**. 5. ed. New York: Longman Scientific & Technical, 1991. 725 p.

MEDEIROS, J. **Secagem e armazenamento de polpa de mangaba**. 2007. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

MEDEIROS, M. L.; AYROSA, A. M. I. B.; LANNES, S. C. da S. **Comportamento higroscópico de derivados do cupuaçu e do cacau**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 18., Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SBCTA, 2002. CD-Rom.

- MELO, K. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; BEZERRA, M. C. T.; FERNANDES, T. K. S. Caracterização química da polpa de bacurí formulada. In: JORNADA NACIONAL DA AGROINDÚSTRIA, 3. Bananeiras. **Anais...** Bananeiras: JNA, 2008. CD-Rom.
- MELO, K. S.; FERNANDES, T. K. S.; BEZERRA, M. C. T.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Colour of melon pulp during the drying process. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING, 2008, Foz do Iguaçu, **Anais...**, Foz do Iguaçu – PR, 2008. CD-Rom.
- MISHRA, V.K.; ORAIKUL, B.; TEMELLI, F. Physical characterization and water sorption of freeze dried dulse *Palmaria palmata* powder. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 20, n. 1, p. 25-39, 1996.
- MITSCHKA, P. Simple conversion of brookfield RVT: readings into viscosity functions. **Rheologica Acta**, v. 21, n. 2, p. 207-209, 1982.
- MOHAMED-YASSEEN, Y. A note on the uses of *Opuntia* spp. in Central/North America. **Journal of Arid Environments**, v. 32, n. 3, p. 347-353, 1996.
- MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. 2. ed. New York: Wiley, 1984. 418 p.
- MOREIRA, J. S. A.. **Desidratação de polpa de cupuaçu (*theobrona grandiflorum*) em estufa com circulação de ar forçado**. 2009. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Acre, Rio Branco.
- MOURA, S. C. S. R.; BERBARI, S. A.; GERMER S. P. M.; ALMEIDA, M. E. M.; FEFI, D. A. Determinação da vida-de-prateleira de maçã-passa por testes acelerados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 1, p. 787-792, 2007.
- MURRAY, D. G.; LUFT, L. R. Low-DE corn starch hydrolysates. **Food Technology**, v. 27, n. 3, p. 32-40, 1973.

NEVES, C. F. C.; SCHVARTZMAN, M. M. A. M.; JORDÃO, E. **Química Nova**, v. 25, n. 2, p. 327-329, 2002.

OLIVEIRA, R. C.; BARROS, S. T. D.; ROSSI, R. M. Aplicação da metodologia bayesiana para o estudo reológico da polpa de uva. **Revista Brasileira de produtos agroindustriais**. v. 11, n. 1, p.73-80, 2009.

OLIVEIRA, M. A. **Avaliação da influência de adjuvantes de secagem sobre as propriedades de suco de caju atomizado**. 2008. 63f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

OLIVEIRA, F. M. N. **Secagem e armazenamento da polpa de pitanga**. 2006. 214f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande.

OLIVEIRA, F. M. N.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Análise comparativa de polpas de pitanga integral, formulada e em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. v. 8, n. 1, p. 25-33, 2006.

ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnologia de alimentos: componentes dos alimentos e processos**. Porto Alegre: Artmed, 2005. v. 1, 254 p.

PALUDO, A.; OLIVEIRA, L. S.; FRANÇA, L. V.; LIMA, H. C.; DUBOC, E. Mudanças pós-colheita e estabilidade de carotenóides no figo-da-índia (*Opuntia ficus-indica*) durante armazenamento refrigerado. In: SIMPÓSIO NACIONAL CERRADO, 9., 2008, Brasília. **Anais...**, Brasília: SNC, 2008. CD-Rom.

PARK, K. J.; LEITE, J. T. C. **Reologia**. Disponível em: [ftp://ftp.agr.unicamp.br/pub/disciplinas/fa-20/Reologia](http://ftp.agr.unicamp.br/pub/disciplinas/fa-20/Reologia). Acesso: Janeiro de 2011.

PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. B. Seleção de Processos e Equipamentos de Secagem. Palestra, 01 de agosto de 2006. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa. **Anais...**, João Pessoa: CONBEA, 2006. CD-Rom.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra Bartlett (*Pyrus sp.*) com e sem desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 3, p. 326-332, 2001.

PARK, K. J.; NOGUEIRA, R. I. Modelo para ajuste de isoterma de sorção de alimentos. **Revista Engenharia Rural**, v. 1, n. 3, p. 80-86, 1992.

PEDRO, M. A. M. **Influência de encapsulantes e do método de secagem nas propriedades físico-químicas e atributos de qualidade de polpa de maracujá (*passiflora edulis f. flavicarpa*) em pó.** 2009. 204 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto.

PELCZAR JR., M. J.; CHAN, E. C. S.; KRIEG, N. R. **Microbiologia: conceitos e aplicações.** 2. ed. São Paulo: Makron Books, 1997. v. 1, 524 p.

PELEGRINE, D. H., VIDAL, J. R. M. B., & GASPARETTO, C. A. Estudo da viscosidade aparente das polpas de manga (Keitt) e abacaxi (Pérola). **Ciência Tecnologia de Alimentos**, v. 20, n. 1, p. 128-131, 2000.

PELEGRINE, D.H.; SILVA, F.C.; GASPARETTO, C. A. Rheological Behavior of Pineapple and Mango Pulp. **Lebensmittel- Wissenschaft & Technologie**, v. 35, n. 8, p. 645-648, 2002.

PENA, R. S.; MENDONÇA, N. B.; ALMEIDA, M. D. C. Isotermas de sorção de umidade do açaí (*Euterpe oleracea*) em pó. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, (COBEQ), 2008, Recife. **Anais...** Recife: COBEQ, 2008. CD-Rom.

PEREIRA, I. E.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Características físico-químicas do tomate em pó durante o armazenamento. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 1, p. 83-90, 2006.

PEREIRA, L. M.; RODRIGUES, A. C. C.; SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; JUNQUEIRA, V. C. A.; CARDELLI, H. M. A. B.; HUBINGER, M. D. Vida-de-prateleira

de goiabas minimamente processadas acondicionadas em embalagens sob atmosfera modificada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 3, p. 427-433, 2003.

PILON, L.; OETTERER, M.; GALLO, C.R.; SPOTO, M.H.F. Shelh life of minimally processed carrot and green pepper. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 1, p. 150-158, 2006.

PUZZI, D. **Abastecimento e armazenagem de grãos**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1986. 603 p.

QI, Z. H.; XU, A. Starch-based ingredients for flavor encapsulation. **Cereal Foods World**, v. 44, n. 7, p. 460 – 465, 1999.

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

RAMOS, A. M.; QUINTERO, A. C. F.; FARAONI, A. S.; SOARES, N. F. F.; PEREIRA, J. A. M. Efeito do tipo de embalagem e do tempo de armazenamento nas qualidades físicoquímica e microbiológica de abacaxi desidratado. **Alimentos e Nutrição**, v. 19, n. 3, p. 259-269, 2008.

REINECCIUS, G. A. Mutiple-core encapsulation: the spray drying of food ingredients. In: VILSTRUP, P. **Microencapsulation of food ingredients**. Surrey: Leatherhead Publishing, 2001. p. 151 - 185.

REINECCIUS, G.A. Carbohydrates for flavor encapsulation. **Food Technology**, v. 1, n. 1, p. 144-146, 1991.

REUL, L. M. A.; FERNANDES, T. K. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Viscosidades aparentes de soluções com polpa de figo-da-índia e maltodextrina, em diferentes temperaturas. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, 6., 2009, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande, 2009. CD-Rom.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. São Paulo: Edgard Blücher, Instituto Mauá de Tecnologia, 2007. 184 p.

RIGHETO, A. M. **Caracterização físico-química e estabilidade de suco de acerola verde microencapsulado por atomização e liofilização**. 2003. 178 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

RODRIGUES, A.C.C. **Estudo da desidratação osmótica com aditivos e do acondicionamento sob atmosfera modificada de pedaços de mamão formosa**. 2005. 192 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SAÉNZ, C; TAPIA, S.; CHÁVEZ, J.; ROBERT, P. Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). **Food Chemistry**, v. 114, n. 2, p. 616–622, 2009.

SAENZ, C.; SEPULVEDA, E. Cactus-Pear Juices. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, v. 10, n. 4, p. 3-10, 2001.

SANTOS, D. C.; ARAÚJO, L. F.; LOPES, E. B.; VASCONCELOS, M. F. **Usos e aplicações da palma forrageira - Palma Forrageira: Cultivo, Uso Atual e Perspectivas de Utilização no Semi-árido Nordeste** Ed. Edson Batista Lopes. João Pessoa: EMEPA/FAEPA, 2007, cap. 4. p. 56-88.

SHAHIDI, F.; HAN, X.Q. Encapsulation of food ingredients. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 33, n. 6, p. 501-547, 1993.

SHARMA, S. K.; MULVANEY, S. J.; RIZVI, S. S. H. **Food processing engineering: theory and laboratory experiments**. United States of América: Wiley-Interscience, 2000. 348 p.

SILVA, A. S. **Avaliação da secagem do bagaço de cajá usando planejamento fatorial composto central**. 2008. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

- SILVA, N. M. C. **Propriedades termofísicas e comportamento reológico da polpa de jenipapo (*Genipa americana* L.)**. 2008. 56 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga.
- SILVA, Y. C.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI, A. S. R. R. M.; OLIVEIRA, C. C. A.; GUEDES, M. A. Análise sensorial da polpa e do suco de cajá obtidos pela reidratação de cajá em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 9, n. 1, p. 1-6, 2007.
- SILVA, F. A. S. & AZEVEDO, C. A. V. de. A New Version of The Assistat-Statistical Assistance Software. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 4, Orlando-FL-USA: **Anais...** Orlando: American Society of Agricultural Engineers, 2006. p.393-396.
- SILVA, F. C.; GUIMARÃES, D. H. P.; GASPARETTO, C. A. Reologia do suco de acerola. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**. v. 25, n. 1, p.121-126, 2005.
- SILVA, F. C.; GUIMARAES, D. H. P.; GASPARETTO, C.A. Reologia do suco de acerola: efeitos da concentração e temperatura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 1, p. 121-126, 2005.
- 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.
- SOUSA, A. S.; BORGES, S. V.; MAGALHAES, N. F.; RICARDO, R. V.; AZEVEDO, A. D. Spray-dried tomato powder: reconstitution properties and colour. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, n. 4, p. 807-814, 2008.
- SOUZA, A. C. M.; GAMARRA-ROJAS, G.; ANDRADE, S. A. C.; GUERRA, N. B. Características físicas, químicas e organolépticas de quipá (*Tacinga inamoena*, Cactaceae). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 2, p. 292-295, 2007.
- SOARES, E. C.; OLIVEIRA, G. S. F. de; MAIA, G. A.; MONTEIRO, J. C. S.; SILVA Jr., A.; S. FILHO, M. de S. de. Desidratação da polpa de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.)

pelo processo “foam-mat”. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 2, p. 164-170, 2001.

STEFFE, J. F. **Rheological Methods in Food Process Engineering**, 2. ed., Michigan State: Freeman Press East Lansing, 1996. 418 p.

STREETER, V. L. **Mecânica de fluidos**. México: McGraw Hill, 1996. 594 p.

SYAMALADEVI, R. M.; SABLANI, S. S.; TANG, J.; POWERS, J.; SWANSON, B. G. State diagram and water adsorption isotherm of raspberry (*Rubus idaeus*). **Journal of Food Engineering**, v. 91, n. 3, p. 460-467, 2009.

TANAKA, D. L. **Influência da desidratação por spray drying sobre o teor ácido ascórbico no suco de acerola (Malpighia spp)**. 2007. 73 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) – Universidade Estadual Paulista, Araraquara.

TAOUKIS, P. S.; LABUZA, T. P.; SAGUY, I. S. Kinetics of food deterioration and shelflife prediction. In: VALENTAS, K. J.; ROTSTEIN, E.; SINGH, R. P. **Hanbook of Food Engineering Praticce**. Boca Raton: CRC Press, 1997. cap. 10, p. 361-403.

TEIXEIRA, V. G.; COUTINHO, F. M. B.; GOMES, A. S. Principais métodos de caracterização da porosidade de resinas à base de divinilbenzeno. **Química Nova**, v. 24, n. 6, p. 808-818, 2001.

TONON, R. V. **Secagem por atomização do suco de açaí: influência das variáveis de processo, qualidade e estabilidade do produto**. 2009. 212 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó. **Revista de Ciências e tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 2, p. 444-450, 2009.

TORALLES, R., P. Reologia de Purê Homogeneizado de Pêssego: Efeito da Temperatura e Concentração. **Brazilian Journal Food Technology**, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2006.

TORRES, L. B. V.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Viscosidade aparente da polpa de umbu-cajá concentrada a 10 °C. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 5, n. 2, p. 161-168, 2003.

VIDAL, J. R. M. B.; GASPARETTO, C. A. Comportamento reológico da polpa de manga (Mangífera indica L) - efeito dos sólidos insolúveis. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, v. 20, n. 2, p. 172-175, 2000.

VIDAL, J.R. M. B.; GASPARETTO, C. A.; GRANDIN, A. Efeito do Comportamento Reológico da Polpa de Manga. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 1, n. 2, p. 69-76, 2000.

VIEIRA, J.A.G. **Propriedades termofísicas e convecção no escoamento laminar de suco de laranja em tubos**. 1996. 132 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas.

WALLACE, R. S.; GIBSON, A.C. Evolution and systematics. In: PARK S. N. (Ed). **Cacti: Biology and Uses**. California: University of California Press, 2002. 280 p.

WORDPRESS. Disponível em: <http://arvoresquecuamo.wordpress.com>. Acesso: Setembro de 2009.

APÊNDICE A

Tabela A.1 - Valores médios da viscosidade aparente, tensão de cisalhamento e taxa de deformação para a polpa do figo-da-índia, a 25 °C, em diferentes velocidades de rotação

Velocidade de rotação (rpm)	Viscosidade aparente (Pa s)	Tensão de cisalhamento (Pa)	Taxa de deformação (s^{-1})
0,5	15,50	2,16	0,41
1,0	9,08	2,53	0,81
2,5	4,50	3,14	2,03
5,0	2,73	3,81	4,06
10,0	2,00	5,58	8,11
20,0	1,29	7,21	16,22
50,0	0,60	8,37	40,55
100,0	0,38	10,65	81,10

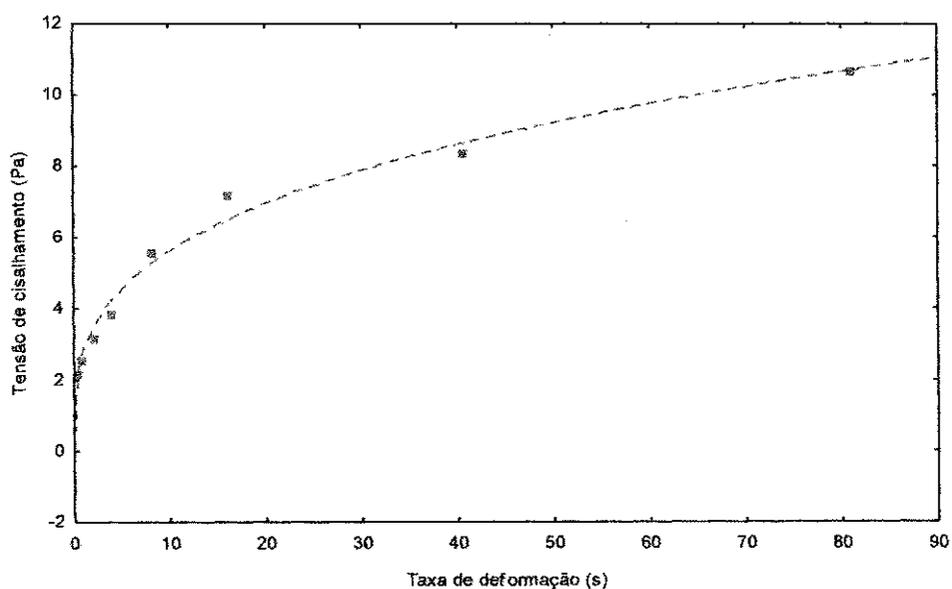


Figura A.1 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de figo-da-índia integral com ajuste pelo Modelo de Ostwald-de-Waele

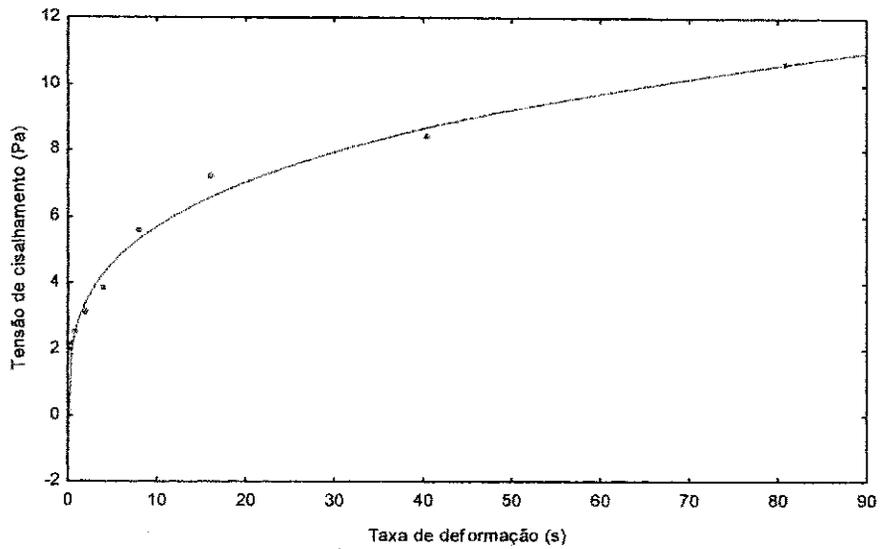


Figura A.2 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de figo-da-índia integral com ajuste pelo Modelo de Hershel-Bulkey

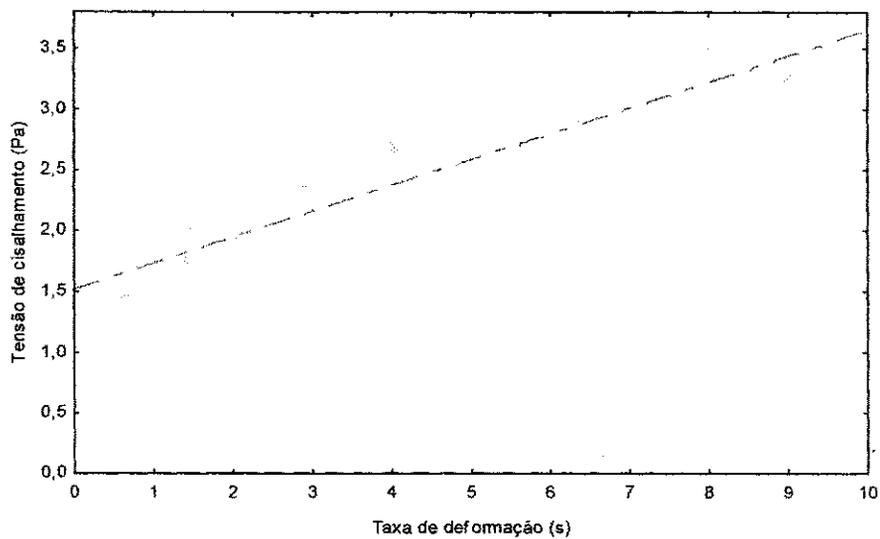


Figura A.3 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de figo-da-índia integral com ajuste pelo Modelo de Casson

APÊNDICE B

Tabela B.1 - Análise de variância dos valores médios dos teores de água das formulações em função da concentração de maltodextrina

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	170.22034	85.11017	32557.0094 **
Resíduos	6	0.01569	0.00261	
Total	8	170.23603		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns – Não significativo

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

Tabela B.2 - Análise de variância dos valores médios dos sólidos totais das formulações em função da concentração de maltodextrina

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	170.22034	85.11017	32557.0094 **
Resíduos	6	0.01569	0.00261	
Total	8	170.23603		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns – Não significativo

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

Tabela B.3 - Análise de variância dos valores médios dos sólidos solúveis totais (°Brix) das formulações em função da concentração de maltodextrina

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	48.67547	24.33773	700.9267 **
Resíduos	6	0.20833	0.03472	
Total	8	48.88380		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade;

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

Tabela B.4 - Análise de variância dos valores médios do pH das formulações em função da concentração de maltodextrina

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	2.50056	1.25028	4688.5417 **
Resíduos	6	0.00160	0.00027	
Total	8	2.50216		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade;

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

Tabela B.5 - Análise de variância dos valores médios da acidez total titulável das formulações em função da concentração de maltodextrina

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	0.00244	0.00122	84532.2308 **
Resíduos	6	0,00000	0,00000	
Total	8	0.00244		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade;

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

Tabela B.6 - Análise de variância dos valores médios dos açúcares redutores das formulações em função da concentração de maltodextrina

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	47.17909	23.58954	397.7256 **
Resíduos	6	0.35587	0.05931	
Total	8	47.53496		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade;

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

Tabela B.7 - Análise de variância dos valores médios dos açúcares totais das formulações em função da concentração de maltodextrina

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	170.27796	85.13898	1260.4882 **
Resíduos	6	0.40527	0.06754	
Total	8	170.68322		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade;

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

Tabela B.8 - Análise de variância dos valores médios dos açúcares não-redutores das formulações em função da concentração de maltodextrina

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	49.24949	24.62474	341.1679 **
Resíduos	6	0.43307	0.07218	
Total	8	49.68256		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade;

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

Tabela B.9 - Análise de variância dos valores médios das cinzas das formulações em função da concentração de maltodextrina

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	0.00305	0.00152	74.4842 **
Resíduos	3	0.00006	0.00002	
Total	5	0.00311		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade;

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

Tabela B.10 - Análise de variância dos valores médios de atividade de água das formulações em função da concentração de maltodextrina

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	0,00019	0,00010	37,8696 **
Resíduos	6	0,00002	0,00000	
Total	8	0,00021		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade;

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

Tabela B.11 - Análise de variância dos valores médios de luminosidade (L*) das formulações em função da concentração de maltodextrina

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	20,20682	10,10341	8046,9646 **
Resíduos	6	0,00753	0,00126	
Total	8	20,21436		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade;

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

Tabela B.12 - Análise de variância dos valores médios da intensidade de vermelho (+a*) das formulações em função da concentração de maltodextrina

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	23,40927	11,70463	2119,5513 **
Resíduos	6	0,03313	0,00552	
Total	8	23,44240		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade;

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

Tabela B.13 - Análise de variância dos valores médios da intensidade de amarelo (+b*) das formulações em função da concentração de maltodextrina

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	34.31387	17.15693	3711.8365 **
Resíduos	6	0.02773	0.00462	
Total	8	34.34160		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade;

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

Tabela B.14 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente das formulações em função da concentração de maltodextrina

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Maltodextrina (F1)	2	279.62672	139.81336	2304.9926 **
Velocidade de rotação (F2)	7	7795.32304	1113.61758	18359.3347 **
Interação (F1xF2)	14	520.32271	37.16591	612.7250 **
Tratamentos	23	8595.272	373.70750	6161.0208 **
Resíduos	120	7.27881	0.06066	
Total	143	8602.55128		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade;

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

Tabela B.15 - Análise de variância das viscosidades aparentes, a 25 °C, da Formulação com 25% de maltodextrina, em função da velocidade de rotação

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão Linear	1	1007.35010	1007.35010	17373.1912 **
Regressão Quadrática	1	189.37101	189.37101	3265.9735 **
Regressão Cúbica	1	17.96165	17.96165	309.7743 **
Regressão de 4º Grau	1	1.70938	1.70938	29.4807 **
Regressão de 5º Grau	1	2.52264	2.52264	43.5066 **
Desvios	2	2.95528	1.47764	50.9680 **
Tratamentos	7	1221.87007	174.55287	3010.4135 --
Resíduos	40	2.31932	0.05798	
Total	47	1224.18939		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela B.16 - Análise de variância das viscosidades aparentes, a 25 °C, da Formulação com 30% de maltodextrina, em função da velocidade de rotação

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão Linear	1	2109.80421	2109.80421	45559.9867 **
Regressão Quadrática	1	498.47626	498.47626	10764.3030 **
Regressão Cúbica	1	48.64484	48.64484	1050.4569 **
Regressão de 4º Grau	1	0.36123	0.36123	7.8005 **
Regressão de 5º Grau	1	0.50588	0.50588	10.9242 **
Desvios	2	0.17233	0.08616	3.7213 *
Tratamentos	7	2657.96474	379.70925	8199.5990 --
Resíduos	40	1.85233	0.04631	
Total	47	2659.81707		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade; * significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela B.17 - Análise de variância dos valores médios das viscosidades aparentes, a 25 °C, da Formulação com 35% de maltodextrina em função da velocidade de rotação

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão Linear	1	3441.48611	3441.48611	44303.9684 **
Regressão Quadrática	1	892.81329	892.81329	11493.6311 **
Regressão Cúbica	1	94.63911	94.63911	1218.3365 **
Regressão de 4º Grau	1	0.53338	0.53338	6.8664 *
Regressão de 5º Grau	1	3.76099	3.76099	48.4171 **
Desvios	2	2.57806	1.28903	33.1887 **
Tratamentos	7	4435.81094	633.68728	8157.7726 --
Resíduos	40	3.10716	0.07768	
Total	47	4438.91810		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade; * significativo ao nível de 5% de probabilidade.

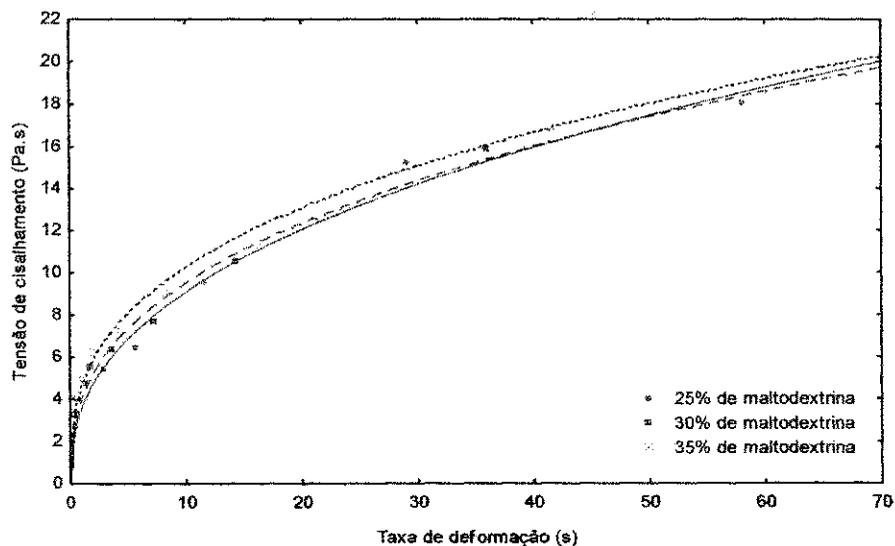


Figura B.1 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação das formulações da polpa de figo-da-índia com adição de diferentes concentrações de maltodextrina, na temperatura de 25 °C, pelo modelo de Ostwald-de-Waelle

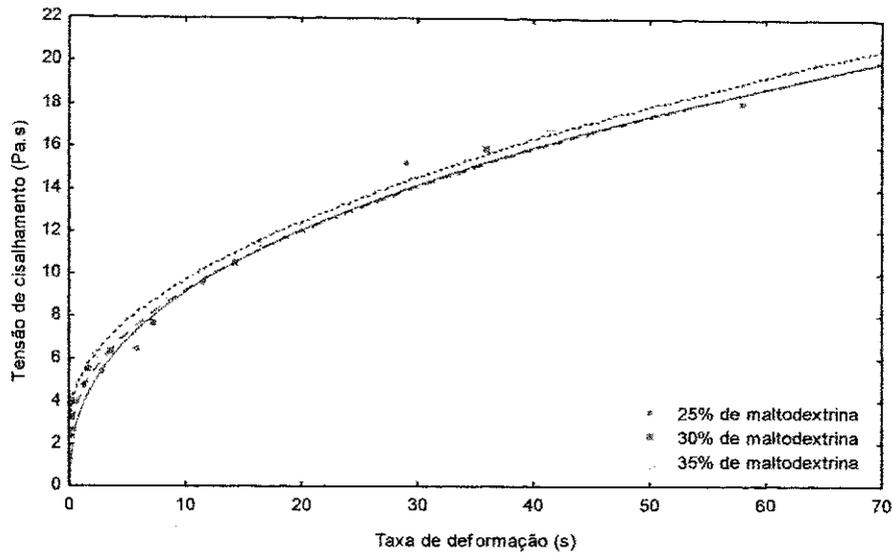


Figura B.2 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação das formulações da polpa de figo-da-índia com adição de diferentes concentrações de maltodextrina, na temperatura de 25 °C, pelo modelo de Herschel-Bulkley

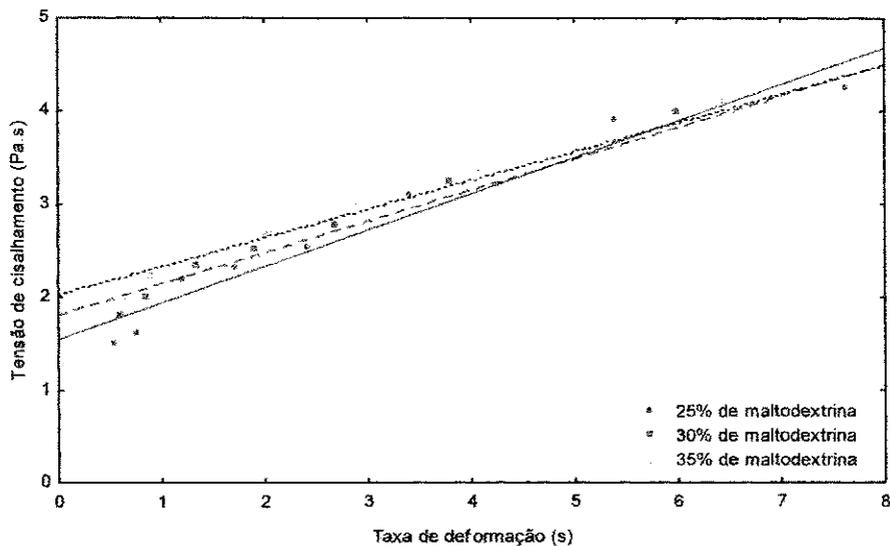


Figura B.3 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação das formulações da polpa de figo-da-índia com adição de diferentes concentrações de maltodextrina, na temperatura de 25 °C, pelo modelo de Casson

APÊNDICE C

Tabela C.1 - Valores médios da caracterização física, química e físico-química do figo-da-índia em pó do Tipo A obtido pelo processo de secagem por aspersão

Resposta	Experimento (n°)						
	1	2	3	4	5	6	7
Teor de água (% b.u.)	4,52 a	4,23 b	2,89 d	2,46 e	3,62 c	3,59 c	3,55 c
SST (°Brix)	21,50 b	18,00 c	24,83 a	23,16 ab	15,93 c	16,30 c	16,20 c
pH	5,25 a	4,63 d	4,86 c	5,28 a	5,03 b	5,05 b	5,04 b
ATT (% ácido cítrico)	0,42 bc	0,43 b	0,50 a	0,33 d	0,34 cd	0,36 bcd	0,34 cd
Açúcares redutores (% glicose)	18,25 cd	17,52 d	19,97 c	22,10 b	25,42 a	25,42 a	25,42 a
Açúcares totais (% glicose)	25,42 b	25,45 b	30,52 a	31,07 a	26,63 b	26,63 b	26,63 b
Açúcares não-redutores (% sacarose)	7,17 c	7,93 bc	10,55 a	8,96 ab	1,21 d	1,21 d	1,21 d
Cinzas (%)	1,24 b	1,24 b	1,51 a	0,85 c	1,16 b	1,20 b	1,25 b
Luminosidade (L*)	62,48 e	78,08 a	61,51 f	66,77 d	74,09 b	74,03 b	74,20 b
Intensidade de vermelho (+a*)	3,46 e	4,09 d	8,28 a	7,74 b	4,76 c	4,67 c	4,55 c
Intensidade de amarelo (+b*)	35,75 d	40,47 a	40,31 a	39,45 b	38,46 c	38,61 c	38,83 c
Atividade de água	0,21 e	0,33 a	0,25 b	0,21 de	0,23 c	0,23 c	0,22 c

Tabela C.2 - Valores médios da caracterização física, química e físico-química do figo-da-índia em pó do Tipo B obtido pelo processo de secagem por aspersão

Resposta	Experimento (n°)						
	1	2	3	4	5	6	7
Teor de água (% b.u.)	2,75 a	2,32 b	0,97 d	0,35 e	1,50 c	1,54 c	1,56 c
SST (°Brix)	23,16 a	18,00 b	24,00 a	23,16 a	16,20 b	16,13 b	16,20 b
pH	5,42 a	5,09 c	5,21 b	5,42 a	5,21 b	5,28 b	5,26 b
ATT (% ácido cítrico)	0,38 ab	0,30 bc	0,42 a	0,33 bc	0,28 c	0,30 bc	0,28 c
159 Açúcares redutores (% glicose)	19,08 c	17,13 d	22,10 b	22,70 b	25,42 a	25,42 a	25,42 a
Açúcares totais (% glicose)	29,43 c	28,45 d	32,89 a	31,07 b	32,89 a	32,89 a	32,89 a
Açúcares não-redutores (% sacarose)	10,34 a	10,32 a	10,79 a	8,36 b	7,47 b	7,47 b	7,47 b
Cinzas (%)	1,18 b	1,18 b	1,49 a	0,29 d	0,86 c	0,86 c	0,86 c
Luminosidade (L*)	75,09 f	87,12 c	83,25 d	76,45 e	90,70 a	90,84 a	90,82 a
Intensidade de vermelho (+a*)	2,36 c	2,33 c	10,74 a	3,16 b	0,84 e	0,85 e	0,82 e
Intensidade de amarelo (+b*)	29,57 b	28,23 c	35,36 a	25,74 d	29,84 b	29,80 b	29,85 b
Atividade de água	0,18 b	0,21 a	0,20 a	0,17 b	0,207 a	0,204 a	0,206 a

APÊNDICE D

Tabela D.1 - Análise de variância do teor de água do figo-da-índia em pó em função da temperatura e tempo de armazenamento sob atmosfera controlada (KCl)

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F1)	1	10,70107	10,70107	257,9805 **
Tempo (F2)	4	216,94424	54,23606	1307,5178 **
Interação (F1xF2)	4	4,28309	1,07077	25,8141 **
Tratamentos	9	231,92841	25,76982	621,2564 **
Resíduos	80	3,31841	0,04148	
Total	89	235,24682		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; * significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns não significativo
G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste

Tabela D.2 - Análise de variância da atividade de água do figo-da-índia em pó em função da temperatura e tempo de armazenamento sob atmosfera controlada (KCl)

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F1)	1	0,00382	0,00382	13,5130 **
Tempo (F2)	4	0,09628	0,02407	85,2457 **
Interação (F1xF2)	4	0,00223	0,00056	1,9741 ns
Tratamentos	9	0,10232	0,01137	40,2658 **
Resíduos	80	0,02259	0,00028	
Total	89	0,12491		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; * significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns não significativo
G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste

Tabela D.3 - Análise de variância da acidez total titulável do figo-da-índia em pó em função da temperatura e tempo de armazenamento sob atmosfera controlada (KCl)

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F1)	1	0,00149	0,00149	2.4516 ns
Tempo (F2)	4	0,02408	0,00602	9.8895 **
Interação (F1xF2)	4	0,00920	0,00230	3.7786 **
Tratamentos	9	0,03478	0,00386	6.3471 **
Resíduos	80	0,04870	0,00061	
Total	89	0,08348		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; * significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns não significativo
G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste

Tabela D.4 - Análise de variância da luminosidade do figo-da-índia em pó em função da temperatura e tempo de armazenamento sob atmosfera controlada (KCI)

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F1)	1	0.09539	0.09539	0.1042 ns
Tempo (F2)	4	250.33485	62.58371	68.3461 **
Interação (F1xF2)	4	10.04253	2.51063	2.7418 *
Tratamentos	9	260.4727	28.94142	31.6062 **
Resíduos	80	73.25504	0.91569	
Total	89	333.72781		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; * significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns não significativo
G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste

Tabela D.5 - Análise de variância da intensidade de vermelho do figo-da-índia em pó em função da temperatura e tempo de armazenamento sob atmosfera controlada (KCI)

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F1)	1	0.44944	0.44944	1.7886 ns
Tempo (F2)	4	17.06061	4.26515	16.9738 **
Interação (F1xF2)	4	3.79499	0.94875	3.7757 **
Tratamentos	9	21.30504	2.36723	9.4207 **
Resíduos	80	20.10224	0.25128	
Total	89	41.40729		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; * significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns não significativo
G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste

Tabela D.6 - Análise de variância da intensidade de amarelo do figo-da-índia em pó em função da temperatura e tempo de armazenamento sob atmosfera controlada (KCl)

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F1)	1	1.16736	1.16736	1.4412 ns
Tempo (F2)	4	71.47098	17.86775	22.0597 **
Interação (F1x F2)	4	11.88857	2.97214	3.6694 **
Tratamentos	9	84.52691	9.39188	11.5953 **
Resíduos	80	64.79773	0.80997	
Total	89	149.32465		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; * significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns não significativo
G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste

Tabela D.7 - Análise de variância do teor de água em função do tempo de armazenamento da Formulação com 35% de maltodextrina, a 25 °C

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão Linear	1	80,95922	80,95922	3908,3874 **
Regressão Quadrática	1	0,18044	0,18044	8,7110 **
Regressão Cúbica	1	0,16684	0,16684	8,0544 **
Regressão de 4º Grau	1	0,18072	0,18072	8,7244 **
Tratamentos	4	81,48722	20,37180	983,4693
Resíduos	40	0,82857	0,02071	
Total	44	82,31579		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; * significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns não significativo
G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste

Tabela D.8 - Análise de variância do teor de água em função do tempo de armazenamento da Formulação com 35% de maltodextrina, a 40 °C

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão Linear	1	134.39923	134.39923	1762.2105 **
Regressão Quadrática	1	0.23937	0.23937	3.1386 ns
Regressão Cúbica	1	0.00375	0.00375	0.0492 ns
Regressão de 4º Grau	1	0.35920	0.35920	4.7098 *
Tratamentos	4	135.00155	33.75039	442.5270
Resíduos	40	3.05070	0.07627	
Total	44	138.05225		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; * significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns não significativo
G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste

Tabela D.9 - Análise de variância da atividade de água em função do tempo de armazenamento da Formulação com 35% de maltodextrina, a 25 °C

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão Linear	1	0,04761	0,04761	111,0337 **
Regressão Quadrática	1	0,00405	0,00405	9,4359 **
Regressão Cúbica	1	0,00000	0,00000	0,0006 *
Regressão de 4º Grau	1	0,00000	0,00000	0,0089 ns
Tratamentos	4	0,05166	0,01292	30,1198 --
Resíduos	40	0,01715	0,00043	
Total	44	0,06881		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; * significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns não significativo
G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste

Tabela D.10 - Análise de variância da atividade de água em função do tempo de armazenamento da Formulação com 35% de maltodextrina, a 40 °C

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão Linear	1	0,04642	0,04642	341,5160 **
Regressão Quadrática	1	0,00000	0,00000	0,0009 *
Regressão Cúbica	1	0,00023	0,00023	1,6716 ns
Regressão de 4º Grau	1	0,00020	0,00020	1,4717 ns
Tratamentos	4	0,04685	0,01171	86,1650 --
Resíduos	40	0,00544	0,00014	
Total	44	0,05229		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; * significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns não significativo
G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste

Tabela D.11 - Análise de variância da intensidade de vermelho (+a*) em função do tempo de armazenamento da Formulação com 35% de maltodextrina, a 25 °C

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão Linear	1	7,79100	7,79100	20,8776 **
Regressão Quadrática	1	2,07772	2,07772	5,5677 *
Regressão Cúbica	1	3,95222	3,95222	10,5908 **
Regressão de 4º Grau	1	0,72150	0,72150	1,9334 ns
Tratamentos	4	14,54244	3,63561	9,7424 --
Resíduos	40	14,92702	0,37318	
Total	44	29,46946		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; * significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns não significativo
G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste

Tabela D.12 - Análise de variância da intensidade de amarelo (+b*) em função do tempo de armazenamento da Formulação com 35% de maltodextrina, a 25 °C

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão Linear	1	1,11111	1,11111	1,0742 ns
Regressão Quadrática	1	16,05715	16,05715	15,5231 **
Regressão Cúbica	1	21,26736	21,26736	20,5600 **
Regressão de 4º Grau	1	17,70392	17,70392	17,1151 **
Tratamentos	4	56,13954	14,03489	13,5681 --
Resíduos	40	41,37618	1,03440	
Total	44	97,51572		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; * significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns não significativo
G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste

Tabela D.13 - Análise de variância da intensidade de amarelo (+b*) em função do tempo de armazenamento da Formulação com 35% de maltodextrina, a 40 °C

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão Linear	1	6,74041	6,74041	11,2556 **
Regressão Quadrática	1	14,69509	14,69509	24,5389 **
Regressão Cúbica	1	5,67009	5,67009	9,4683 **
Regressão de 4º Grau	1	0,02452	0,02452	0,0409 ns
Tratamentos	4	27,13010	6,78253	11,3259 --
Resíduos	40	23,95396	0,59885	
Total	44	51,08406		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; * significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns não significativo
G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste

APÊNDICE E

Tabela E.1 – Valores médios do teor de água de equilíbrio do Experimento nº 4 (35% de maltodextrina – DE = 10; temperatura do ar de secagem = 190 °C)

a_w	Xeq (% b.s.)
0,311	2,449
0,434	3,096
0,465	3,811
0,505	4,526
0,535	5,310
0,550	6,501
0,573	7,353
0,609	10,179
0,629	11,235
0,656	12,973
0,691	15,493
0,717	16,753
0,740	18,116
0,761	19,512
0,877	36,166
0,889	41,955
0,913	49,994

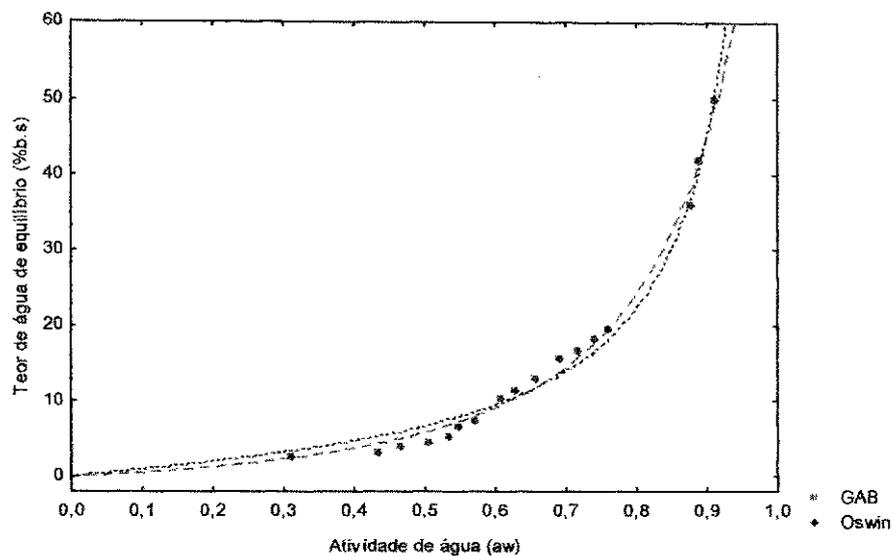


Figura E.1 – Isoterma de adsorção de água a 25 °C, da amostra em pó do Experimento nº 4 (35% de maltodextrina – DE = 10; temperatura do ar de secagem = 190 °C), com ajuste pelo modelo de GAB e de Oswin