



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS**

FRANCISCA DE OLIVEIRA ROCHA

**SECAGEM DE POLPA DE MANGA (*Mangifera indica*, L.) CV. PALMER EM *SPRAY-
DRYER*: CONDIÇÕES DE SECAGEM E ESTABILIDADE**

**FORTALEZA
2017**

FRANCISCA DE OLIVEIRA ROCHA

SECAGEM DE POLPA DE MANGA (*Mangifera indica*, L.) CV. PALMER EM *SPRAY-DRYER*: CONDIÇÕES DE SECAGEM E ESTABILIDADE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de concentração: Ciência e Tecnologia de produtos de origem vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso.

Co - orientador: Prof. Dr. José Maria Correia da Costa.

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- R573s Rocha, Francisca de Oliveira.
Secagem de polpa de manga (*Mangifera indica*, L.) cv. Palmer em spray-dryer : condições de secagem e estabilidade / Francisca de Oliveira Rocha. – 2017.
160 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso.
Coorientação: Prof. Dr. José Maria Correia da Costa.
1. Manga. 2. Spray-dryer. 3. Estabilidade do pó. I. Título.

CDD 664

FRANCISCA DE OLIVEIRA ROCHA

SECAGEM DE POLPA DE MANGA (*Mangifera indica*, L.) CV. PALMER EM *SPRAY-DRYER*: CONDIÇÕES DE SECAGEM E ESTABILIDADE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de concentração: Ciência e Tecnologia de produtos de origem vegetal.

Aprovado em: 26/04/2017

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso (Orientador)
Departamento de Engenharia de Alimentos - CCA - UFC

Profa. Dra. Juliane Doering Gasparin Carvalho
Departamento de Engenharia de Alimentos - CCA - UFC

Profa. Dra. Andréa Cardoso de Aquino
Departamento de Engenharia de Alimentos - CCA - UFC

Pesquisador Dr. Nedio Jair Wurlitzer
Embrapa Agroindústria Tropical

Profa. Dra. Kaliana Sitonio Eça
Departamento de Engenharia de Alimentos - CCA - UFC

A Deus,

A minha família, em especial a mulher mais notável que já conheci Maria José (*Mazé*), minha amada mãe, a quem devo tudo que sou. Amiga e conselheira para todas as horas, que me apoia nos momentos mais difíceis de minha vida, estando presente nas conquistas e nas angústias dessa caminhada chamada vida. Ao meu pai Jorge de Oliveira (*in memoriam*) que sempre zelou pela educação e caráter dos filhos, infelizmente partiu não tendo tempo de ver a filha mestra, com toda minha admiração, gratidão e orgulho. Dedico!

AGRADECIMENTOS

De uma forma bem singela

E de maneira bem fiel

Resolvi agradecer

Em verso de cordel

Eu sei que aqui me compete

Um pouco de formalidade

Mais vejo no cordel

Uma singularidade

A deus todo poderoso

Nosso criador

Agradeço pela graça

Das vitórias que me possibilitou

Ao Dr. Marcos meu orientador

Tenho imensa admiração

Pelos ensinamentos passados

Devo-lhe eterna gratidão

Ao meu Co-orientador

O Dr. José Maria

Me forneceu todas as condições

Na pesquisa que se desenvolvia

Pelo apoio financeiro

Quero a CAPES agradecer

Pois sem a bolsa

Não teria como me manter

Aos meus pais, minha família

O meu bem mais importante

Se cheguei a onde estou

Foi pelo apoio incessante

No LACONSA encontrei

Não apenas equipamentos

Mais colegas dispostos

A dividir ensinamentos

A Neliane, Brena e Jaiana

Pela caminhada amenizar

Pelas conversas e conselhos

E angústias a partilhar

A Ana e a Lívia

Colegas de apartamento

Acompanharam as alegrias

E também os meus lamentos

Ao Seu Luís

Também quero agradecer

Que em sua morada

Deus possa lhe receber

A banca aqui presente

Com suas sugestões

O meu muito obrigada

Por suas correções

Aos que não citei em verso

Não foi por esquecimento

Foi apenas por medo

De um alongamento

Mas quero registrar

A minha gratidão

Por todos que contribuíram

Nessa minha formação.

Trem bala

Não é sobre chegar no topo do mundo
E saber que venceu
É sobre escalar e sentir
Que o caminho te fortaleceu
É sobre ser abrigo
E também ter morada em outros corações
E assim ter amigos contigo
Em todas as situações

A gente não pode ter tudo
Qual seria a graça do mundo se fosse assim?
Por isso, eu prefiro sorrisos
E os presentes que a vida trouxe
Pra perto de mim

Não é sobre tudo que o seu dinheiro
É capaz de comprar
E sim sobre cada momento
Sorrindo a se compartilhar
Também não é sobre correr
Contra o tempo pra ter sempre mais
Porque quando menos se espera
A vida já ficou pra trás

Segura teu filho no colo
Sorria e abraça teus pais
Enquanto estão aqui
Que a vida é trem-bala, parceiro
E a gente é só passageiro prestes a partir

RESUMO

A manga é uma fruta tipicamente tropical que caiu no gosto do consumidor brasileiro. A variedade Palmer, é bem aceita no mercado interno, por apresentar frutos grandes, aromáticos e ausência de fibras. O objetivo desta pesquisa foi a obtenção do pó da polpa de manga cv. Palmer através da desidratação em *spray-dryer*, bem como realizar o estudo das condições de secagem, parâmetros de qualidade e estabilidade do produto. Para isso, realizou-se a caracterização da polpa, seguida da análise da influência da concentração de maltodextrina (%) e da temperatura do ar de secagem (°C) sobre a umidade (%), higroscopicidade, rendimento (%) e cor (L^* , a^* , b^*), através de um planejamento experimental (DCCE). No pó foi realizada caracterização física, físico-química e morfológica. Determinou-se as isotermas de adsorção nas temperaturas de 25, 35 e 45°C. Também avaliou-se a estabilidade do pó por um período de 90 dias, em quatro condições de armazenamento: embalagem laminada com e sem vácuo, e de polietileno com e sem vácuo. Os resultados revelaram que os parâmetros físico-químicos da polpa in natura estão de acordo com a legislação para polpa de frutas com exceção para acidez, as melhores condições de secagem para polpa de manga cv. Palmer e com adição de 30% de maltodextrina desidratado a uma temperatura de 150°C. No pó de manga com 30% de maltodextrina desidratado a 150°C, verificou-se aumento do °Brix, dos açúcares totais e redutores, bem como uma redução no conteúdo de ácido ascórbico, carotenoides, umidade e atividade de água. O aumento da concentração do adjuvante maltodextrina propiciou pós com menor ângulo de fricção da parede, maior facilidade de escoamento, maiores densidades aparentes, partículas maiores e mais dispersas entre si. O modelo de GAB foi o que melhor ajustou os dados experimentais das isotermas dos pós de manga com 10, 20 e 30% de maltodextrina nas temperaturas de 25, 35 e 45°C. O estudo da estabilidade mostrou que a embalagem laminada a vácuo foi mais eficiente contra o ganho de umidade, ofertando maior barreira ao vapor de água e maior retenção da cor. Concluiu-se que concentração de maltodextrina influenciou nas características físicas, físico-químicas e morfológicas do pó de manga, o processo de desidratação em *spray-dryer* resultou na perda de nutrientes como ácido ascórbico e carotenoides, o pó de manga conservou-se bem durante os 90 dias da estabilidade, sendo a embalagem laminada a vácuo a mais recomendada para seu armazenamento.

Palavras-chave: Manga. *Spray-dryer*. Estabilidade do pó.

ABSTRACT

The mango is a typically tropical fruit that has fallen in the taste of the Brazilian consumer. The Palmer variety is well accepted in the intern market because it has large, aromatic fruits and no fiber. The objective of this research was to obtain powder of mango pulp cv. Palmer through spray-dryer dehydration, as well as perform the study of drying conditions, quality parameters and product stability. For this, the pulp characterization was carried out, followed by the analysis of the influence of the maltodextrin concentration (%) and drying air temperature (°C) on the humidity (%), hygroscopicity, yield (%) and color (L^* , a^* , b^*), through an experimental planning (DCCE). Physical, physical-chemical and morphological characterization were performed in the powder. The adsorption isotherms were determined at temperatures of 25, 35 and 45°C. The stability of the powder was also evaluated for a period of 90 days under four storage conditions: laminated packaging with and without vacuum, and polyethylene with and without vacuum. The results revealed that the physico-chemical parameters of fresh pulp are in accordance with the legislation for fruit pulp except for acidity, the best drying conditions for mango pulp cv. Palmer and with addition of 30% dehydrated maltodextrin at a temperature of 150 °C. In the mango powder with 30% maltodextrin dehydrated at 150 °C, there was an increase of °Brix, of the total and reducing sugars, as well as a reduction in the content of ascorbic acid, carotenoids, moisture and water activity. The increased concentration of the adjuvant maltodextrin provided powders with lower wall friction angle, greater ease of flow, higher apparent densities, larger particles and more dispersed with each other. The GAB model was the one that better adjusted the experimental data of the isotherms of the mango powders with 10, 20 and 30% of maltodextrin at temperatures of 25, 35 and 45°C. The stability study showed that vacuum-laminated packaging was more efficient against moisture gain, offering a greater barrier to water vapor and greater color retention. It was concluded that maltodextrin concentration influenced the physical, physical-chemical and morphological characteristics of mango powder, the spray-dryer dehydration process resulted in the loss of nutrients such as ascorbic acid and carotenoids, mango powder remained well during the 90 days of stability, with the laminated vacuum packaging being the most recommended for storage.

Keywords: Mango. Spray-dryer. Powder stability.

LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1 – Tensão inconfina de deslizamento (σ_c) em função da tensão principal de consolidação (σ_1) dos pós de manga com diferentes concentrações de maltodextrina	90
Gráfico 2 – Densidade aparente dos pós de manga com diferentes concentrações de maltodextrina, em função da tensão principal de consolidação (σ_1)	91
Gráfico 3 – Ângulo de fricção dos pós de manga com diferentes concentrações de maltodextrina	92
Gráfico 4 – Comportamento da umidade do pó de manga durante o armazenamento de 90 dias	107
Gráfico 5 – Comportamento da a_w do pó de manga durante o armazenamento de 90 dias	109
Gráfico 6 – Comportamento da solubilidade do pó de manga durante o armazenamento de 90 dias	111
Gráfico 7 – Comportamento da higroscopicidade do pó de manga durante o estudo da estabilidade	113
Gráfico 8 – Grau de <i>caking</i> do pó de manga durante o armazenamento de 90 dias	115
Gráfico 9 – Comportamento do ácido ascórbico do pó de manga durante os 90 dias de armazenamento	118
Gráfico 10 – Sólidos solúveis totais do pó de manga durante os 90 dias de armazenamento	120
Gráfico 11 – Comportamento da luminosidade do pó de manga durante os 90 dias de armazenamento	123
Gráfico 12 – Comportamento da coordenada a^* do pó de manga durante o estudo da estabilidade	126
Gráfico 13 – Comportamento da coordenada b^* do pó de manga durante o estudo da estabilidade	128

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 – Manga da variedade Palmer	18
Figura 2 – Curvas de secagem	29
Figura 3 – Representação esquemática do <i>spray-dryer</i>	32
Figura 4 – Formação da partícula de pó na secagem por atomização	33
Figura 5 – Fotomicrografias de produto seco de <i>Maytenus ilicifolia</i> em aumento de 3000 x	34
Figura 6 – Alterações que ocorrem durante o processo de <i>caking</i>	36
Figura 7 – Classificação das isotermas	40
Figura 8 – Isoterma de sorção de água de um alimento	41
Figura 9 – Histerese de uma isoterma	43
Figura 10 – Coordenadas do sistema CIE L*a*b* de cor	55
Figura 11 – <i>Powder Flow Tester</i>	57
Figura 12 – Embalagens testadas na estabilidade do pó de manga: plástica (a); laminada (b)	62
Figura 13 – Polpa de manga cv. Palmer	67
Figura 14 – Curva de contorno do rendimento do pó de manga obtido em <i>spray-dryer</i> .	71
Figura 15 – Curva de contorno para variável umidade do pó de manga obtido em <i>spray-dryer</i>	74
Figura 16 – Curva de contorno para variável higroscopicidade do pó de manga obtido em <i>spray-dryer</i>	78
Figura 17 – Pó de manga obtido por desidratação em <i>spray-dryer</i>	88
Figura 18 – Isotermas de adsorção dos pós de manga, com 10, 20 e 30% de maltodextrina na temperatura de 25°C, ajustadas pelo modelo de GAB	99

Figura 19 – Isotermas de adsorção dos pós de manga, com 10, 20 e 30% de maltodextrina na temperatura de 35°C, ajustadas pelo modelo de GAB	99
Figura 20 – Isotermas de adsorção dos pós de manga, com 10, 20 e 30% de maltodextrina na temperatura de 45°C, ajustadas pelo modelo de GAB	100
Figura 21 – Isotermas de adsorção dos pós de manga com 10% de maltodextrina, nas temperaturas de 25, 35 e 45°C, ajustadas pelo modelo de GAB	101
Figura 22 – Isotermas de adsorção dos pós de manga com 20% de maltodextrina, nas temperaturas de 25, 35 e 45°C, ajustadas pelo modelo de GAB	101
Figura 23 – Isotermas de adsorção dos pós de manga com 30% de maltodextrina, nas temperaturas de 25, 35 e 45°C, ajustadas pelo modelo de GAB	102
Figura 24 – Micrografias da maltodextrina: (a, b, c); pó de manga com 10% de maltodextrina: (d, e, f); pó de manga com 20% de maltodextrina: (g, h, i); pó de manga com 30% de maltodextrina: (j, l, m), nas respectivas magnitudes 1000 x; 2000 x e 5000 x	104
Figura 25 – Micrografias do pó de manga cv. Carabao: g) magnitude 100 x; h) magnitude 300 x	106
Figura 26 – Cor do pó de manga nas diferentes condições de armazenamento estudadas	122
Figura 27 – Superfície de resposta do rendimento do pó de manga obtido em <i>spray-dryer</i>	147
Figura 28 – Superfície de resposta para variável umidade do pó de manga obtido em <i>spray-dryer</i>	148
Figura 29 – Superfície de resposta para variável higroscopicidade do pó de manga obtido em <i>spray-dryer</i>	148

LISTA DE TABELA

	Pág.
Tabela 1 – Produção de diferentes frutas frescas no Ceará em 2011	17
Tabela 2 – Produção de manga nas diferentes regiões do Brasil em 2012	21
Tabela 3 – Características da polpa de manga, segundo diversos autores	24
Tabela 4 – Parâmetros de identidade e qualidade para polpa de manga	25
Tabela 5 – Níveis do planejamento da polpa de manga para secagem em <i>spray-dryer</i> .	52
Tabela 6 – Planejamento Fatorial completo 2 ² mais pontos axiais	53
Tabela 7 – Soluções salinas para elaboração das isotermas de sorção	58
Tabela 8 – Modelos matemáticos usados para o ajuste dos dados experimentais das isotermas de adsorção	60
Tabela 9 – Características físicas e físico-químicas da polpa de manga variedade Palmer	63
Tabela 10 – Resultados do planejamento experimental para secagem de polpa de manga cv. Palmer em <i>spray-dryer</i>	68
Tabela 11 – Efeito da adição de maltodextrina e temperatura do ar de secagem no rendimento de secagem de polpa de manga em <i>spray-dryer</i>	69
Tabela 12 – Análise de variância do modelo de regressão para a variável rendimento	70
Tabela 13 – Efeito da adição de maltodextrina e temperatura do ar de secagem na umidade do pó de manga obtido em <i>spray-dryer</i>	72
Tabela 14 – Análise de variância do modelo de regressão para a variável umidade	73
Tabela 15 – Efeito das variáveis maltodextrina e temperatura do ar de secagem na higroscopicidade do pó de manga obtido em <i>spray-dryer</i>	76
Tabela 16 – Análise de variância do modelo de regressão para a variável higroscopicidade	77

Tabela 17 – Efeito das variáveis maltodextrina e temperatura do ar de secagem sobre a coordenada L* (luminosidade) do pó de manga obtido em <i>spray-dryer</i>	79
Tabela 18 – Efeito das variáveis maltodextrina e temperatura do ar de secagem sobre a coordenada a* (intensidade de verde) do pó de manga obtido em <i>spray-dryer</i>	80
Tabela 19 – Análise de variância do modelo de regressão para a coordenada da cor a* .	80
Tabela 20 – Efeito das variáveis maltodextrina e temperatura do ar de secagem sobre a coordenada b* (intensidade de amarelo) do pó de manga obtido em <i>spray-dryer</i>	81
Tabela 21 – Análise de variância do modelo de regressão para a coordenada da cor b* .	82
Tabela 22 – Caracterização física e físico-química da melhor condição de secagem	84
Tabela 23 – Tensão principal de consolidação e tensão inconfineda de deslizamento dos pós de manga com 10, 20 e 30% de maltodextrina	89
Tabela 24 – Resultados dos ajustes dos modelos matemáticos para as isotermas de adsorção dos pós de manga obtidos em <i>spray-dryer</i>	94
Tabela 25 – Influência do tempo e da embalagem na umidade do pó de manga	149
Tabela 26 – Influência do tempo e da embalagem na atividade de água (a_w) do pó de manga	149
Tabela 27 – Influência do tempo e da embalagem na solubilidade do pó de manga	150
Tabela 28 – Influência do tempo e da embalagem na higroscopicidade do pó de manga	150
Tabela 29 – Influência do tempo e da embalagem no grau de <i>caking</i> do pó de manga	151
Tabela 30 – Influência do tempo e da embalagem no ácido ascórbico do pó de manga ..	151
Tabela 31 – Influência do tempo e da embalagem nos sólidos solúveis do pó de manga	152
Tabela 32 – Influência do tempo e da embalagem na coordenada L* (luminosidade) do pó de manga	152
Tabela 33 – Influência do tempo e da embalagem na intensidade de verde (a*) do pó de manga	153

Tabela 34 – Influência do tempo e da embalagem na intensidade de amarelo (b*) do pó de manga	153
---	-----

SUMÁRIO

	Pág.
1	INTRODUÇÃO 12
2	OBJETIVOS 14
2.1	Objetivo geral 14
2.2	Objetivos específicos 14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 15
3.1	Panorama da cadeia produtiva de frutas 15
3.2	Manga (<i>Mangifera indica</i>, L.) 17
3.2.1	<i>Características físicas, físico-químicas e nutricionais da manga</i> 22
3.2.2	<i>Produtos da manga</i> 24
3.3	Secagem de alimentos 26
3.3.1	<i>Secagem por aspersão em spray-dryer</i> 30
3.4	Características dos pós de frutas 35
3.5	Adjuvantes de secagem e a maltodextrina 37
3.6	Isotermas de sorção 39
3.6.1	<i>Modelo de BET</i> 44
3.6.2	<i>Modelo de GAB</i> 45
3.6.3	<i>Modelo de HENDERSON</i> 47
3.6.4	<i>Modelo de OSWIN</i> 48
4	MATERIAL E MÉTODOS 50
4.1	Material 50
4.2	Métodos 50
4.2.1	<i>Caracterização físico-química da polpa de manga</i> 50
4.2.2	<i>Secagem da polpa de manga</i> 51
4.2.2.1	<i>Planejamento experimental (DCCE)</i> 52
4.2.2.2	<i>Rendimento de secagem</i> 53
4.2.3	<i>Caracterização física e físico-química do pó na condição de secagem escolhida</i> 54
4.2.4	<i>Análises físicas</i> 54
4.2.4.1	<i>Cor</i> 54
4.2.4.2	<i>Análise de higroscopicidade</i> 55

4.2.4.3	<i>Grau de Caking</i>	56
4.2.4.4	<i>Solubilidade</i>	56
4.2.4.5	<i>Propriedades reológicas do pó</i>	57
4.2.5	<i>Determinação das isotermas de adsorção dos pós</i>	58
4.2.5.1	<i>Umidade de equilíbrio</i>	59
4.2.5.2	<i>Modelos matemáticos</i>	59
4.2.6	<i>Análise Morfológica do pó</i>	61
4.2.7	<i>Avaliação da estabilidade do pó de manga</i>	61
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
5.1	Caracterização da polpa de manga (<i>Mangifera indica</i>, L.)	63
5.2	Resultados do planejamento experimental	67
5.2.1	<i>Resultados para rendimento, umidade, higroscopicidade e cor</i>	67
5.2.1.1	<i>Rendimento</i>	67
5.2.1.2	<i>Umidade</i>	72
5.2.1.3	<i>Higroscopicidade</i>	75
5.2.1.4	<i>Cor</i>	78
5.2.1.4.1	Coordenada L* (Luminosidade)	78
5.2.1.4.2	Coordenada a* (Intensidade de verde)	79
5.2.1.4.3	Coordenada b* (Intensidade de amarelo)	81
5.2.2	<i>Condição de secagem escolhida para avaliação da estabilidade do pó de manga</i>	82
5.3	Caracterização física e físico-química da melhor condição de secagem	83
5.4	Propriedades reológicas dos pós	88
5.5	Isotermas de adsorção dos pós de manga	93
5.6	Análise Morfológica dos pós de manga	103
5.7	Estabilidade do pó de manga obtido em <i>spray-dryer</i>	106
5.7.1	<i>Umidade</i>	106
5.7.2	<i>Atividade de água (a_w)</i>	109
5.7.3	<i>Solubilidade</i>	111
5.7.4	<i>Higroscopicidade</i>	113
5.7.5	<i>Grau de Caking</i>	115
5.7.6	<i>Ácido Ascórbico (AA)</i>	117
5.7.7	<i>Sólidos Solúveis Totais ($^{\circ}$Brix)</i>	120

5.7.8	Cor	122
5.7.8.1	<i>Coordenada L* (Luminosidade)</i>	123
5.7.8.2	<i>Coordenada a* (Intensidade de verde)</i>	125
5.7.8.3	<i>Coordenada b* (Intensidade de amarelo)</i>	127
6	CONCLUSÕES	131
	REFERÊNCIAS	132
	APÊNDICE A – SUPERFÍCIES DE RESPOSTA DAS VARIÁVEIS DEPENDENTES DO PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL, DO PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO DE POLPA DE MANGA CV. PALMER EM <i>SPRAY-DRYER</i>	147
	APÊNDICE B – TABELAS DOS RESULTADOS DO ESTUDO DA ESTABILIDADE DO PÓ DE MANGA OBTIDO EM <i>SPRAY-DRYER</i>, EM FUNÇÃO DO TEMPO E CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO	149

1 INTRODUÇÃO

Segundo dados do Anuário Brasileiro de Fruticultura (2015) o Brasil é o terceiro colocado no ranking das principais nações produtoras de fruta, ficando atrás apenas da China e da Índia. Destaque deve ser dado para o Nordeste brasileiro devido sua posição geográfica e condições climáticas, concentra os principais estados produtores e exportadores de fruta, que são Bahia, Pernambuco, Ceará e Rio Grande do Norte.

A manga é uma fruta tipicamente tropical que caiu no gosto do consumidor brasileiro, sendo requisitada com frequência e tornando-se a segunda fruta mais exportada pelo país. As características nutricionais, bem como, tamanho, rendimento da polpa e teor de fibras é variável, depende de fatores como solo, manejo e sobretudo a variedade do fruto. A variedade de manga Palmer, é bem aceita no mercado interno, ganhando a preferência do consumidor por apresentar frutos grandes, aromáticos, polpa firme amarelada, sabor doce acentuado, caroço pequeno, o que garante um maior rendimento de polpa e ausência de fibras.

Um fator limitante a comercialização da manga, tanto no mercado externo quanto interno, é sua alta perecibilidade, característica comum às frutas tropicais. Consumida em sua grande maioria na forma in natura, não tem suas tecnologias totalmente exploradas, logo o aumento na industrialização solucionaria os problemas de perdas na pós-colheita e ao longo da cadeia produtiva, ofertando ao consumidor uma maior variedade de produtos, além de agregar valor à matéria-prima.

A desidratação da manga apresenta-se como uma excelente alternativa, tendo como vantagem a vida útil prolongada, redução de peso e volume, tornando mais econômico sua embalagem, transporte, armazenamento e conservação, além de dispensar armazenamento sob temperaturas de refrigeração ou congelamento, o produto conserva-se a temperatura ambiente. A manga em pó, pode ser utilizada para reconstituição de sucos, em produtos de confeitaria, barras de cereais e etc. Segundo Favero (2008) trata-se de um suco sob o estado sólido em pó, obtido pela desidratação do suco integral, e pode ser comercializado com a denominação de suco integral desidratado. Apresentando-se como mais um incremento nas possibilidades de exportação do país.

A secagem é um dos métodos mais antigos, empregado pelo homem, na conservação de alimentos. O equipamento mais importante para a desidratação de alimentos

líquidos com ar quente é o secador atomizador (ORDOÑEZ, 2005), também conhecido como *spray-dryer*. A desidratação de frutas em *spray-dryer* resulta em pós com alta concentração da fruta, conservando as características naturais da mesma. A principal conveniência é a disponibilidade do produto em qualquer época do ano.

Encontra-se na literatura diversos trabalhos a respeito das características da polpa de manga, mas poucos tratam da obtenção do pó da fruta. De acordo com Gomes; Figueirêdo e Queiroz (2002) o pó produzido pela secagem resulta em um material com características peculiares, diferentes daquelas próprias da polpa líquida. Dentre as análises que podem determinar as propriedades dos pós temos, teor de umidade, pH, acidez, açúcares, higroscopicidade, grau de *caking*, isotermas de adsorção/dessorção, entre outros. Essas análises são importantes, pois irão definir condições e etapas do processamento, embalagem e armazenamento do pó.

É notório a mudança nos hábitos alimentares da população em virtude da busca incessante por alimentos mais saudáveis, mais práticos, de fácil uso e porções variadas. Nesse contexto, os alimentos em pó vêm ganhando espaço no mercado, os sucos e polpas de fruta em pó, são alternativas para o aproveitamento do excedente da produção, bem como, o fornecimento ao consumidor de um produto de qualidade a qualquer época do ano. Diante do exposto, objetivou-se neste trabalho a produção do pó da polpa de manga da variedade Palmer utilizando o processo de desidratação em *spray-dryer*, bem como avaliar condições de secagem, parâmetros de qualidade e estabilidade.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a secagem de polpa de manga da variedade Palmer através do processo de desidratação por aspersão (*spray-dryer*).

2.2 Objetivos específicos

- a) Realizar a caracterização físico-química da polpa de manga cv. Palmer;
- b) Avaliar a influência da temperatura do ar de secagem e da concentração do adjuvante maltodextrina no rendimento, umidade, higroscopicidade e nas coordenadas da cor do pó de manga obtido em *spray-dryer*;
- c) Caracterizar os pós obtidos através das análises físicas, físico-químicas e morfológicas;
- d) Avaliar o ajuste dos modelos matemáticos de GAB, BET, Henderson e Oswin, das isotermas dos pós de manga com 10, 20 e 30% de maltodextrina, nas temperaturas de 25, 35 e 45°C;
- e) Avaliar a estabilidade dos pós de manga no período de armazenagem de 90 dias, em quatro condições de armazenamento.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Panorama da cadeia produtiva de frutas

O mundo todo produz anualmente mais de 800 milhões de toneladas de frutas. O Brasil é o terceiro colocado no ranking das principais nações produtoras. Está atrás apenas da China e da Índia, respectivamente (ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA, 2015). Com suas dimensões continentais e variedade de clima, o Brasil é capaz de produzir ampla diversidade de frutas no tempo e no espaço, sejam frutas temperadas, subtropicais e tropicais, embora haja especialização regional (ADECE, 2013). De acordo com os dados do IBRAF (2013) a cadeia produtiva das frutas em 2012 destacou-se como um dos mais importantes segmentos econômicos do agronegócio brasileiro em constante evolução, a base agrícola já ultrapassou 2,2 milhões de hectares cultivados em todos os estados brasileiros, empregou cinco milhões de pessoas, representando 27% da mão de obra agrícola e continua fundamentada em pequenas e médias propriedades, atingindo um valor agrícola bruto de R\$ 20 bilhões.

De acordo com o Anuário Brasileiro da Fruticultura (2013) a produção brasileira de frutas frescas chegou a 42,416 milhões de toneladas na colheita de 2012. Elas estão presentes de várias formas, como consumo in natura, uso como ingredientes de doces, sorvetes, sucos e outras guloseimas, e ainda como componentes de receitas gastronômicas, das mais simples às mais sofisticadas. Com um alto consumo interno, especialmente pela melhora da renda dos brasileiros, o país tem se destacado também nas crescentes exportações. Em 2013, o Brasil destinou aos clientes externos um total de 711,869 mil toneladas de frutas, a receita anual somou US\$ 657,528 milhões. Na cesta de oferta ao mercado externo estão mais de 20 variedades de frutas frescas, encaminhadas a mais de 50 países.

De acordo com Andrigueto *et al.* (2009) o mercado mundial de frutas aponta para valores anuais superiores a US\$ 21 bilhões, sendo constituído, em sua maior parte, por frutas de clima temperado, típicas da produção e do consumo no hemisfério norte, embora seja elevado o potencial de mercado para as frutas tropicais. Adicionando-se o valor das frutas processadas, esses valores superam 55 bilhões de dólares. Em alusão ao mercado internacional, existe baixo conhecimento da grande maioria das frutas tropicais devido à carência em marketing, dificultando assim a expansão comercial da fruta brasileira.

O Brasil vem crescendo, mas pode avançar muito mais. Nos últimos 15 anos as exportações de frutas frescas aumentaram 6% ao ano em média em volume e 12,1% em valor, sendo as mais exportadas melão, manga, banana, maçã, limão e lima (RODRIGUES, 2015). A fruticultura é uma atividade extremamente importante para o desenvolvimento do agronegócio brasileiro. Apesar de ser o terceiro produtor mundial de frutas, a exportação brasileira está aquém do seu potencial, ocupando o 20º lugar entre os países exportadores (SANHUEZA *et al.*, 2009).

Apesar do mercado interno consumir uma quantidade expressiva da produção nacional de frutas, de acordo com o Anuário Brasileiro da Fruticultura (2015), o Brasil consome 33 quilos por habitante ao ano, quando o recomendado seria ingerir próximo de 100 quilos. A banana caiu no gosto dos brasileiros e é hoje a fruta mais consumida no País. Além dela, laranja, uva e manga são requisitadas com frequência.

De acordo com os autores Pacheco e Peres (2008) o Nordeste é responsável por 26% da produção brasileira, representando 11 milhões de toneladas de um total de 41 milhões. Quando o assunto é exportação este número salta para 63%, com 574 mil toneladas embarcadas em 2007. Este avanço deve-se a diversos fatores, como: clima, posição geográfica, entre outros. Os principais estados produtores e exportadores do Nordeste são Bahia, Pernambuco, Ceará e Rio Grande do Norte, que produzem, principalmente, banana, mamão, laranja, manga, melão, melancia, uva e coco. É desta região que saem mais de 90% das três principais frutas exportadas pelo Brasil: melão, manga e uva; que juntas representam 43% da pauta de exportação de frutas frescas.

De acordo com dados do IBRAF (2013), considerando as regiões do Nordeste de maior destaque no volume de exportação de frutas frescas em 2012, o Ceará liderou o ranking, seguido pelo Rio Grande do Norte, Bahia e Pernambuco, que no seu conjunto foram responsáveis por 68,83% de toda exportação brasileira.

Segundo dados da ADECE (2013) o Estado do Ceará é o 6º maior produtor nacional de frutas. No entanto, colocando os dados de produção do pedúnculo de caju, o Ceará passa a ser o 4º produtor nacional de frutas frescas do país em 2011. Destacando-se como o 1º produtor de caju, o 2º de coco, maracujá e melão e o 3º de mamão. Além disso, o Ceará produz muitas frutas regionais como cajá, cajarana, ciriguela, jaca, ata (pinha), atemóia, graviola, e tem

potencial para produção irrigada de abacate, banana, citros, goiaba, manga, melancia (exporta melancia sem sementes) e uva.

Na Tabela 1 pode-se observar as principais variedades de frutas frescas produzidas no Ceará em 2011, bem como o ranking ocupado por cada uma delas. Nota-se que a produção de frutas no Ceará é bastante expressiva destacando-se a manga que ocupa o 5º lugar, dividindo colocação com a produção de limão. Ainda de acordo com os dados da ADECE (2013), a produção de manga irrigada no Ceará se concentra nos municípios de Jaguaruana, Mauriti, Beberibe, Limoeiro do Norte, Brejo Santo, Aracati, Marco e Acaraú, totalizando uma área de 910 ha, com produção de 12.318 toneladas, gerando uma renda bruta total de R\$ 9.215.880.

Tabela 1 - Produção de diferentes frutas frescas no Ceará em 2011.

Principais Frutas	Brasil		Ceará		CE/BR	
	(t)	(%)	(t)	(%)	(%)	Ranking
Banana	7.329.471	15,4	494.250	19,8	6,7	7º
Caju ⁽¹⁾	2.077.065	4,4	1.005.462	40,3	48,4	1º
Coco ⁽²⁾	1.962.434	4,1	274,092	11,0	14,0	2º
Goiaba	342.528	0,7	11.264	0,5	3,3	6º
Limão	1.126.736	2,4	8.949	0,4	0,8	5º
Mamão	1.854.343	3,9	112.579	4,5	6,1	3º
Manga	1.249.521	2,6	48.374	1,9	3,9	5º
Total	15.942.098	33,5	1.681.152	58,6	83,2	4º

(1) Pedúnculo de Caju (1 kg de castanha = 9 kg de Pedúnculo)

(2) Coco (1 um = 1kg)

Fonte: IBGE/PAM (2011); Adaptado de ADECE (2013).

3.2 Manga (*Mangifera indica*, L.)

A manguicultura vem sendo difundida a milênios. De acordo com Simão (1998) a mangueira é originária da Ásia Meridional e do Arquipélago Indiano, onde é cultivada há mais de 4.000 anos. A manga foi transportada para fora da região de origem por um viajante chinês de nome Hwen Tisang que, visitando o Indostão entre 622 a 645 a.C. levou a manga ao conhecimento dos demais povos. Na América, o primeiro país a cultivar a manga foi o Brasil, as primeiras plantas dessa espécie vieram da África no século XVI, trazidas pelos portugueses

e plantadas na cidade do Rio de Janeiro, onde se difundiram por todo o país. Do Brasil, a manga passou para as Antilhas, em 1742, e posteriormente para o México.

As primeiras introduções no Brasil, referiam-se as variedades da raça filipínica, que geralmente produzem frutos com polpa fibrosa e de baixa qualidade. Isso fez com que a cultura da manga ficasse limitada a pequenos pomares, sem muita expressão, especificamente para atender ao mercado interno de maneira bem regionalizada, por quase três séculos. Na metade deste século, no entanto, foram realizadas introduções de variedades melhoradas da raça indiana, procedentes da Florida/USA, portadoras de melhor qualidade. Este fato modificou sensivelmente a indústria mangícola nacional, dando um novo alento à cultura, pois essas variedades americanas, que produzem frutos com pouca fibra, bem coloridos e mais resistentes à antracnose, são mais comercializáveis, permitindo inicialmente ampliar o excelente mercado interno e, mais recentemente, permitindo conquistar o mercado externo, notadamente dos Estados Unidos e Japão (PINTO, 2004).

A mangueira cultivada atualmente pertence à espécie *Mangifera indica* da família Anacardeaceae. Embora essa família possua muitas outras espécies comestíveis, a *M. indica* é a única cultivada comercialmente em larga escala (MATOS, 2000). A manga (*Mangifera indica*, L.) é um fruto tipicamente tropical, em franca expansão em nível mundial. O mercado para exportação é muito exigente quanto a qualidade dos frutos, devido a mudança nos hábitos alimentares dos povos desenvolvidos, em consequência do reconhecimento da necessidade de uma alimentação sadia (SILVA; MENEZES, 2001). Na Figura 1 pode ser observado o fruto da mangueira.

Figura 1 - Manga da variedade Palmer.



Dada a sua importância econômica, promovida pelo seu excelente sabor e boas condições nutritivas, a manga é a sétima cultura mais plantada no mundo e a terceira mais cultivada nas regiões tropicais em, aproximadamente, 94 países (MATOS, 2000).

De acordo com o Anuário Brasileiro da Fruticultura (2013) a manga está entre as principais frutas de exportação do Brasil, com grande participação também no mercado interno. Em 2013, esta cadeia produtiva comemorou o recorde de receita nos negócios com o exterior, US\$ 147,5 milhões, com alta de 7,3% sobre os US\$ 137,5 milhões obtidos em 2012. Em volume, o resultado ficou aquém do esperado, quebrando a trajetória crescente iniciada em 2009. Foram embarcadas 122 mil toneladas dessa fruta em 2013, contra 127 mil toneladas no ano anterior. O principal destino da manga brasileira é a União Europeia responsável por 74% do que foi exportado no ano, para os Estados Unidos foram destinados 23%, quanto aos outros 3% restantes têm diferentes destinos. No entanto, nesse mercado há forte concorrência do Peru e Equador que vem aumentando suas exportações. Enquanto isso, seguem os investimentos nos polos produtores, especialmente em mangas do tipo Palmer, que vêm obtendo melhores cotações.

Oliveira *et al.* (2010) afirmam que a variedade Palmer apresenta regularidade na produção, mesmo sendo uma variedade aceita no mercado interno para o consumo direto, ela é também aproveitada pelas indústrias de processamento para o beneficiamento, o que certamente tem lhe proporcionado um expressivo aumento na área cultivada. Os frutos da Palmer são, além de grandes, podendo pesar até 900 gramas, bastante aromáticos, compridos, firmes e praticamente desprovidos de fibras, com casca esverdeada ou arroxeadada quando imaturos e muito vermelho quando já totalmente maduros, apresentando polpa bem amarelada e 19 °Brix.

Para Simão (1998) entre as inúmeras variedades existentes, deve-se dar preferência não só as mais produtivas, como também aquelas que apresentam melhores qualidades quanto ao sabor, presença ou não de fibras e aspecto do fruto. Entre as variedades americanas temos: Tommy Atkins, Zill, Van Dyke, Keitt, Kent, Palmer, Ruby. Com valor comercial para o consumo in natura, destacam-se as seguintes: Bourbon, Brasil, Carlota, Cingapura, Extrema, Família, Haden, Imperial, Itamaracá, Monte d'Este, Non-plus-ultra e Oliveira-Neto e para a indústria: Haden, Extrema, Santa Alexandrina e Itamaracá.

Segundo Pinto (2004) a mangueira caracteriza-se por produzir frutos de ótima qualidade, sendo considerada uma das mais importantes espécies frutíferas de clima tropical.

Não obstante tenha se originado em locais de clima quente, ela se adapta bem às condições de clima subtropical, principalmente devido à sua boa plasticidade fenotípica, a qual confere ampla facilidade de adaptação aos diferentes ambientes, a manga se dispersou por todos os continentes, sendo cultivada atualmente em todos os países de clima tropical e subtropical. De acordo com Simão (1998) a mangueira tolera grande variação climática, porém só frutifica dentro de certos limites de temperatura e precipitação. Os principais elementos climáticos são: temperatura, chuva, umidade relativa, luz e vento.

No cenário nacional, a região Nordeste é considerada como a grande produtora de manga para exportação, com os sistemas de cultivo mais tecnificados do país, os quais se encontram localizados nos principais pólos de irrigação da zona semiárida. As condições climáticas destas áreas são altamente benéficas quanto aos aspectos fitossanitários, luminosidade, baixa incidência de chuvas e baixa umidade relativa (DEL'ARCO JÚNIOR, 2008).

Para Boliari e Corrêa (2004) a cultura da mangueira tem sua vida útil relativamente extensa. Dessa forma, se for adequadamente instalada e mantida, continua a produzir lucrativamente durante um período relativamente longo. No Brasil, esta cultura se desenvolveu de forma muito rudimentar, conseqüentemente a mangueira caracterizou-se por apresentar baixa produtividade e má qualidade dos frutos, atualmente, em função da exigência dos mercados externo e interno e graças ao grande esforço das pesquisas e do setor produtivo na geração e na adaptação de novas técnicas, têm sido obtidos como resultados: produção de frutos de melhor qualidade, possibilidade de produção de frutos o ano todo em determinadas regiões e aumento da exportação dos frutos.

De acordo com a Tabela 2 pode ser verificado o panorama do cultivo de manga no Brasil, com área colhida e quantidade produzida nas regiões produtoras. Pelos dados apresentados percebe-se que o Nordeste liderou em absoluto a produção de manga por tonelada no Brasil em 2012, representando um percentual de 66,54% da produção total da fruta no país. No entanto, se compararmos em termos de rendimento médio, a região Sudeste superou a região Nordeste.

Tabela 2 - Produção de manga nas diferentes regiões do Brasil em 2012.

Regiões produtoras	Área Colhida (ha)	Quantidade Produzida (t)	Rendimento Médio (kg/ha)	Valor (1 000 R\$)
Brasil	73 310	1 175 735	16 038	660 159
Norte	317	2 132	6 726	993
Nordeste	50 169	782 365	15 595	426 031
Sudeste	21 826	377 819	17 311	221 015
Sul	687	9 674	14 082	8 236
Centro Oeste	311	3 745	12 042	3 885

Fonte: Adaptado de IBGE (2012).

Segundo Lopes *et al.* (2009) o Vale do São Francisco é a principal região produtora de manga do país, com cerca de 30.000 mil ha plantados. A produção de manga ocorre em todos os meses do ano, porém os meses de melhores oportunidades de produção e exportação são de julho a novembro, quando termina a produção mexicana, principal exportador mundial. O Vale do São Francisco é, hoje, a principal região produtora e exportadora de manga do Brasil, responsável por 92% das exportações brasileiras.

De acordo com Vukovik (1999) a manga brasileira, produzida de forma bem distribuída ao longo do ano, poderia tornar-se presença constante no mercado internacional. O Brasil, com maior período de safra entre final de setembro e março, tem sua produção fora daquela dos países do hemisfério norte, alguns grandes produtores, como a Índia, China, Paquistão e México, tendo assim uma vantagem competitiva em relação aos mesmos. Países africanos e alguns países da América do Sul têm produção no mesmo período do Brasil. A maioria dos países produz manga por apenas 3 a 4 meses no ano.

A manga é, uma das mais importantes frutas tropicais que compõem a dieta alimentar das classes média e alta brasileira, com um consumo médio per capita da ordem de 1,2 kg/ano. No entanto, em algumas capitais, como São Paulo, o consumo de manga alcança 2,5 kg/per capita/ano (LIRIO, 2004).

Apesar de ser a segunda fruta mais importante, depois da banana, em termos de produção mundial e de área cultivada, ainda estão sendo realizadas pesquisas no sentido de serem identificados índices de maturidade que permitam aumentar sua vida pós-colheita sem

comprometer a qualidade. Dentre os vários fatores que prejudicam o aumento da exportação de manga estão aqueles relacionados à sua alta perecibilidade, a qual inviabiliza a competitividade do produto brasileiro no exterior (HILUEY *et al.*, 2005).

Basicamente, é necessário que sejam observadas, na estrutura de produção: a colheita (manual) e a pós-colheita; a qualidade e adequação das mudas; a fim de que não sejam perdidos frutos potencialmente bons; uma seleção rigorosa das frutas de qualidade adequadas para o padrão “mesa” e “industrial”; uma melhoria da capacidade de processamento e adequação crescente às normas internacionais (não apenas para inserção direta, mas como forma de ampliação gradativa da qualidade do produto oferecido) (LIRIO, 2004).

3.2.1 Características físicas, físico-químicas e nutricionais da manga

Para Vukovik (1999) a manga apresenta-se com um tipo de fruto denominado drupa carnosa, achatado lateralmente, com variações conforme o tipo, tamanho, forma, coloração, presença de fibras, aroma e sabor. Com relação ao seu tamanho, encontramos frutos a partir de 100 g, sendo mais comum entre 300 e 600 g.

De acordo com Simão (1998) os frutos da manga são drupas de forma e tamanho variados, podendo ser reniformes, ovados, ovalados, arredondados, cordiformes, oblongos ou de formas combinadas, o endocarpo é vulgarmente chamado de semente ou caroço. A polpa difere de acordo com a variedade, em algumas é excessivamente fibrosa, com fibras longas e duras ou longas e macias, em outras, a fibra é curta; e há ainda algumas sem fibras. Quanto ao sabor, pode ser doce-acidulado, terebentinoso ou ligeiramente acidulado e, em certo número delas, o sabor é acentuadamente peculiar. A polpa pode ser rija, sucosa ou amanteigada. Quanto à cor, no geral, é amarelada ou amarelo-rosada.

Entre os aspectos físicos da manga, a cor da casca mostra-se muito importante. Durante o amadurecimento dos frutos ocorrem várias alterações bioquímicas, sendo a clorofila degradada, havendo acúmulo de antocianina (pigmento vermelho) que se acumula, ao mesmo tempo em que os carotenoides aumentam (PRADO, 2004).

Outras alterações podem ocorrer durante o armazenamento, sendo importantes pois auxiliam na definição das condições de processamento e armazenamento. Algumas dessas

alterações são listadas por Ramos; Sousa e Benevides (2004), para eles os sólidos solúveis, pH, açúcares totais, sacarose, carotenoides e a intensidade do sabor aumentam; sólidos insolúveis, o teor de acidez e o amido diminuem; sólidos totais permanecem constantes, a respiração e a transpiração aumentam até um pico e depois diminuem; alteração da coloração da polpa, de amarelo claro para amarelo escuro ou laranja, diminuição da firmeza e dos teores de vitamina C.

A manga apresenta elevado teor de açúcares e baixo teor de acidez. Possui vitaminas A e C, carotenoides, fibras e minerais como cálcio e potássio. Além das propriedades medicinais laxativas, diuréticas e revitalizantes (MATTIASO, 2007).

Os principais constituintes desse fruto são: água, carboidratos, aminoácidos, ácidos, pectina, gordura, sais minerais, pigmentos, tanino e substâncias etéreas, responsáveis pelo sabor e pelo aroma. A manga madura possui em média 73% polpa, 14% de sementes e 13% de casca. Os frutos menores são mais ricos que os maiores, e a riqueza em caroteno e açúcar é maior nos frutos maduros do que nos verdes. O teor vitamínico muda com a variedade. Em média, são encontradas as seguintes vitaminas: vitamina C, 70 mg; vitamina A, 7.000 UI; vitamina B1, 60 mg; vitamina B2, 55 mg por 100g e aminoácidos livres. A semente da manga contém geralmente 40 a 50% de amido, 6 a 12% de gordura e 12 a 18% de tanino (SIMÃO, 1998).

Os açúcares totais dos frutos aumentam durante o amadurecimento, perfazendo 60% a 70% dos sólidos solúveis totais. O teor de pectina é muito importante para a indústria, sobretudo para a fabricação de geleias. A manga pode conter de 0,5 a 1,0 g de ácido galacturônico /100 g de polpa, sendo considerada uma fonte moderada de pectina. O teor de fibras da manga, que pode variar de 0,02% a 1,10%, dependendo da cultivar e do estágio de maturação, apresenta-se como um dos mais importantes critérios para a seleção de cultivares, tanto para o consumo ao natural como para industrialização. Um alto teor de fibras na polpa da manga é considerado um fator negativo (FOLEGATTI *et al.*, 2002).

A composição da manga pode variar segundo alguns fatores, tais como variedade, fatores climáticos, estágio de maturação, técnicas de cultivo, métodos de processamento e etc. na Tabela 3 pode ser observado valores para sólidos solúveis (°Brix), açúcares totais (%), pH e acidez (% de ácido cítrico), segundo diversos autores. Pelos dados apresentados constata-se a variação dos resultados obtidos pelos autores nos parâmetros avaliados. Para essa diferença nos

resultados, há algumas explicações, como a diferença entre as variedades estudadas, a metodologia empregada nas análises, além de outros fatores mencionados anteriormente.

Tabela 3 - Características da polpa de manga, segundo diversos autores.

Autores	Variedade estudada	Determinações			
		SST (°Brix)	ATT (%)	Açúcares Totais (%)	pH
Brunini; Durigan e Oliveira (2002)	Tommy Atkins	9,48	0,78 ^a	-	4,04
Benevides <i>et al.</i> (2008)	Ubá	18,00	0,53	-	4,21
Furtado <i>et al.</i> (2009)	Espada	13,00	0,29 ^a	7,28	-
Maciel (2009)	Tommy Atkins	11,00	-	13,30 ^a	4,28
Faraoni; Ramos e Stringheta (2009)	Ubá	19,3	0,40	10,5	4,3
Rocha (2013)	-	14,27	0,44	-	3,79
Moreira <i>et al.</i> (2013)	-	12,80	0,47	-	3,73
Sousa (2014)	Tommy Atkins	14,76	0,40	10,88	4,29

Em que: SST - sólidos solúveis (°Brix); ATT - acidez total titulável; ^a g de ácido cítrico 100 g⁻¹.

3.2.2 Produtos da manga

Segundo Folegatti *et al.* (2002) a manga, exemplo típico de fruta nativa ou cultivada em regiões tropicais, apresenta grandes possibilidades de industrialização, mas ainda não é devidamente explorada. A viabilização do aproveitamento racional da manga, preservando ao máximo seus componentes nutricionais, seria extremamente importante para o Brasil, que se apresenta como um grande produtor mundial dessa fruta. A maior parte da produção mundial de manga é consumida in natura. No Brasil, a maioria das tentativas de industrialização de manga em grande escala não foi bem-sucedida em virtude de diversos fatores, entre os quais:

- Falta de matéria-prima uniforme e em grande volume, reflexo da preferência pela produção de variedades exportáveis, não havendo interesse pelo cultivo de variedades mais adequadas à industrialização;
- Sazonalidade da cultura e curto período de safra, que comprometem a constância da oferta de matéria-prima;

- Falta de infraestrutura para o adequado transporte, amadurecimento e armazenamento dos frutos antes do processamento.

A partir da manga, podem-se preparar, pedaços ou rodela em calda, néctar, polpa, doce em massa ou mangada, suco simples e concentrado, geleias, pedaços congelados ou refrigerados, fatias cristalizadas, cereais de manga, vinho e vinagre e ainda produtos menos conhecidos, como produtos de manga verde ou imatura, conhecidos na Índia como *amchur* ou *amchoor* e o *chutney*. E ainda podem ser utilizados os resíduos da industrialização da manga como componentes de rações mistas (RAMOS; SOUSA; BENEVIDES, 2004). Acrescenta-se a esses produtos, batida de manga, sorvete, manga em pó entre outras possibilidades. Para a indústria que processa manga é interessante que as frutas apresentem bom rendimento de polpa, textura adequada, além de um sabor agradável.

De acordo com a Instrução Normativa nº 01 de 7 de janeiro de 2000 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA (BRASIL, 2000), define polpa de fruta como o produto não fermentado, não concentrado, não diluído, obtido de frutos polposos, através de processo tecnológico adequado, com um teor mínimo de sólidos totais, proveniente da parte comestível do fruto. Segundo a mesma instrução normativa, que também estabelece o Regulamento Técnico para Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para Polpa de Manga, conceitua e define alguns parâmetros, polpa ou purê de manga como o produto não fermentado e não diluído, obtido da parte comestível da manga (*Mangifera indica, L.*), através de processo tecnológico adequado, com teor mínimo de sólidos totais. A polpa ou purê de manga deverá apresentar características como cor amarela, sabor doce, levemente ácido, próprio e aroma próprio e obedecer a composição apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 - Parâmetros de identidade e qualidade para polpa de manga.

Parâmetros	Mínimo	Máximo
Sólidos solúveis em °Brix, a 20° C	11,00	-
pH	3,3	4,5
Acidez total expressa em ácido cítrico (g/100g)	0,32	-
Açúcares totais naturais da manga (g/100g)	-	17,00
Sólidos totais (g/100g)	14,00	-

Fonte: Adaptado de BRASIL (2000).

O sabor dos frutos é devido, em grande parte, ao balanço de ácidos e açúcares, o qual é avaliado pela relação sólidos solúveis/acidez titulável. Para o mercado interno de frutos frescos, a relação sólidos solúveis/acidez elevada é desejável. De uma forma geral, altos teores de sólidos solúveis são desejáveis tanto para a comercialização de frutos in natura quanto para a industrialização. Na indústria, por implicar menor consumo de açúcar; no mercado de frutos frescos, por satisfazer as exigências do consumidor brasileiro. O pH desejado pela indústria situa-se em torno de 4,0; frutos com pH acima de 4,5 precisam ter seu pH corrigido para valores mais baixos durante o processamento. Esta correção é necessária para garantir a conservação dos produtos industrializados. Já o teor de sólidos solúveis ideal é de 15 °Brix, podendo variar de 6,65 °Brix a 20,6 °Brix, o que serve como um indicador do grau de doçura dos frutos (FOLEGATTI *et al.*, 2002).

Para Souza Neto *et al.* (2006) a industrialização da manga pela desidratação é uma forma indicada para o aproveitamento racional dessas frutas e para a redução de perdas pós-colheita, permitindo assim, melhor aproveitamento da produção e agregação de valor ao produto final.

O pó resultante da desidratação da polpa concentrada adquire alta concentração de fruta ao mesmo tempo é solúvel. Pode ser empregado para a reconstituição de sucos em diluição em água ou em envelopes, em dosagem para um ou dois litros. Não confundir com os chamados “refrescos em pó”, à base de corantes e aromas artificiais. Trata-se de um suco sob o estado sólido em pó, obtido pela desidratação do suco integral, e pode ser comercializado com a denominação de suco integral desidratado. Além da sua aplicação na indústria de bebidas, tem grande utilização na indústria de alimentos, na composição de pastas de frutas, biscoitos recheados e barras de cereais (FAVERO, 2008).

3.3 Secagem de alimentos

A desidratação é um dos métodos mais antigos de conservação de alimentos utilizado pelo homem. Para Fellows (2006) desidratação é a aplicação de calor sob condições controladas para remover, por evaporação, a maioria da água presente em um alimento, ou no caso da liofilização, por sublimação. Segundo Ordoñez (2005) os objetivos dessa operação consistem em aumentar a vida útil dos alimentos, reduzir o peso e o volume, facilitar o uso e

diversificar a oferta dos produtos. A umidade final do produto desidratado costuma situar-se entre 1 e 5%, o que permite sua conservação durante períodos de tempo relativamente longos (até um ano). Contudo, durante seu armazenamento, podem surgir diversas causas de alteração, que normalmente podem ser evitadas com embalagem adequada e correta manipulação. De acordo com Resolução RDC nº 272 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA (BRASIL, 2005) produtos de frutas obtidos por secagem ou desidratação devem apresentar um teor máximo de umidade de 25%.

Segundo Sousa *et al.* (2006) a operação unitária de secagem é importante, uma vez que visa preparar o produto para a armazenagem; entretanto, se mal conduzida, poderá prejudicar a qualidade sensorial, nutricional e comercial do produto.

As vantagens de se utilizar o processo de secagem são várias dentre as quais tem-se: extensão da vida de prateleira dos alimentos por meio da redução da atividade de água, isso inibe o crescimento microbiano e a atividade enzimática, redução no peso e no volume do alimento diminuindo os custos de transporte e armazenamento, oferece um produto conveniente para o consumidor ou ingredientes mais facilmente manuseáveis para os processadores de alimentos, facilidade na conservação do produto, estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura ambiente por longos períodos de tempo, proteção contra degradação oxidativa, economia de energia por não necessitar de refrigeração e a disponibilidade do produto durante qualquer época do ano (PARK; YADO; BROD, 2001; FELLOWS, 2006).

Dentre os principais alimentos desidratados podem-se citar leite em pó, frutas secas (passas) ou fruta em pó, ovo em pó, preparados para sopas, chás, massas e etc. Para Park; Yado e Brod (2001) os materiais, possuem características próprias e propriedades que podem sofrer importantes alterações durante a secagem. As características específicas de cada produto, associadas às propriedades do ar de secagem e ao meio de transferência de calor adotado, determinam diversas condições de secagem. A escolha de um procedimento de secagem depende das características físicas (viscosidade nos líquidos, tamanho nos sólidos) e químicas (sensibilidade térmica, predisposição para a oxidação), bem como a diversidade e quantidade do alimento a ser processado. É preciso considerar igualmente a qualidade do produto que se deseja obter (ORDOÑEZ, 2005).

O conhecimento do mecanismo de ação da água entre os materiais e o ambiente é de grande importância no processamento da secagem (SOUSA *et al.*, 2006). A água é um dos

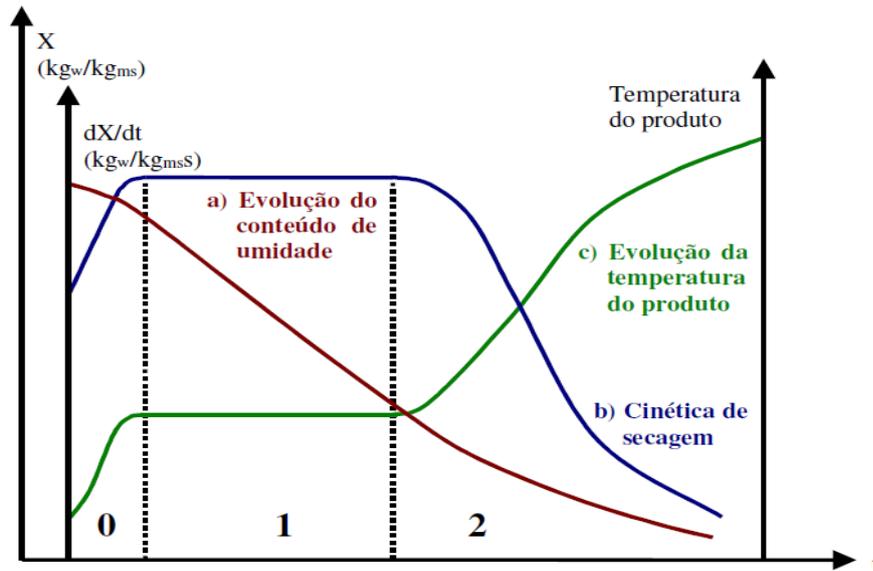
mais importantes componentes dos alimentos, afetando todas as suas propriedades físicas. A forma como a água afeta a natureza física e as propriedades dos alimentos é complicada devido à interação entre a água e o meio, o que envolve a estrutura física, bem como a composição química dos diversos solutos, incluindo polímeros e colóides ou partículas dispersas (PARK; BIN; BROD, 2001).

Em alimentos a água se encontra de duas formas, na forma de água livre e na forma de água ligada. De acordo com Ribeiro e Seravalli (2004) a água livre presente no alimento é a água que apresenta as mesmas propriedades da água pura, que está disponível para o crescimento de microrganismos e para reações enzimáticas, o teor de água livre varia com o tipo de alimento. A água ligada é definida como a água em contato com solutos e outros constituintes não aquosos, presente em quantidades muito pequenas no alimento, existindo em vários graus de ligação, podendo ser dividida em: água constitucional, que é a água ligada mais fortemente aos constituintes não aquosos do alimento, através de ligações iônicas; água vicinal, que ocupa os espaços mais próximos da maioria dos grupos hidrofílicos presentes nos constituintes; água de multicamadas, que representa a água ligada de forma mais fraca aos constituintes não aquosos do alimento.

Para Park; Bin e Brod (2001) a secagem provoca a perda da quase totalidade da água livre pela vaporização ou sublimação da água. Em secagens com ar aquecido esta vaporização ocorre pela diferença de temperatura entre ar quente e a fruta, determinando uma diferença de pressão de vapor entre o ar e a superfície da fruta, ocasionando a transferência de massa de água para o ar, na forma de vapor de água.

As transferências de calor e de massa que acontecem, simultaneamente, durante o processo de secagem podem ser descritas em três períodos, representado por três curvas típicas, conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Curvas de secagem.



Fonte: Park *et al.* (2007).

Na Figura 2 a curva (a) representa a diminuição do teor de água do produto durante a secagem, conteúdo de umidade do produto em base seca (X) em relação à evolução do tempo de secagem (t). A curva (b) representa a velocidade (taxa) de secagem do produto (variação do conteúdo de umidade do produto por tempo, dX/dt em relação à evolução do tempo t), isto é, é a curva obtida diferenciando a curva (a). A curva (c) representa a variação da temperatura do produto durante a secagem (variação da temperatura do produto, T em relação à evolução do tempo t), isto é, é a curva obtida medindo a temperatura do produto durante a secagem (PARK; YADO; BROD, 2001).

Também é importante descrever os períodos da secagem, apresentados na Figura 2. No período 0 (zero) temos a estabilização entre a superfície do produto e as condições do ar de secagem. Na etapa seguinte, temos o período 1, chamada etapa de equilíbrio, na qual a água sai do alimento na mesma proporção em que ocorre o aquecimento a uma velocidade de secagem constante. Na etapa 2 temos o período de velocidade decrescente no qual a movimentação de água para a superfície do alimento cai, a pressão de vapor na superfície diminui e começa a secar (RIBEIRO, 2014).

A secagem pode acarretar em mudanças nos produtos e consequente perda da qualidade dos mesmos, o desafio é otimizar os processos de secagem, minimizar essas alterações e maximizar a eficiência do processo. Dentre as principais alterações que ocorrem

em alimentos desidratados podem-se citar as perdas no sabor ou aroma, mudanças na cor e no valor nutricional pela perda de constituintes sensíveis ao calor e na textura.

Segundo Fellows (2006) as características de textura dos pós estão relacionadas com sua densidade volumétrica e facilidade de reidratação. A densidade volumétrica dos pós depende do tamanho das partículas secas e se estas são ocas ou sólidas. Isso é, determinado pela natureza e composição do alimento e pelas condições de secagem. O calor causa perda de componentes voláteis do alimento, o grau de perda depende da temperatura e do teor de umidade do alimento e da pressão de vapor e solubilidade no vapor d'água dos voláteis. As alterações no sabor, causadas por enzimas hidrolíticas ou oxidativas, são evitadas pelo uso de ácido ascórbico ou cítrico em frutas, pasteurização no leite e em sucos de fruta e branqueamento em hortaliças. As perdas ou mudanças na cor são causadas pelas alterações nas características da superfície do alimento, alterando dessa forma a refletividade da cor. Em frutas e hortaliças, as alterações químicas dos pigmentos carotenoides e da clorofila são causados pelo calor e pela oxidação durante a secagem, além da atividade residual da enzima polifenoloxidase, que causa escurecimento durante a estocagem. As diferenças encontradas sobre o valor nutricional dos alimentos desidratados estão relacionadas às grandes variações nos procedimentos de secagem e das condições de estocagem.

Oliveira; Afonso e Costa (2011) afirmam que a desidratação dos alimentos causa, alterações desejáveis, como perda de água por técnicas adequadas com a consequente concentração dos nutrientes por unidade de peso.

Os produtos alimentícios em pó são, cada vez mais utilizados pela indústria nacional de alimentos, 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; MEDEIROS; MATA, 2003).

3.3.1 Secagem por aspersão em spray-dryer

O fundamento da secagem é baseado na teoria de transferência de massa e calor juntamente com balanço de massa e energia. Uma grande parte do processo de secagem de alimentos utiliza ar quente para remover a água livre do alimento. Um dos processos mais

utilizados na obtenção de produtos em pó é a secagem por atomização (KAJIYAMA; PARK, 2008).

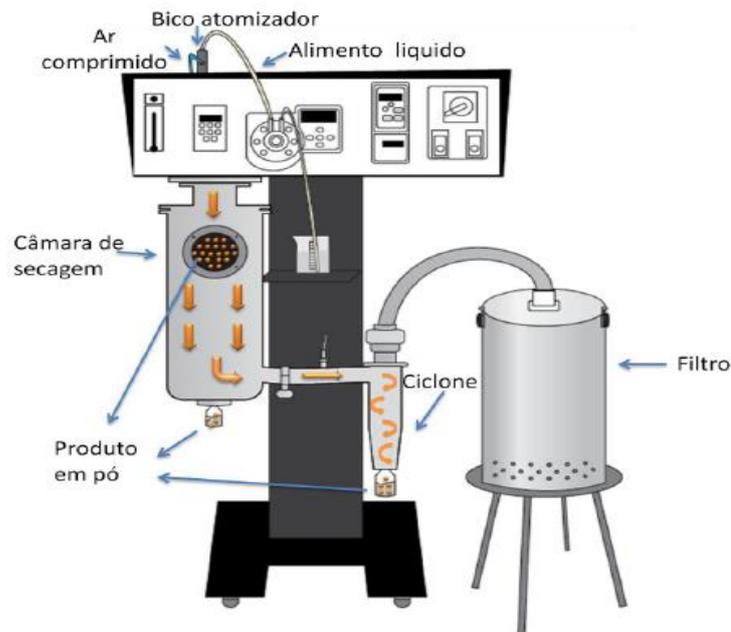
Segundo Rosa; Tsukada e Freitas (2006) a secagem por nebulização, mais conhecida por *spray drying* ou atomização, teve seus primeiros passos na metade do século 18, quando foi patenteada a primeira operação de secagem de ovos (1865). Porém, o início de sua utilização como processo a nível industrial data da década de 20. Os primeiros produtos a que se tem notícia, obtidos em larga escala com a secagem por nebulização, foram o leite e o sabão em pó. A partir de então, seu uso disseminou-se pela indústria de processos em geral. Sua versatilidade operacional permite desde escalas laboratoriais da ordem de mililitros por hora até dezenas de toneladas por hora na indústria.

De acordo com Anselmo *et al.* (2006) a comercialização dos frutos está restrita à sua época de safra, e como sua perecibilidade é alta, necessita-se viabilizar matéria-prima a diversas indústrias fora do período de safra. Uma das técnicas que vem sendo utilizada é a secagem por atomização, que tem por finalidade transformar a polpa da fruta em pó, permitindo um armazenamento prolongado e uma maior estabilidade e longevidade do produto, de modo a ter uma maior vida de prateleira, podendo o consumidor ter acesso a esse produto durante todo ano e não apenas no período de safra da fruta. A utilização do sistema de secagem por atomização mantém as propriedades físico-químicas dos produtos e em alguns casos chega a melhorar essas propriedades, é enorme a diversidade de produtos que se pode secar por meio deste sistema nas indústrias Química e Alimentícia.

O equipamento mais importante para a desidratação de produtos líquidos com ar quente na indústria alimentícia é o secador *spray-dryer*. A secagem por atomização, pulverização ou *spray-drying* é um processo contínuo no qual um líquido ou pasta é transformado em produto seco. O produto líquido subdivide-se em gotas muito pequenas no interior da câmara, onde elas entram em contato com ar quente. A evaporação da água das gotas é praticamente instantânea e cada uma delas se transforma em uma partícula seca que é transportada pelo ar de secagem. Em seguida, e na saída da câmara, as partículas secas separam-se da corrente de ar na qual estão suspensas e são recolhidas para o seu acondicionamento. A velocidade de desidratação é muito alta porque a área superficial das partículas é grande e a temperatura do ar elevada (150 a 300°C). Contudo, o risco de superaquecimento do produto é mínimo, pois normalmente a temperatura da superfície das partículas não supera a temperatura de bulbo úmido do ar de secagem (40 a 70°C), devido ao resfriamento associado com a

evaporação da água e seu curto tempo de permanência na câmara (1 a 10 s). Na Figura 3 pode-se ver uma representação esquemática do equipamento *spray-dryer* (GAVA, 2008; ORDOÑEZ, 2005).

Figura 3 - Representação esquemática do *spray-dryer*.



Fonte: Ribeiro (2014).

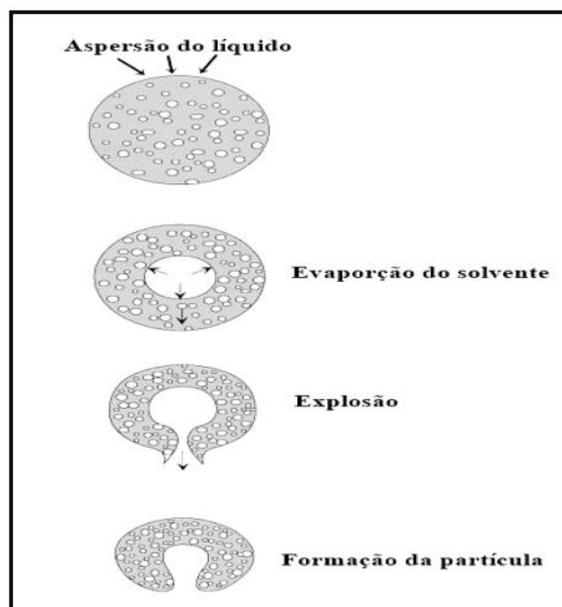
As principais vantagens da desidratação por aspersão são: alta qualidade dos produtos obtidos, rápida velocidade de secagem (segundos), elevado volume de produto processado (em algumas instalações até 80 toneladas por dia), baixo custo de mão-de-obra, bem como simplicidade de operação e manutenção. Os custos do equipamento e de operação são as principais desvantagens, junto com a necessidade de conteúdo inicial de água no produto ser relativamente alto para que possa ser bombeado e atomizado (ORDOÑEZ, 2005).

A secagem por aspersão é aplicada a qualquer produto possível de bombear, como emulsões, pastas, soluções e suspensões de cereais e extratos de plantas, lácteos em geral, cafés e seus sucedâneos, leveduras, hidrolisados de proteínas, derivados marinhos, subprodutos de frigoríficos, ovos, frutas e extratos de frutas (ADITIVOS & INGREDIENTES, 2011).

Para Santana (2013) o resultado após o processo são partículas isoladas, grânulos ou aglomerado. Estas formas do produto obtido dependem das propriedades físicas e químicas

do material, do projeto e operação do secador. A operação de secagem em *spray-dryer* consiste de quatro fases: aspersão do líquido, contato do líquido aspergido com o ar quente, evaporação da água e separação do produto em pó do ar de secagem, de modo que todas estas fases interferem nas características do pó final. As principais variáveis que afetam as características dos produtos obtidos são: propriedades do líquido aspergido (concentração, temperatura, vazão mássica, propriedades físico-químicas); atomizador (tipo e mecanismo de funcionamento); ar de secagem (vazão, temperatura de entrada e de saída, pressão). A Figura 4 traz as etapas de formação da partícula de pó na secagem por atomização.

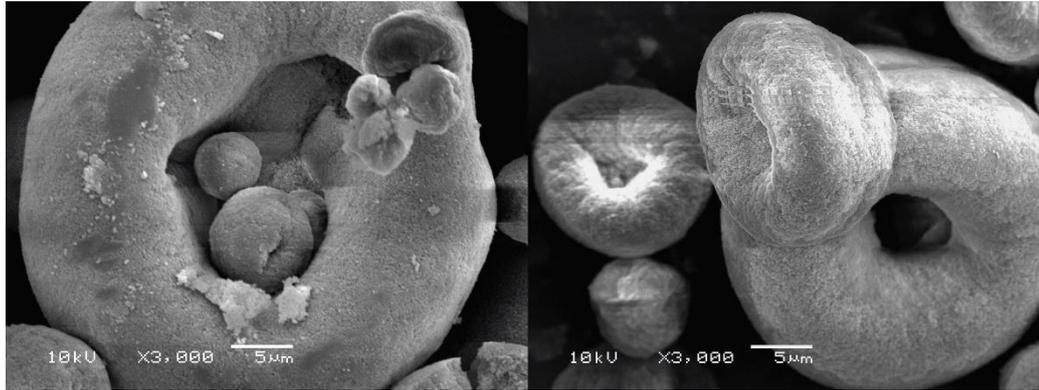
Figura 4 - Formação da partícula de pó na secagem por atomização.



Fonte: Adaptado de Cao *et al.* (2000).

Na Figura 5 tem-se fotomicrografias de dois extratos diferentes de *Maytenus ilicifolia*, planta conhecida popularmente como espinheira-santa usada como fitoterápico, secos por *spray-dryer* com disco giratório em torre de secagem por aspersão.

Figura 5 - Fotomicrografias de produto seco de *Maytenus ilicifolia* em aumento de 3000 x.



Fonte: Adaptado de Oliveira e Petrovick (2010).

A formação da partícula é influenciada pela passagem de cada gota formada no atomizador através da câmara de secagem, com a possibilidade de formação de diferentes estruturas, como: esferas intactas, com superfície imperfeita ou fragmentada, sólidas ou ocas. A ocorrência dessas diferentes formas depende da elasticidade e da permeabilidade da crosta formada em decorrência da evaporação superficial das gotículas aspergidas na câmara de secagem (SOUZA *et al.*, 2013; ZARDO, 2014).

Segundo Oliveira e Petrovick (2010) as variáveis devem ser controladas visando à obtenção de rendimento, teor de umidade adequados, estabilidade química, minimização da aderência de partículas na câmara de secagem e características tecnológicas específicas. Na indústria alimentícia a técnica é utilizada para secagem de polpas de frutas (açai, abacaxi, melancia) devido à boa qualidade conferida ao pó resultante e às facilidades de transporte e armazenamento, além da maior estabilidade físico-química. Para Gabas *et al.* (2007) a secagem do suco de fruta produz um produto de fácil manuseio, estável que reconstitui rapidamente, apresenta boa qualidade que se assemelha o mais próximo possível do suco original.

Para Silva *et al.* (2014) o Brasil é um dos mais importantes produtores mundiais de frutas, no entanto, o uso da tecnologia *spray-drying* para processamento e obtenção de frutas tropicais desidratadas ainda é incipiente. O resultado do uso do *spray-dryer* na indústria alimentícia é rentável e bastante promissor, pois reduz o desperdício em todos os estágios da cadeia produtiva e mantém as propriedades das frutas para aplicação em vários alimentos industrializados.

3.4 Características dos pós de frutas

A secagem por aspersão, quando realizada em condições otimizadas, tem se mostrado um método eficiente na obtenção de vários tipos de produtos alimentícios, a secagem de produtos como sucos de fruta, apresenta um grande potencial econômico (TONON, 2009). Para Hofsky; Figueirêdo e Queiroz (2007) na polpa seca elimina-se o inconveniente de vida útil pós-colheita muito curta, quando processada na forma de pó, apresenta fácil reconstituição em água, possibilidade de formulação com outros produtos e baixa relação volume/massa, com consequente economia com custos de embalagem.

De acordo com Foster; Bronlund e Paterson (2005) pós alimentícios são, frequentemente, propensos a problemas de aderência e aglomeração. Compreender as relações de umidade de um pó permite prever a umidade ideal para seu armazenamento, a fim de evitar esses problemas.

Os pós obtidos da secagem de polpas de frutas tendem a aderir às paredes da câmara do atomizador. De acordo com Phisut (2012) o problema de aderência do pó é principalmente devido à baixa temperatura de transição vítrea (T_g), e presença de açúcares de baixo peso molecular. Segundo Truong; Bhandari e Howes (2005) a secagem por atomização de alimentos ricos em açúcares (sacarose, glucose e frutose) e ácidos orgânicos (tartárico, ácidos cítrico e málico) é difícil, estes compostos apresentam uma baixa temperatura de transição vítrea (T_g) e comportamento pegajoso durante a pulverização. Para Kurozawa; Park e Hubinger (2009) a temperatura de transição vítrea (T_g) é definida como a temperatura na qual um amorfo muda do seu estado vítreo para o estado gomoso.

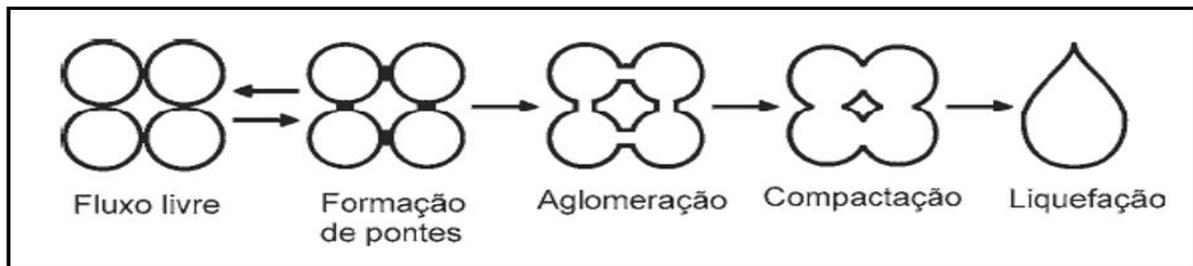
A presença de componentes amorfos é particularmente importante em alimentos desidratados em pó, já que os sólidos amorfos são suscetíveis a um processo de deterioração física denominado em conjunto de *caking*. O *caking* é um processo pelo qual um pó de baixa umidade e escoamento livre vai se aglomerando e acaba por formar um material pastoso e pegajoso, resultando em perda de funcionalidade e qualidade, é um problema particularmente importante em produtos ricos em açúcares e ácidos (AZEREDO; BRITO, 2012).

De acordo com Hartmann e Palzer (2011) a aglomeração de partículas amorfas começa com a pegajosidade da superfície do pó e pode resultar em colapso da estrutura. Na fase inicial do processo, o pó começa a ficar pegajoso e as partículas aderem umas às outras o

que leva a uma redução na capacidade de escoamento do pó a granel. A exposição do pó a umidade e temperaturas mais elevadas, como a de países tropicais, acarreta em problemas de aglomeração e no manuseamento do pó (FITZPATRICK *et al.*, 2007).

As alterações decorrentes deste processo dependem, principalmente, da temperatura e umidade relativa do ambiente e envolvem alguns estádios, incluindo formação de pontes entre partículas, aglomeração, compactação e liquefação conforme apresentado na Figura 6 (AZEREDO; BRITO, 2012).

Figura 6 - Alterações que ocorrem durante o processo de *caking*.



Fonte: Adaptado de Aguilera; Valle e Karel (1995).

De acordo com Aguilera; Valle e Karel (1995) na etapa inicial da aglomeração, ocorre formação de pontes como resultado da deformação da superfície de contato entre as partículas, sem diminuição mensurável da porosidade do sistema, durante o início da formação essas pontes podem até desintegrar-se sob agitação suave. A aglomeração envolve uma irreversível consolidação das pontes, mas a alta porosidade das partículas do sistema é mantida. A compactação está associada com a perda acentuada da integridade do sistema como resultado do espessamento das pontes entre as partículas, causando redução dos espaços e deformação das mesmas. Por último, as pontes entre as partículas desaparecem como resultado da liquefação da estrutura devido ao elevado conteúdo de umidade. Este estágio normalmente envolve a solubilização de frações de baixo peso molecular e comportamento higroscópico.

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

Em uma mistura de pó, em equilíbrio, a atividade de água é a mesma para todos componentes, embora eles individualmente possam ter diferentes conteúdos de água. Por isso, é útil saber a temperatura de transição vítrea e a atividade de água dos pós, a fim de identificar o componente mais importante na mistura. Obviamente, a fração de pó que apresente temperatura de transição vítrea mais baixa do mix é o componente mais sensível dentro da mistura (HARTMANN; PALZER, 2011).

Por outro lado, constatamos que, mesmo após o processo de secagem, não é raro que os pós alimentícios em geral e, especialmente, as hortaliças e frutas desidratadas, apresentem ainda problemas relacionados com a reologia e a higroscopicidade (COSTA; MEDEIROS; MATA, 2003). Para Jaya e Das (2004) higroscopicidade é a habilidade do alimento em pó absorver umidade do ambiente. O pó produzido pela secagem resulta em um material com características peculiares, diferentes daquelas próprias da polpa líquida (GOMES; FIGUEIRÊDO; QUEIROZ, 2002).

3.5 Adjuvantes de secagem e a maltodextrina

Segundo Anselmo *et al.* (2006) para a produção de frutas em pó, torna-se necessário o uso de formulações que contenham material de parede para evitar a caramelização dos açúcares existentes nas polpas das frutas. A utilização de agentes carreadores de secagem promove um melhor manuseio do produto final, conferindo maior proteção contra a adsorção de umidade, contribuindo para redução na higroscopicidade do produto (FERREIRA *et al.*, 2014a).

Estes agentes de transporte têm elevado peso molecular, são úteis para o aumento da temperatura de transição vítrea do produto, e são utilizados com o objetivo de evitar problemas operacionais na secagem por pulverização, tais como pegajosidade e aderência na parede da câmara do secador, transformações estruturais indesejadas, como colapso e cristalização, durante processamento e armazenamento dos alimentos (TONON; BRABET; HUBINGER, 2010).

De acordo com Gibbs (1999) a técnica de encapsulação tem aumentado na indústria alimentícia, e envolve a incorporação de ingredientes alimentares como gorduras, amidos, dextrinas, alginatos, proteínas e materiais lipídicos. Os materiais encapsulados são protegidos

contra a umidade, calor ou outras condições extremas, aumentando assim a sua estabilidade e mantendo a viabilidade.

Para Desai e Park (2005) a encapsulação na secagem por pulverização tem sido utilizada na indústria de alimentos desde o final dos anos 1950. Ela tem por vantagens proteger componentes sensíveis de alimentos contra perda nutricional e transformar líquidos em ingredientes sólidos facilmente manipuláveis.

Adjuvantes de secagem, denominados carreadores ou material de parede, podem ser carboidratos (amidos, maltodextrinas, xaropes de milho, dextranas, sacarose e ciclodextrinas), celulose (carboximetilcelulose, metilcelulose, etc.), gomas (goma acácia, Agar, carragena, etc.), lipídios (ceras, parafina, diglicerídios, etc.) e proteínas (glúten, caseínas, gelatinas, albuminas, hemoglobinas e peptídeos) (BARBOSA, 2010).

De acordo com Adhikari (2004) alimentos secos por pulverização podem ser classificados, subjetivamente, em dois grandes grupos: não-pegajoso e pegajoso. Materiais não-pegajosos podem ser secos utilizando um método simples, onde os produtos finais continuam com natureza de fluxo livre, pertencem a esse grupo, leite desnatado, proteínas e etc. Materiais pegajosos são difíceis de secar sob condições normais de secagem por pulverização, pertencem a esse grupo, o açúcar natural presente nos alimentos ricos em ácidos, como sucos de frutas, vegetais e mel. A maltodextrina auxilia no processo de secagem por atomização dos alimentos ricos em açúcar.

As maltodextrinas são formados por hidrólise parcial do amido de milho com ácidos ou enzimas, sendo fornecidos como equivalentes de dextrose (DE) que é uma medida do grau de hidrólise do polímero de amido (MADENE *et al.*, 2006). Segundo Sablani; Shrestha e Bhandari (2008) a higroscopicidade do pó diminui com o aumento da quantidade de maltodextrina. Se a proporção é mais elevada, a umidade do conteúdo da mistura também será menor, conseqüentemente, exige menos tempo de secagem e, certamente, aumenta a estabilidade no armazenamento do pó.

As maltodextrinas são bastante utilizadas devido ao seu baixo custo em comparação com outros hidrocolóides comestíveis (SANTANA, 2013). Apresentam boa relação entre custo e eficiência. Possuem sabor neutro e estão disponíveis em diferentes pesos moleculares médios (DE: 4, 10, 15, 20, 25, 30, e 42). Os pós secos por pulverização com maltodextrina tem melhor solubilidade e dispersibilidade (CAI; CORKE, 2000).

Dessa forma, as maltodextrinas apresentam uma ampla distribuição de massa molecular entre polissacarídeos e oligossacarídeos e estão disponíveis, comercialmente, na forma de um pó branco ou de soluções concentradas. Ao contrário de amidos naturais, são solúveis em água fria (SANTANA, 2013).

3.6 Isotermas de sorção

As isotermas de sorção são as curvas de equilíbrio, compostas pelas umidades de equilíbrio do material, correspondentes às umidades relativas (ou atividade de água) para uma dada temperatura. Pela isoterma de sorção sabe-se se será possível atingir uma umidade de equilíbrio adequada para conservação do produto a uma dada temperatura e umidade relativa (ou atividade de água). O conhecimento destas curvas de sorção é indispensável para determinar o teor de água final necessário para estabilizar o produto (PARK *et al.*, 2006).

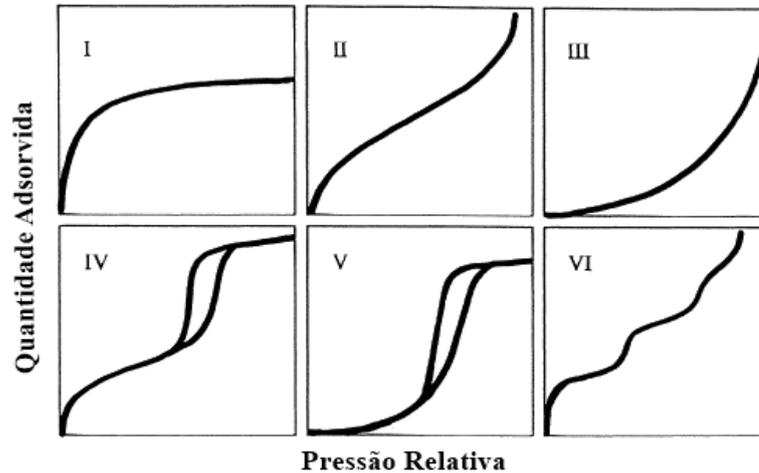
Segundo Park; Bin e Brod (2001) o estudo da atividade de água pode ser feito através das isotermas de sorção, que descreve, em uma umidade específica, a relação de equilíbrio de uma quantidade de água sorvida por componentes do material biológico e a pressão de vapor ou umidade relativa, a uma dada temperatura. Esta relação depende da composição química dos alimentos (gordura, amido, açúcar, proteínas, etc.).

De acordo com Damodaran; Parkin e Fenemma (2010) as isotermas de sorção têm diversos formatos e muitos destes permitem pelo menos uma interpretação qualitativa. As isotermas com formas sigmoide são características da maioria dos alimentos, entretanto, aqueles que contêm grandes quantidades de açúcar e outras moléculas solúveis pequenas (frutas, produtos de confeitaria e extrato de café), e ainda, baixa concentração de materiais poliméricos hidrofílicos pouco solúveis, podem exibir isotermas do tipo “J”. As formas e as posições das isotermas são determinadas por diversos fatores, como composição da amostra (incluindo distribuição da massa molecular e características hidrofílicas/hidrofóbicas dos solutos), estrutura física da amostra (cristalina ou amorfa), pré-tratamentos da amostra, temperatura e metodologia.

Segundo Donohue e Aranovich (1998) a maioria das análises de equilíbrio da adsorção começa com a classificação das isotermas. Esta classificação é importante na

modelagem teórica de fenômenos de adsorção e, igualmente importante, por razões práticas. Na Figura 7 pode ser observado a classificação das isotermas.

Figura 7 - Classificação das isotermas.



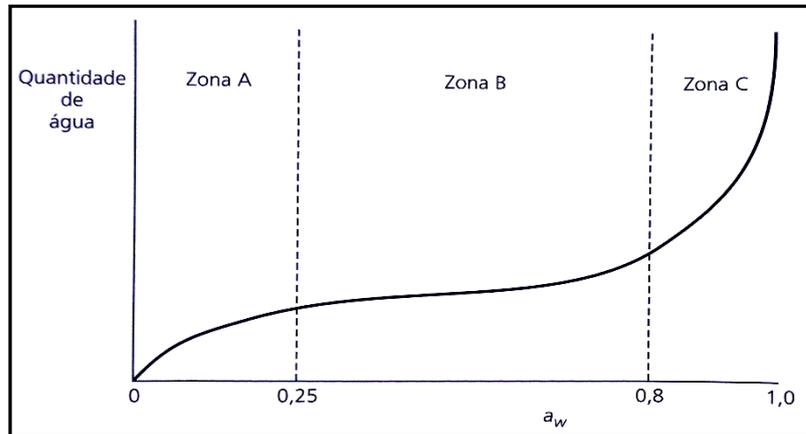
Fonte: Adaptado de Donohue e Aranovich (1998)

Isotermas do tipo I são dadas para sólidos microporosos com pequenas superfícies externas (SING, 1982). Como o processo de adsorção coincide com o processo de dessorção, esta isoterma é considerada reversível (AMGARTEN, 2006). Para Sing (1982) isotermas do tipo II são obtidas para adsorventes não porosos ou macroporosos. Se o ponto de inflexão da isoterma é bem nítido, pode-se obter o valor do ponto, que fornece a capacidade da monocamada (pela extrapolação deste valor na ordenada), isto é, a quantidade de adsorbato necessária para cobrir a superfície com uma monocamada completa. Neste ponto começa a formação da multicamada (AMGARTEN, 2006).

De acordo com Sing (1982) isotermas do tipo III não são comuns, são encontrados com adsorção do vapor de água pura. A interação adsorvente adsorbato é fraca, em comparação com as interações adsorbato adsorção. Isotermas do tipo IV apresentam ciclo de histerese, que está associado com condensação capilar, ocorrendo em mesoporos e limitando a absorção ao longo de um intervalo de alta p/p^0 . A isotérmica do tipo V é incomum, ela está relacionada com a isotérmica do tipo III, em que a interação adsorvente-adsorbato é fraca, mas é obtido com determinados adsorventes porosos. O tipo VI de isoterma representa adsorção em multicamadas gradual em uma superfície não porosa uniforme.

Na Figura 8, observa-se a divisão conceitual em zonas das isotermas de sorção, que auxiliam no entendimento de ligação da água aos alimentos.

Figura 8 - Isoterma de sorção de água de um alimento.



Fonte: Ordoñez (2005)

A zona A é a água mais fortemente ligada e menos móvel. Corresponde à água da camada monomolecular fixa aos grupos polares de certos compostos, especialmente, NH^{3+} e COO^- das proteínas e grupos OH^- dos amidos, assim como água de cristalização de açúcares e sais. É muito difícil de extrair, não é congelável e não se encontra disponível para atuar como solvente ou reativo. Constitui quantidade muito pequena da água total do alimento e corresponde à uma a_w inferior a 0,2 até 0,3. O limite entre as zonas A e B é chamado de monocamada BET. A zona B compreende a água correspondente as camadas de hidratação dos constituintes solúveis, isto é, proteínas, sais, açúcares, e etc. Está ligada por pontes de hidrogênio e interações dipolo-dipolo ou retida fisicamente em microcapilares de diâmetro inferior a $1 \mu\text{m}$. O ponto de congelamento e a capacidade solvente encontram-se muito reduzidos. A a_w está entre 0,20 – 0,30 e 0,80, aproximadamente. A zona C representa a maior parte da água dos tecidos frescos. É a água menos ligada e a mais móvel dos alimentos, embora o ponto de congelamento esteja um pouco reduzido. Encontra-se retida fisicamente em membranas, capilares (diâmetro superior a $1 \mu\text{m}$), géis, etc., e, por isso, pode ser facilmente eliminada por diversos procedimentos. Sua retenção é determinada pelo pH e pelas forças iônicas. É a responsável pela alteração dos alimentos, já que está disponível para o desenvolvimento de microrganismos e para as reações químicas. Equivale a a_w de 0,80 a 0,99 (ORDOÑEZ, 2005).

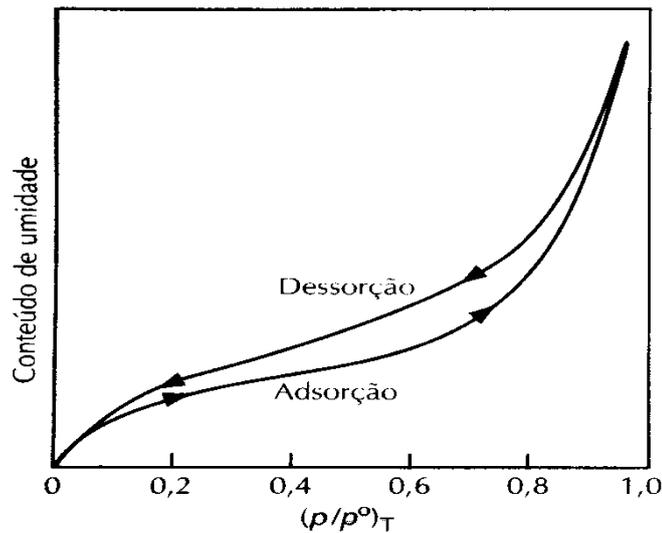
O valor de monocamada BET representa o teor de umidade no qual o alimento está em seu estado mais estável. Em teores de umidade abaixo desse nível, existe uma maior taxa de oxidação de gorduras e, em teores mais altos, ocorre o escurecimento por Maillard e atividades enzimáticas e microbiológicas são estimuladas (FELLOWS, 2006).

Para Damodaran; Parkin e Fenemma (2010) a quantidade total de água que ocupa as zonas A e B constitui menos de 5% da água presente em alimentos de alta umidade, já a água da zona C costuma constituir mais de 95% da água total em alimentos de alta umidade e, justamente, essa fração mais móvel costuma controlar a estabilidade do alimento.

A curva de uma isoterma pode se apresentar de duas formas: isotermas de adsorção, obtida quando um alimento totalmente seco é colocado em atmosferas com diversos incrementos de umidade relativa, sendo medido o aumento de peso desse alimento devido ao ganho de água determinadas durante a hidratação e isoterma de dessorção, obtida quando o alimento, inicialmente úmido, é colocado sob as mesmas condições atmosféricas criadas para adsorção, sendo medidos neste caso a diminuição de peso do alimento, provocada pela perda de água determinadas durante a desidratação (PARK *et al.*, 2008).

No entanto, em isotermas preparadas pela adição de água (adsorção), a amostras secas nem sempre sobreporá a isoterma preparada por dessorção. A falta de sobreposição é chamada de histerese conforme mostrado na Figura 9 (DAMODARAN; PARKIN; FENEMMA, 2010). A magnitude da histerese é variável e depende de diversos fatores, como a natureza do alimento, as mudanças físicas ocorridas quando se adiciona ou se elimina água, o grau de dessorção, a quantidade de água eliminada durante a dessorção e a temperatura (à medida que diminui, torna-se mais evidente) (ORDOÑEZ, 2005). Normalmente a uma certa pressão de vapor relativa $(p/p^0)_T$ o teor de água de uma amostra será maior durante a dessorção do que a adsorção.

Figura 9 - Histerese de uma isoterma.



Fonte: Damodaran; Parkin; Fennema (2010)

A atividade de água (a_w) é mais importante para a qualidade e a estabilidade de alimentos do que a quantidade total de água presente. A isoterma de adsorção de água é uma ferramenta importante, especialmente para alimentos de baixa umidade. Ela pode ser aplicada para otimizar a secagem ou condições de reidratação e determinar a estabilidade do produto durante a armazenagem (GOULA *et al.* 2008).

Uma vez produzido a fruta em pó, uma das mais importantes informações são as isotermas de equilíbrio higroscópico do produto, que tem por finalidade estabelecer se o produto sob determinadas condições de temperatura e umidade relativa do ar tende a sorver ou dessorver água (ANSELMO *et al.*, 2006). Diante do conhecimento do valor da atividade de água (a_w) de um produto, podem ser previstas reações químicas e enzimáticas, desenvolvimento de microrganismos, pode-se também, propor sistemas adequados de embalagem para um determinado produto (OLIVEIRA; AFONSO; COSTA, 2011).

As informações fornecidas pelas isotermas tem grande utilidade sob os mais variados aspectos, uma vez que permitem estudar e controlar processos de secagem e desidratação, permitem a avaliação da estabilidade de alimentos, determinar as propriedades de barreira de umidade em materiais de embalagem específicos para determinados produtos, prever a a_w de misturas de ingredientes, afim de evitar a transferência de umidade entre eles, estimar a vida útil de um alimento através de sua estabilidade física e química em função do seu conteúdo de água e etc.

Por serem higroscópicos, os pós obtidos de polpa e/ou suco de fruta têm comportamento diferenciado nas isotermas de sorção e, devido a isto, existem diversas equações empíricas que correlacionam dados experimentais das isotermas de sorção de materiais biológicos através de modelos matemáticos (ROCHA, 2013).

Uma das importantes aplicações das equações de isotermas é a energia de ligação de água, que é traduzida na energia de adsorção. A outra importante consideração é acerca dos valores de monocamada molecular de água, que indicam a relação com as reações químicas que determinam a deterioração dos materiais biológicos através das áreas expostas da matriz sólida. Com o intuito de prever o comportamento das isotermas, diversos autores propuseram modelos de ajuste de isotermas de sorção, estes são úteis no conhecimento das características dos produtos (PARK *et al.*, 2007). Os modelos podem ser classificados em teóricos, empíricos ou semiempíricos, os mais comuns utilizados para descrever sorção em alimentos serão discutidos a seguir.

3.6.1 Modelo de BET

É amplamente utilizado em sistemas alimentares proposto por Brunauer, Emmett e Teller, trata-se de um modelo teórico, fundamentado nas propriedades físicas da matéria. De acordo com Prado (1998) os pesquisadores propuseram, que à água se adsorve na forma de camadas, a primeira camada se fixa por adsorção sobre pontos uniformemente localizados e as moléculas seguintes se fixam, mediante pontes de hidrogênio, sendo o diâmetro dos capilares o fator que limita o número de camadas adsorvidas.

Para Andrade; Lemus e Pérez (2011) a equação BET (equação 1) representa um marco fundamental, uma base na interpretação das isotérmicas de sorção de multicamada, tem sido aplicada na adsorção de gás e vapor poroso em superfícies e sólidos, bem como, em água, especialmente na absorção de vapor, por polímeros homogêneos e outros materiais. O teor de umidade de monocamada (X_m), representa o teor de umidade no qual a água ligada a cada grupo polar e iônico começa a comportar-se como uma fase líquida. A letra C representa a energia constante relacionada com o líquido de absorção de calor, que é relacionado com a diferença entre as moléculas que a energia da bomba de adsorção da primeira camada e as outras camadas restantes.

$$X_e = \frac{X_m \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w)} \left[\frac{1 - (n + 1) \cdot (a_w)^n + n \cdot (a_w)^{n+1}}{1 - (1 - C) \cdot a_w - C \cdot (a_w)^{n+1}} \right] \quad [\text{Eq. 1}]$$

Onde:

X_e - umidade de equilíbrio, base seca (g g^{-1} em b.s);

X_m - conteúdo de umidade na monocamada molecular (g g^{-1} em b.s);

a_w - atividade de água;

n - número de camadas moleculares;

C - constante de ajuste do modelo.

Esta equação tem dois importantes casos especiais: quando $n = 1$, ela fica reduzida à equação de Langmuir e quando n tende a infinito, ela se reduz à equação de BET linearizável (BEZERRA, 2009). Park *et al.* (2008) descreve ainda que $n = 1$ corresponderia a região de baixa atividade de água, $a_w < 0,35$ e $n = \infty$ corresponderia a região de alta atividade de água.

Segundo Goula *et al.* (2008) somente os dados experimentais com $a_w < 0,50$ devem ser analisados no Modelo de BET, porque acima desse valor a hipótese do modelo falha e a equação não é capaz de prever o comportamento de sorção com precisão. Apesar das limitações teóricas da análise de BET de adsorção, o valor monocamada foi encontrado para ser um guia razoável no que diz respeito a vários aspectos de interesse em alimentos secos.

Segundo Ribeiro (2014) o modelo de BET foi o que melhor se ajustou as isotermas de adsorção do pó de polpa de acerola obtido por liofilização. Para Prado *et al.* (1999) as curvas de sorção de tâmaras para as temperaturas de 70 e 80°C se ajustaram melhor ao modelo BET.

3.6.2 Modelo de GAB

É um modelo teórico proposto por Guggenheim, Anderson e de Boer – GAB, esses autores ampliaram a teoria de adsorção física proposto por BET. A utilização do modelo GAB é generalizado por suas bases teóricas, simplicidade matemática e facilidade de interpretar; mas

não é frequentemente usado quando a atividade de água é superior a 0,93 (ANDRADE; LEMUS; PERÉZ, 2011).

De acordo com Costa; Medeiros e Mata (2003) o modelo matemático de GAB é um dos mais utilizados para descrever quantitativamente o fenômeno de sorção em produtos alimentícios, tem como objetivo calcular a massa de água da monocamada e o valor do calor de sorção. Sua equação comporta um parâmetro K a mais, que corresponde a um fator de correção das propriedades da multicamada. A equação matemática 2, que representa este modelo é a seguinte:

$$X_e = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w) \cdot (1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)} \quad [\text{Eq. 2}]$$

Onde:

X_e - umidade de equilíbrio, base seca (g g^{-1} em b.s);

X_m - conteúdo de umidade na monocamada molecular (g g^{-1} em b.s);

a_w - atividade de água;

C e K - constantes de ajustes do modelo.

De acordo com Andrade; Lemus e Pérez (2011) o teor de umidade de monocamada (X_m), C e K são as constantes de adsorção, que estão relacionados para as energias de interação entre o primeiro e as outras moléculas sorvidas dos sítios de sorção. As principais vantagens do modelo de GAB é que tem uma base teórica viável, uma vez que é um refinamento adicional de Langmuir e BET, ele fornece uma boa descrição do comportamento de sorção de quase todos os produtos alimentares, descreve o comportamento de sorção em uma ampla faixa de a_w (0 - 0,9). Assim, verificou-se ser adequado para a análise de mais de 50% de frutas, carne e legumes.

É importante notar que quando $K = 1$, a equação de GAB fica reduzida à equação de BET linearizada para n infinito. No geral, a aplicação do modelo de GAB depende do tipo de análise de regressão empregada (BEZERRA, 2009).

De acordo com Paglarini *et al.* (2013), que realizaram o trabalho para determinação da histerese das isotermas de sorção da polpa de manga (*Mangifera indica* L.) variedade manteiga, o modelo de GAB descreveu com maior precisão as isotermas de sorção.

3.6.3 Modelo de HENDERSON

É um modelo empírico proposto por Henderson em 1952, descrito na (equação 3). De acordo com Bezerra (1999) é um dos modelos mais empregados e descreve bem o comportamento de alimentos com uma ampla faixa de atividade de água (0,10 a 0,75), como grãos, cereais e frutas.

$$X_e = \left[\frac{-\ln(1 - a_w)}{b} \right]^{\frac{1}{a}} \quad [\text{Eq. 3}]$$

Onde:

X_e - umidade de equilíbrio, base seca (g g^{-1} em b.s);

a_w - atividade de água;

a e b - parâmetros de ajustes.

Oliveira *et al.* (2006) realizaram a determinação experimental e avaliação de modelos matemáticos de isotermas de dessorção da casca do maracujá, observaram que os valores médios com seus desvios padrão dos parâmetros do modelo de Henderson (“a” e “b”) não foram influenciados pela temperatura estudada. O modelo Henderson, com o coeficiente de determinação (R^2) ajustado às isotermas de dessorção da casca do maracujá nas quatro temperaturas estudadas (25, 30, 35, 40°C), descreveu com precisão as isotermas de dessorção nas diferentes temperaturas. Contudo, o modelo não apresentou um bom ajuste para a faixa de a_w acima de 0,8 na faixa de temperatura estudada.

Para Campos *et al.* (2009) o modelo de Henderson foi o que melhor descreveu as isotermas de adsorção da palma forrageira enriquecida proteicamente nas três temperaturas estudadas.

3.6.4 Modelo de OSWIN

O modelo baseia-se na expansão matemática para curvas de formato sigmoidal, inclui apenas duas constantes de fácil linearização (PARK *et al.*, 2007). É um modelo empírico, desenvolvido por Oswin (equação 4), em 1946, utilizado para relacionar o teor de umidade de leite em pó e chá liofilizado a uma atividade de água de 0,5 – 0,95, bem como, para uma variedade de alimentos (ANDRADE; LEMUS; PERÉZ, 2011).

$$X_e = a \cdot \left[\frac{a_w}{1 - a_w} \right]^b \quad [\text{Eq. 4}]$$

Onde:

X_e - umidade de equilíbrio, base seca (g g^{-1} em b.s);

a_w - atividade de água;

a e b - parâmetros de ajustes.

Almeida; Fonseca e Gouveia (1999) mostraram que o modelo de Oswin, utilizado na estimação das isotermas de sorção do gergelim seco ao natural, apresentou resultados satisfatórios para as temperaturas de 20 e 30°C. No trabalho com Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó, realizado por Alexandre; Figueirêdo e Queiroz (2007), o modelo se ajustou bem aos dados experimentais na temperatura de 10°C, apresentando coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,99.

Segundo Gouveia *et al.* (2004), que determinaram modelos matemáticos para ajuste das isotermas de desorção da polpa de banana da variedade prata, o modelo de Oswin foi um

dos que melhor representou as isotermas de dessecção da polpa de banana no estágio madura nas temperaturas estudadas (20; 30 e 40°C).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

A variedade de manga utilizada neste trabalho foi a Palmer, cedida e processada na forma de polpa pela Embrapa Agroindústria Tropical, localizada em Fortaleza - CE. As mesmas foram transportadas para o Laboratório de Refrigeração da Universidade Federal do Ceará, onde permaneceram armazenadas em *freezer* vertical a -18 °C, até a sua utilização.

A polpa de manga foi desidratada em *spray-dryer* do modelo MSD 1.0 LABMAQ, utilizando como adjuvante de secagem a maltodextrina com dextrose equivalente (DE) 20.

4.2 Métodos

4.2.1 Caracterização físico-química da polpa de manga

A caracterização físico-química da polpa de manga foi realizada no Laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem da Universidade Federal do Ceará. Para isso, a polpa foi previamente descongelada, em temperatura de refrigeração. As análises foram realizadas em triplicata, sendo os resultados expressos por médias e desvio padrão. As análises e seus respectivos métodos estão discriminados a seguir:

- Umidade: Determinada por evaporação a 105°C, segundo normas do Instituto Adolfo Lutz (2008), utilizando balança medidora de umidade, modelo ID50 Marte, e o resultado expresso em porcentagem;
- pH: Foi utilizado potenciômetro, previamente calibrado, seguindo as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2008). Para a determinação na polpa, a leitura foi realizada diretamente na amostra;
- Acidez total titulável: Determinada por titulação com hidróxido de sódio 0,1 M e indicador fenolftaleína, sendo o resultado expresso no ácido predominante na amostra conforme as normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2008);

- Açúcares totais e redutores: Determinado por espectrofotometria (540 nm), utilizando curva padrão de glicose, segundo o princípio da redução do DNS (ácido dinitrosalicílico) descrito por Miller (1959);
- Sólidos solúveis totais (°Brix): Realizada por refratometria, segundo normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2008), para frutos e produtos de frutos, sendo os resultados expressos em graus °Brix;
- Carotenoides totais: Determinado pelo método de Higby (1962) com adaptações. A amostra foi solubilizada em álcool e hexano, agitada e transferida para um funil de separação, completado com água destilada. Após o repouso, a amostra foi lavada, separada, filtrada e adicionada de acetona e hexano. Em seguida, efetuou-se a leitura da solução obtida em espectrofotômetro no comprimento de onda igual a 450 nm e os resultados expressos em mg de carotenoides totais 100 g⁻¹ de amostra;
- Atividade de água (a_w): Foi determinada utilizando um medidor de atividade de água, modelo AQUALab 4TE, a 25 °C;
- Ácido ascórbico: Determinado pelo método de Tillman, titulado com solução de DFI - 2,6 dicloro-fenol indofenol (0,02%), até a coloração róseo claro permanente e os resultados expressos em mg de ácido ascórbico 100 g⁻¹ de amostra, conforme Strohecker e Henning (1967).

Na polpa de manga, além das análises descritas acima também foi realizada a análise física de cor, descrita no item (4.2.4.1).

4.2.2 Secagem da polpa de manga

Antes da secagem as polpas de manga foram descongeladas e diluídas nas seguintes proporções: 70% polpa e 30% água destilada, a fim de facilitar sua aspensão. Para execução do planejamento experimental, e demais experimentos de secagem, foram fixadas as seguintes condições de secagem: Vazão da amostra 0,450 L/h; vazão do ar comprimido 3,0 L/min e vazão do ar de secagem 4,5 m³/min e bico aspersor de 1,2 mm de abertura de diâmetro. Para cada ensaio foi utilizado 500 g de amostra, onde as concentrações de maltodextrina (% , m/m), adicionadas após a diluição da polpa e temperatura do ar de secagem variaram de acordo com a Tabela 5.

Após o término da secagem de cada ensaio, o equipamento (*spray-dryer*) foi desligado e lavado sua câmara de secagem, de forma a não restar volume morto, o pó de manga resultante da secagem foi coletado e pesado a fim de se calcular seu rendimento, o produto final foi acondicionado em embalagem laminada ESA 038, cor ouro sanfonada, com materiais PET + Alum. + Poli, gramatura 122 g m², a vácuo e mantidos a temperatura ambiente.

4.2.2.1 Planejamento experimental (DCCE)

Foi realizado um planejamento experimental a fim de se obter a melhor condição de secagem em *spray-dryer* por meio da avaliação das variáveis independentes, concentração de maltodextrina (% , m/m) e temperatura do ar de secagem (°C), sobre as variáveis dependentes estudadas, rendimento (%), umidade (%), higroscopicidade (g 100 g⁻¹), e as coordenadas da cor luminosidade (L*), intensidade de verde (a*) e intensidade de amarelo (b*).

Foi utilizado um planejamento experimental do tipo fatorial completo de dois níveis (2²), tendo como variáveis independentes os parâmetros de temperatura (°C) e concentração de maltodextrina (% , m/m), o que permitiu o estudo de 5 níveis, conforme a Tabela 5. A realização do planejamento experimental da secagem de polpa de manga em *spray-dryer*, se deu pela efetivação de 11 ensaios, sendo quatro ensaios fatoriais (combinações entre os níveis ± 1), três centrais (duas variáveis independentes no nível 0) e quatro axiais (uma variável independente no nível ± α e outra em 0), gerando um modelo quadrático, conforme mostrado na Tabela 6.

Tabela 5 - Níveis do planejamento da polpa de manga para secagem em *spray-dryer*.

Variáveis Independentes	Níveis				
	-1,41	-1	0	+1	+1,41
Concentração Maltodextrina (%) – X ₁	5,9	10	20	30	34,1
Temperatura (°C) – X ₂	125,9	130	140	150	154,1

Tabela 6 - Planejamento Fatorial completo 2² mais pontos axiais.

Ensaio	Variáveis independentes			
	Codificadas		Reais	
	X ₁	X ₂	Maltodextrina (%)	Temperatura (°C)
1	+1	+1	30	150
2	-1	+1	10	150
3	+1	-1	30	130
4	-1	-1	10	130
5	0	0	20	140
6	0	0	20	140
7	0	0	20	140
8	-1,41	0	5,9	140
9	+1,41	0	34,1	140
10	0	-1,41	20	125,9
11	0	+1,41	20	154,1

4.2.2.2 Rendimento de secagem

O rendimento foi calculado pela relação entre a massa de sólidos no produto em pó obtido e a massa de sólidos que entrou no *spray-dryer* (polpa diluída com maltodextrina), de acordo com a Equação (5):

$$R = \frac{M_{s.pó}}{M_{s.solução}} \times 100 \quad [\text{Eq. 5}]$$

Onde:

R - rendimento (%);

$M_{s.pó}$ - massa de sólidos do pó (g);

$M_{s.solução}$ - massa de sólidos da solução (polpa diluída + maltodextrina) (g);

Umidade, higroscopicidade e cor, foram determinadas conforme descrito nos respectivos itens (4.2.1, 4.2.4.2, 4.2.4.1).

A partir dos resultados obtidos no planejamento experimental, foram gerados modelos de regressão, e para os parâmetros que se apresentaram significativos ao nível de confiança de 90%, foi aplicado a análise de variância (ANOVA), e gerados a superfície de resposta e a curva de contorno. O ajuste do modelo matemático foi avaliado pelo teste do F e pelo coeficiente de determinação (R^2). Os dados foram tratados estatisticamente com o auxílio do software Statistica 7.0 (STATSOFT, 2007).

4.2.3 Caracterização física e físico-química do pó na condição de secagem escolhida

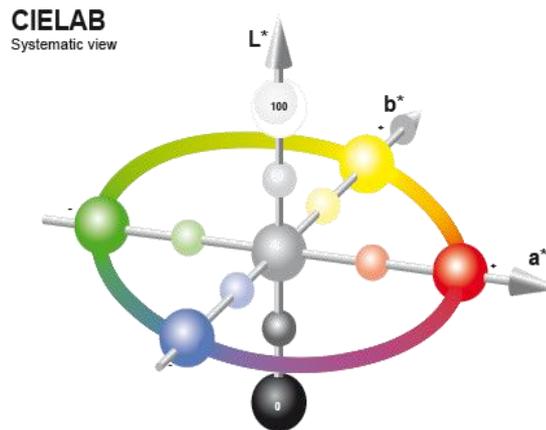
Os resultados do planejamento experimental, permitiram a escolha da melhor condição de secagem em *spray-dryer*, foram realizadas as análises de umidade, atividade de água (a_w), pH, acidez, açúcares totais e redutores, sólidos solúveis totais ($^{\circ}$ Brix), carotenoides totais, ácido ascórbico, cor, higroscopicidade, grau de *caking* e solubilidade, descritas respectivamente nos itens (4.2.1, 4.2.4.1, 4.2.4.2, 4.2.4.3 e 4.2.4.4). Para as análises de pH e $^{\circ}$ Brix foram realizadas diluições das amostras em pó de 1/10 g mL (pó/água destilada). Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Controle de Qualidade e Secagem de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, em triplicata e os resultados foram expressos por médias e desvio padrão. Através dessas análises foi possível a avaliação dos parâmetros físicos e físico-químicos do pó de manga, resultante do processo de desidratação com adição do adjuvante de secagem maltodextrina em *spray-dryer*.

4.2.4 Análises físicas

4.2.4.1 Cor

Para avaliação da cor das amostras foi utilizado um colorímetro Minolta modelo Chroma-Meter CR-410, com determinação no modo CIE $L^*a^*b^*$. Com o iluminante D65 e um ângulo de observação 10° , conforme mostrado na Figura 12.

Figura 10 - Coordenadas do sistema CIE L*a*b* de cor.



Fonte: Pantone e Munsell (2015)

De acordo com Tiano (2009), o sistema CIE L*a*b*, definido em 1976, representa um dos populares sistemas de colorimetria para mensuração de cor. Onde a coordenada L* corresponde a luminosidade com valores que vão do preto (0) ao branco (100), a coordenada a* varia do verde (-80) ao vermelho (+100), e a coordenada b*, assume valores do amarelo (+70) ao azul (-50).

4.2.4.2 Análise de higroscopicidade

A higroscopicidade foi determinada segundo Goula e Adamopoulos (2008) com modificações. Em uma placa de Petri, previamente tarada e pesada, foi obtida cerca de 1 g da amostra de pó em peneira de 500 μm , em seguida, a placa contendo a amostra foi transferida para as células de higroscopicidade com 75% de umidade relativa com solução de NaCl durante 90 minutos. A higroscopicidade foi calculada segundo a Equação 6:

$$H = \frac{X}{X_s} \cdot 100 \quad [\text{Eq. 6}]$$

Onde:

H - higroscopicidade (g de água absorvida/100g de sólidos);

X - massa de água absorvida (g);

X_s - massa de sólidos da amostra (g).

4.2.4.3 *Grau de Caking*

A determinação do grau de *caking* é uma sequência da análise de higroscopicidade, logo não é possível fazê-la isoladamente. Após o término da análise de higroscopicidade, as placas com as amostras foram levadas para estufa a 105°C e aquecidas por 2 horas para que perdessem a umidade ganha na análise de higroscopicidade, posteriormente, foram resfriadas e pesadas. Em seguida, a amostra foi transferida para uma peneira de 500 µm, previamente tarada e pesada, depois agitada por 5 minutos em agitador eletromagnético de peneiras. Após o término da agitação, a peneira foi pesada e o pó retido na peneira expresso como grau de *caking* e o resultado calculado segundo Jaya e Das (2004) através da Equação 7:

$$DC = \frac{b \times 100}{a} \quad [\text{Eq. 7}]$$

Onde:

DC - grau de *caking* (%);

a - quantidade de pó utilizado (g);

b - quantidade de pó retido na peneira (g).

4.2.4.4 *Solubilidade*

A solubilidade foi determinada segundo o método de Eastman e Moore (1984), adaptado por Cano-Chauca *et al.* (2005). Cerca de 1 g do pó de manga foi pesado e adicionado em 100 mL de água destilada, sendo agitado por 5 minutos em agitador magnético com velocidade de 2000 rpm. Em seguida, a solução foi transferida para um tubo com tampa de 50 mL e centrifugado a 3000 rpm por mais 5 minutos, logo após retirada uma alíquota de 25 mL e colocada em uma placa de Petri, previamente tarada e pesada, submetendo-a a secagem em

estufa a 105°C por 5 horas, resfriadas e pesadas. A solubilidade foi calculada conforme a seguinte equação:

$$S = \frac{Y}{X} \times 100 \quad [\text{Eq. 8}]$$

Onde:

S - solubilidade (%);

X - massa da amostra, em base seca (g);

Y - massa da amostra solubilizada e seca (g).

4.2.4.5 Propriedades reológicas do pó

Com o auxílio do analisador PFT – *Powder Flow Tester Brookfield Engineering Laboratories, Inc.*, ilustrado na Figura 11, foram realizados dois testes, o *Wall Friction* e *Flow Function*, nos pós de manga com diferentes concentrações de maltodextrina 10, 20 e 30%, ambos desidratados em *spray-dryer* a 150°C. O primeiro trata-se das medidas de atrito entre o pó e uma superfície de parede, já o segundo é utilizado para caracterizar a resistência de fluxo e potencial dos pós.

Figura 11 - *Powder Flow Tester*.



Os dois testes permitiram avaliar os parâmetros físicos:

- Análise do índice de fluidez do pó;
- Curva de densidade da massa;
- Ângulo de fricção da parede (mede o atrito entre o pó e uma determinada superfície de parede);

4.2.5 Determinação das isotermas de adsorção dos pós

Para construção das isotermas de adsorção dos pós de manga obtidos na desidratação em *spray-dryer* a uma temperatura de 150°C, foi utilizado um método gravimétrico estático, descrito por Wolf, Spiess e Jung (1985), onde as amostras de pó de manga em triplicata com 10, 20 e 30% de maltodextrina, foram pesados (1,0 g) em cadinhos de alumínio com dimensões externa 37,40 mm e interna 26,99 mm, previamente tarados, pesados e colocados dentro de células de vidro fechadas, contendo soluções saturadas de sais apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Soluções salinas para elaboração das isotermas de sorção.

Soluções Salinas	Concentração (%)
CH ₃ COOK	21,00
K ₂ CO ₃	44,00
NaBr	57,70
SnCl ₂	76,00
KCl	84,32
BaCl ₂	90,00

Após as amostras serem acondicionadas nas células com as soluções de sais, foram levadas para uma B.O.D modelo MA 415 marca Marconi, permitindo o estudo de três temperaturas 25, 35 e 45 ± 2°C. As amostras permaneceram a cada temperatura até atingirem o equilíbrio higroscópico, sendo considerado quando a variação de peso detectada por balança analítica modelo B-TEC- 210A marca Tecnal não ultrapassou 1%, as pesagens foram realizadas

a cada 24 horas. A cada equilíbrio higroscópico atingido, nas temperaturas estudadas, foram realizadas leituras da atividade de água (a_w), em um medidor modelo AQUALab 4TE.

4.2.5.1 Umidade de equilíbrio

Os valores de massa das amostras foram medidos antes e depois do equilíbrio, a fim de determinar a umidade de equilíbrio (X_e), calculada pela diferença entre a massa que a amostra apresentou no equilíbrio e sua massa seca inicial, através da Equação 9 abaixo:

$$x_e = \frac{M_o - M_s}{M_s} \quad [\text{Eq. 9}]$$

Onde:

x_e - umidade de equilíbrio (g g^{-1} em b.s);

M_o - massa da amostra no equilíbrio (g);

M_s - massa da amostra seca (g).

4.2.5.2 Modelos matemáticos

Com os dados da umidade de equilíbrio e atividade de água, foi possível o ajuste dos dados experimentais das isotermas de adsorção dos pós de manga. Os modelos matemáticos testados com o auxílio do software Statistica versão 7.0. Foram: GAB, BET, Henderson e Oswin, contidos na Tabela 8.

Tabela 8 - Modelos matemáticos usados para o ajuste dos dados experimentais das isotermas de adsorção.

Modelos	Fórmulas
GAB	$X_e = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w) \cdot (1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)}$
BET	$X_e = \frac{X_m \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w)} \cdot \left[\frac{1 - (n + 1) \cdot (a_w)^n + n \cdot (a_w)^{n+1}}{1 - (1 - C) \cdot a_w - C \cdot (a_w)^{n+1}} \right]$
HERDENSON	$X_e = \left[\frac{-\ln(1 - a_w)}{b} \right]^{\frac{1}{a}}$
OSWIN	$X_e = a \cdot \left[\frac{a_w}{1 - a_w} \right]^b$

Em que: a_w - atividade de água; X_m - conteúdo de umidade na monocamada molecular (g g^{-1} em b.s); X_e - umidade de equilíbrio expresso em (g g^{-1} em b.s); C e K - constantes de ajuste do modelo; n - números de camadas moleculares; a e b - parâmetros de ajustes.

Para avaliação dos ajustes dos modelos testados, foram usados como critérios o coeficiente de determinação (R^2) entre as respostas observadas e as previstas pelos modelos e o erro médio relativo (E), definido como a média da porcentagem de diferença relativa entre valores experimentais e previstos conforme (Equação 10) de Lomouro, Bakshi e Labuza (1985).

$$E = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|(M_i - Mp_i)|}{M_i} \quad [\text{Eq. 10}]$$

Onde:

E - erro médio relativo;

M_i - valores obtidos experimentalmente;

Mp_i - valores previstos pelo modelo;

n - número de dados experimentais.

4.2.6 Análise Morfológica do pó

Foi realizada análise de microscopia eletrônica de varredura para avaliar a superfície e a morfologia do pó de manga, a mesma foi efetuada na Central Analítica da Universidade Federal do Ceará - UFC com auxílio de um microscópio eletrônico de varredura (FEG) Quanta 450 ambiental com EDS/EBSD. Foram analisadas quatro amostras, sendo uma do adjuvante de secagem maltodextrina e três de pó de manga obtidos em *spray-dryer* a 150°C, contendo 10, 20 e 30% de maltodextrina.

As amostras foram depositadas sobre fita adesiva dupla face de carbono, fixada em suporte metálico (*stubs*) e, posteriormente, recobertas com ouro em metalizadora da marca Quorum QT150ES. As micrografias foram capturadas nas magnitudes de 1000 x, 2000 x e 5000 x.

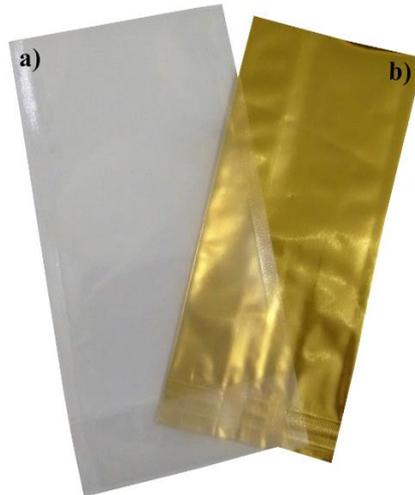
4.2.7 Avaliação da estabilidade do pó de manga

Após a determinação da melhor condição de secagem da polpa de manga cv. Palmer em *spray-dryer*, foram realizadas secagens a fim de se obter pó suficiente para o estudo da estabilidade. Buscou-se uniformizar os processos de secagem de forma a diminuir interferências nos resultados e, ao final de cada dia de secagem, o pó resultante de cada uma delas foi homogeneizado e distribuído em 7 embalagens, cada uma com aproximadamente 40 g, uma para cada tempo, de forma que cada dia de secagem originasse uma embalagem testada para o período de 90 dias estudado.

Foram testadas duas embalagens diferentes, com o objetivo de investigar qual a melhor forma de armazenamento do pó de manga. O pó resultante das secagens foi acondicionado da seguinte forma: Em embalagem laminada ESA 038, cor ouro sanfonada, com materiais PET + Alum. + Poli, gramatura 122 g m²; e em embalagem plástica transparente, composta por uma combinação de material de polietileno (PE) e poliamida (PA) com dimensões 19,4 x 10 cm, conforme mostrado na Figura 10. Para cada embalagem testada, usou-se duas formas de acondicionamento, uma selada a vácuo e outra sem vácuo, totalizando quatro formas distintas de acondicionamento. Após embalado, o pó foi mantido a temperatura ambiente, até o

momento das análises, que foram realizadas a cada 15 dias, a fim de se verificar sua estabilidade nos diferentes tempos e condições de armazenamento.

Figura 12 - Embalagens testadas na estabilidade do pó de manga: plástica (a); laminada (b).



A avaliação da estabilidade do pó de manga obtido em *spray-dryer* se deu por meio das análises físico-químicas de umidade, atividade de água (a_w), sólidos solúveis totais ($^{\circ}\text{Brix}$) e ácido ascórbico, além das análises físicas de cor, higroscopicidade, grau de *caking* e solubilidade, descritas respectivamente nos itens (4.2.5.2, 4.2.5.3, 4.2.5.4 e 4.2.5.5). Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Controle de Qualidade e Secagem de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, em triplicata, e os resultados testados pela ANOVA e teste de diferença de Tukey a 5%.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização da polpa de manga (*Mangifera indica*, L.).

Os resultados da caracterização da polpa de manga integral da variedade Palmer, podem ser observados na Tabela 9. O parâmetro acidez, apresentou-se inferior ao valor mínimo recomendado pelo Regulamento Técnico para Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para Polpa de Manga (Tabela 4), que fixa 0,32 g/100g. Quanto aos demais parâmetros estipulados pelo regulamento, tais como sólidos solúveis (°Brix), pH, açúcares totais, encontraram-se dentro dos parâmetros estabelecidos.

Tabela 9 - Características físicas e físico-químicas da polpa de manga variedade Palmer.

Determinações		Polpa de manga
Acidez (% ác. cítrico)		0,31 ± 0,02
pH		4,05 ± 0,00
Sólidos Solúveis (°Brix)		11,93 ± 0,40
Açúcares Totais (%)		8,16 ± 1,17
Açúcares Redutores (%)		1,54 ± 0,07
Umidade (%)		85,74 ± 0,11
Atividade de Água (a _w)		0,99 ± 0,00
Ácido Ascórbico (mg 100 g ⁻¹)		131,39 ± 21,76
Ácido Ascórbico (mg 100 g ⁻¹) ^a		921,40 ± 152,60
Carotenoides Totais (mg 100 g ⁻¹)		1,44 ± 0,26
Carotenoides Totais (mg 100 g ⁻¹) ^a		10,14 ± 1,85
L*		64,22 ± 0,20
Cor	a*	0,05 ± 0,01
	b*	57,55 ± 0,23

^a Valores expressos em matéria seca.

A polpa de manga da variedade Palmer, utilizada nesta pesquisa, apresentou acidez de 0,31%; resultado idêntico ao encontrado por Galli *et al.* (2011) para variedade Imperial e

próximo ao da variedade Beta de 0,34%. Silva *et al.* (2014) ao estudarem as alterações nos níveis de antioxidantes em polpa de manga, obtiveram valor semelhante ao desta pesquisa de 0,28% para variedade Palmer. Valores superiores aos obtidos neste trabalho foram relatos por Silva, A. *et al.* (2012) que avaliaram cinco variedades de manga cultivadas em São Paulo e encontraram os seguintes valores para cv. Parwin, 0,90%; Palmer, 0,85%; Tommy Atkins, 0,87%; Bourbon, 0,84%; Haden, 0,90%. Pacheco *et al.* (2015) encontraram valores de acidez que variaram entre 0,42% a 1,03% ao estudarem a qualidade da manga ubá orgânica e convencional ofertada a uma agroindústria da zona da mata mineira.

A polpa apresentou um pH de 4,05 Silva, A. *et al.* (2012) obtiveram valores que variaram de 3,00 a 4,00 nas cinco variedades de manga estudadas, sendo o valor máximo pertencente a variedade Bourbon o que mais se aproximou do valor encontrado neste trabalho. Silva, L. *et al.* (2012) obtiveram pH 3,85 para polpa de manga pasteurizada e congelada. Já Pacheco *et al.* (2015) relataram valores que variaram entre 3,03 a 4,12 para a variedade Ubá produzida de forma orgânica e convencional. Diógenes; Figueirêdo e Sousa (2015) ao realizarem uma análise comparativa de polpas de manga Haden integral e formulada com 30% de maltodextrina, encontraram um pH de 3,91 e 4,03, respectivamente. Batista *et al.* (2015) ao analisarem a qualidade de diferentes cultivares de manga, produzidas no Submédio do Vale do São Francisco, constataram valores iguais para as variedades Palmer e Tommy Atkins com pH de 4,62.

Para sólidos solúveis foi obtido o valor de 11,93 °Brix. Segundo Galli *et al.* (2011) o teor de sólidos solúveis é um excelente parâmetro para avaliação do ponto de colheita, aliado as características físicas do fruto, como coloração da casca. Ao analisarem variedades de mangas, cultivadas em sistema orgânico, encontraram o valor mínimo de 7,33 °Brix para variedade Palmer, resultado esse inferior ao obtido nesta pesquisa e máximo de 20,89 para variedade Beta. Silva, A. *et al.* (2012) em seu estudo da caracterização físico-química de frutos de mangueira, obtiveram 7,07 °Brix na polpa de manga cv. Palmer. Já Miguel *et al.* (2013) ao estudarem a mesma variedade, encontraram valores de 9,93; 10,37 e 12,26 °Brix para polpas armazenadas a temperaturas de 2; 5 e 12°C, respectivamente. Resultados bem próximos ao encontrado neste trabalho foram relatados por Galli *et al.* (2013) e por Diógenes; Figueirêdo e Sousa (2015) com os respectivos valores; 12,0 °Brix para variedade Palmer e 11,0 °Brix para polpa de manga in natura da variedade Haden.

Os conteúdos de açúcares totais e redutores na polpa de manga foram, respectivamente, de 8,16 e 1,54%, sendo inferiores aos descritos por Bezerra *et al.* (2011) que obtiveram 11,28% para açúcares totais e 4,10% para redutores na polpa de manga cv. Tommy Atkins. Ao estudarem cinco variedades de manga colhidas no Estado de São Paulo Silva, A. *et al.* (2012) relataram valores entre 3,63 a 10,15% para açúcares totais e 2,70 a 5,89% para redutores, tendo a variedade Palmer apresentado 3,63 e 2,94% para açúcares totais e redutores, respectivamente, resultados inferiores ao obtido neste trabalho. Silva, L. *et al.* (2012) apresentaram valores de 31,29% para açúcares totais e 2,87% para redutores em polpa de manga pasteurizada e congelada.

De acordo com Sousa *et al.* (2015) a umidade nos alimentos é um indicador da estabilidade, uma vez que essa característica irá determinar sua perecibilidade, seja por meio de reações químicas e bioquímicas ou ação de microrganismos. A polpa de manga apresentou valores de umidade e atividade de água (a_w) de 85,74% e 0,99, respectivamente, resultados ligeiramente acima dos obtidos por Diógenes; Figueirêdo e Sousa (2015) que relataram, respectivamente, 84,50% e 0,98 para umidade e a_w na polpa de manga in natura da variedade Haden. Valor muito próximo ao encontrado nesta pesquisa foi relatado por Moreira *et al.* (2013) com umidade de 85,48% na polpa de manga in natura da variedade Tommy Atkins. Neves *et al.* (2013) obtiveram resultado idêntico ao deste trabalho de 0,99 para a_w em mangas comercializadas no Estado de Sergipe.

A vitamina C ou, simplesmente, ácido ascórbico (AA) é uma vitamina hidrossolúvel e termolábil. Segundo Danieli *et al.* (2009) é rapidamente oxidada quando exposta ao ar, por esse motivo, é usada como índice de qualidade nutricional de produtos derivados de frutas e vegetais, porque quando comparado a outros nutrientes, esta vitamina é mais sensível à degradação durante o processamento e subsequente armazenamento.

O valor de ácido ascórbico da polpa de 131,39 mg 100 g⁻¹ (b.u) mostrou-se superior ao encontrado por Ribeiro *et al.* (2015) que avaliaram a qualidade e os compostos bioativos de frutos de mangueira. Seus valores variaram entre 34,28 a 73,43 mg 100 mL⁻¹ para as vinte e duas espécies estudadas e por Soares e São José (2013) com valores 89,44 e 63,33 mg 100 g⁻¹ para polpas de manga da variedade Rosa e Espada in natura, respectivamente. Ao estudarem os compostos bioativos e potencial antioxidante de algumas variedades de manga Melo e Araújo (2011) relataram 38,21; 28,70 e 20,85 mg 100 g⁻¹ para as variedades Espada, Rosa e Tommy Atkins, respectivamente. Miguel *et al.* (2013) revelaram valores de 47,49; 47,97 e 48,71 mg

100 g⁻¹ para polpas armazenadas a temperaturas de 2; 5 e 12°C, respectivamente, para cv. Palmer. Ainda sobre a mesma variedade, Silva, A. *et al.* (2012) apresentaram o valor de 34,27 mg 100 g⁻¹ e Silva *et al.* (2014) encontraram 37,01 mg 100 g⁻¹. Já Kaushik *et al.* (2014) obtiveram 123,42 mg 100 g⁻¹ para polpa de manga cv. Amrapali, dentre os relatados pela literatura foi o valor que mais se aproximou do encontrado nesta pesquisa.

Com relação à carotenoides, a polpa de manga da variedade Palmer apresentou 1,44 mg 100 g⁻¹ (b.u), superior ao relatado por Ribeiro *et al.* (2015) para as variedades Manila 0,55 mg 100 g⁻¹ e Manzanillo 0,78 mg 100 g⁻¹. Sena *et al.* (2011) obtiveram 0,029 mg 100 g⁻¹ na polpa de manga Itiuba. Valores superiores ao encontrado nesta pesquisa foram apresentados por Bezerra *et al.* (2011), respectivamente, 2,74 e 1,65 mg 100 g⁻¹ para as variedades Rosa e Tommy Atkins. Silva *et al.* (2014) obtiveram 1,9 mg 100 g⁻¹ para a variedade Palmer no estudo das alterações nos níveis de antioxidantes em polpa de manga, segundo esses autores o teor de carotenoides tem sido usado como importante marcador ou indicador da qualidade de sucos de fruta.

De acordo com Batista *et al.* (2015) a coloração dos frutos é um atributo de qualidade importante para o marketing, sendo reconhecido como um atrativo ao consumidor. É essencial caracterizar coloração de diferentes cultivares, bem como reconhecer os fatores fisiológicos e processos que a modificam. A análise colorimétrica revelou 64,22; 0,05 e 57,55 para luminosidade (L*), intensidade de verde (a*) e intensidade de amarelo (b*), respectivamente, significando a representação numérica da cor da polpa de manga. Moreira *et al.* (2013) encontraram valores de 65,80; 9,16 e 40,20 para L*, a* e b*, respectivamente, na polpa de manga cv. Tommy Atkins. Percebeu-se que os parâmetros de luminosidade (L*) e intensidade de amarelo (b*) se assemelharam, diferentemente do que aconteceu para a intensidade de verde (a*). Na polpa de manga in natura variedade Haden, Diógenes; Figueirêdo e Sousa (2015) relataram os valores de 50,39; 10,29 e 59,23 para L*, a* e b*, respectivamente, e Kaushik *et al.* (2014) encontraram, para variedade Amrapali, os valores L* 44,88; a* 14,50 e b* 47,20.

A polpa de manga da variedade Palmer, utilizada nesta pesquisa, está representada na Figura 13.

Figura 13 - Polpa de manga cv. Palmer.



5.2 Resultados do planejamento experimental

5.2.1 Resultados para rendimento, umidade, higroscopicidade e cor.

Os resultados dos experimentos de secagem em *spray-dryer* para cada ensaio estão apresentados na Tabela 10. A partir dos mesmos foram gerados modelos de regressão, que foram avaliados com o objetivo de descrever o comportamento das variáveis independentes sobre as variáveis respostas.

5.2.1.1 Rendimento

O rendimento de secagem é importante, pois indica a viabilidade do processo em termos de produtividade, é desejável um alto rendimento como forma a compensar os custos com a desidratação. O rendimento da secagem do pó de manga oscilou entre 8,57% (ensaio 8) valor mínimo e 48,75% (ensaio 1) valor máximo. Constatou-se que os ensaios com maior concentração de maltodextrina aliados a temperaturas mais elevadas foram os que apresentaram maior rendimento. Valor bem próximo ao encontrado nesta pesquisa foi apresentado por Lucca *et al.* (2015) com rendimento de 49,76% para polpa de jambolão desidratada em *spray-dryer* a uma temperatura de 140°C e com adição de 28,5% de dextrina.

Tabela 10 - Resultados do planejamento experimental para secagem de polpa de manga cv. Palmer em *spray-dryer*.

Ensaio	Variáveis independentes			Variáveis dependentes				
	Maltodextrina	Temperatura	Rendimento	Umidade	Higroscopicidade	Cor		
	(%) ¹	(°C)	(%)	(%)	(g 100 g ⁻¹)	L*	a*	b*
1	30	150	48,75 ± 0,48	1,65 ± 0,02	7,31 ± 0,30	63,32 ± 0,02	-3,92 ± 0,01	14,07 ± 0,01
2	10	150	11,37 ± 0,10	1,72 ± 0,14	8,28 ± 0,41	62,85 ± 0,01	-3,77 ± 0,00	15,53 ± 0,00
3	30	130	11,18 ± 0,04	2,51 ± 0,12	7,48 ± 0,39	63,78 ± 0,02	-4,26 ± 0,005	14,21 ± 0,00
4	10	130	14,87 ± 0,05	1,45 ± 0,14	12,59 ± 0,51	64,07 ± 0,01	-4,31 ± 0,02	16,13 ± 0,01
5	20	140	21,33 ± 0,55	2,01 ± 0,07	8,57 ± 0,24	64,91 ± 0,02	-4,08 ± 0,01	12,42 ± 0,005
6	20	140	27,96 ± 0,71	2,17 ± 0,005	6,42 ± 0,11	62,36 ± 0,01	-3,55 ± 0,01	14,70 ± 0,02
7	20	140	16,35 ± 0,43	2,36 ± 0,10	6,42 ± 0,24	62,47 ± 0,03	-3,75 ± 0,01	15,17 ± 0,01
8	5,9	140	8,57 ± 0,08	1,28 ± 0,12	10,30 ± 0,28	62,04 ± 0,07	-3,71 ± 0,02	16,77 ± 0,07
9	34,1	140	14,15 ± 0,29	1,91 ± 0,02	8,21 ± 0,75	63,88 ± 0,03	-4,07 ± 0,00	13,38 ± 0,01
10	20	125,9	15,09 ± 0,29	2,26 ± 0,07	8,72 ± 0,63	65,49 ± 0,005	-4,19 ± 0,01	12,13 ± 0,005
11	20	154,1	45,77 ± 0,78	1,79 ± 0,07	8,90 ± 0,54	63,29 ± 0,01	-3,84 ± 0,01	15,35 ± 0,01

¹ Em massa (g g⁻¹).

Rocha *et al.* (2014) relataram rendimentos que variaram entre 73,98 a 99,30% na secagem do suco de caju em *spray-dryer* com 30% de maltodextrina, variando os parâmetros de vazão do ar quente (m^3/min) e temperatura de entrada do ar ($^{\circ}\text{C}$), resultados esses superiores ao encontrado nesta pesquisa.

Os valores correspondentes aos efeitos estimados para o parâmetro de rendimento, estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Efeito da adição de maltodextrina e temperatura do ar de secagem no rendimento de secagem de polpa de manga em *spray-dryer*.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	p - valor
Maltodextrina (L)	10,41	4,0374	0,04939*
Maltodextrina (Q)	-10,25	4,817	0,08658*
Temperatura (L)	19,39	4,0374	0,004869*
Temperatura (Q)	8,931	4,817	0,1229
Malto x Temp	20,53	5,701	0,01550*

Em que: (L) - Termo linear; (Q) - Termo quadrático; *Valores significativos a ($p < 0,10$).

Constatou-se que a temperatura do ar de secagem e a concentração de maltodextrina influenciaram na variável resposta de rendimento. Analisando os efeitos dos fatores de temperatura e concentração de maltodextrina, lineares e quadráticos sobre o rendimento do pó de manga, apenas o efeito da temperatura (Q) não foi significativo ($p > 0,10$), e somente a maltodextrina (Q) apresentou efeito negativo no rendimento. Os termos lineares de maltodextrina (L) e temperatura (L) apresentaram efeitos positivos no rendimento, um aumento qualquer nestes parâmetros pode acarretar em um aumento no rendimento.

A adição do adjuvante de secagem maltodextrina resulta em um aumento de sólidos totais na mistura e redução da aderência do produto as paredes da câmara do secador, conseqüentemente, obtém-se mais partículas secas e menos perdas por aderência. Fato esse constatado por Avila; Rodríguez e Velásquez (2015) ao estudarem o efeito da maltodextrina no processo de secagem da cana de açúcar em *spray-dryer*, segundo esses autores, a adição de maltodextrina causou um aumento na temperatura de transição vítrea (T_g) do produto seco. O rendimento do processo foi maior em concentrações mais elevadas de maltodextrina (20%) a uma temperatura de 130°C . De acordo com Rocha *et al.* (2014) o efeito significativo da

temperatura pode ser explicado pela maior eficiência no processo de transferência de calor e massa que ocorre quando maiores temperaturas de secagem são utilizadas.

Para análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão, levou-se em consideração apenas os efeitos significativos, sendo excluída da mesma o efeito da temperatura (Q), os resultados do modelo de regressão gerado, para a variável rendimento, são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Análise de variância do modelo de regressão para a variável rendimento.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{cal}	F _{tab}	R ² (%)
Regressão	1535,498	4	383,875	6,062*	3,18	80,16
Resíduo	379,938	6	63,323			
Falta de Ajuste	312,140	4	78,035	2,302	9,24	
Erro Puro	67,798	2	33,899			
Total	1915,436	10				

Em que: SQ = Soma Quadrática; GL = Grau de Liberdade; QM = Média Quadrática; F_{calc} = F_{calculado}; F_{tab} = F_{tabelado}; R² = Coeficiente de determinação. *Significativo a (p < 0,10).

De acordo com a Tabela 12, a análise de variância (ANOVA) ao nível de confiança de 90% para variável rendimento, revelou no teste do F valores de F_{calculado} superior e inferior aos valores de F_{tabelado} para análise de regressão e a falta de ajuste, respectivamente. O coeficiente de determinação (R²) apresentou um valor de 80,16%. Para Peternelli (2016) o R² é uma maneira de verificar se o modelo proposto é adequado ou não para descrever os dados experimentais. O valor de R² varia no intervalo de 0 a 100 (%), valores próximos de 100 (%) indicam que o modelo proposto é adequado para descrever os dados.

Ao analisar os valores de F e do R², constatou-se que o modelo de regressão foi capaz de descrever o comportamento do rendimento. O modelo matemático, ajustado aos dados experimentais testados para rendimento do pó da polpa de manga variedade Palmer, obtida em *spray-dryer*, está representado pela equação 11.

$$R = 141,7 - 11,28M - 0,0643M^2 - 1,084T + 0,1027MxT \quad [\text{Eq. 11}]$$

Onde:

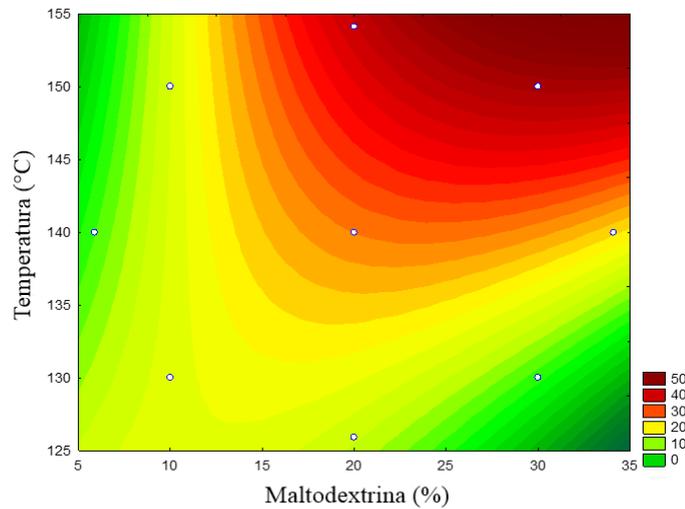
R - rendimento (%);

M - maltodextrina (%);

T - temperatura ($^{\circ}\text{C}$).

Através da equação 11 foi gerada a superfície de resposta ilustrada na Figura 27 do Apêndice A, e a curva de contorno Figura 14.

Figura 14 - Curva de contorno do rendimento do pó de manga obtido em *spray-dryer*.



A curva de contorno, corrobora com os resultados apresentados anteriormente, mostrando que os maiores rendimentos foram obtidos nas regiões de temperaturas mais elevadas e maiores concentrações de maltodextrina. Não houve, dentro dos limites do planejamento, uma região de rendimento máximo, porém a tendência do aumento do rendimento foi levada em consideração para a escolha da melhor condição de secagem (item 5.2.2).

5.2.1.2 Umidade

A umidade é importante na determinação da estabilidade do produto, condições de armazenamento, bem como, a sua suscetibilidade aos microrganismos. O pó da polpa de manga obtido em *spray-dryer* apresentou umidade baixa, sendo um fator positivo, podendo ser classificado como um produto estável. Dentre os resultados obtidos para a variável dependente umidade (Tabela 10), encontram-se valores entre 1,28% (ensaio 8) a 2,51% (ensaio 3). Observou-se que, entre os 11 ensaios, a variação dos valores de umidade foi pequena, não ultrapassando a 1,5 a diferença entre os resultados mínimo e máximo dos experimentos.

Resultados próximos ao encontrado nesta pesquisa foram relatados por Ferrari; Ribeiro e Aguirre (2012) com umidades de 1,23 e 3,05% para os ensaios com 5% de maltodextrina, desidratados em *spray-dryer* a temperaturas de 180 e 160°C, respectivamente. Já nos ensaios contendo 15% de maltodextrina a 180 e 160°C, encontraram 1,02 e 1,51%, respectivamente. Costa; Rocha e Costa (2014) ao secarem polpa de graviola em *spray-dryer* a uma temperatura de 120°C, com 15, 30 e 45% de maltodextrina, obtiveram valores de umidades de 1,17; 1,47 e 1,82%, respectivamente.

Valores superiores ao encontrado nesta pesquisa foram relatados por Moreira *et al.* (2013) que obtiveram 3,14% no pó da polpa de manga liofilizada e Bezerra *et al.* (2011) encontraram umidades de 14,45 e 13,98% no pó da polpa de manga variedade Rosa e Tommy Atkins respectivamente, obtidos por secagem em estufa a vácuo. Na Tabela 13 estão dispostos os resultados dos efeitos estimados para o parâmetro de umidade.

Tabela 13 - Efeito da adição de maltodextrina e temperatura do ar de secagem na umidade do pó de manga obtido em *spray-dryer*.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	p - valor
Maltodextrina (L)	0,4689	0,07992	0,002039*
Maltodextrina (Q)	-0,5772	0,09563	0,001775*
Temperatura (L)	-0,3127	0,07992	0,01125*
Temperatura (Q)	-0,1412	0,09536	0,1985
Malto x Temp	-0,5633	0,1128	0,004135*

Em que: (L) - Termo linear; (Q) - Termo quadrático; *Valores significativos a ($p < 0,10$).

Dentre os fatores lineares e quadráticos, apenas a temperatura (Q) não foi significativa ($p > 0,10$) para a variável dependente umidade. Mostrando-se dessa forma que tanto a concentração de maltodextrina (%) quanto a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) do ar de secagem exercem influência na umidade do produto final. Observou-se ainda um efeito negativo da variável temperatura (L), significando que um aumento nessa variável ocasionou uma redução na umidade do produto.

Notou-se que, entre os ensaios estudados, o aumento da concentração de maltodextrina (%) aliado a temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) mais elevadas resultou em pós com umidades mais baixas. Segundo Fazaeli *et al.* (2012) o teor de umidade diminui conforme um aumento da concentração do adjuvante, isso pode ser justificado pelo fato de que as concentrações adicionais do adjuvante de secagem resultam em um aumento de sólidos na alimentação e, conseqüentemente, uma redução na umidade total a ser evaporada. De acordo com Ferrari; Ribeiro e Aguirre (2012) o uso de temperaturas mais elevadas provoca uma maior taxa de transferência de calor para as partículas, o que leva a uma maior evaporação de água do produto, resultando em pós com umidade mais baixa.

A análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão foi realizada levando-se em consideração apenas os efeitos significativos, sendo desconsiderada da mesma forma o efeito da temperatura (Q), os dados estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Análise de variância do modelo de regressão para a variável umidade.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F_{cal}	F_{tab}	R² (%)
Regressão	1,418	4	0,354	32,818*	3,18	95,62
Resíduo	0,065	6	0,011			
Falta de Ajuste	0,005	4	0,001	0,039	9,24	
Erro Puro	0,060	2	0,030			
Total	1,482	10				

Em que: SQ = Soma Quadrática; GL = Grau de Liberdade; QM = Média Quadrática; F_{calc} = F_{calculado}; F_{tab} = F_{tabelado}; R² = Coeficiente de determinação. *Significativo a ($p < 0,10$).

Os resultados da análise de variância (ANOVA) ao nível de confiança de 90%, para umidade, mostraram que o modelo gerado descreveu bem os dados experimentais, o teste do F

apresentou para a regressão $F_{\text{calculado}}$ maior que F_{tabelado} , na falta de ajuste observou-se $F_{\text{calculado}}$ menor que F_{tabelado} . O modelo ajustado para variável dependente umidade do pó de manga apresentou um coeficiente de determinação (R^2) de 95,62%, e está representado pela equação 12.

$$U = -5,121 + 0,5249M - 0,00268M^2 + 0,04069T - 0,00282MxT \quad [\text{Eq.12}]$$

Onde:

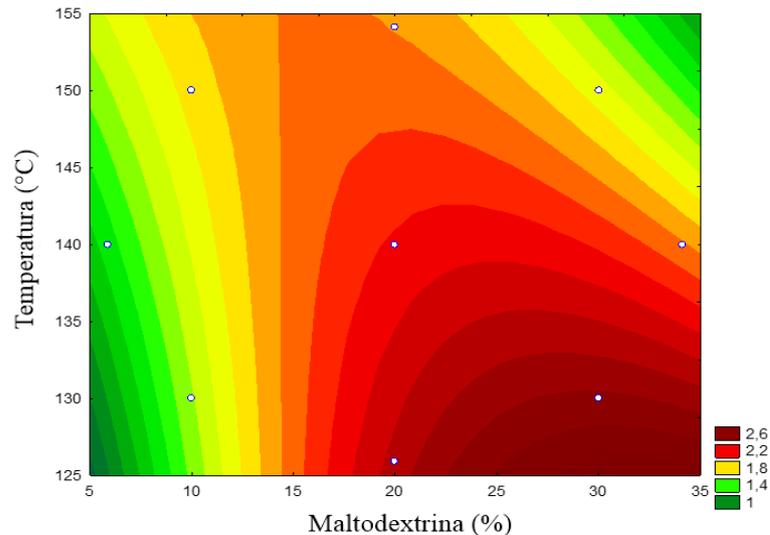
U - umidade (%);

M - maltodextrina (%);

T - temperatura ($^{\circ}\text{C}$).

A superfície de resposta (Figura 28) do Apêndice A, e a curva de contorno Figura 15, foram obtidas por meio da equação 12, sendo possível observar o comportamento da variável umidade.

Figura 15 - Curva de contorno para variável umidade do pó de manga obtido em *spray-dryer*.



Por meio da curva de contorno foi possível observar o efeito das diferentes concentrações de maltodextrina e diferentes temperaturas do ar de secagem sob a umidade do

pó de manga, nela ficou evidenciado a tendência na redução da umidade conforme o aumento da concentração de maltodextrina (%) a altas temperaturas do ar de secagem, ao passo que em temperaturas mais baixas, a concentração da maltodextrina acarretou em um aumento da umidade. Verificou-se também que os ensaios (4 e 8) apresentaram baixa umidade, apesar de uma menor concentração do adjuvante de secagem, no entanto seriam enviáveis em termos de rendimento, não justificando os gastos com o processo de produção.

Na literatura se encontra relatos similares a tal comportamento, como o observado por Lancha *et al.* (2012) ao desidratar polpa de pitanga e jabuticaba em *spray-dryer*, onde o aumento da concentração do adjuvante de secagem, aliado a altas temperaturas do ar de secagem resultou em pós menos úmidos. Goula e Adamopoulos (2008) ao estudarem o efeito da adição de maltodextrina durante a secagem em *spray-dryer* de polpa de tomate, observaram que um aumento na temperatura do ar de secagem leva a uma diminuição do teor de umidade, devido à maior taxa de transferência de calor para as partículas. Esses autores também relataram um aumento da umidade conforme o aumento da concentração de maltodextrina, para os autores, esse fato pode ser atribuído a dificuldade das moléculas de água se dispersarem entre as partículas maiores de maltodextrina. O aumento do teor de sólidos na solução, pela adição da maltodextrina, resulta em um aumento do tamanho das partículas dificultando sua aspensão.

5.2.1.3 Higroscopicidade

De acordo com os resultados obtidos (Tabela 10) a higroscopicidade dos pós de manga apresentaram valores que variaram entre 6,42 a 12,59 g 100 g⁻¹ nos ensaios 7 e 4, respectivamente. A higroscopicidade é a capacidade de certos materiais adsorver água do ambiente, constatou-se que a higroscopicidade dos pós de manga foi influenciada pela concentração de maltodextrina (%). Foi possível perceber que quando houve um aumento na concentração dessa variável, os pós revelaram-se menos higroscópicos. O mesmo comportamento foi observado por Tonon; Brabet e Hubinger (2009), Bhusari; Muzaffar e Kumar (2014), Ferrari; Ribeiro e Aguirre (2012) e Lancha *et al.* (2012).

Costa; Rocha e Costa (2014) obtiveram valores de 5,93; 3,82 e 3,28% no pó da polpa de graviola com 15, 30 e 45% de maltodextrina, respectivamente, desidratados em *spray-dryer* a uma temperatura de 120°C, resultados inferiores aos encontrados nesta pesquisa. Já Ferreira *et al.* (2014b) relataram valor de 9,4% para o pó de pitaya roxa obtido em *spray-dryer*

a 150°C com 5% de maltodextrina. Valores superiores foram encontrados por Ferrari; Ribeiro e Aguirre (2012) no pó da polpa de amora preta obtido em *spray-dryer* a 160°C, 28,73; 22,32 e 18,77 g 100 g⁻¹ para os ensaios contendo 5, 15 e 25% de maltodextrina, respectivamente. Lancha *et al.* (2012) ao estudarem as condições do processo de secagem em *spray-dryer*, obtiveram higroscopicidade de 22,91; 19,95 g 100 g⁻¹ para polpa de pitanga e 25,52 e 21,05 g 100 g⁻¹ na polpa de jabuticaba, nos ensaios com 5 e 10% de maltodextrina, respectivamente. A Tabela 15 mostra os efeitos estimados para variável dependente higroscopicidade.

Tabela 15 - Efeito das variáveis maltodextrina e temperatura do ar de secagem na higroscopicidade do pó de manga obtido em *spray-dryer*.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	p - valor
Maltodextrina (L)	-2,263	0,8457	0,04400*
Maltodextrina (Q)	2,0643	1,00925	0,09619*
Temperatura (L)	-1,0583	0,8457	0,2661
Temperatura (Q)	1,619	1,00925	0,1695
Malto x Temp	2,0668	1,194	0,1440

Em que: (L) - Termo linear; (Q) - Termo quadrático; *Valores significativos a (p < 0,10).

De acordo com os resultados mostrados na Tabela 15, apenas a maltodextrina (L) e (Q) mostraram-se significativas (p < 0,10) para a variável dependente higroscopicidade. Ainda com relação aos mesmos fatores, a maltodextrina (L) apresentou um efeito negativo, significando dizer que um aumento nesse parâmetro ocasiona uma redução na higroscopicidade do pó produzido.

Para Ferrari; Ribeiro e Aguirre (2012) a ação da maltodextrina na higroscopicidade do pó pode ser explicada pelo fato da mesma possuir baixa higroscopicidade, reduzindo a capacidade de adsorção de água dos produtos desidratados em *spray-dryer*.

Na Tabela 16 estão apresentados os resultados da análise de variância (ANOVA), onde foram desconsiderados todos os efeitos não significativos (p < 0,10), utilizou-se apenas os efeitos da maltodextrina (L) e (Q).

Tabela 16 - Análise de variância do modelo de regressão para a variável higroscopicidade.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{cal}	F _{tab}	R ² (%)
Regressão	16,187	2	8,094	4,253*	3,11	51,53
Resíduo	15,223	8	1,903			
Falta de Ajuste	12,141	6	2,023	1,313	9,33	
Erro Puro	3,083	2	1,541			
Total	31,410	10				

Em que: SQ = Soma Quadrática; GL = Grau de Liberdade; QM = Média Quadrática; F_{calc} = F_{calculado}; F_{tab} = F_{tabelado}; R² = Coeficiente de determinação. *Significativo a (p < 0,10).

Verificou-se na análise de variância (ANOVA) para higroscopicidade do pó de manga a um intervalo de 90% de confiança, valores de F_{calculado} superior e inferior ao F_{tabelado} para regressão e falta de ajuste, respectivamente. O modelo de regressão gerado apresentou um coeficiente de determinação (R²) de 51,53%. Apesar de ter apresentado um R² baixo e um valor de F_{calculado} ligeiramente maior, optou-se por apresentar a variável pelos gráficos.

O modelo matemático ajustado aos dados experimentais para variável dependente higroscopicidade do pó da polpa de manga está representado pela equação 13.

$$H = 13,34 - 0,4317M + 0,00796M^2 \quad [\text{Eq. 13}]$$

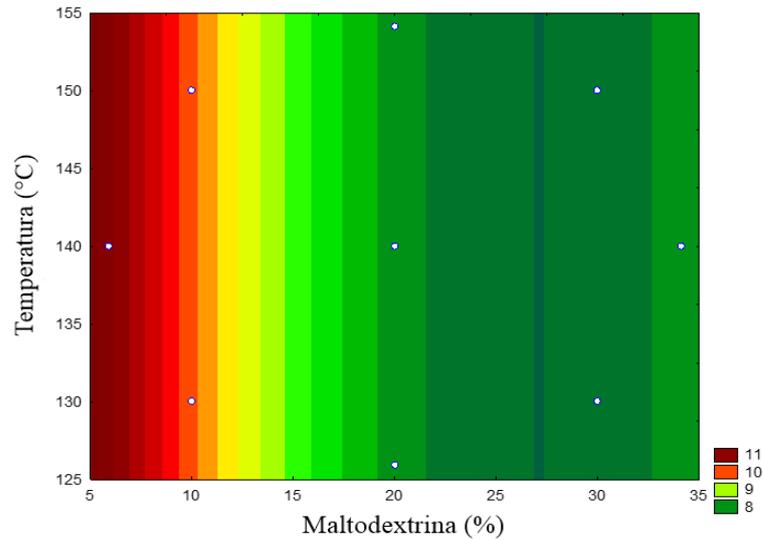
Onde:

H - higroscopicidade (g 100 g⁻¹);

M - maltodextrina (%).

A superfície de resposta (Figura 29) do Apêndice A, e a curva de contorno Figura 16, foram geradas por meio da equação 13, as quais evidenciaram o comportamento da variável higroscopicidade.

Figura 16 - Curva de contorno para variável higroscopicidade do pó de manga obtido em *spray-dryer*.



A curva de contorno (Figura 16) demonstrou que aumento da concentração de maltodextrina ocasionou uma redução na higroscopicidade dos ensaios estudados, com concentrações que variaram de 5,9 a 34,1% de maltodextrina.

5.2.1.4 Cor

5.2.1.4.1 Coordenada L* (Luminosidade)

Segundo Ribeiro *et al.* (2015) a cor é um componente muito importante da qualidade para o consumidor e deve exibir uniformidade e intensidade. A análise colorimétrica revelou valores (Tabela 10) que variaram de 62,04 (ensaio 8) a 65,49 (ensaio 10) para a coordenada L*. Resultados similares foram relatados por Sousa *et al.* (2015), onde encontraram valores que variaram de 62,34 a 65,84; para bebida mista de polpa de manga e soro lácteo, obtida em *spray-dryer* com temperaturas de 115 a 186°C, com adição de 20% de maltodextrina. Na Tabela 17 estão apresentados os efeitos estimados para a coordenada L*.

Tabela 17 - Efeito das variáveis maltodextrina e temperatura do ar de secagem sobre a coordenada L* (luminosidade) do pó de manga obtido em *spray-dryer*.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	p - valor
Maltodextrina (L)	0,6968	0,7240	0,3800
Maltodextrina (Q)	-0,3757	0,8639	0,6817
Temperatura (L)	-1,197	0,7240	0,1590
Temperatura (Q)	1,061	0,8639	0,2740
Malto x Temp	0,3833	1,022	0,7230

Em que: (L) - Termo linear; (Q) - Termo quadrático; *Valores significativos a ($p < 0,10$).

A análise de regressão mostrou que a coordenada L*, não pôde ser descrita pelas variáveis estudadas, uma vez que, não houve diferença significativa nos efeitos em nenhum dos fatores analisados a um nível de 90% de confiança, tanto em termos lineares quanto quadráticos, concentração de maltodextrina (%) e temperatura do ar de secagem (°C). Por esse motivo, não foi realizada a análise de variância (ANOVA) e, por conseguinte, o modelo e os gráficos não foram gerados.

5.2.1.4.2 Coordenada a* (Intensidade de verde)

A coordenada a* pode assumir valores que vão do verde (valores negativos) ao vermelho (valores positivos). Os resultados da análise colorimétrica apresentados na (Tabela 10) mostraram que os valores para a coordenada da cor a* tendenciaram a tonalidade verde, e variaram de -3,55 (ensaio 6) a -4,31 (ensaio 4). Sousa *et al.* (2015) obtiveram resultados muito parecidos com o desta pesquisa, apresentando valores de -3,52 a -4,08 para bebida mista de polpa de manga e soro lácteo, obtida em *spray-dryer* com temperaturas entre 115 e 186°C, com adição de 20% de maltodextrina. Na Tabela 18 estão apresentados os efeitos estimados para a coordenada a*.

Tabela 18 - Efeito das variáveis maltodextrina e temperatura do ar de secagem sobre a coordenada a* (intensidade de verde) do pó de manga obtido em *spray-dryer*.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	p - valor
Maltodextrina (L)	-0,1525	0,1435	0,3367
Maltodextrina (Q)	-0,1550	0,1713	0,4069
Temperatura (L)	0,3452	0,1435	0,06128*
Temperatura (Q)	-0,2774	0,1713	0,1662
Malto x Temp	-0,1016	0,2027	0,6373

Em que: (L) - Termo linear; (Q) - Termo quadrático; *Valores significativos a ($p < 0,10$).

De acordo com os resultados da análise de regressão mostrados na Tabela 18, apenas a temperatura (L) foi significativa ($p < 0,10$) para a coordenada da cor a*, a mesma apresentou um efeito positivo, revelando que um aumento na temperatura do ar de secagem, acarretou em um aumento do valor numérico, significando dizer que a tonalidade verde do pó de manga obtido em *spray-dryer* reduziu sob o efeito da temperatura. De acordo com Ferreira *et al.* (2014c) uma redução do parâmetro a* pode ocorrer em virtude da temperatura utilizada no processo, sendo esse um fator capaz de promover alterações na cor original da amostra. O mesmo comportamento foi observado por Sousa *et al.* (2015) com redução da coordenada a* da bebida mista de polpa de manga e soro lácteo obtida em *spray-dryer*, conforme o aumento da temperatura utilizada de 150 para 186°C.

Na Tabela 19 estão os resultados da análise de variância (ANOVA) para a coordenada a*, onde foram excluídos da mesma todos os efeitos não significativos a ($p < 0,10$).

Tabela 19 - Análise de variância do modelo de regressão para a coordenada da cor a*.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calc}	F _{tab}	R ² (%)
Regressão	0,238	1	0,238	5,651*	3,36	38,57
Resíduo	0,378	9	0,042			
Falta de Ajuste	0,237	7	0,034	0,476	9,35	
Erro Puro	0,142	2	0,071			
Total	0,616	10				

Em que: SQ = Soma Quadrática; GL = Grau de Liberdade; QM = Média Quadrática; F_{calc} = F_{calculado}; F_{tab} = F_{tabelado}; R² = Coeficiente de determinação. *Significativo a ($p < 0,10$).

Os resultados da ANOVA ao nível de confiança de 90%, para a coordenada da cor a^* do pó de manga, mostraram que o modelo foi significativo pelos valores de $F_{\text{calculado}}$ apresentados, mas a regressão apresentou um baixo coeficiente de determinação (R^2) 38,57%, sendo um modelo que não representou bem os resultados, por esse motivo optou-se por não apresentar as curvas e o modelo.

5.2.1.4.3 Coordenada b^* (Intensidade de amarelo)

A coordenada b^* pode assumir valores que vão do amarelo (valores positivos) ao azul (valores negativos). De acordo com os resultados mostrados na (Tabela 10), a coordenada b^* dos pós da polpa de manga apresentaram valores de 12,13 (ensaio 10) a 16,77 (ensaio 8), tendendo a tonalidade amarela, originalmente, a cor da polpa de manga in natura. Na bebida mista de polpa de manga e soro lácteo, obtida em *spray-dryer* com 20% de maltodextrina, Sousa *et al.* (2015) encontraram valores de 11,67 a 13,72 para a coordenada b^* , sendo um resultado bem próximo ao encontrado neste trabalho. Na Tabela 20 estão apresentados os efeitos estimados para a coordenada b^* .

Tabela 20 - Efeito das variáveis maltodextrina e temperatura do ar de secagem sobre a coordenada b^* (intensidade de amarelo) do pó de manga obtido em *spray-dryer*.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	p - valor
Maltodextrina (L)	-2,0480	0,9366	0,08045*
Maltodextrina (Q)	1,275	1,117	0,3055
Temperatura (L)	0,9508	0,9366	0,3566
Temperatura (Q)	-0,07103	1,117	0,9517
Malto x Temp	0,2316	1,322	0,8678

Em que: (L) - Termo linear; (Q) - Termo quadrático; *Valores significativos a ($p < 0,10$).

Segundo os resultados da análise de regressão (Tabela 20) apenas a maltodextrina (L) foi significativa ($p < 0,10$) para a coordenada da cor b^* , a mesma apresentou um efeito negativo, ou seja, uma redução na concentração deste parâmetro, ocasiona um aumento da tonalidade do pó de manga obtido em *spray-dryer*. De acordo com Tonon; Brabet e Hubinger (2009) isso pode ser explicado pelo fato de que a maltodextrina apresenta cor branca e, dessa

forma, dilui os pigmentos presentes na polpa. Tal comportamento foi observado por Oliveira; Costa e Afonso (2014) com valores de 24,09 e 21,34 para coordenada b^* , na polpa de cajá integral e no pó obtido pela liofilização com 17% de maltodextrina, respectivamente. A Tabela 21 apresenta os resultados da análise de variância (ANOVA) para a coordenada b^* , utilizou-se apenas o efeito da maltodextrina (L), sendo excluídos os não significativos a 90% de confiança.

Tabela 21 - Análise de variância do modelo de regressão para a coordenada da cor b^* .

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F_{cal}	F_{tab}	R² (%)
Regressão	8,364	1	8,364	5,711*	3,36	38,82
Resíduo	13,182	9	1,465			
Falta de Ajuste	8,851	7	1,264	0,584	9,35	
Erro Puro	4,331	2	2,166			
Total	21,546	10				

Em que: SQ = Soma Quadrática; GL = Grau de Liberdade; QM = Média Quadrática; $F_{\text{calc}} = F_{\text{calculado}}$; $F_{\text{tab}} = F_{\text{tabelado}}$; $R^2 =$ Coeficiente de determinação. *Significativo a ($p < 0,10$).

A ANOVA ao nível de confiança de 90%, para a coordenada da cor b^* do pó de manga, apresentou valores de F significativos, o modelo de regressão revelou um coeficiente de determinação (R^2) de 38,82%. Embora o modelo tenha sido significativo, o valor de R^2 foi baixo, demonstrando pouca representatividade dos resultados, desta forma decidiu-se não apresentar as curvas e o modelo.

5.2.2 Condição de secagem escolhida para avaliação da estabilidade do pó de manga

Com base nos resultados do planejamento experimental, constatou-se que o modelo matemático foi capaz de descrever as variáveis dependentes, rendimento (%), umidade (%), higroscopicidade ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) e as coordenadas da cor, com exceção da coordenada L^* , embora as superfícies de resposta não tenham apontado uma melhor condição de secagem, dentre os ensaios estudados, as mesmas mostraram uma tendência para os ensaios com maiores rendimentos e menores higroscopicidades e umidades.

A melhor condição de secagem foi definida em função das variáveis rendimento e higroscopicidade, tendo em vista a viabilidade de um processo industrial e na inserção do produto no mercado, buscou-se um ensaio que apresentasse maior rendimento e baixa higroscopicidade. Com relação a umidade, a mesma não foi determinante, devido a sua baixa variação entre os 11 ensaios estudados, ambos apresentaram valores muito próximos, onde o maior valor não ultrapassou 2,51% de umidade do pó, denotando que todos os ensaios são viáveis com relação a essa variável.

O ensaio escolhido como a melhor condição de secagem para obtenção do pó de manga, para as análises de estabilidade, foi o ensaio 1, com adição de 30% de maltodextrina e desidratado a 150°C. Esse ensaio apresentou maior rendimento 48,75%, a terceira menor higroscopicidade 7,31 (g 100 g⁻¹), estando o valor abaixo de 10%, assim como a terceira menor umidade 1,65%, aliando máximo de rendimento e baixos valores para higroscopicidade e umidade.

5.3 Caracterização física e físico-química da melhor condição de secagem

A melhor condição de secagem (ensaio 1) do planejamento experimental, o pó contendo 30% de maltodextrina, desidratado a 150°C em *spray-dryer*, foi submetido a uma caracterização, onde os resultados estão apresentados na Tabela 22.

O pó resultante da secagem da polpa de manga em *spray-dryer* apresentou uma acidez de 0,51%, valor superior ao encontrado na polpa de manga cv. Palmer in natura (Tabela 9), esse aumento na acidez pode ser atribuído ao fato de que houve a concentração dos ácidos orgânicos presentes na polpa, devido a remoção da água pelo processo de desidratação. Valores de acidez similares ao encontrado neste trabalho foram relatados por Rocha *et al.* (2014) que obtiveram 0,40% no suco de caju em pó e por Saikia; Mahnot e Mahanta (2015) que observaram 0,42% no suco de abacaxi em pó, ambos obtidos em *spray-dryer*. Resultados superiores foram encontrados por Moreira *et al.* (2013) com acidez de 3,28 no pó da polpa de manga cv. Tommy Atkins, obtido por liofilização e por Bezerra *et al.* (2011) com valores de 4,10 e 2,47% para os pós das polpas de manga variedade Rosa e Tommy Atkins, respectivamente, obtidos por secagem em estufa a vácuo.

Tabela 22 - Caracterização física e físico-química da melhor condição de secagem.

Determinações	Pó da polpa de manga	Valores preditos ^a
Acidez (% ác. cítrico)	0,51 ± 0,01	-
pH	3,99 ± 0,01	-
Sólidos Solúveis (°Brix)	86,33 ± 1,15	-
Açúcares Totais (%)	59,95 ± 1,59	-
Açúcares Redutores (%)	34,34 ± 1,30	-
Umidade (%)	1,80 ± 0,32	1,63
Atividade de Água (a _w)	0,17 ± 0,00	-
Ácido Ascórbico (mg 100 g ⁻¹) ^b	18,78 ± 0,01	-
Carotenoides Totais (mg 100 g ⁻¹) ^b	0,71 ± 0,31	-
Higroscopicidade (g 100 g ⁻¹)	5,12 ± 0,07	7,56
Grau de <i>caking</i> (%)	12,29 ± 2,28	-
Solubilidade (%)	97,53 ± 1,84	-
	L*	-
Cor	a*	-3,78
	b*	13,51
Rendimento (%)	61,62	44,82

^a Valores preditos pelos modelos de regressão; ^b Valores expressos em matéria seca.

O valor do pH de 3,99 mostrou-se pouco inferior ao obtido na polpa (Tabela 9), resultado muito próximo dos encontrados por Moreira *et al.* (2013) com pH de 3,75 no pó da polpa de manga liofilizada e por Bezerra *et al.* (2011) com valores de 3,44 e 3,80; nos pós das polpas de manga variedade Rosa e Tommy Atkins, respectivamente. Santos *et al.* (2014) e Rocha *et al.* (2014) em secagens utilizando *spray-dryer*, obtiveram um pH de 3,88 no pó de goiaba e no suco de caju em pó, respectivamente. Valores superiores foram relatados por Ferreira *et al.* (2014b) nos pós de pitaya roxa 4,6 e 4,7 obtidos, respectivamente, em leite de jorro e *spray-dryer* ambos com 5% de maltodextrina.

Com relação aos sólidos solúveis obteve-se 86,33 °Brix, se comparado com a polpa in natura (Tabela 9) houve um aumento de 623,63%, devido ao processo de secagem, onde foi removido a água e, por conseguinte, concentrou-se o teor de sólidos na amostra. Moreira *et al.* (2013) obtiveram um °Brix de 73,30 no pó de manga liofilizado. No cajá liofilizado adicionado de 17% de maltodextrina, Oliveira; Costa e Afonso (2014) encontraram 92,67 °Brix. Costa;

Rocha e Costa (2014) relataram valores de 89,68; 89,86 e 90,02 °Brix para o pó de graviola obtido em *spray-dryer* com 15, 30 e 45% de maltodextrina, respectivamente.

Houve um significativo aumento no teor de açúcares totais (59,95%) e redutores (34,34%), com relação ao da polpa de manga in natura, provavelmente devido a adição de 30% de maltodextrina. Os resultados encontrados mostraram-se superiores aos obtidos por Oliveira, Costa e Afonso (2014) com valores de 30,53% para açúcares totais e 27,52% para redutores no pó de cajá liofilizado com 17% de maltodextrina, e por Bezerra *et al.* (2011) que encontraram 39,42% para açúcares totais e 29,14% para redutores no pó da polpa de manga cv. Tommy Atkins sem adição de adjuvante de secagem. Também foi superior aos resultados obtidos por Santos *et al.* (2014) no pó de goiaba desidratado em *spray-dryer* com 10% de maltodextrina, que apresentou valores de 34,64% e 20,25% para açúcares totais e redutores, respectivamente.

O pó de manga apresentou uma umidade de 1,80%; valor similar ao predito pelo modelo gerado para variável umidade que foi de 1,63% e atividade de água de 0,17; esses resultados revelam que o produto final, possui baixa disponibilidade de água para a sobrevivência de microrganismos, bem como para as reações químicas ou bioquímicas.

Sousa *et al.* (2015) em seu estudo para obtenção da bebida mista de polpa de manga e soro lácteo em *spray-dryer* encontraram umidade de 1,99% para o ensaio contendo 20% de maltodextrina, desidratado a 150°C. Lancha *et al.* (2012) relataram umidades de 1,81% e 2,53% nos pós de jabuticaba e pitanga, respectivamente, obtidos em *spray-dryer* a 140°C, com adição de 10% de maltodextrina, ainda no mesmo estudo, esses autores observaram uma a_w de 0,29 no pó de jabuticaba e 0,28 no pó de pitanga. Silva Júnior; Morais e Maciel (2013) observaram umidade de 2,07% e a_w de 0,21; no pó da polpa de ciriguela, obtido em *spray-dryer* a 170°C com 26% de maltodextrina.

Atividades de água (a_w) superiores ao encontrado neste trabalho foram relatados por Ferrari; Ribeiro e Aguirre (2012) com 0,27 no suco de amora preta em pó, obtido em *spray-dryer* a 160°C com 25% de maltodextrina, por Ferreira *et al.* (2014b) com valores de 0,19 e 0,22 nos pós de pitaya roxa adicionado de 5% de maltodextrina desidratados, respectivamente, em *spray-dryer* e leite de jorro. Lucca *et al.* (2015) encontraram 0,26 no pó da polpa de jambolão, obtido em *spray-dryer* a 160°C com 26% de dextrina.

O ácido ascórbico por ser muito sensível e degradar-se facilmente quando exposto ao ar ou a altas temperaturas, foi fortemente influenciado pelo processo de secagem para a

obtenção do pó de manga, verificou-se teor de 18,78 mg 100 g⁻¹ (b.s), bem inferior ao obtido na polpa in natura (Tabela 9), representando uma redução de 97,96%. No entanto, se levarmos em consideração que na amostra havia tanto os sólidos da polpa quanto os da maltodextrina, essa porcentagem pode não representar a perda real de AA. Considerando, o valor total de AA por 500g de amostra e dividindo esse valor pelos sólidos totais da mesma, a perda seria de 88,69%, ambas não estão distantes das relatadas em literatura. Rocha *et al.* (2014) ao desidratarem suco de caju em *spray-dryer* a uma temperatura de 178°C, com 30% de maltodextrina observaram uma redução do ácido ascórbico de 82,25%, Moreira *et al.* (2013) ao liofilizarem polpa de manga cv. Tommy Atkins sem adição do adjuvante de secagem relataram um decréscimo de 76,98% no teor de ácido ascórbico se comparados os valores obtidos na polpa e no pó. Lima (2015) obteve uma perda de 92,67% em sua bebida composta de acerola e soro lácteo obtida em *spray-dryer* a uma temperatura de 175°C, com 25% de maltodextrina.

Os carotenoides no pó de manga apresentaram um valor de 0,71 mg 100 g⁻¹ (b.s), assim como ocorreu com ácido ascórbico, houve uma redução de 92,99% em seu teor se comparado com o encontrado na polpa in natura (Tabela 9). Utilizando o mesmo raciocínio aplicado ao AA, dividindo o valor total de carotenoides presente em 500g de amostra pelos sólidos totais da mesma a perda seria de 60,77%. De acordo com Alves *et al.* (2008) durante os processos de desidratação ocorre perda de carotenoides em qualquer que seja o método de processamento escolhido, a degradação de carotenoides aumenta conforme o tempo, a temperatura, o tamanho e a desintegração das partículas do alimento. Lancha *et al.* (2012) observaram uma redução de 87,20% no pó de pitanga com 10% de maltodextrina desidratado em *spray-dryer* a 180°C. Silva Júnior; Morais e Maciel (2013) obtiveram 0,0029 mg 100 g⁻¹ (b.s) na polpa de ciriguela em pó com 26% de maltodextrina. Valores superiores foram relatados por Sousa *et al.* (2015) para a bebida mista de polpa de manga e soro lácteo 0,78 mg 100 g⁻¹ (b.s), obtida em *spray-dryer* a 150°C com 20% de maltodextrina e Sogi; Siddiq e Dolan (2015) com valor de 5,17 mg 100 g⁻¹ (b.s) no pó de manga da variedade Tommy Atkins liofilizado.

O pó de manga apresentou uma higroscopicidade baixa de 5,12 g 100 g⁻¹. Segundo Bakar *et al.* (2013) pós com baixa higroscopicidade, umidade e grau de *caking*, aliado com alta solubilidade pode ser considerado um bom produto em pó. Em seu estudo de otimização da secagem de pitaya vermelha em *spray-dryer*, tendo como variáveis a temperatura do ar de entrada e saída, juntamente com a concentração de maltodextrina, os mesmos autores obtiveram valores de higroscopicidade, que variaram de 22,74 a 34,33%. Lucca *et al.* (2015) na polpa de jambolão em pó com 28,5% de dextrina desidratado a 140°C em *spray-dryer*, encontraram

16,76% e Ferreira *et al.* (2014c) obtiveram 11,25% na polpa de cajá em pó obtida em leite de jorro com 15% de maltodextrina, ambos superiores ao encontrado neste trabalho. Valores aproximados foram relatados por Sousa *et al.* (2015) para a bebida mista de polpa de manga e soro lácteo 5,58; 7,27 e 7,47% obtida em *spray-dryer* a temperaturas de 115, 150 e 186°C, respectivamente, com adição de 20% de maltodextrina.

Em relação ao grau de *caking*, que é o processo pelo qual um pó vai se aglomerando e perdendo sua qualidade, o pó de manga apresentou um resultado de 12,29%. De acordo com Jaya e Das (2004) o intervalo médio do grau de *caking*, para que um pó seja considerado com qualidade deve estar na faixa de 8,96 a 33,97%, dessa forma, o pó de manga obtido nesse estudo pode ser classificado como um pó de qualidade. Costa; Rocha e Costa (2014) ao avaliarem as características físico-químicas da graviola em pó, obtida em *spray-dryer*, encontraram grau de *caking* de 78,36; 35,38 e 24,77% nos pós contendo, respectivamente, 15, 30 e 45% de maltodextrina. Ferreira *et al.* (2014b) obtiveram 91,3% no pó de pitaya roxa com 5% de maltodextrina obtido em *spray-dryer*.

Segundo Cano-Chauca *et al.* (2005) a secagem de polpas de frutas em *spray-dryer* requer o conhecimento de suas propriedades e fatores que afetam o processo, a solubilidade de um pó está diretamente relacionada à sua microestrutura. O pó de manga apresentou uma solubilidade de 97,53%. Para Caparino *et al.* (2012) a solubilidade é um critério confiável para avaliar o comportamento do pó, em uma solução aquosa, esses autores encontraram uma solubilidade similar ao desta pesquisa 95,31% no pó de manga obtido em *spray-dryer* a 190°C com 25% de maltodextrina. Saikia; Mahnot e Mahanta (2015) relataram solubilidades de 58,41; 76,75; 68,84 e 57,57% para os pós das polpas de tangerina, melancia, abacaxi e carambola respectivamente, obtidos em *spray-dryer* a 185°C com 20% de maltodextrina.

A análise colorimétrica do pó de manga revelou, respectivamente, 64,24; -4,19 e 14,66 para L* (luminosidade) e as coordenadas a* (intensidade de verde) e b* (intensidade de amarelo). Valores esses similares aos preditos pelo modelo gerado para as coordenadas da cor a* e b*, que foram, respectivamente, -3,78 e 13,51; mostrando que o modelo descreveu bem os dados com relação a L*, no entanto não foi gerado um modelo para a mesma.

Comparando-se os resultados obtidos no pó com os da polpa de manga cv. Palmer in natura (Tabela 9), constatou-se que houve um aumento da luminosidade e redução dos valores das coordenadas a* e b*. Moreira *et al.* (2013) obtiveram valores 60,75; 8,17 e 19,20

para L^* e as coordenadas a^* e b^* , respectivamente, na polpa de manga liofilizada sem adição do adjuvante de secagem, resultados esses que corroboram com o efeito de diluição dos pigmentos provocado pela adição de maltodextrina. O mesmo comportamento foi observado por Ferreira *et al.* (2014c) na polpa de cajá integral, com valores 60,75; 8,17 e 45,94 para L^* , a^* e b^* , respectivamente, e 90,68; -0,78 e 30,67 para L^* , a^* e b^* , respectivamente, no pó obtido em leite de jorro com 15% de maltodextrina.

No processo de secagem em *spray-dryer*, para obtenção do pó de manga, obteve-se rendimento de 61,62%, valor esse superior ao predito pelo modelo gerado que foi de 44,82%. Pontes Júnior *et al.* (2015) ao estudarem a secagem de polpas de frutas em leite de jorro, usando como adjuvante de secagem a proteína isolada do leite, obtiveram rendimento de 40,63% para goiaba e leite de vaca.

O pó de manga da variedade Palmer resultante do processo de desidratação em *spray-dryer* a 150°C, com adição de 30% de maltodextrina está representado na Figura 24.

Figura 17 - Pó de manga obtido por desidratação em *spray-dryer*.



5.4 Propriedades reológicas dos pós

Os parâmetros que determinam a característica do escoamento do pó, como tensão principal de consolidação (σ_1) e tensão inconfiada de deslizamento (σ_c), obtidos através do equipamento *powder flow test* (PFT) dos pós de manga cv. Palmer desidratados em *spray-dryer* a uma temperatura de 150°C com 10, 20 e 30% de maltodextrina podem ser observados na Tabela 23.

Tabela 23 - Tensão principal de consolidação e tensão inconfiada de deslizamento dos pós de manga com 10, 20 e 30% de maltodextrina.

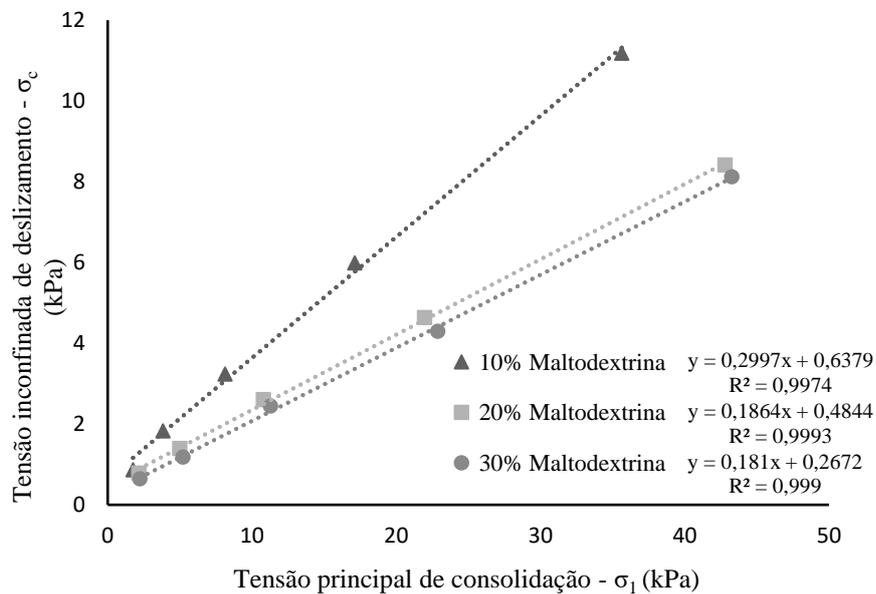
	σ_1 (kPa)	σ_c (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_c (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_c (kPa)
Níveis	10% malto.	10% malto.	20% malto.	20% malto.	30% malto.	30% malto.
1	1,750	0,869	2,148	0,785	2,233	0,646
2	3,824	1,827	4,993	1,398	5,204	1,179
3	8,135	3,241	10,792	2,607	11,273	2,448
4	17,130	5,990	21,959	4,633	22,882	4,294
5	35,637	11,186	42,805	8,414	43,268	8,126

σ_1 – Tensão principal de consolidação; σ_c – Tensão inconfiada de deslizamento; Malto. – Maltodextrina.

Quanto maior os valores da tensão inconfiada de deslizamento (σ_c) de um pó, menor é sua fluidez, e maior a dificuldade de seu escoamento em um silo. Notou-se que conforme o aumento da maltodextrina, obtiveram-se menores valores para σ_c , revelando que a adição do adjuvante de secagem influenciou diretamente na capacidade de escoamento dos pós. De acordo com Escudeiro e Ferreira (2014) os pós constituem um importante conjunto de matérias-primas para muitas indústrias e problemas de escoamento e interrupções de fluxo podem implicar na diminuição da eficiência dos processos em que estão envolvidos. Desse modo, prever o comportamento de um determinado pó durante o escoamento é útil, do ponto de vista tecnológico, para o correto dimensionamento de processos e equipamentos.

Além da concentração de maltodextrina, outro fator que influenciou a tensão inconfiada de deslizamento (σ_c) foi o aumento da tensão principal de consolidação (σ_1) aplicada pelo equipamento aos pós de manga. O Gráfico 1 ilustra as propriedades de fluxo dos pós de manga com 10, 20 e 30% de maltodextrina determinados através *powder flow test* (PFT).

Gráfico 1 - Tensão inconfina de deslizamento (σ_c) em função da tensão principal de consolidação (σ_1) dos pós de manga com diferentes concentrações de maltodextrina.



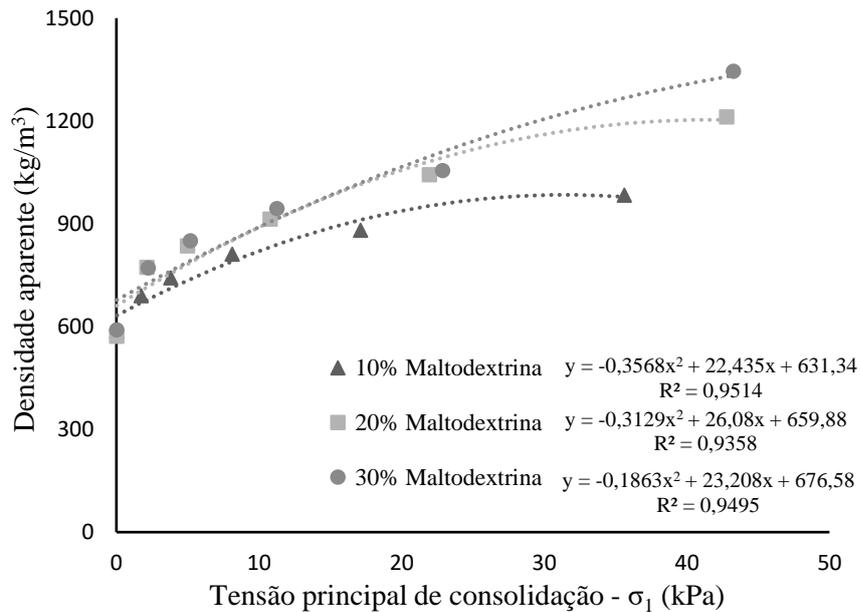
Segundo Lopes Neto *et al.* (2007) a curva mais próxima ao eixo horizontal representa um produto de fluxo fácil enquanto que, seguindo uma direção anti-horária, tal produto tende a apresentar maior resistência ao escoamento. Conforme evidenciado no Gráfico 1, os pós de manga com maiores concentrações de maltodextrina (20% e 30%) foram os que apresentaram o melhor índice de fluidez, estando as curvas mais próximas do eixo horizontal. A equação linear ajustou bem os dados da fluidez dos pós de manga, revelando elevados coeficientes de determinação (R^2) 0,9974; 0,9993 e 0,999 para os pós com 10, 20 e 30% de maltodextrina, respectivamente, podendo ser usada para estimar a escoabilidade dos mesmos.

Santos; Condotta e Ferreira (2016), ao analisarem as propriedades de fluxo de açúcares, observaram que o açúcar cristal em relação ao açúcar de confeitaria e do tipo exportação (VHP), foi a amostra com melhor fluidez. Para os autores, tais resultados estão relacionados não apenas com uma propriedade física, mas uma combinação intrínseca de todas as propriedades, individual e coletiva das partículas que constituem o leito, tais como, distribuição granulométrica, densidades, porosidade, umidade, forma e textura de superfície, sendo a grande maioria destas afetadas pelo processamento industrial.

A densidade aparente dos pós de manga com 10, 20 e 30% de maltodextrina, determinada através do *powder flow test* (PFT), em função da tensão principal de consolidação

(σ_1), podem ser observadas através do Gráfico 2. Segundo Koynov; Glasser e Muzzio (2015) a densidade aparente de um material é indicativo de sua fluidez e do grau de que pode ser expandido ou consolidado sob várias condições.

Gráfico 2 – Densidade aparente dos pós de manga com diferentes concentrações de maltodextrina, em função da tensão principal de consolidação (σ_1).

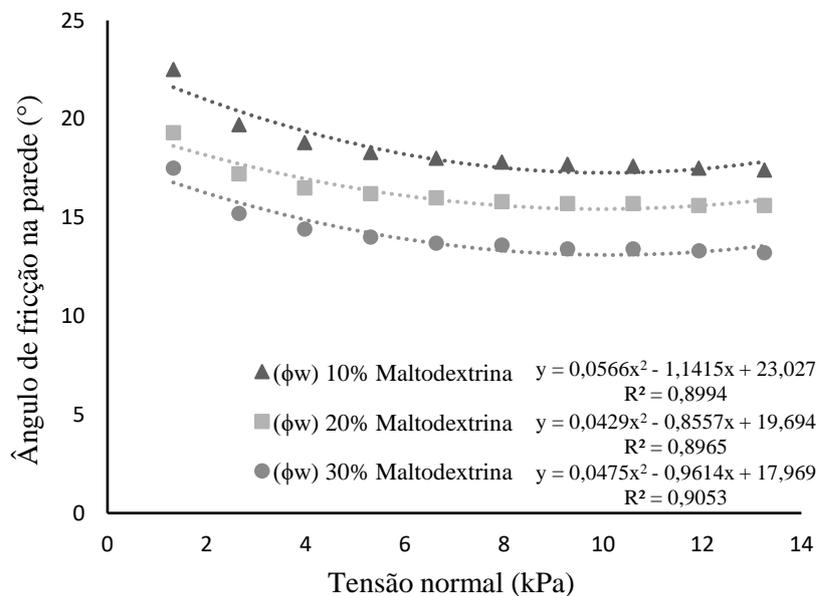


Conforme apresentado no Gráfico 2, obtiveram-se densidades diferenciadas para os pós de manga com 10, 20 e 30% e maltodextrina. Para Oliveira, M. *et al.* (2013) a densidade aparente considera o volume dos espaços presentes entre as partículas e, dessa forma, quanto maior a densidade aparente, menor é a quantidade de ar ocluso. De acordo com Abdullah e Geldart (1999) a medida que o tamanho da partícula aumenta, a coesividade do pó deverá diminuir, resultando em partículas mais densas e de maior fluidez, havendo um tamanho crítico, intervalo acima do qual a fluidez não apresenta melhora. Tal afirmação corrobora com os resultados obtidos neste trabalho. Obtiveram-se nos ensaios com maior concentração de maltodextrina (30%), maiores valores para densidade aparente. Foi ajustada uma equação polinomial de grau 2 aos dados da densidade, cujos coeficientes de determinação (R^2) foram altos, apresentando valores de 0,9514; 0,9358 e 0,9495 para os pós com 10, 20 e 30% de maltodextrina, respectivamente.

Santos; Condotta e Ferreira (2016), em seu estudo das propriedades de fluxo de açúcares, relataram que as densidades aparentes para os açúcares cristal e o tipo exportação (VHP) ficaram próximos, tendo o açúcar de confeitiro exibido o menor valor. De acordo com os mesmos, esse comportamento pode ser atribuído à maior umidade do material e à menor granulometria, o que contribui com o incremento das forças coesivas deste material, resultando em uma maior inclinação da superfície livre e formação de aglomerados, os quais podem conter ar em seu interior, reduzindo a densidade aparente.

Pelo Gráfico 3, foi possível observar os ângulos de fricção de parede, dos pós de manga com 10, 20 e 30% de maltodextrina. O ângulo de fricção da parede (ϕ_w) trata-se do ângulo ao qual uma superfície de parede deve estar inclinada, é importante para assegurar o fluxo mássico. Segundo Fitzpatrick *et al.* (2004) o ângulo de fricção da parede representa as forças aglutinantes, a resistência entre o pó e o material da parede do silo. Quanto maior o ângulo, mais difícil é mover o pó ao longo da superfície da parede, o mesmo varia com o estresse normal, onde é maior em baixas tensões.

Gráfico 3 - Ângulo de fricção dos pós de manga com diferentes concentrações de maltodextrina.



Os pós de manga com 10, 20 e 30% de maltodextrina apresentaram os respectivos valores máximos para os ângulos de fricção de parede 22,5°; 19,3° e 17,5° com tensões que variaram, de 1,328 a 1329 (kPa). Notou-se que, conforme o aumento da concentração do

adjuvante de secagem, bem como o aumento da tensão aplicada ao pó, houve uma redução do ângulo de atrito, resultando em valores mínimos de $17,4^\circ$; $15,6^\circ$ e $13,2^\circ$ nas tensões de 13,249; 13,251 e 13,252 kPa para os pós com 10, 20 e 30% de maltodextrina, respectivamente. Os pós de manga podem ser caracterizados como de fácil transferência ao longo da superfície da parede, devido aos baixos ângulos de atrito da parede apresentados, esses dados estão em consonância com as afirmações de Fitzpatrick *et al.* (2004). Os dados ajustados a equação polinomial de ordem 2 mostraram altos coeficientes de determinação (R^2) de 0,8994; 0,8965 e 0,90 para os pós com 10, 20 e 30% de maltodextrina, respectivamente.

De acordo com Silva Filho (2009) fatores da composição, como quantidade de umidade e distribuição granulométrica da partícula de sólidos granulados influenciam as características de atrito sobre a parede. Partículas menores tendem a aumentar o atrito sobre a parede, uma vez que há uma maior área de superfície de contato entre partículas menores e a superfície da parede. Outro fator que também influencia são as condições de manuseio e estocagem, em particular, temperatura, tempo de estocagem e exposição dos sólidos particulados à umidade do ar.

Valores similares aos resultados desta pesquisa para o ângulo de fricção de parede (ϕ_w) foram observados por Lopes Neto; Nascimento e Lopes (2012) ao estudarem os modelos de previsão do fluxo e vazão de descarga de produtos agrícolas. Esses autores utilizaram quatro produtos, sendo dois granulares e dois pulverulentos: Milho e feijão (grãos), milho triturado e farelo de soja (pulverulentos). Relataram ângulos inferiores de $13,2^\circ$; $14,9^\circ$; $23,0^\circ$ e $23,4^\circ$ e ângulos superiores de $15,8^\circ$; $15,6^\circ$; $23,9^\circ$ e $25,0^\circ$ para os grãos de milho e feijão e os farelos de milho e soja, respectivamente.

5.5 Isotermas de adsorção dos pós de manga

As isotermas de adsorção dos pós de manga obtidos em *spray-dryer* a 150°C com 10, 20 e 30% de maltodextrina foram ajustados pelos modelos de GAB, BET, Henderson e Oswin, os parâmetros estimados em cada modelo estão apresentados na Tabela 24.

Tabela 24 - Resultados dos ajustes dos modelos matemáticos para as isotermas de adsorção dos pós de manga obtidos em *spray-dryer*.

Modelos	Parâmetros	10% Maltodextrina			20% Maltodextrina			30% Maltodextrina		
		25°C	35°C	45°C	25°C	35°C	45°C	25°C	35°C	45°C
GAB	X _m	0,0942	0,1237	0,1245	0,0815	0,0874	0,0803	0,0884	0,1295	0,1721
	C	1,4054	1,1025	1,1450	1,1959	1,2781	1,4603	1,0953	0,7770	0,5602
	K	0,9640	0,9233	0,9107	0,9716	0,9649	0,9767	0,9401	0,8790	0,8316
	R ²	0,9976	0,9994	0,9982	0,9988	0,9994	0,9987	0,9999	0,9994	0,9995
	E (%)	8,54	4,10	4,68	5,48	3,78	2,49	1,59	2,17	2,54
BET	X _m	0,0779	0,0881	0,0867	0,0692	0,0739	0,0722	0,0658	0,0741	0,0745
	C	1,9234	1,6653	1,7300	1,5493	1,6114	1,7008	1,6361	1,3948	1,2461
	n	27,572	19,1613	17,0592	29,9229	24,3908	25,6091	22,4284	16,1904	14,5034
	R ²	0,9969	0,9991	0,9981	0,9984	0,9991	0,9985	0,9996	0,9993	0,9997
	E (%)	9,64	4,97	5,49	6,29	4,33	2,92	2,42	2,87	1,46
Henderson	a	0,6641	0,7130	0,7468	0,6265	0,6732	0,6897	0,6735	0,7221	0,7296
	b	3,2376	3,3318	3,5585	3,3991	3,5132	3,6402	3,8083	4,0097	4,1823
	R ²	0,9947	0,9981	0,9970	0,9958	0,9964	0,9946	0,9982	0,9989	0,9991
	E (%)	5,12	4,76	6,45	6,23	6,39	8,26	6,14	4,35	4,26
Oswin	a	0,1046	0,1142	0,1133	0,0855	0,0925	0,0915	0,0850	0,0897	0,0858
	b	0,8425	0,8146	0,8016	0,8872	0,8719	0,8764	0,8317	0,8205	0,8319
	R ²	0,9973	0,9977	0,9964	0,9986	0,9991	0,9986	0,9987	0,9964	0,9956
	E (%)	9,58	7,56	8,08	6,28	4,72	2,97	5,03	6,69	6,65

X_m - conteúdo de umidade na monocamada molecular (g de água por g de sólidos secos); R² - coeficiente de determinação; E (%) - erro médio relativo; C, K - constante de sorção da camada molecular; n - número de camadas moleculares; a, b - parâmetros de ajuste dos modelos.

As isotermas dos pós de manga foram obtidas correlacionando os teores da umidade de equilíbrio (X_e) em função da atividade de água (a_w) através dos modelos matemáticos (item 3.6). De acordo com Oliveira, Costa e Afonso (2014) diversos modelos matemáticos têm sido propostos com o intuito de descrever o comportamento das isotermas de sorção dos alimentos, porém não há um modelo que descreva satisfatoriamente todas elas, visto que a atividade de água depende bastante da composição do alimento e da interação de seus diferentes constituintes com a água em condições de equilíbrio termodinâmico. Os modelos matemáticos permitem que, com poucos pontos experimentais, seja possível a determinação das isotermas de sorção que podem ser extrapoladas para obtenção de pontos nas regiões de baixa ou alta atividade de água.

Pelos resultados obtidos (Tabela 24), constatou-se que os modelos de GAB, BET, Henderson e Oswin ajustaram-se bem aos dados experimentais das isotermas dos pós de manga com 10, 20 e 30% de maltodextrina à 25, 35 e 45 °C. Os modelos apresentaram altos coeficientes de determinação (R^2), entre 0,9946 e 0,9999 e baixos valores do erro médio relativo (E), entre 1,59 a 9,58%.

Embora todos os modelos matemáticos tenham se ajustado bem aos dados, o de GAB foi o que apresentou maior R^2 e o menor erro médio relativo para quase a totalidade das amostras. Exceção ao pó com 30% de maltodextrina à 45°C, cujo erro foi ligeiramente superior ao modelo de BET e ao pó com 10% de maltodextrina à 25°C, cujo erro foi superior ao modelo Henderson. Dessa forma, o modelo de GAB foi escolhido para descrever as isotermas de adsorção dos pós de manga.

Diversos autores como Bezerra *et al.* (2011); Moreira *et al.* (2013); Canuto; Afonso e Costa (2014); Oliveira *et al.* (2013) e Alcântara *et al.* (2009), ao trabalharem, respectivamente, com polpas de manga em pó cv. Rosa e Tommy Atkins, polpa de manga liofilizada cv. Tommy Atkins, polpa de mamão liofilizada, polpa de morango atomizada e pedúnculo seco de caju, constataram que o modelo de GAB foi o que melhor ajustou os dados experimentais das isotermas de adsorção dos pós obtidos após a desidratação.

Observou-se que a monocamada (X_m) para o modelo de GAB apresentou um leve aumento conforme a elevação da temperatura na mesma concentração de maltodextrina, tal comportamento foi verificado nas concentrações de 10 e 30% de maltodextrina. Quando comparou-se concentrações diferentes a uma temperatura constante, observou-se que ocorreu

o inverso, uma diminuição de X_m nas concentrações de 10 e 20% de maltodextrina. De acordo com Gabas *et al.* (2009) o valor de umidade da monocamada (X_m) é importante, uma vez que indica a quantidade de água que é fortemente adsorvida em sítios específicos da superfície do alimento, que é considerado como o valor ótimo para garantir sua estabilidade. Comportamento similar ao desta pesquisa, foi relatado por Oliveira *et al.* (2013) ao estudarem as isotermas de macaúba (*Acrocomia aculeata*) em pó nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C, verificaram que a elevação da temperatura ocasionou um aumento no conteúdo da monocamada para o modelo de GAB no pó sem adição de maltodextrina.

Santos *et al.* (2014) em seu estudo das isotermas do pó de goiaba, obtido em *spray-dryer* adicionado de 10% de maltodextrina a temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C, observaram que o conteúdo de umidade da monocamada (X_m) para o modelo de GAB reduziu nas temperaturas de 25 a 30°C e aumentou nas temperaturas subsequentes, não tendo um comportamento bem definido. Alcântara *et al.* (2009) ao pesquisarem as isotermas de adsorção do pedúnculo seco do caju, constataram que o parâmetro X_m do modelo de GAB não apresentou tendência definida em relação à temperatura. Paglarini *et al.* (2013) ao estudarem a histerese das isotermas de sorção da polpa de manga cv. Manteiga verificaram que os valores de X_m de GAB reduziram com o aumento da temperatura.

De acordo com Ferreira e Pena (2003) dois mecanismos podem justificar o comportamento do conteúdo de umidade da monocamada (X_m) em relação a temperatura. O aumento da temperatura pode provocar modificações na estrutura física do produto, disponibilizando um número maior de sítios ativos com afinidade por moléculas de água ou pode provocar um aumento na solubilidade de solutos intrínsecos ao produto, fazendo com que um número maior de moléculas de água fique retido na monocamada.

Canuto; Afonso e Costa (2014) em seu trabalho sobre a higroscopicidade de pós da polpa de mamão liofilizada contendo 0, 5 e 15% de maltodextrina, observaram que, para o modelo de GAB, o conteúdo da monocamada (X_m) aumentou conforme o aumento da concentração de maltodextrina à 25°C. Para Gabas *et al.* (2009) as diferenças entre os valores obtidos para X_m nas isotermas de frutas em diferentes trabalhos pode ser atribuída à variação na composição da matéria-prima, principalmente no teor de açúcar.

De acordo com Oliveira *et al.* (2014) as constantes C e K do modelo de GAB são parâmetros de adsorção relacionados com as interações energéticas entre as moléculas da

monocamada e as camadas subsequentes num dado sítio de sorção. O parâmetro C do modelo de GAB revelou valores que variaram entre 0,5602 e 1,4603. Notou-se ainda que este parâmetro não apresentou um comportamento bem definido em função das condições de concentração de maltodextrina e temperaturas. Nos pós com 10%, os valores aumentaram e reduziram-se conforme o aumento da temperatura, já nos pós com 20%, verificou-se um aumento de C com a elevação da temperatura, enquanto que o pó contendo 30% de maltodextrina, obteve um comportamento antagônico se comparado com o de 20%. Quando foi analisado o aumento da maltodextrina a uma mesma temperatura, percebeu-se uma redução no valor de C nos pós contendo 10 e 30% de maltodextrina.

Moreira *et al.* (2013) ao estudarem as isotermas de adsorção de polpa de manga cv. Tommy Atkins liofilizada, relataram uma tendência de diminuição do parâmetro C com aumento da temperatura de 25 para 30°C. Canuto; Afonso e Costa (2014) verificaram que os valores do parâmetro C aumentaram e reduziram-se conforme o aumento da concentração de maltodextrina nas isotermas de mamão liofilizado a uma temperatura de 25°C. Já Oliveira; Costa e Afonso (2014) em seu estudo sobre o comportamento higroscópico da polpa de cajá liofilizada, constataram que o aumento da concentração de maltodextrina provocou uma redução do parâmetro C a uma mesma temperatura.

Para Al-Muhtaseb; Mcminn e Magee (2002), com a constante adicional (K), o modelo de GAB ganha maior versatilidade, assume que as multicamadas possuem moléculas, interações com o adsorvente que variam nos níveis de energia em algum lugar entre aquelas moléculas da monocamada e o líquido a granel. O parâmetro K das isotermas de adsorção dos pós de manga apresentou valores que variaram entre 0,8316 e 0,9767 (Tabela 24). Segundo Chirife *et al.* (1992) em casos especiais em que $k = 1$, a equação de GAB fica reduzida a equação BET, se $k > 1$, a sorção torna-se infinita, mostrando-se fisicamente inadequada. Verificou-se que, conforme o aumento da temperatura, ocorreu uma redução no valor de K em uma mesma concentração de maltodextrina, com exceção para o pó com 20% de maltodextrina a 45°C. Já com o aumento da concentração do adjuvante de secagem a uma mesma temperatura, observou-se um aumento deste parâmetro (10 e 20% de maltodextrina). Silva *et al.* (2015) ao determinarem as isotermas de adsorção nas temperaturas de 25, 30 e 35°C de umbu-cajá em pó, obtido pelo método camada de espuma, constataram que o parâmetro K do modelo de GAB, oscilou conforme a elevação da temperatura, reduzindo-se e aumentando-se nas temperaturas estudadas. Comportamento similar foi observado no pó de manga com 20% de maltodextrina. Moreira *et al.* (2013), nas isotermas do pó de manga liofilizado, verificaram que a elevação da

temperatura ocasionou uma redução do parâmetro K. Canuto; Afonso e Costa (2014) observaram que o aumento da concentração da maltodextrina à mesma temperatura, provocou a redução de K nas isotermas de mamão liofilizado.

Das Figuras 18 a 23 são apresentadas as isotermas de adsorção dos pós de manga obtidos em *spray-dryer* com 10, 20 e 30% de maltodextrina, nas temperaturas de 25, 35 e 45°C, ajustadas pelo modelo de GAB. O formato das isotermas apresentadas permitiram classificá-las como do tipo III, ou qualitativamente pelo formato exibido como do tipo “J”. Para Blahovec (2004) na classificação de Brunauer, isotermas do tipo III são as que apresentam valores de $K \leq 1$ e $C \leq 2$. Os resultados dos ajustes realizados pelo modelo de GAB revelam que os valores dos parâmetros de C e K estão dentro dessa faixa, comprovando a classificação das mesmas. Diversos autores como Ribeiro; Costa e Afonso (2016), Moreira *et al.* (2013), Santos *et al.* (2014), Oliveira *et al.* (2013), Oliveira; Costa e Afonso (2014) e Canuto; Afonso e Costa (2014) ao trabalharem, respectivamente, com acerola liofilizada, manga liofilizada, goiaba em pó, morango em pó, cajá liofilizado e mamão liofilizado, também obtiveram isotermas do tipo III.

De acordo com Pedro; Telis-Romero e Telis (2010) isotermas do tipo III são curvas características de alimentos com altos teores de açúcar, que absorve pequenas quantidades de água em baixa a_w e grandes quantidades de água em alta umidade relativa. Segundo Goula *et al.* (2008) a explicação para a natureza das isotermas pode ser que, a baixa atividade de água, ocorre a sorção física em cadeias fortemente ativas de proteínas, uma vez que a água pode ser sorvida apenas em superfície, sítios OH de açúcar cristalino. Para Damodaran; Parkin e Fenemma (2010) as isotermas do tipo J são típicas de frutas, produtos de confeitaria e extrato de café, materiais ricos em açúcares e outras moléculas solúveis.

Nas Figuras 18, 19 e 20 estão apresentados o efeito das concentrações de maltodextrina (10, 20 e 30%) sobre as isotermas de adsorção dos pós de manga nas temperaturas de 25, 35 e 45°C, respectivamente. Notou-se que, conforme o aumento da concentração de maltodextrina, houve um deslocamento da isoterma para a direita, que a um mesmo valor de atividade de água, observou-se menores umidades de equilíbrio (X_e), favorecendo desta forma a estabilidade do pó de manga nas três temperaturas estudadas. O mesmo comportamento foi observado por Oliveira; Costa e Afonso (2014) nas isotermas de cajá liofilizado com 0 e 17% de maltodextrina e por Canuto; Afonso e Costa (2014) nas isotermas de mamão liofilizado com 0, 5 e 15% de maltodextrina.

Figura 18 - Isotermas de adsorção dos pós de manga, com 10, 20 e 30% de maltodextrina na temperatura de 25°C, ajustadas pelo modelo de GAB.

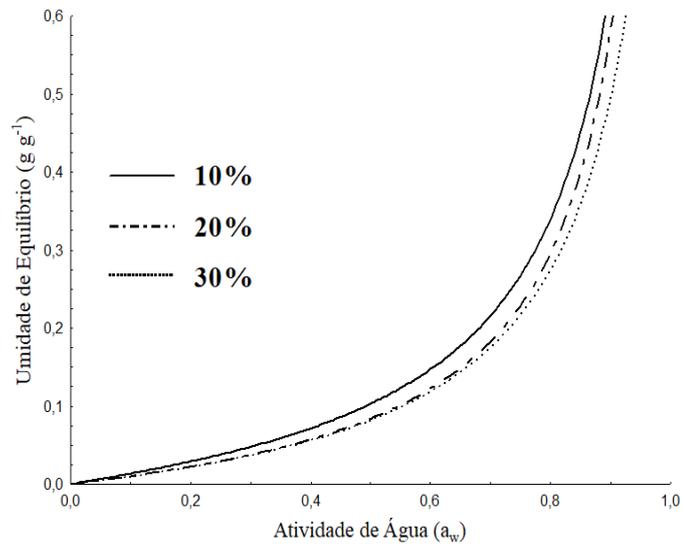


Figura 19 - Isotermas de adsorção dos pós de manga, com 10, 20 e 30% de maltodextrina na temperatura de 35°C, ajustadas pelo modelo de GAB.

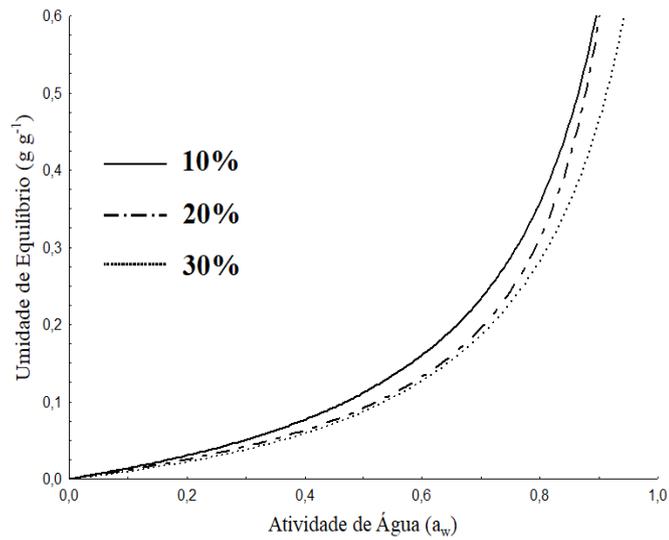
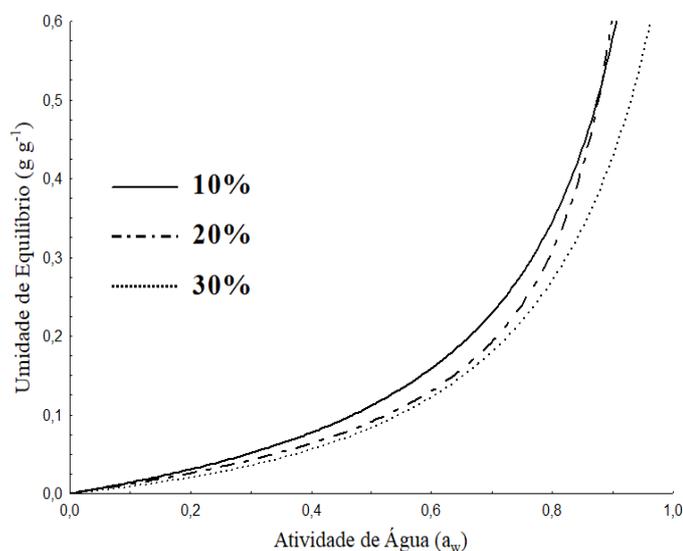


Figura 20 - Isotermas de adsorção dos pós de manga, com 10, 20 e 30% de maltodextrina na temperatura de 45°C, ajustadas pelo modelo de GAB.



Verificou-se também que um aumento na atividade de água (a_w) acarretou em um aumento gradual da umidade de equilíbrio (X_e). Para as isotermas dos pós de manga nas temperaturas de 25, 35 e 45°C (Figuras 18, 19 e 20), constatou-se pouca variação na umidade do pó em a_w de até 0,5 nos pós com 10% de maltodextrina, e a_w de 0,6 para os que continham 20 e 30%. A partir desta faixa, um aumento qualquer da a_w representa maior ganho de água pelo pó de manga. Resultado similar foi obtido por Canuto; Afonso e Costa (2014), onde relataram que presença de maltodextrina nos pós aumentou o tamanho da área plana das isotermas de mamão liofilizado com 0, 5 e 15% de maltodextrina, significando, que nesta região grandes variações da atividade de água representam pouca alteração na umidade do pó.

O efeito das temperaturas (25, 35 e 45°C) sob as isotermas dos pós de manga com diferentes concentrações de maltodextrina encontram-se ilustrado nas Figuras 21, 22 e 23. Observou-se que em ambas as curvas das isotermas dos pós de manga com 10, 20 e 30% de maltodextrina, a redução da temperatura ocasionou uma pequena redução da umidade de equilíbrio a uma mesma atividade de água. Ribeiro; Costa e Afonso (2016) ao estudarem o comportamento higroscópico de acerola liofilizada, verificaram que as isotermas apresentaram uma tendência a maior absorção de água em temperaturas mais elevadas, fenômeno comum para produtos ricos em açúcar como pós de frutas.

Figura 21 - Isotermas de adsorção dos pós de manga com 10% de maltodextrina, nas temperaturas de 25, 35 e 45°C, ajustadas pelo modelo de GAB.

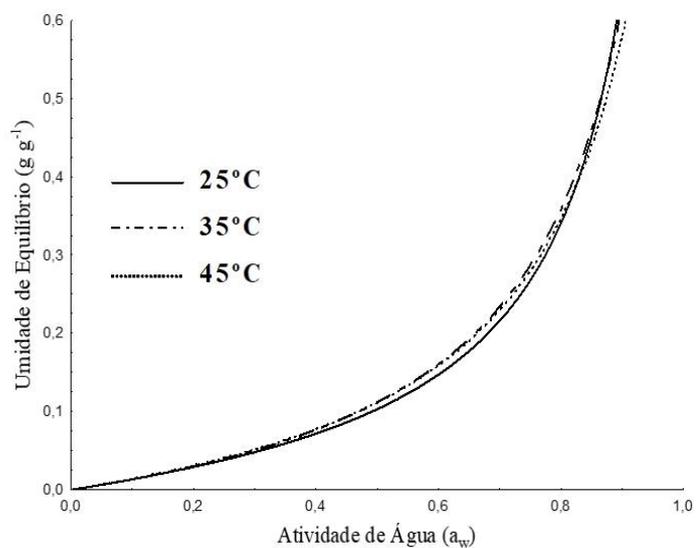


Figura 22 - Isotermas de adsorção dos pós de manga com 20% de maltodextrina, nas temperaturas de 25, 35 e 45°C, ajustadas pelo modelo de GAB.

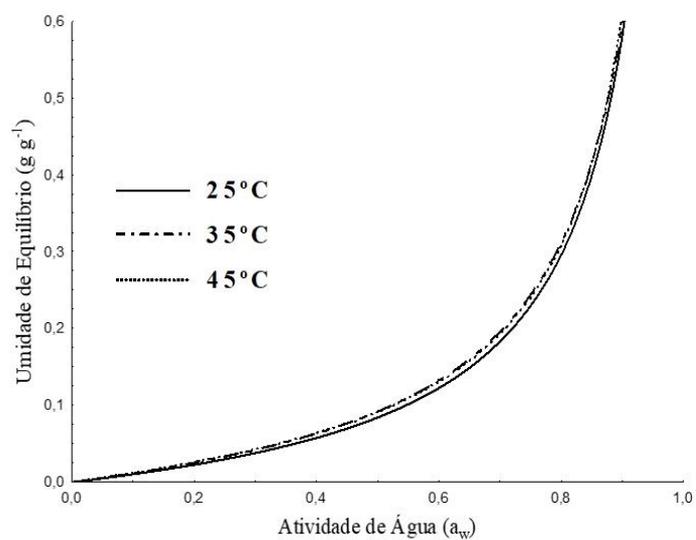
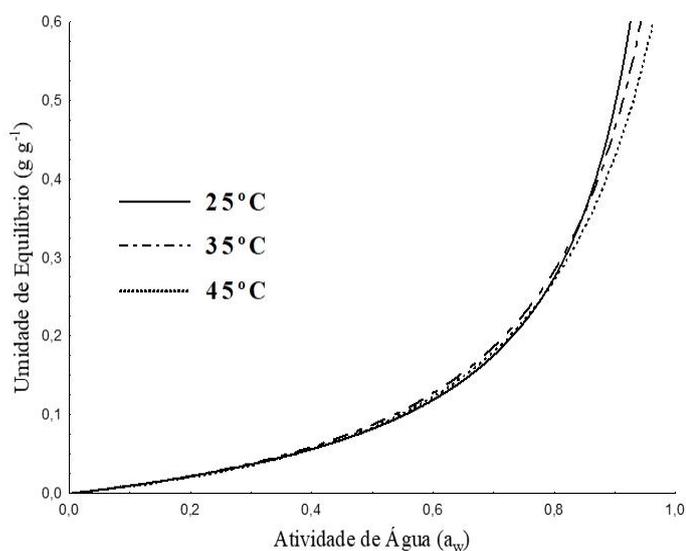


Figura 23 - Isotermas de adsorção dos pós de manga com 30% de maltodextrina, nas temperaturas de 25, 35 e 45°C, ajustadas pelo modelo de GAB.



De acordo com Al-Muhtaseb; McMinn e Magee (2004) o efeito da temperatura na isoterma de sorção é de grande importância dado que os alimentos são expostos a uma gama de temperaturas durante o armazenamento e processamento, e a atividade da água muda com a temperatura. A temperatura afeta a mobilidade das moléculas de água e o equilíbrio dinâmico entre o vapor e o gás adsorvido.

Nos pós de manga com 10% de maltodextrina nas temperaturas 25, 35 e 45°C (Figura 21) observou-se que nas isotermas de 35 e 45°C as curvas se sobrepueram uma a outra, dissociando-se apenas a partir de 0,7 de atividade de água. Notou-se também uma inversão do efeito da temperatura nas isotermas de 25 e 45°C nos valores entre 0,8 e 0,9 de atividade de água. Já nos pós com 20% de maltodextrina (Figura 22), as isotermas de 35 e 45°C permaneceram em todas as faixas de a_w sobrepostas uma a outra. Nos pós com 30% do adjuvante de secagem (Figura 23), também se verificou inversão do efeito da temperatura entre isotermas de 25 e 35°C e entre as isotermas de 35 e 45°C, a partir da atividade de água de 0,8.

Moreira *et al.* (2013) em seu estudo das isotermas de polpa de manga cv. Tommy Atkins liofilizada, nas temperaturas de 25, 30 e 35°C, constataram o mesmo comportamento desta pesquisa, ocorreu inversão do efeito da temperatura entre as isotermas de 25 e 30°C na faixa de atividade de água entre 0,45 e 0,50 e entre as isotermas de 25 e 35°C na faixa de atividade de água entre 0,60 e 0,65, segundo os mesmos autores, a partir dessas faixas de

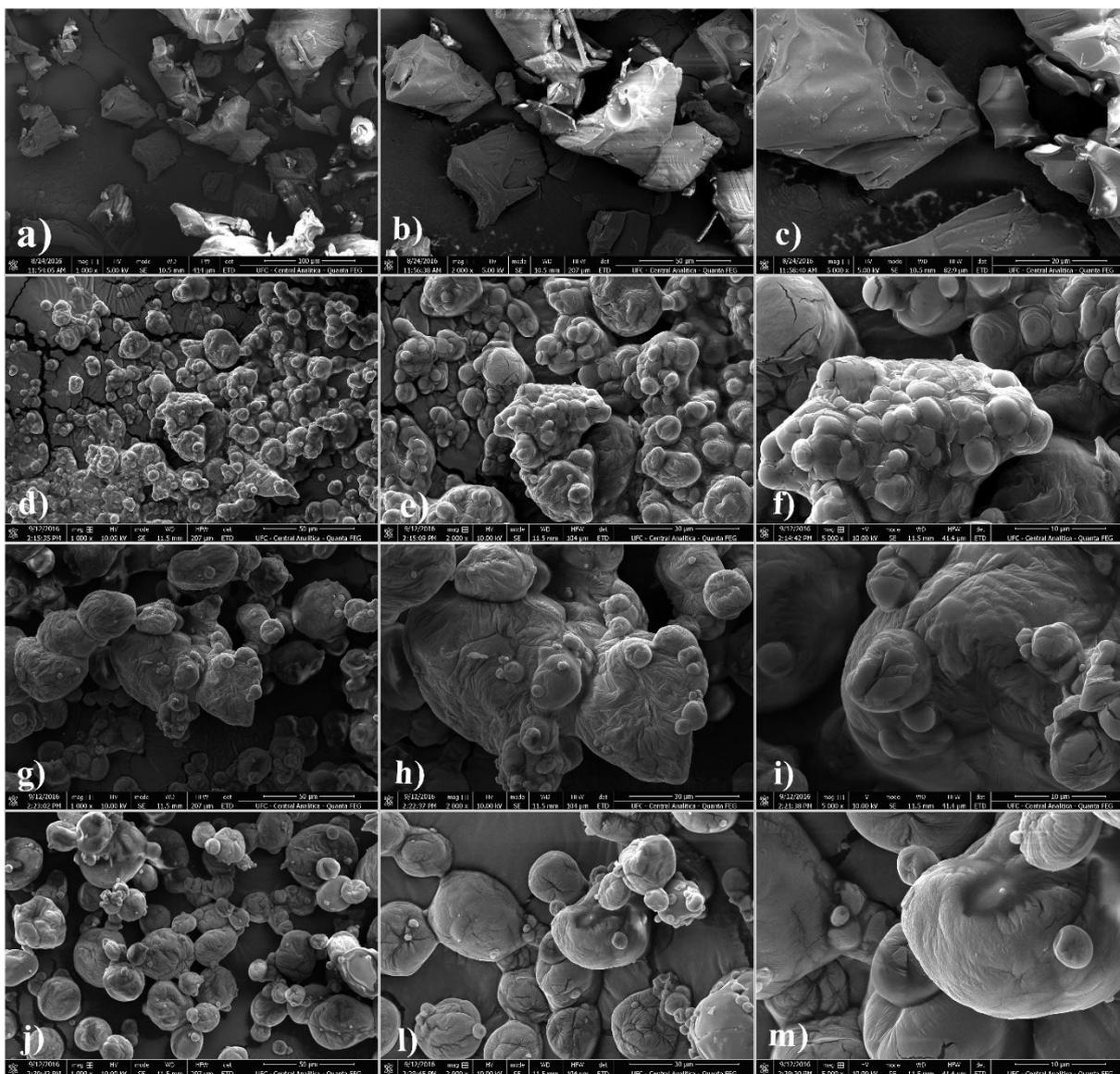
atividade de água um aumento da temperatura resultou, para uma mesma atividade de água, em um aumento na umidade de equilíbrio. Usualmente, um aumento na temperatura provoca uma redução da umidade de equilíbrio, segundo Goula *et al.* (2008) a temperatura afeta a mobilidade das moléculas de água e o equilíbrio dinâmico entre vapor e a fase adsorvida, essa tendência está relacionada com a redução no número de sítios ativos como resultado de alterações física ou química. No entanto, em produtos ricos em açúcares, como o pó de manga, podem ocorrer a inversão desse efeito. De acordo com Tsami; Krokida e Drouzas (1999) essa inversão está relacionada com o aumento da absorção de água em a_w acima de 0,7, devido a dissolução dos açúcares.

5.6 Análise Morfológica dos pós de manga

Com o intuito de se avaliar a influência da concentração do adjuvante de secagem maltodextrina nas características morfológicas dos pós de manga, foram analisados uma amostra de maltodextrina e três de pós de manga desidratados em *spray-dryer* a uma temperatura de 150°C, contendo 10, 20 e 30%. Os resultados da análise morfológica estão apresentados na Figura 24.

Pelas micrografias percebeu-se que a maltodextrina apresentou partículas com formatos diferenciados, superfícies com cavidades e uma aparência quebradiça. Porrás-Saavedra *et al.* (2015) ao estudarem as propriedades e a distribuição de componentes microestruturais em micropartículas obtidas em secagem por pulverização, observaram que as micropartículas do adjuvante de secagem maltodextrina apresentaram superfície rugosa, além disso, ausência de rupturas ou fissuras aparentes, sendo esse um fator importante, uma vez que qualquer dano na superfície da partícula poderia reduzir a proteção e a retenção do material do núcleo. No pó com 10% de maltodextrina, observou-se tendência a formação de pequenas partículas esféricas e superfícies lisas na magnitude 1000 x, no entanto, com o aumento da magnitude, ficou evidenciado que as mesmas não se dissociaram umas das outras, formando grandes aglomerados no pó.

Figura 24 - Micrografias da maltodextrina: (a, b, c); pó de manga com 10% de maltodextrina: (d, e, f); pó de manga com 20% de maltodextrina: (g, h, i); pó de manga com 30% de maltodextrina: (j, l, m), nas respectivas magnitudes 1000 x; 2000 x e 5000 x.



Lancha *et al.* (2012) ao avaliarem o pó de jabuticaba desidratado em *spray-dryer* com 5 e 10% de maltodextrina a temperaturas de 140 e 180°C, relataram que em ambos os ensaios houve formação de pontes entre as partículas, o que se deve ao fato de os pós serem de uma maneira geral, bastante higroscópicos, levando à formação de grandes aglomerados, sobretudo os que apresentaram maior higroscopicidade, como o com 5% de maltodextrina a 180°C. O adjuvante de secagem influencia diretamente na higroscopicidade de um pó, conforme comprovado pelos resultados obtidos nesta pesquisa e relatados em literatura já mencionada no item (5.2.1.3). Maiores concentrações de maltodextrina resulta em pós menos higroscópicos.

Nos pós de manga com 20% de maltodextrina verificou-se partículas com tamanhos e formatos diferenciados, superfície enrugada e formação de aglomerados. Percebeu-se também um aumento do tamanho das partículas em relação ao pó com 10% de maltodextrina. Sharifi *et al.* (2015) ao estudarem o efeito das condições de secagem por aspersão nas propriedades físico-químicas e morfológicas da uva-espina (*Berberis vulgaris*) em pó, relataram que a elevação da temperatura do ar de secagem não teve efeito significativo no tamanho das partículas, mas o incremento na concentração do adjuvante de secagem apresentou efeito sobre as mesmas. De acordo com esses autores, as micrografias do pó revelaram tendência crescente no tamanho das partículas como resultado do aumento da concentração de maltodextrina.

Resultados parecidos foram observados por Bhusari; Muzaffar e Kumar (2014), ao analisarem morfológicamente os pós da polpa de tamarindo com 40, 50 e 60% de maltodextrina, desidratado em *spray-dryer* a uma temperatura de 190°C, relataram tamanhos e formas (esféricos, irregulares e encolhidos) e ausência de fissuras superficiais.

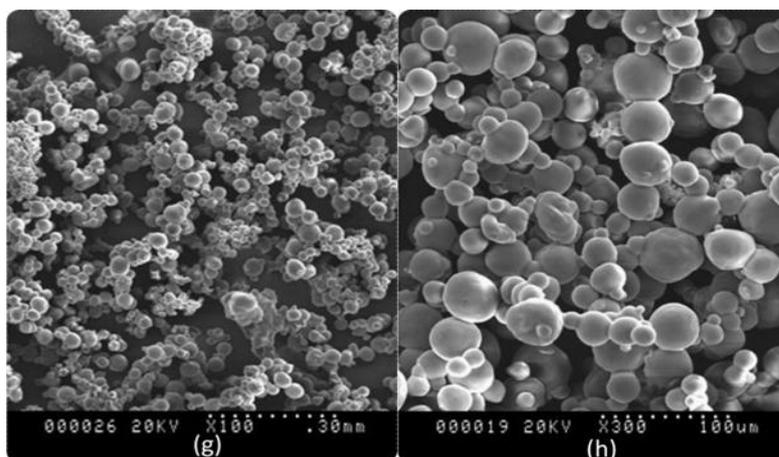
No pó com 30% de maltodextrina, observou-se partículas esféricas, com tamanhos variados e superfícies rugosas, sem muitas formações de pontes entre as mesmas. De acordo com Tonon, Freitas e Hubinger (2011) partículas com formato esférico e de tamanhos variados são típicas dos materiais produzidos por secagem em aspersão. Quanto as superfícies das partículas, são influenciadas pela temperatura de desidratação. Os mesmos autores observaram em seu estudo da morfologia de açaí desidratado em *spray-dryer* com 6% de maltodextrina (p/p) a temperaturas de 140, 170 e 200°C, que a maioria das partículas apresentaram uma superfície enrugada, mas a medida que elevou-se a temperatura de secagem, houve produção de um maior número de partículas com superfície lisa. Isto está relacionado com o aumento na taxa de secagem, resultando em maior evaporação da água e levando à formação de uma crosta lisa e dura.

Comportamento similar foi relatado por Ferrari, Ribeiro e Aguirre (2012) ao analisarem morfológicamente amora-preta em pó, desidratada em *spray-dryer* a diferentes temperaturas com 5, 15 e 25% (p/p) de maltodextrina, relataram que as partículas produzidas com temperatura de secagem de 180°C apresentaram superfície lisa e uma maior uniformidade em relação às amostras secas à temperatura de 160°C.

Caparino *et al.* (2012) ao estudarem a morfologia do pó de manga da variedade Carabao, desidratado em *spray-dryer* com 0,25 kg/kg de maltodextrina por sólidos da polpa de

manga, observaram partículas com formato esférico ou oval e superfície lisas, conforme mostrado na Figura 29. Atribuíram ao efeito da condição de secagem, que foi mantida a temperatura de 190°C.

Figura 25 - Micrografias do pó de manga cv. Carabao: g) magnitude 100 x; h) magnitude 300 x.



Fonte: Caparino *et al.* (2012).

Esses resultados do pó de manga cv. Carabao se assemelham um pouco com os observados nas micrografias do pó de manga cv. Palmer com 30% de maltodextrina, com exceção das superfícies lisas, fato esse justificado pelas diferenças de temperaturas utilizadas na secagem.

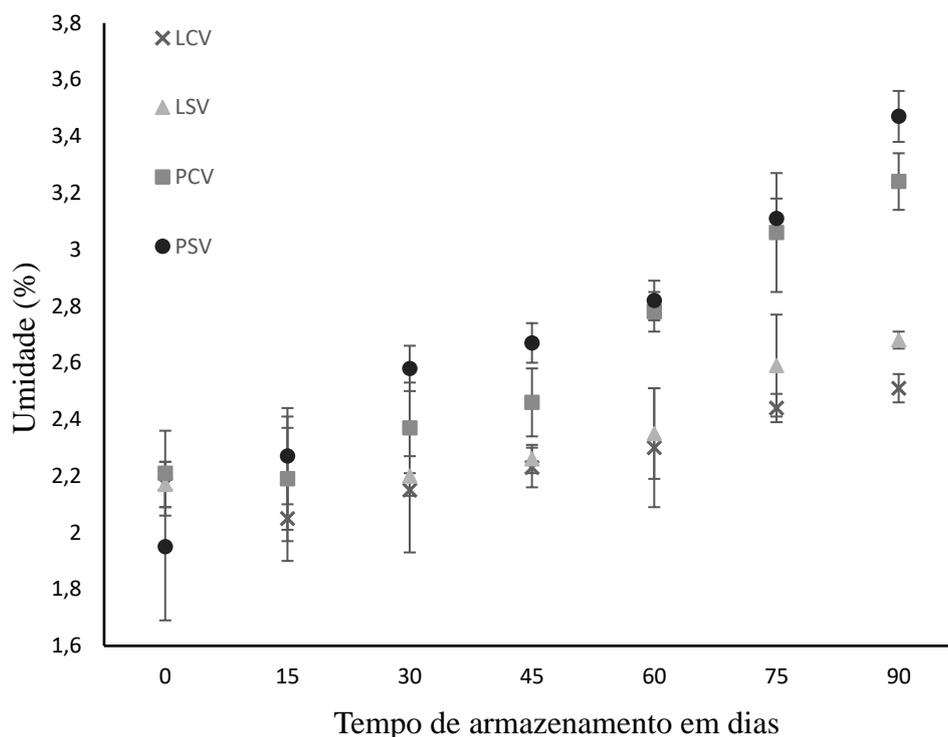
5.7 Estabilidade do pó de manga obtido em *spray-dryer*

O pó de manga obtido em *spray-dryer*, se manteve na forma de pó durante todo o período estudado, os resultados das análises físicas e físico-químicas estão apresentados a seguir.

5.7.1 Umidade

O Gráfico 4, ilustra o comportamento da umidade no pó de manga obtido em *spray-dryer*, armazenado nas diferentes embalagens.

Gráfico 4 - Comportamento da umidade do pó de manga durante o armazenamento de 90 dias.



Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo.

Através dos dados apresentados no Gráfico 4, foi possível observar que o aumento de umidade no pó de manga, durante o estudo da estabilidade, foi maior nas embalagens de polietileno, notou-se ainda que as embalagens com vácuo foram mais eficazes contra o ganho de umidade, oferecendo em média 6,77 e 6,62% a mais de barreira nas respectivas embalagens laminadas e polietileno a vácuo, do que naquelas que não continham vácuo. Os dados evidenciaram que a embalagem de polietileno ofereceu pouca barreira ao vapor de água, tendo as laminadas ofertado maior barreira.

Analisando os dados apresentados na Tabela 25 no Apêndice B, foi possível observar a influência do tempo de armazenamento na umidade do pó de manga. Os valores iniciais no tempo 0 variaram de 1,95 a 2,17%, porém não diferiram estatisticamente entre si ($p > 0,05$), chegando ao término dos 90 dias de armazenamento com o valor máximo de 3,47%. Percebeu-se que apenas os tempos de 15 e 90 dias apresentaram diferença estatística ($p < 0,05$). No pó de manga armazenado na embalagem laminada a vácuo, o ganho de umidade representou um percentual de 15,66%, diferentemente do que aconteceu com a laminada sem vácuo, onde os tempos de 0, 15, 30 e 45 não diferiram entre si, mas divergiram do tempo de 90 dias.

Constatou-se que houve um aumento gradativo na umidade do pó ao longo do tempo de armazenamento, ficando mais evidente no pó acondicionado na embalagem laminada sem vácuo, onde a umidade inicial no tempo 0 de 2,17% passou a 2,68%, representando um aumento de 23,50% durante o período estudado.

Na embalagem de polietileno a vácuo, os tempos de 0 e 15 diferiram estatisticamente ($p < 0,05$) dos tempos 60, 75 e 90 dias, onde a umidade inicial no tempo 0 de 2,21% passou a 3,24% no tempo 90 dias, um aumento de 46,60%. Já na embalagem polietileno sem vácuo, o tempo 0 diferiu estatisticamente dos tempos de 30, 45, 60, 75 e 90 dias, representando um ganho de umidade de 77,94%, desde o tempo 0 até o término dos 90 dias de armazenamento.

Alexandre *et al.* (2014) em seu estudo do armazenamento de pitanga em pó em embalagem multifoliada, durante um período de 60 dias, revelaram comportamento similar ao dessa pesquisa, uma tendência no aumento da umidade no decorrer do intervalo estudado. Também observaram que a partir do tempo de 30 dias até o final dos 60 dias estudados, todas as médias diferiram estatisticamente entre si, se comparados ao tempo 0, resultando em um aumento de 14,26% entre a umidade inicial e a final.

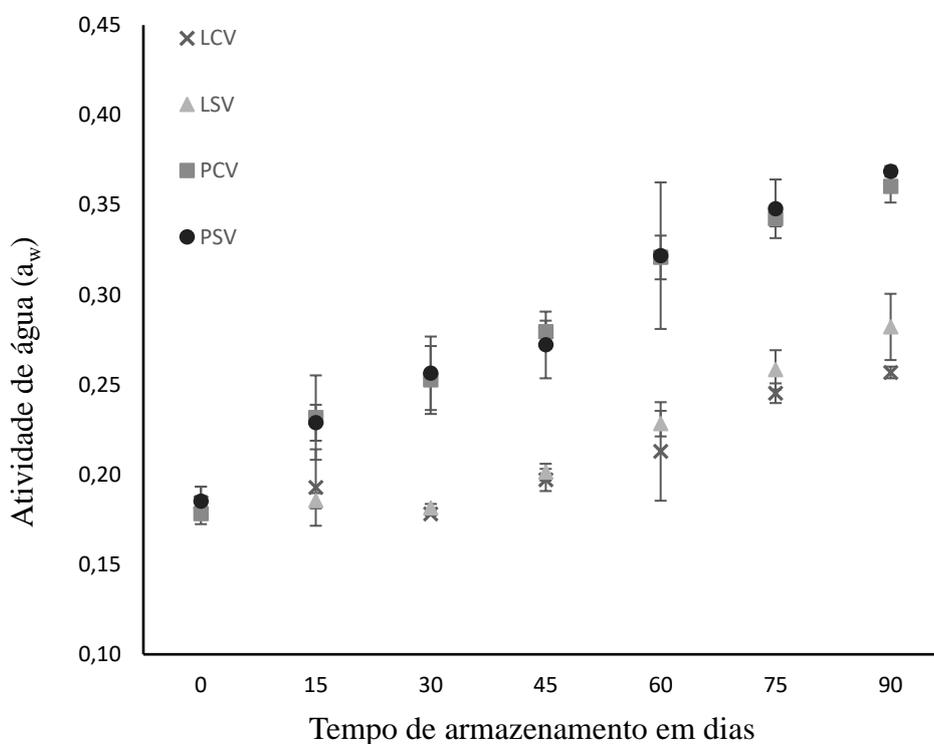
Lisbôa; Figueirêdo e Queiroz (2012) em seu estudo da estabilidade de figo-da-índia em pó, obtido pelo método camada de espuma, armazenado em embalagens laminadas, e mantidas em recipientes com temperaturas e umidades relativas controladas por um período de 100 dias, observaram que todas amostras absorveram água durante o período estudado. Esses autores relataram que, nas amostras acondicionadas a uma umidade relativa de 55% houve um aumento da umidade entre 128 e 141%, já nas amostras acondicionadas a uma umidade relativa de 83%, o aumento no teor de umidade variou entre 128 e 135%.

Se compararmos em termos de embalagens utilizadas nesse estudo da estabilidade do pó de manga, ambas só apresentaram diferença estatística entre si ($p < 0,05$) a partir dos 30 dias de armazenamento, onde a embalagem laminada com vácuo diferiu da embalagem polietileno com vácuo. Aos 45 dias de armazenamento, a laminada com vácuo diferiu das embalagens polietileno. Nos tempos de 60 e 75, as embalagens laminadas com e sem vácuo diferiram das duas de polietileno testadas e, finalmente aos 90 dias, as laminadas não apresentaram diferença entre si, mas diferiram das de polietileno, que por sua vez, diferiram estatisticamente entre si.

5.7.2 Atividade de água (a_w)

No Gráfico 5, está representado o comportamento da a_w no pó de manga obtido em *spray-dryer*, armazenado durante o período de 90 dias nas diferentes embalagens. Os dados demonstrados evidenciam um maior aumento da a_w do produto nas embalagens de polietileno, tendo a embalagem laminada a vácuo ofertado maior barreira ao vapor de água, assim como ocorreu para o parâmetro da umidade.

Gráfico 5 - Comportamento da a_w do pó de manga durante o armazenamento de 90 dias.



Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo.

Pelos dados apresentados na Tabela 26 no Apêndice B, constatou-se que houve um aumento crescente na a_w do pó de manga durante o período de armazenamento de 90 dias. O pó apresentou a_w inicial nos tempos 0 valores de 0,17 a 0,18, chegando ao valor máximo de 0,36 ao término do estudo da estabilidade. Nas embalagens laminadas a vácuo, verificou-se diferença estatística entre si ($p < 0,05$) a partir dos 75 dias de armazenamento, onde o percentual do aumento na a_w da amostra representou 38,88%. Na laminada sem vácuo, foi observado diferença estatística a partir dos 60 dias, no qual as embalagens de 75 e 90 dias não diferiram

estatisticamente entre si, mas apresentaram diferença significativa da embalagem de 60 dias, que por sua vez, diferiu estatisticamente das demais com aumento de 55,55%.

Na embalagem de polietileno a vácuo, verificou-se diferença estatística ($p < 0,05$) já nos primeiros 15 dias de armazenamento, o percentual de aumento da a_w nessa condição de armazenamento, pelo período de 90 dias, foi de 111,76%, quase três vezes mais se comparado com o aumento da a_w na embalagem laminada a vácuo. Ao analisar os resultados referentes a embalagem de polietileno sem vácuo, notou-se diferença estatística a 5% de probabilidade, no primeiro mês de estudo, nos períodos subsequentes notou-se que os tempos de 75 e 90 não diferiram estatisticamente entre si, mas apresentaram diferença significativa em relação ao tempo de 45 dias com aumento de 100%.

Moraes *et al.* (2014) em seu estudo da influência do tipo de embalagem no armazenamento de caju em pó obtido em *spray-dryer*, relataram o mesmo comportamento, uma elevação da a_w das amostras nos dois tipos de embalagens estudadas, transparente (polipropileno biorientado) e opaca (polipropileno biorientado metalizado), no decorrer dos 49 dias de estabilidade estudados.

Pelos resultados obtidos, ficou evidenciado que o percentual do aumento na a_w foi superior nas embalagens de polietileno. Em termos de embalagens estudadas, ambas somente diferiram estatisticamente entre si ($p < 0,05$) a partir dos primeiros 15 dias de armazenamento, onde a laminada sem vácuo apresentou diferença da de polietileno com vácuo, nos demais tempos estudados, as laminadas com e sem vácuo não diferiram estatisticamente entre si, assim como ocorreu com as de polietileno, no entanto, as laminadas apresentaram diferença significativa em relação as de polietileno.

Sousa *et al.* (2016) ao estudarem a estabilidade de suco de caju em pó, obtido em leite de jorro com 12% de maltodextrina, armazenado em embalagens a vácuo, com as mesmas especificações das utilizadas neste trabalho, laminadas e plásticas por um período de 60 dias, observaram o mesmo resultado desta pesquisa, aumento consistente da a_w na embalagem plástica ao longo do período de armazenamento, tendo a laminada ofertado maior manutenção da atividade de água devido à sua melhor propriedade de barreira.

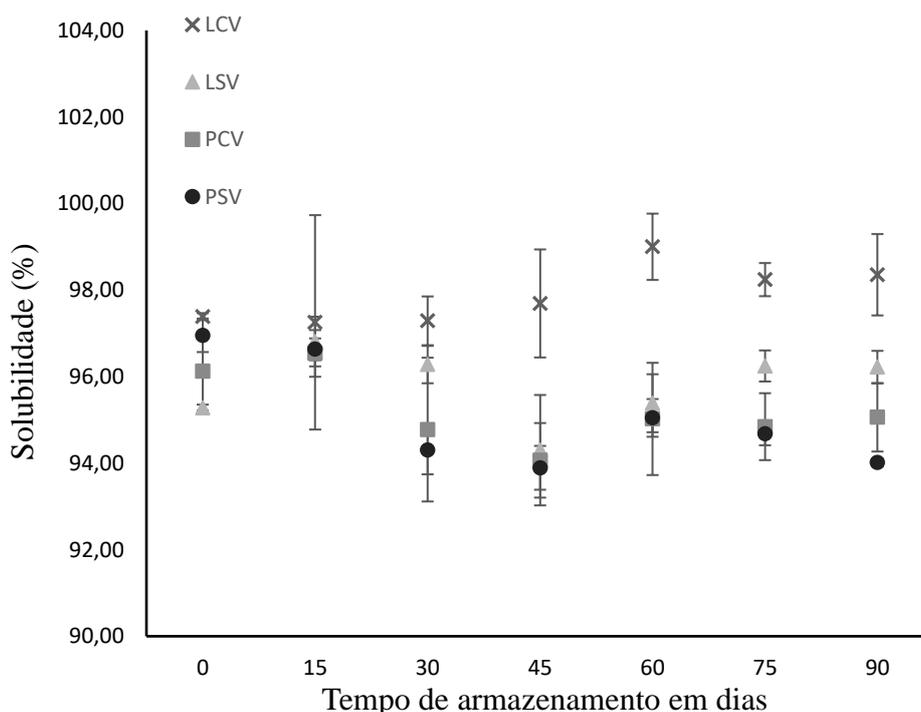
Ao término do estudo da estabilidade do pó de manga, os valores da a_w em todas as embalagens não ultrapassaram 0,36, permitindo classificá-lo como um produto estável. Para Melo Filho e Vasconcelos (2011), menores valores de a_w diminui a velocidade de crescimento

dos microrganismos, podendo até sofrer paralisação completa em atividades de água menores que 0,6, com variação mínima com o tipo de microrganismo. Galdino *et al.* (2016) obtiveram resultados bem próximos aos encontrados neste trabalho ao estudarem a estabilidade de figo-da-índia em pó, obtido em *spray-dryer* com 35% de maltodextrina, armazenado em embalagens laminadas com temperaturas e umidades relativas controladas por um período de 40 dias. Esses autores observaram os valores de 0,35 e 0,36 ao término dos 40 dias estudados, para as respectivas temperaturas e umidades relativas 25°C a 84,34%, e 40°C a 82,32%.

5.7.3 Solubilidade

O Gráfico 6, mostra o comportamento da solubilidade do pó de manga durante o estudo da estabilidade nas embalagens e condições testadas. Notou-se que as solubilidades nas embalagens laminadas foram um pouco superiores se comparadas com as das embalagens de polietileno, que por sua vez sofreram uma pequena redução neste parâmetro ao longo dos 90 dias de armazenamento.

Gráfico 6 - Comportamento da solubilidade do pó de manga durante o armazenamento de 90 dias.



Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo.

Os resultados obtidos no estudo da estabilidade do pó de manga para o parâmetro solubilidade estão dispostos na Tabela 27 no Apêndice B. Os pós de manga nas embalagens LCV, LSV, PCV e PSV apresentaram estabilidade, sem grandes alterações nesse parâmetro. Com solubilidades iniciais no tempo 0 que variaram de 95,27 a 97,38%, e ao término dos 90 dias estudados, obtiveram-se valores entre 94,01 e 98,35%. Nas embalagens laminadas a vácuo, não houve diferença estatística entre si ($p > 0,05$). Com relação a embalagem laminada sem vácuo, já foi possível observar diferença estatística ($p < 0,05$) entre o tempo de 45 e os tempos de 15, 30, 75 e 90 dias.

Diferentemente do que aconteceu nas embalagens laminadas, as de polietileno apresentaram uma diminuta redução na solubilidade do pó de manga ao longo do período de armazenamento. As de polietileno com vácuo não diferiram estatisticamente entre si ($p > 0,05$), nesta condição de armazenamento o pó apresentou solubilidade inicial no tempo 0 de 96,12% e, ao final dos 90 dias da estabilidade, um valor de 95,06%, ou seja, uma redução de 1,10%. Nas embalagens de polietileno sem vácuo, observou-se diferença estatística entre si ($p < 0,05$) a partir do trigésimo dia de armazenamento, onde os tempos de 45 e 60 dias diferiram estatisticamente entre si, mas não apresentaram diferença estatística dos tempos de 30, 75 e 90. Nessa embalagem, a solubilidade inicial foi de 96,94% e, ao término dos 90 dias estudados, apresentou o valor de 94,01%, resultando em uma redução de 3,03%.

De acordo com Goula e Adamopoulos (2005), a solubilidade do pó depende do seu teor de umidade. Um aumento no teor de umidade provocou uma diminuição na solubilidade do pó, fato esse que justifica a redução da solubilidade nas embalagens de polietileno, como já havia sido discutido anteriormente, as embalagens laminadas ofertaram maior barreira a absorção de umidade. Entre as embalagens utilizadas nesse trabalho, constatou-se diferença estatística ao nível de 95% de confiança nos tempos 0, 30, 45, 75 e 90.

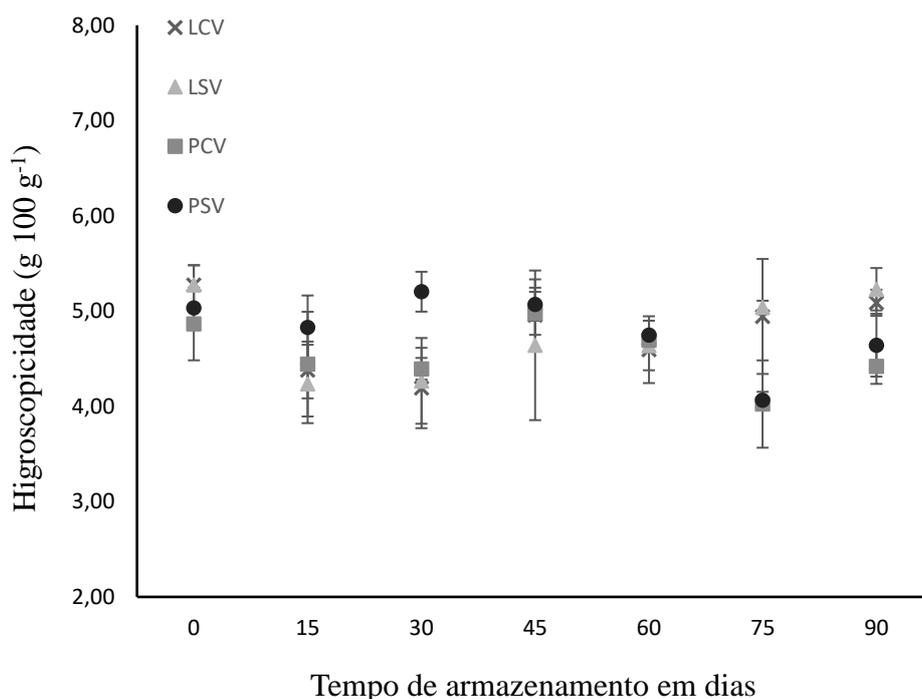
Moraes *et al.* (2014) ao estudar a estabilidade de suco de caju em pó obtido em *spray-dryer*, relataram resultados similares ao desta pesquisa para a solubilidade, esses autores notaram que a solubilidade apresentou comportamento semelhante nas duas embalagens testadas, transparente (polipropileno biorientado) e opaca (polipropileno biorientado metalizado), ocorrendo uma redução nos primeiros sete dias e não havendo diferença estatística nos demais dias de armazenamento. Valores de solubilidade bem próximos aos obtidos para o pó de manga foram apresentados por Sousa *et al.* (2016) em seu estudo da estabilidade de suco de caju em pó, que relataram os valores iniciais de 95,05% e 93,57% no tempo 0 e, ao final dos

60 dias de armazenamento, valores de 93,73% e 93,34% para as embalagens laminadas e as plásticas, respectivamente.

5.7.4 Higroscopicidade

O Gráfico 7 ilustra o comportamento da higroscopicidade do pó de manga, durante os 90 dias do estudo da estabilidade nas embalagens e condições testadas. Nele ficou evidenciado o decréscimo mais acentuado da higroscopicidade nas embalagens de polietileno.

Gráfico 7 - Comportamento da higroscopicidade do pó de manga durante o estudo da estabilidade.



Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo.

Os valores das médias e desvios padrão para o parâmetro de higroscopicidade do pó de manga, obtidos ao longo dos 90 dias do estudo da estabilidade são mostrados na Tabela 28 no Apêndice B. No geral, os pós de manga apresentaram baixos valores de higroscopicidade, os resultados obtidos variaram de 4,86 (mínimo) a 5,22 g 100 g⁻¹ (máximo), entre os respectivos tempos iniciais e finais da estabilidade. De maneira geral, os resultados demonstraram uma

tendência na redução desse parâmetro ao longo do período estudado. Na embalagem laminada a vácuo, constatou-se diferença estatística entre si ($p < 0,05$) nos tempos 0 e 30 dias, quanto aos demais tempos, não houve diferença significativa. Nessa condição de armazenamento a higroscopicidade no tempo 0 de $5,27 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, passou a $5,08 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, no tempo de 90 dias, representando uma redução percentual de 3,60%. Na embalagem laminada sem vácuo não houve diferença estatística entre si a um nível de 95% de confiança entre os tempos estudados, nesta embalagem observou-se uma redução percentual da ordem de 0,94%.

No que se refere as embalagens de polietileno, as que continham vácuo apresentaram diferença ($p < 0,05$) apenas entre os tempos de 45 e 75 dias de armazenamento, o percentual de redução da higroscopicidade do pó de manga nesta embalagem foi de 9,25%. Nas embalagens de polietileno sem vácuo verificou-se que o tempo de 75 dias não diferiu estatisticamente do tempo de 90, mas apresentou diferença estatística ($p < 0,05$) quando comparado aos demais, o percentual de redução da higroscopicidade nesta condição de armazenamento correspondeu a 7,75%.

O percentual de redução da higroscopicidade dos pós de manga foi superior nas embalagens de polietileno, possivelmente pelo fato destas embalagens exibirem maior absorção de umidade. No tocante as embalagens testadas, verificou-se diferença estatística ($p < 0,05$) nos tempos 30, 75 e 90 dias. Nos primeiros 30 dias de armazenamento a embalagem de polietileno sem vácuo diferiu estatisticamente das laminadas, aos 75 dias a laminada sem vácuo diferiu estatisticamente da de polietileno com vácuo e ao final dos 90 dias a embalagem de polietileno com vácuo apresentou diferença significativa das laminadas.

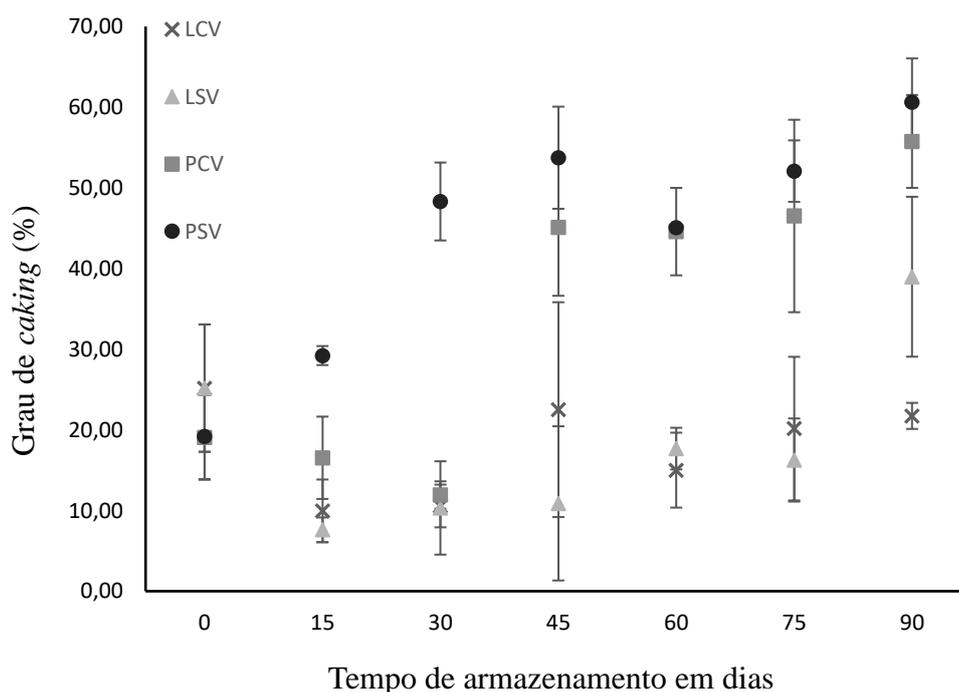
O mesmo comportamento foi observado por Sousa *et al.* (2016) em seu estudo da estabilidade do suco de caju em pó por 60 dias de armazenamento, ao testar embalagens laminadas e plásticas, esses autores obtiveram, respectivamente, os valores de 9,91 e $7,70 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ nos tempos 0 e, ao final dos 60 dias, 8,53 e $4,70 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$. Também observaram uma tendência na redução da higroscopicidade, sendo mais acentuada na embalagem plástica. De acordo com os mesmos, o pó armazenado na embalagem laminada mostrou-se mais estável sem muitas variações ao longo do armazenamento. Nas embalagens plásticas, devido a maior incorporação de água do ambiente pelo produto, resultou em pós com higroscopicidades mais baixas devido à menor disponibilidade por novos títulos com moléculas de água a partir do exterior.

Molina *et al.* (2014) ao estudar comportamento higroscópico da pitaya (*Hylocereus undatus*) liofilizada, armazenada em embalagens laminadas e plásticas, ambas a vácuo por um período de 120 dias, observaram resultados antagônicos ao desta pesquisa, houve um aumento da higroscopicidade dos pós em ambos os pacotes em relação ao armazenamento, apresentando diferença significativa entre os dois ensaios.

5.7.5 Grau de Caking

O comportamento do grau de *caking* do pó de manga durante o estudo da estabilidade nas embalagens e condições testadas, encontra-se representado no Gráfico 8.

Gráfico 8 – Grau de *caking* do pó de manga durante o armazenamento de 90 dias.



Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo.

No Gráfico 8 ficou evidenciado o aumento crescente do grau de *caking* do pó de manga ao longo dos 90 dias de armazenamento nas diferentes embalagens e condições testadas.

Sem sombra de dúvidas o aumento do *caking* nas embalagens de polietileno se sobressaíram as laminadas.

De acordo com os dados mostrados na Tabela 29 no Apêndice B, percebeu-se que a embalagem laminada com vácuo foi a única que apresentou uma pequena redução do valor de *caking* ao longo da estabilidade, no entanto, não verificou-se diferença estatística entre si ($p > 0,05$) em nenhum dos períodos estudados. Para Sousa *et al.* (2016) grandes variações dos valores em ambos os pacotes podem ser explicados pelas dificuldades com a metodologia, especialmente durante a transferência do pó para a peneira granulométrica. Em relação a embalagem laminada sem vácuo, constatou-se que o tempo de 90 dias diferiu estatisticamente ao nível de 95% de confiança dos tempos de 15, 30, 45, 60 e 75 dias, resultando em um aumento percentual do *caking* de 54,86%.

No que se refere a embalagem de polietileno com vácuo, verificou-se que somente a partir do quadragésimo quinto dia de armazenamento houve diferença estatística ($p < 0,05$), onde os tempos de 45, 60, 75 e 90 apresentaram diferença significativa dos tempos iniciais, mas não diferiram entre si. Nesta embalagem o percentual do aumento do *caking* foi de 192,65%. Já na embalagem de polietileno sem vácuo, constatou-se que houve diferença estatística entre si ($p < 0,05$) a partir dos primeiros 15 dias, onde os tempos de 30 e 60 não diferiram significativamente entre si, mas apresentaram diferença significativa do tempo de 90 dias, com aumento de 216,38%.

De acordo com Molina *et al.* (2014) o aumento do *caking* é algo esperado, pois, durante o armazenamento, o pó absorve água do ambiente e, com este incremento na umidade, tem-se um conseqüente aumento do grau de aglomeração. Notou-se que os pós armazenados nas embalagens de polietileno, exibiram valores bem superiores de *caking* se comparados com os obtidos nas embalagens laminadas. Isso pode ser justificado pelo fato dessas embalagens terem apresentado maior absorção de água. Com relação as embalagens utilizadas nessa pesquisa, verificou-se diferença estatística ($p < 0,05$) já nos primeiros 15 dias de armazenamento, tendo as embalagens de polietileno com e sem vácuo e a laminada também sem vácuo, diferido significativamente entre si. No trigésimo dia, a de polietileno sem vácuo diferiu estatisticamente das demais, com 45 dias, a laminada sem vácuo apresentou diferença significativa da de polietileno sem vácuo. Nos tempos de 60 e 75, as embalagens laminadas diferiram significativamente das de polietileno, mas ambas não apresentaram diferença

significativa entre si. Aos 90 dias as laminadas diferiram estatisticamente entre si e das de polietileno.

Comportamento similar foi observado por Molina *et al.* (2014), ao estudarem a estabilidade de pitaya em pó, obtido por liofilização e armazenado em embalagens laminadas e plásticas por um período de 120 dias. Os mesmos relataram que foi possível observar um aumento no grau de *caking* em ambos os pacotes estudados durante a estabilidade. Para a embalagem plástica, houve um aumento de 60,73% nos primeiros 45 dias. Os valores diferiram estatisticamente a ($p < 0,05$) entre ambos os pacotes, tendo as laminadas apresentado valores de *caking* mais baixos.

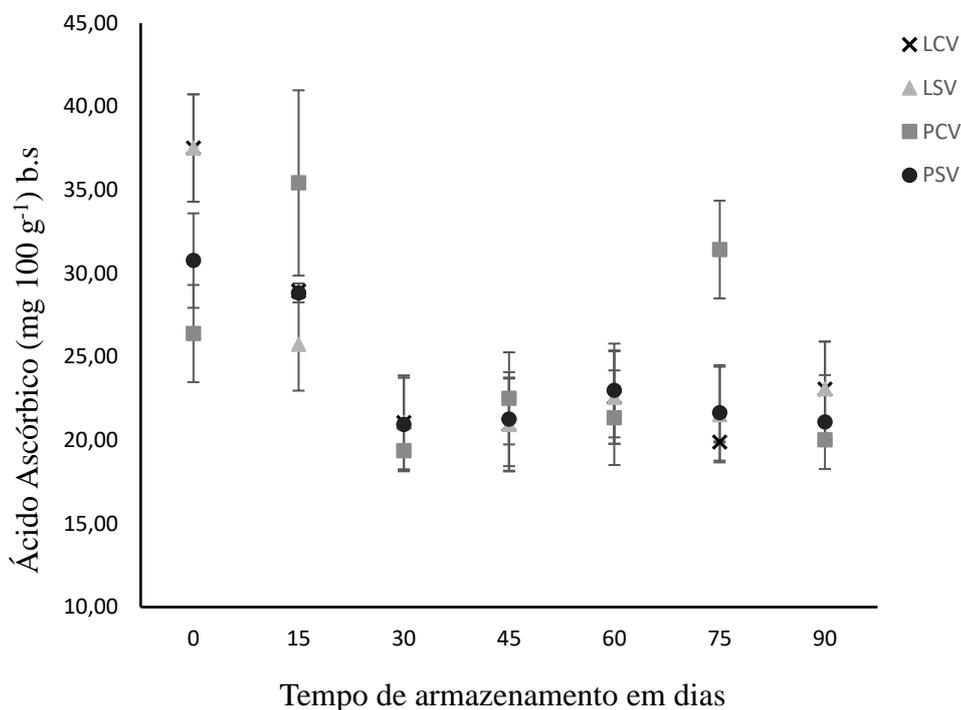
Valores superiores ao deste trabalho foram encontrados por Sousa *et al.* (2016), ao estudarem a estabilidade de suco de caju em pó obtido em leite de jorro, esses autores relataram um *caking* de 74,69 e 86,87% para o tempo 0 nas embalagens laminadas e plásticas respectivamente, ao final dos 60 dias de armazenamento observaram os respectivos valores 79,67 e 79,20% para as laminadas e plásticas.

5.7.6 Ácido Ascórbico (AA)

Pelo Gráfico 9 foi possível observar o comportamento do ácido ascórbico (AA) do pó de manga ao longo do estudo da estabilidade. Através dos dados exibidos no Gráfico, ficou mais compreensível o comportamento do ácido ascórbico do pó de manga ao longo do armazenamento. Comprovadamente houve uma redução significativa neste parâmetro, tendo as embalagens e condições testadas apresentado valores finais similares.

Os resultados encontrados no estudo da estabilidade do pó de manga, obtido em *spray-dryer*, para o parâmetro ácidos ascórbico, podem ser conferidos na Tabela 30 no Apêndice B. Pelos resultados constatou-se que, em ambas as embalagens e condições testadas, houve um decréscimo no conteúdo de ácido ascórbico do pó de manga ao longo dos 90 dias de armazenamento. O pó apresentou valores de ácido ascórbico iniciais no tempo 0, que variaram de 26,39 a 37,51 mg 100 g⁻¹ (b.s), ao final do estudo da estabilidade o valor máximo não ultrapassou 23,08 mg 100 g⁻¹ (b.s).

Gráfico 9 - Comportamento do ácido ascórbico do pó de manga durante os 90 dias de armazenamento.



Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo; Resultados expressos em matéria seca.

A embalagem laminada com vácuo, apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) já nos primeiros 15 dias de armazenamento, onde os tempos 0, 15 e 30, diferiram significativamente entre si. Em relação aos tempos de 30, 45, 60, 75 e 90 dias, não verificou-se diferença estatística. Notou-se que nesta embalagem, os tempos iniciais representaram o período de maior perda do AA, tendo se estabilizado nos tempos subsequentes, o percentual de redução foi de 38,52%. Na embalagem laminada sem vácuo, constatou-se diferença estatística entre si ($p < 0,05$) apenas no tempo 0. Em relação aos demais não houve diferença estatística entre si. O percentual de redução do AA nesta condição de embalagem testada representou 38,46%.

Em relação à embalagem de polietileno com vácuo, os tempos de 0, 30, 45, 60 e 90 dias não exibiram diferença estatística entre si ($p > 0,05$), já entre os tempos de 0 e 15 verificou-se diferença significativa. O conteúdo de ácido ascórbico nesta embalagem passou de 26,39 mg 100 g⁻¹ (b.s) a 20,01 mg 100 g⁻¹ (b.s), representando uma redução percentual de 24,17%. Em relação à embalagem de polietileno sem vácuo, verificou-se que entre os tempos de 0 e 15 dias não houve diferença estatística entre si, mas apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) dos

tempos de 30, 45, e 90 dias. Na referida condição de armazenamento a perda do AA, representou um percentual de 31,43%.

Apesar dos resultados apontarem que as embalagens de polietileno foram mais eficazes na retenção do ácido ascórbico, se compararmos os valores de ambas as embalagens, percebeu-se que são praticamente os mesmos, com pouca variação ao final dos 90 dias de armazenamento, não havendo diferença significativa entre os mesmos. Em termos de embalagens e condições testadas, verificou-se diferença estatística entre si ($p < 0,05$) apenas nos tempos 0, 15 e 75 dias. Onde as embalagens laminadas não diferiram estatisticamente entre si, mas apresentaram diferença significativa da embalagem de polietileno com vácuo no tempo 0, aos 15 dias a de polietileno com vácuo diferiu da laminada sem vácuo, no tempo de 75 dias a embalagem de polietileno com vácuo diferiu estatisticamente das demais testadas.

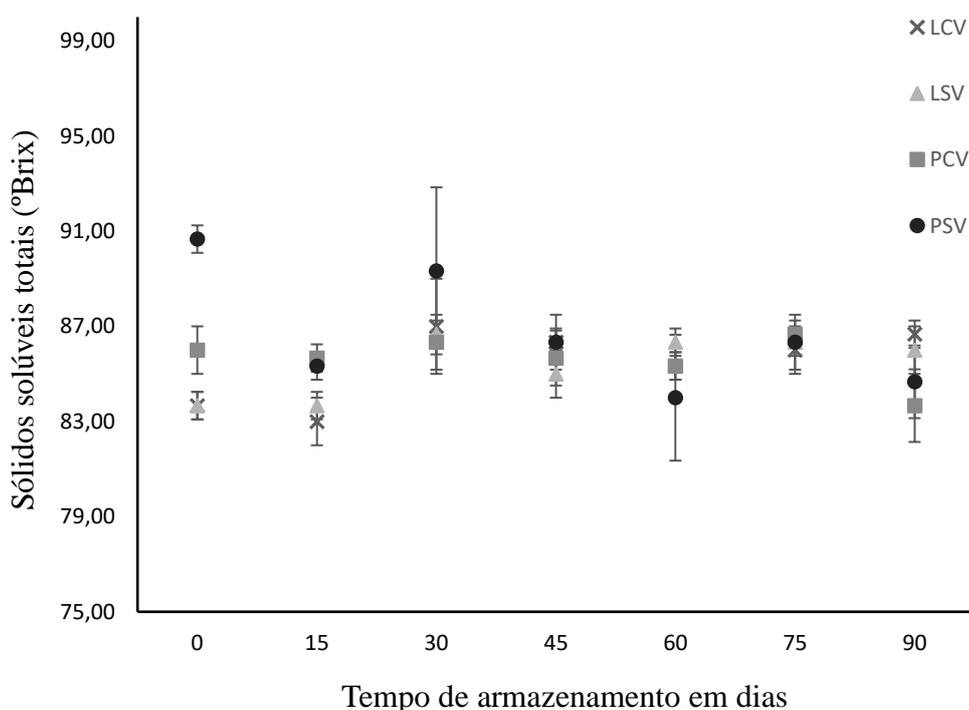
Resultados similares foram obtidos por Alexandre *et al.* (2014) ao estudarem o armazenamento de pitanga em pó, em embalagens multifoliada por um período de 60 dias. Assim como os resultados obtidos nessa pesquisa, o conteúdo do ácido ascórbico também reduziu-se ao longo do período estudado, esses autores relataram valor inicial de 41,35 mg 100 g⁻¹ (b.s) e ao final dos 60 dias o pó de pitanga apresentou 35,81 mg 100 g⁻¹ (b.s), resultando em perda de 13,39%. Se comparado com os resultados obtidos nas embalagens testadas nessa pesquisa, essa taxa de redução foi inferior, no entanto deve-se levar em consideração, que o período estudado foi igualmente inferior ao deste trabalho.

Para Oliveira *et al.* (2015) essas reduções no teor de ácido ascórbico podem ter ocorrido em razão do tipo de embalagem, pH e teor de água das amostras, do oxigênio dentro da embalagem e da temperatura e umidade relativa de armazenamento. Em seu estudo da estabilidade do fruto de mandacaru em pó, obtido em *spray-dryer* com 10% de maltodextrina com diferentes DE (10 e 14), armazenado em embalagens laminadas, sob condições de temperatura e umidade relativa controlada por um período de 50 dias, foi observado a tendência na diminuição do conteúdo de ácido ascórbico ao longo do armazenamento, representando uma redução percentual de 17,98% nos ensaios com maltodextrina com DE (10) e 21,23% para os com DE (14).

5.7.7 Sólidos Solúveis Totais (°Brix)

O Gráfico 10 ilustra o comportamento dos sólidos solúveis totais (°Brix) do pó de manga durante o estudo da estabilidade. Notou-se que os valores do °Brix no pó de manga oscilaram no decorrer dos períodos estudados, aumentando-se e reduzindo-se, nas embalagens e condições testadas. Verificou-se um comportamento inverso entre as embalagens testadas, enquanto que o conteúdo de sólidos nas laminadas tiveram um pequeno aumento, nas de polietileno registrou-se uma pequena redução.

Gráfico 10 - Sólidos solúveis totais do pó de manga durante os 90 dias de armazenamento.



Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo.

Os valores para sólidos solúveis totais encontrados durante o estudo da estabilidade do pó de manga, obtido em *spray-dryer*, estão apresentados na Tabela 31 do Apêndice B. Na embalagem laminada com vácuo, constatou-se uma tendência no aumento deste parâmetro ao longo dos 90 dias de armazenamento, no entanto, os valores foram bem próximos, verificando-se diferença estatística ($p < 0,05$) apenas do tempo de 30 em relação aos tempos de 0 e 15 dias. No que se refere a embalagem laminada sem vácuo, também observou-se a tendência na

elevação do °Brix, verificou-se um aumento significativo ao nível de 95% de confiança a partir do trigésimo dia de armazenamento, permanecendo os valores estáveis até o final do período estudado.

A respeito das embalagens de polietileno com vácuo, somente os tempos de 75 e 90 dias apresentaram diferença significativa entre si ($p < 0,05$). Nesta embalagem, houve uma pequena redução de 2,72% no °Brix do pó de manga. Em relação as embalagens de polietileno sem vácuo, verificou-se uma redução significativa do °Brix ($p < 0,05$) já nos primeiros quinze dias de armazenamento, tendo os tempos de 15, 60 e 90 apresentado diferença significativa em relação ao tempo inicial (0), o percentual de redução foi de 6,61%.

De acordo com Loureiro *et al.* (2013) reduções no teor de sólidos solúveis totais podem ocorrer com aumento do teor de água durante o armazenamento, alterando a proporção de sólidos na massa total. Como pôde ser verificado anteriormente as embalagens de polietileno incorporaram mais umidade ao pó de manga. Entre as embalagens e condições testadas, verificou-se diferença estatística ($p < 0,05$) somente até os primeiros quinze dias de armazenamento. No tempo 0, as embalagens de polietileno diferiram estatisticamente entre si, bem como apresentaram diferença estatística em relação as laminadas, aos 15 dias as embalagens laminadas diferiram significativamente da de polietileno com vácuo.

Moreira *et al.* (2011) em seu estudo da estabilidade de polpa de cupuaçu em pó, desidratado em estufa a 60°C, por períodos de horas diferentes, armazenados em embalagens de polietileno de baixa densidade por 90 dias, observaram que os teores de sólidos solúveis diminuíram linearmente durante o armazenamento. Esses autores relataram valores de °Brix de 29,08 e 28,09; 30,11 e 29,23; 30,11 e 29,23 para os tempos iniciais (0) e finais (90) nas polpas desidratadas por 46, 52 e 58 horas, respectivamente.

Lima (2015) ao estudar a estabilidade de bebida composta em pó de acerola e soro lácteo, armazenada em embalagens laminadas com vácuo por um período de 75 dias, observou que os valores médios para sólidos solúveis não apresentaram diferença significativa entre o período inicial e final do armazenamento ($p > 0,05$), permanecendo estáveis durante o período estudado.

Valores inferiores ao desta pesquisa foram encontrados por Loureiro *et al.* (2013) ao estudarem o armazenamento de buriti em pó desidratado em estufa a 50°C e acondicionado em embalagens de polietileno e laminadas por um período de 90 dias. Os mesmos relataram

valores de 10,27 e 9,93 para as embalagens de polietileno e 10,27 e 9,83 para as laminadas, correspondendo ao °Brix dos tempos iniciais e finais, respectivamente.

5.7.8 Cor

Durante o estudo da estabilidade do pó de manga, obtido em *spray-dryer* a 150°C com 30% de maltodextrina, que compreendeu 90 dias de armazenamento em quatro embalagens diferentes, ocorreram alterações na cor, que foram visualmente perceptíveis conforme mostrado na Figura 26.

Figura 26 - Cor do pó de manga nas diferentes condições de armazenamento estudadas.



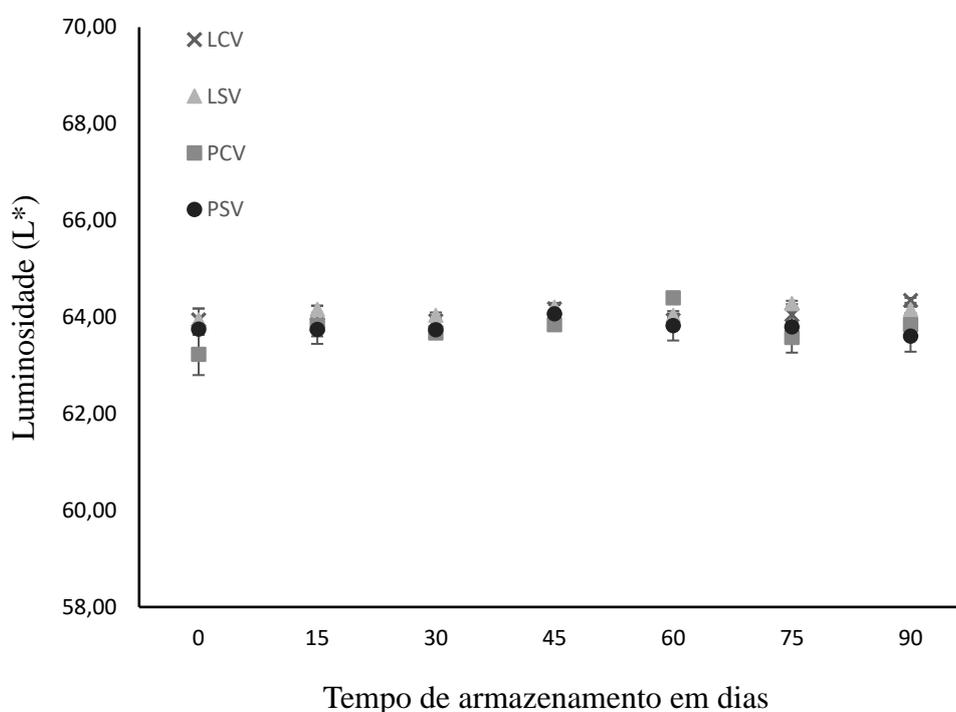
O atributo da cor, além de ser um indicativo do índice de maturação dos frutos, tem um forte apelo mercadológico. De acordo com Ferreira *et al.* (2014c) a cor consiste em um parâmetro importante a ser avaliado, pois está entre os fatores que influenciam na aceitação de

um produto pelo consumidor. A partir da medida instrumental da cor é possível saber de forma objetiva a coloração apresentada pelo alimento.

5.7.8.1 Coordenada L* (Luminosidade)

Através do Gráfico 11 foi possível observar o comportamento da coordenada L* do pó de manga ao longo dos 90 dias de armazenamento nas quatro embalagens testadas.

Gráfico 11 – Comportamento da luminosidade do pó de manga durante os 90 dias de armazenamento.



Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo.

Os resultados ilustrados no Gráfico 11 mostraram que a coordenada L* do pó de manga não foi afetada em relação ao tempo de armazenamento, apresentando semelhança entre as embalagens testadas, sugerindo estabilidade deste parâmetro ao longo dos 90 dias de armazenamento.

Os resultados da análise colorimétrica, para a coordenada L^* (luminosidade), obtidos durante o estudo da estabilidade do pó de manga, podem ser conferidos na Tabela 32 do Apêndice B. Foi possível constatar que a luminosidade do pó de manga manteve-se estável, sem grandes alterações dos valores ao longo dos 90 dias de armazenamento nas quatro embalagens testadas. O pó de manga apresentou valores iniciais (tempo 0) de 63,23 a 63,94. Ao final do estudo da estabilidade (tempo 90), a luminosidade variou de 63,60 a 64,34. Na embalagem laminada com vácuo não verificou-se diferença significativa ao nível de 95% de confiança, entre os sete períodos estudados. Quanto a embalagem laminada sem vácuo, verificou-se um aumento significativo ($p < 0,05$) aos 75 dias em relação ao tempo 0, no entanto o valor de L^* apresentado ao final do estudo da estabilidade não diferiu de nenhum dos tempos estudados.

Em relação as embalagens de polietileno com vácuo, verificou-se um aumento significativo ($p < 0,05$) a partir do décimo quinto dia de armazenamento, permanecendo constante até o final dos 90 dias estudados, o aumento percentual da luminosidade nesta embalagem foi de 0,96%, praticamente insignificante. Na de polietileno sem vácuo, não houve diferença estatística ($p > 0,05$) entre os períodos estudados. Notou-se que o tempo de armazenamento estudado não foi um fator determinante no comportamento da luminosidade do pó de manga, na prática esse parâmetro se manteve estável, com poucas diferenças estatísticas.

Loureiro *et al.* (2013) em seu estudo da estabilidade de buriti em pó, desidratado em estufa a temperaturas de 50, 60 e 70°C, armazenados em embalagens de polietileno e laminadas por 90 dias, constataram que os valores de L^* das amostras obtidas a partir das três temperaturas de secagem não foram influenciados estatisticamente pelo tipo de embalagem usada nem pelo período de armazenamento.

Em relação as embalagens utilizadas nesta pesquisa, verificou-se diferença estatística entre as mesmas ao nível de 95% de confiança a partir do trigésimo dia de armazenamento, onde a embalagem de polietileno com vácuo diferiu significativamente das embalagens laminadas nos tempos de 30 e 45 dias, aos 60 dias a de polietileno com vácuo não diferiu significativamente da laminada sem vácuo, mas apresentou diferença significativa das demais. No septuagésimo quinto dia apenas a embalagem de polietileno com vácuo diferiu significativamente da laminada sem vácuo e, finalmente, ao término dos 90 dias as embalagens laminadas apresentaram diferença significativa da de polietileno sem vácuo.

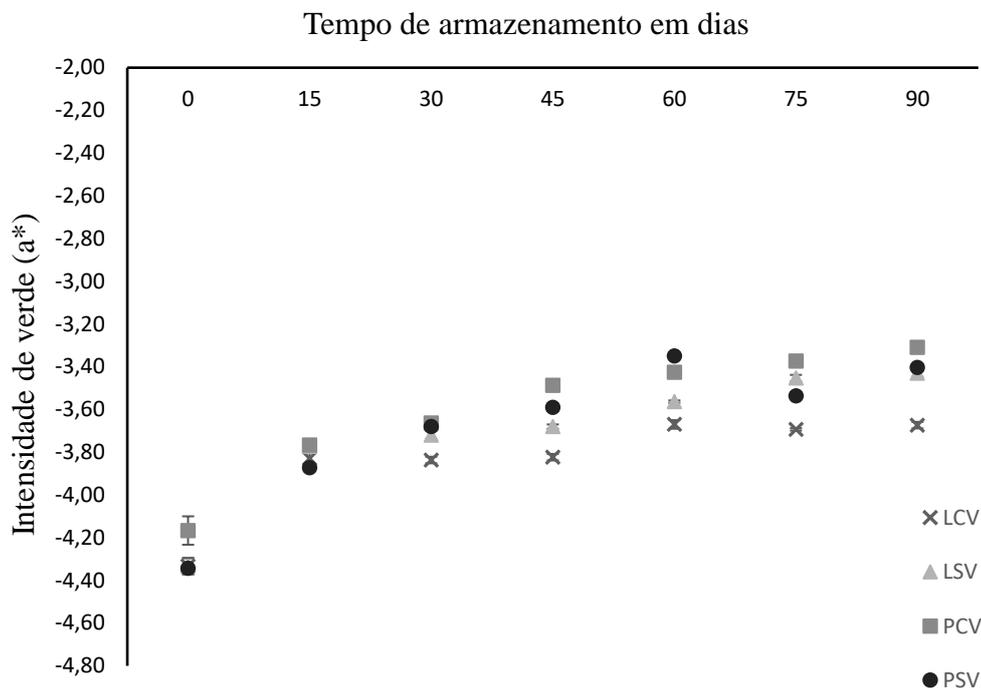
Galdino *et al.* (2016) ao estudarem a estabilidade de figo-da-índia em pó, desidratado em *spray-dryer* com 35% de maltodextrina, armazenado em embalagens laminadas por um período de 40 dias, sob condições controladas de temperaturas e umidades relativa, observaram que a luminosidade manteve-se estável durante todo o período estudado nas amostras armazenadas a temperaturas de 25°C e 40°C e umidades relativas de 84,34% e 82,32%, respectivamente. O mesmo comportamento observado nesta pesquisa.

Valores similares ao deste trabalho para L* foram obtidos por Lisbôa; Figueirêdo e Queiroz (2012) ao estudarem o armazenamento de figo-da-índia em pó, desidratado pelo método camada de espuma, em estufa de circulação de ar a 90°C, armazenado em embalagens laminadas, a uma temperatura de 25°C e umidade relativa de 55%, por um período de 100 dias. Nesta condição esses autores encontraram valores que variaram de 64,11 a 63,90 para o tempo inicial (0) e final (100), respectivamente.

5.7.8.2 Coordenada a* (Intensidade de verde)

O comportamento da coordenada a* (intensidade de verde) do pó de manga durante o estudo da estabilidade pode ser observado no Gráfico 12.

Pelos resultados ilustrados no Gráfico para coordenada a*, constatou-se o aumento numérico nas quatro embalagens estudadas nesta pesquisa, mostrando que a tonalidade verde do pó de manga reduziu-se, gradativamente, ao longo dos 90 dias de armazenamento. Na Tabela 33 do Apêndice B temos os valores médios obtidos durante o estudo da estabilidade do pó de manga para a coordenada da cor a*.

Gráfico 12 - Comportamento da coordenada a^* do pó de manga durante o estudo da estabilidade.

Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo.

O pó de manga apresentou valores para a coordenada a^* que variaram de -4,16 a -4,34 no tempo 0, chegando ao final do período estudado com valores de -3,31 a -3,67. Notou-se um aumento numérico para esse parâmetro entre as condições estudadas, significando dizer que houve uma tendência na redução da tonalidade verde do pó de manga ao longo do armazenamento. Na embalagem laminada com vácuo, verificou-se uma redução significativa ($p < 0,05$) a partir do décimo quinto dia de armazenamento, tornando a reduzir-se, significativamente, aos 60 dias, onde permaneceu constante até o final do estudo da estabilidade. Nesta embalagem, a redução de a^* representou 15,24%. Em relação a embalagem laminada sem vácuo, constatou-se diferença estatística ao nível de 95% de confiança entre os tempos 0, 15, 45, 60 e 75. Nessa condição de armazenamento também observou-se redução na tonalidade verde do pó, representando um percentual de 20,78%.

Em relação as embalagens de polietileno com vácuo, as mesmas apresentaram reduções significativas da coordenada a^* ($p < 0,05$) até o quadragésimo quinto dia, não apresentando significância nos períodos subsequentes. O percentual de redução nesta embalagem foi de 20,43%. Já na embalagem de polietileno sem vácuo, verificou-se diferença

estatística ($p < 0,05$) entre os sete períodos estudados. A taxa de redução da coordenada a^* , nessa condição de armazenamento, foi de 21,65%.

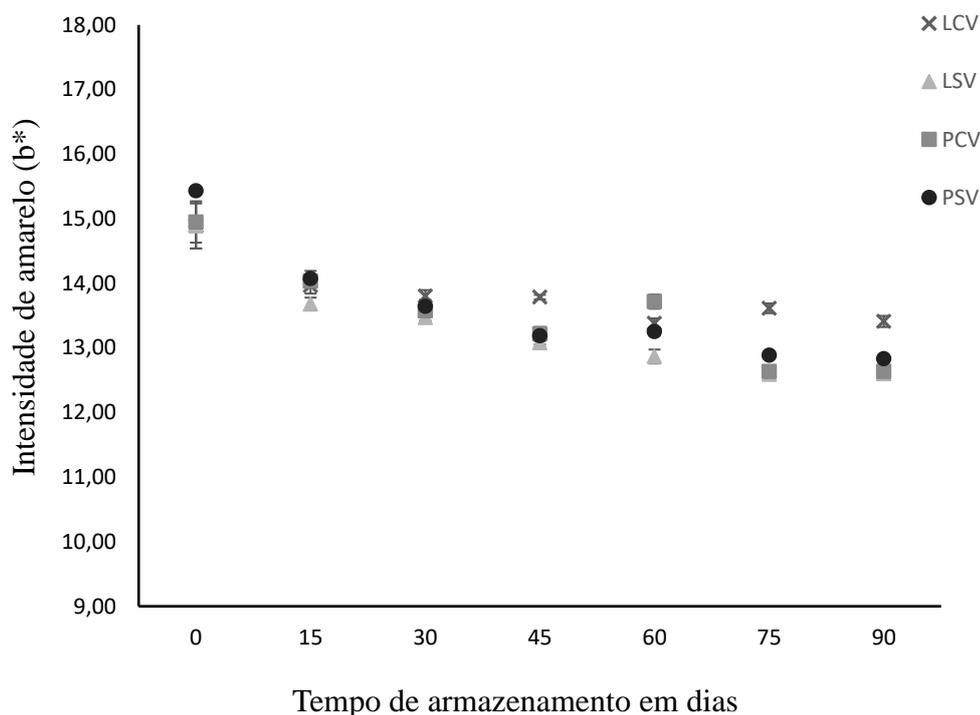
Percebeu-se que as embalagens a vácuo se mostraram mais eficientes na manutenção da cor do pó de manga ao longo dos 90 dias de armazenamento. Se compararmos os resultados em termos de embalagens e condições testadas, observou-se diferença estatística ($p < 0,05$) entre todos os sete tempos estudados, sendo que no tempo inicial (0), a embalagem de polietileno com vácuo, diferiu das outras três testadas, no décimo quinto dia as de polietileno apresentaram diferença significativa entre si, no trigésimo dia de armazenamento a laminada com vácuo diferiu estatisticamente das demais, nos tempos 45, 60 e 75 verificou-se diferença significativa entre as quatro embalagens estudadas. Aos 90 dias a laminada com vácuo diferiu estatisticamente da de polietileno com vácuo.

Alexandre *et al.* (2014) também observaram redução da coordenada a^* no pó de pitanga armazenado em embalagem multifoliada por um período de 60 dias, o percentual de redução relatado por eles foi de 30,29%. De acordo com esses autores a diminuição deste parâmetro pode estar relacionado à transparência e permeabilidade da embalagem, que expõe a amostra à luz, umidade e ao calor.

Galdino *et al.* (2016) obtiveram uma redução de 10,06% da coordenada a^* no pó de figo-da-índia, desidratado em *spray-dryer* com 35% de maltodextrina, armazenado em embalagens laminadas, a uma temperatura de 25°C e umidade relativa de 84,34% por um período de 40 dias. Já Oliveira *et al.* (2015) no pó do fruto de mandacaru, desidratado em *spray-dryer* com 10% de maltodextrina DE (10), armazenado em embalagens laminadas, a uma temperatura de 25°C e umidade relativa de 57,7%, por um período de 50 dias, relataram uma redução de 6,31% da coordenada a^* .

5.7.8.3 Coordenada b^* (Intensidade de amarelo)

Através do Gráfico 13 foi possível observar o comportamento da coordenada b^* (intensidade de amarelo) do pó de manga durante os 90 dias de armazenamento.

Gráfico 13 - Comportamento da coordenada b^* do pó de manga durante o estudo da estabilidade.

Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo.

O Gráfico 13 mostra nitidamente o comportamento decrescente da coordenada b^* do pó de manga em todas as embalagens e condições estudadas durante os 90 dias de armazenamento, revelando que as mesmas não foram tão efetivas na manutenção da cor do produto. Os resultados da análise colorimétrica, obtidos durante o estudo da estabilidade do pó de manga para a coordenada da cor b^* , encontram-se na Tabela 34 do Apêndice B.

A coordenada b^* do pó de manga revelou valores iniciais de 14,89 a 15,43, chegando ao final do estudo da estabilidade com resultados que variaram de 12,60 a 13,41. Na embalagem laminada a vácuo verificou-se redução significativa ($p < 0,05$) a partir do décimo quinto dia, permanecendo estável, sem alterações significativas nos demais períodos estudados, tendo o tempo inicial (0) diferido significativamente do tempo final (90), a redução da coordenada b^* nesta embalagem foi de 9,93%. Em relação à embalagem laminada sem vácuo, constatou-se diferença estatística ao nível de 95% de confiança entre os tempos de 0, 15, 45 e 75. A taxa de redução na tonalidade amarela do pó nesta condição foi de 15,37%.

Nas embalagens de polietileno com vácuo, se compararmos os valores dos períodos estudados em relação ao tempo inicial (0), notou-se que todos apresentaram diferença

significativa ($p < 0,05$), representando uma diminuição da coordenada b^* de 15,51%. Já na embalagem de polietileno sem vácuo, verificou-se um decréscimo significativo ($p < 0,05$) da coordenada b^* até o quadragésimo quinto dia de armazenamento, voltando a reduzir-se aos 75 dias, onde os tempos de 45 e 60, assim como os de 75 e 90, não diferiram estatisticamente entre si. A redução desse parâmetro nesta embalagem durante os 90 dias de armazenamento foi de 16,85%.

De acordo com os resultados, as embalagens laminadas, seguidas das que continha vácuo, preservaram mais a cor do pó de manga ao longo do estudo da estabilidade. Em relação as embalagens e condições testadas nessa pesquisa, constatou-se diferença estatística ($p < 0,05$) em seis dos sete períodos estudados. Nos primeiros 15 dias de armazenamento, a embalagem laminada sem vácuo diferiu estatisticamente das outras três, com 30 dias as laminadas diferiram estatisticamente entre si, mas não apresentaram diferença estatística das de polietileno, aos 45 dias a laminada com vácuo diferiu estatisticamente das demais, no tempo de 60 a laminada sem vácuo diferiu estatisticamente da de polietileno com vácuo, nos tempos de 75 e 90 dias, as laminadas sem vácuo não diferiram das de polietileno com vácuo, no entanto apresentaram diferença significativa das demais.

Galdino *et al.* (2016) observaram comportamento análogo ao desta pesquisa, redução na coordenada b^* do pó de figo-da-índia, desidratado em *spray-dryer* com 35% de maltodextrina, armazenado em embalagens laminadas em temperaturas e umidades relativa controladas por um período de 40 dias. Esses autores relataram reduções na tonalidade amarela do pó de 3,35 e 3,87%, para as temperaturas de 25 e 40°C e umidades de 84,34 e 82,32%, respectivamente.

Alexandre *et al.* (2014) ao estudarem o armazenamento de pitanga em pó em embalagens multifoliada por um período de 60 dias, obtiveram valores de 33,98 e 26,52 para a coordenada b^* nos tempos inicial (0) e final (60), respectivamente. Representando uma diminuição de 21,95% da tonalidade amarela do pó. Taxas de redução similares ao desta pesquisa foram observados por Lisbôa; Figueirêdo e Queiroz (2012), que relataram os valores de 17,31 e 18,85%, no figo-da-índia em pó, armazenado em embalagens laminadas, a uma temperatura de 40°C e umidades relativa de 55 e 83%, respectivamente.

Comportamento adverso ao do pó de manga para a coordenada da cor b^* foi observado por Oliveira *et al.* (2015) em seu estudo da estabilidade do fruto de mandacaru em

pó, armazenado em embalagens laminadas, com temperatura e umidade relativa controlada por um período de 50 dias. Descreveram aumentos para b^* de 7,81 e 12,24% nos pós com 10% de maltodextrina DE (10 e 14), respectivamente.

6 CONCLUSÕES

As características físico-químicas da polpa de manga da cv. Palmer, encontram-se dentro dos parâmetros estabelecidos pelo Regulamento Técnico para Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para Polpa de Manga, com exceção do parâmetro acidez. As melhores condições de secagem de polpa de manga cv. Palmer em *spray-dryer*, é com a adição de 30% de maltodextrina desidratado a uma temperatura de 150°C, que resultou no maior rendimento e em baixos valores de umidade e higroscopicidade da manga em pó desidratada.

O processo de desidratação em *spray-dryer*, ocasionou um aumento dos sólidos solúveis (°Brix), dos açúcares totais e redutores. Houve uma perda no conteúdo de ácido ascórbico (AA), carotenoides, umidade e atividade de água (a_w). A concentração do adjuvante maltodextrina influenciou as características físicas e morfológicas dos pós de manga, conforme o aumento de sua concentração obteve-se pós com menor ângulo de fricção da parede, maior facilidade de escoamento, maiores densidades aparentes, partículas maiores e mais dispersas entre si.

O modelo de GAB foi o que melhor ajustou os dados das isotermas de adsorção dos pós de manga. O aumento da concentração de maltodextrina nos pós de manga resultou na redução da absorção de umidade, enquanto que a elevação da temperatura acarretou, para uma mesma atividade de água (a_w), um aumento da umidade de equilíbrio.

O pó de manga com 30% de maltodextrina, desidratado a 150°C, conservou-se bem durante os 90 dias de armazenamento. A embalagem laminada a vácuo foi mais eficiente contra o ganho de umidade, ofertando maior barreira ao vapor de água, maior retenção da cor, sendo a mais recomendada, de acordo com os parâmetros analisados nas amostras para seu acondicionamento. A solubilidade, luminosidade, higroscopicidade e os sólidos solúveis totais (°Brix) se mantiveram sem grandes alterações.

REFERÊNCIAS

ABDULLAH, E. C.; GELDART, D. The use of bulk density measurements as flowability indicators. **Powder Technology**, v. 102, p. 151 - 165, 1999.

ADECE, Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará. **Perfil da produção de frutas Brasil Ceará 2013**. Fortaleza - CE, 2013. 31 p. Disponível em: <<http://goo.gl/tfzORQ>>. Acesso em: 17 de set. 2015.

ADHIKARI, B. *et al.* Effect of addition of maltodextrin on drying kinetics and stickiness of sugar and acid-rich foods during convective drying: experiments and modelling. **Journal of Food Engineering**, v. 62, p. 53 - 68, 2004.

ADITIVOS & INGREDIENTES. Frutas: polpas, desidratadas, cristalizadas. FANI, M. (Ed.). n. 83, p. 36 - 42, out. 2011.

AGUILERA, J. M.; VALLE, J. M.; KAREL, M. Caking phenomena in amorphous food powders. **Trends in Food Science & Technology**, v. 6, p. 149 - 155, may. 1995.

ALCÂNTARA, S. R. *et al.* Isotermas de adsorção do pedúnculo seco do caju. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 81 - 87, 2009.

ALEXANDRE, H. V. *et al.* Armazenamento de pitanga em pó. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 1, p. 83 - 91, 2014.

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, F. A. C.; FONSECA, K. S.; GOUVEIA, J. P. G. Armazenamento e processamento de produtos agrícolas: secagem natural de gergelim e determinação da umidade de equilíbrio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 343 - 348, 1999.

AL-MUHTASEB, A. H.; McMINN, W. A. M.; MAGGE, T. R. A. Moisture sorption isotherm characteristics of food products: a review. **Trans IChemE**, v. 80, part C, June, 2002.

AL-MUHTASEB, A. H.; McMINN, W. A. M.; MAGGE, T. R. A. Water sorption isotherms of starch powders Part 1: mathematical description of experimental data. **Journal of Food Engineering**, v. 61, p. 297 - 307, 2004.

ALVES, C.C.O. *et al.* Estabilidade da microestrutura e do teor de carotenoides de pós obtidos da polpa de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) liofilizada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 4, p. 830 - 839, out./dez., 2008.

AMGARTEN, D. R. **Determinação de volume específico de poros de sílicas cromatográficas por dessorção de líquidos em excesso**. 2006. 80. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química. Campinas - SP, 2006.

ANDRADE, R. D.; LEMUS, R.; PÉREZ, C. E. Models of sorption isotherms for food: uses and limitations. **Vitae, revista de la facultad de química farmacéutica**. Colômbia, v. 18, n. 3, p. 325 - 334, 2011.

ANDRIGUETO, J. R. *et al.* Produção integrada de frutas e sistema agropecuário de produção integrada no Brasil. *In*: BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Produção integrada no Brasil: agropecuária sustentável alimentos seguros**. – Brasília: Mapa/ACS, 2009. 1008 p.

ANSELMO, G. C. S. *et al.* Determinação da higroscopicidade do cajá em pó por meio da secagem por atomização. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 2, 2006, p. 58 - 65.

ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA. Cleiton Evandro dos Santos *et al.* – Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2013. 136 p.

ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA. Erna Regina Reetz *et al.* – Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2015. 104 p.

AVILA, E. L.; RODRÍGUEZ, M. C.; VELÁSQUEZ, H. J. C. Influence of maltodextrin and spray drying process conditions on sugarcane juice powder quality. **Revista Facultad Nacional de Agronomía**, Medellín, v. 68, n. 1, p. 7509 - 7520, 2015.

AZEREDO, H. M. C.; BRITO, E. S. Alterações físicas em alimentos durante a estocagem. *In*: AZEREDO, H. M. C. (Ed.). **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. 2 ed. rev. e ampl. – Brasília - DF: Embrapa, 2012.

BAKAR, J. *et al.* Spray-drying optimization for red pitaya peel (*Hylocereus polyrhizus*). **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, p. 1332 - 1342, 2013.

BARBOSA, S. J. **Qualidade de suco em pó de mistura de frutas obtido por spray drying**. 2010. 107 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Montes Claros, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido. Janaúba – MG, 2010.

BATISTA, P. F. *et al.* Quality of different tropical fruit cultivars produced in the Lower Basin of the São Francisco Valley. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 1, p. 176 - 184, jan./mar., 2015.

BENEVIDES, S. D. *et al.* Qualidade da manga e polpa da manga Ubá. **Ciência e Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 571 – 578, jul./set., 2008.

BEZERRA, T. S. *et al.* Avaliação físico-química e aplicação de modelos matemáticos na predição do comportamento de polpas de manga desidratadas em pó. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 3, p. 278 - 283, mai./jun., 2011.

BEZERRA, T. S. **Comportamento higroscópico de pós de diferentes variedades de manga (*Mangifera indica* L.)**. 2009. 101 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Fortaleza - CE, 2009.

BHUSARI, S. N.; MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, v. 266, p. 354 - 364, 2014.

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

BOLIANI, A. C.; CORRÊA, L. S. Planejamento, implantação e tratos culturais na cultura da mangueira. In: ROZANE, D. E. *et al.* (Ed.). **Manga - produção integrada, industrialização e comercialização**. Viçosa: UFV, 2004. p. 143 - 178.

BRASIL, Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. Resolução RDC nº 272, de 22 de setembro de 2005. **Regulamento técnico para produtos de vegetais, produtos de frutas e cogumelos comestíveis**. Diário Oficial da União – DOU. Poder Executivo, 23 de set. 2005.

BRASIL, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 1 de 07 de janeiro de 2000. **Regulamento Técnico Geral para fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para polpa de fruta**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 2000.

BRUNINI, M. A.; DURIGAN, J. F.; OLIVEIRA, A. L. Avaliação das alterações em polpa de manga *tommy-atkins* congeladas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 24, n. 3, p. 651 - 653, dez., 2002.

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

CAMPOS, A. R. N. *et al.* Isotermas de adsorção e calor isostérico da palma forrageira enriquecida proteicamente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.6, p.734 - 740, 2009.

CANO-CHAUCA, M. P. C. *et al.* Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 6, p. 420 - 428, 2005.

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

CAO, X. Q. *et al.* Spray-drying of ceramics for plasma-spray coating. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 20, p. 2433 - 2439, 2000.

CAPARINO, O. A. *et al.* Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (*Philippine carabao* var.) powder. **Journal of Food Engineering**, v. 111, p. 135 - 148, 2012.

CHIRIFE, J. *et al.* Some features of the parameter K of the GAB equation as applied to sorption isotherms of selected food materials. **Journal of Food Engineering**, v. 15, p. 75 - 82, 1992.

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, 2003.

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

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. – 4. ed. – Porto Alegre: Artmed, 2010. 900 p.

DANIELI, F. *et al.* Determinação de vitamina C em amostras de suco de laranja in natura e amostras comerciais de suco de laranja pasteurizado e envasado em embalagem Tetra Pak. **Revista do Instituto de Ciências da Saúde**, v. 27, n. 4, p. 361 - 366, 2009.

DEL'ARCO JÚNIOR, A. **Aspectos técnicos para produção de manga ubá**. XX Congresso Brasileiro de Fruticultura. 54 th Annual Meeting of the Interamerican Society for Tropical Horticulture, 2008, Vitória – ES.

DESAI, K. G. H; PARK, H. J. Recent development in microencapsulation of foods ingredients. **Drying Technology**, v. 23, n.7, p. 1361 - 1394, 2005.

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

DONOHUE, M. D.; ARANOVICH, G. L. Classification of Gibbs adsorption isotherms. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 76 - 77, p. 137 - 152, 1998.

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

ESCUDEIRO, R. L.; FERREIRA, M. C. **Avaliação de índices de escoabilidade de pós obtidos a partir da secagem de suspensões em leitos de jorro**. In: X Congresso Brasileiro de Engenharia Química Iniciação Científica – COBEQ IC. São Paulo: Blucher, v. 1, n.1, p. 312 - 317, 2014.

FARAONI, A. S.; RAMOS, A. M.; STRINGHTA, P. C. Caracterização da manga orgânica cultivar ubá. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 9 - 14, 2009.

FAVERO, L. A. (Org.). **A cultura da manga no São Francisco**: posicionamento, limites, oportunidades e ações estratégicas. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2008.

FAZAELI, M. *et al.* Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. **Food and Bioproducts Processing**, v, 90, p. 667 - 675, 2012.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: Princípios e práticas**. - 2. ed. - Porto Alegre: Artmed, 2006. 602p.

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

FERREIRA, A. P. R. *et al.* **Caracterização de polpa de cajá em pó obtida pelo método de secagem em leito de jorro**. In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química – COBEQ. Florianópolis – SC, 19 a 22 de out. 2014c.

_____. **Comportamento higroscópico de polpa de seriguela atomizada utilizando diferentes agentes carreadores de secagem**. In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química – COBEQ. Florianópolis – SC, 19 a 22 de out. 2014a.

_____. **Estudo comparativo das características físicas e físico-químicas de pós de pitaya roxa (*Hylocereus polyrhizus*) obtidos por secagem em leito de jorro e *spray-dryer***. In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia química – COBEQ. Florianópolis - SC, out. 2014b.

FERREIRA, C. D.; PENA, R. S. Comportamento higroscópico da farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 2, p. 251 - 255, 2003.

FITZPATRICK, J. J. *et al.* Glass transition and the flowability and caking of powders containing amorphous lactose. **Powder Technology**, v. 178, p. 119 - 128, 2007.

FITZPATRICK, J. J. *et al.* Effect of powder properties and storage conditions on the flowability of milk powders with different fat contents. **Journal of Food Engineering**, v. 64, p. 435 - 444, 2004.

FOLEGATTI, M. I. S. *et al.* Processamento e produtos. In: GENUÍ, P. J. C.; PINTO, A. C. Q. (Ed.). **A cultura da mangueira**. Brasília: Embrapa Informação tecnológica, 2002. 452 p.

FOSTER, K. D.; BRONLUND, J. E.; PATERSON, A. H. J. The prediction of moisture sorption isotherms for dairy powders. **International Dairy Journal**, v.15, p. 411 - 418, 2005.

FURTADO, G. F. *et al.* **Avaliação físico-química da polpa de manga (*Mangifera indica* L. var. *Espada*) submetida à secagem em camada delgada**. Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT. 2ª Jornada Científica da UNEMAT. Barra do Bugres - MT, 2009.

GABAS, A. L. *et al.* Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. **Journal of Food Engineering**, v. 82, p. 246 - 252, 2007.

GABAS, A. L. *et al.* Propiedades termodinámicas de sorción de agua de la pulpa de lulo en polvo con encapsulantes. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 4, p. 911 - 918, out./dez. 2009.

GALDINO, P. O. *et al.* Stability of cactus-pear powder during storage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 2, p. 169 - 173, 2016.

- GALLI, J. A. *et al.* Produção e qualidade de frutos de diferentes cultivares de manga adubadas com boro. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 3, p. 358 - 363, 2013.
- GALLI, J. A. *et al.* **Características físico-químicas de variedades de manga cultivadas em sistema orgânico.** In: VII Congresso Brasileiro de Agroecologia - CBA. Cadernos de Agroecologia, v. 6, n. 2, dez. 2011, Fortaleza – CE.
- GAVA, J. A. **Tecnologia de Alimentos: Princípios e aplicações.** São Paulo: Nobel, 2008.
- GIBBS, B. F. *et al.* Encapsulation in the food industry: A review. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 50, n. 3, p. 213 - 224, 1999.
- GOMES, P. M. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Caracterização e isotermas de adsorção de umidade da polpa de acerola em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 157 - 165, 2002.
- GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. A new technique for spray drying orange juice concentrate. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 11, p. 342 - 351, 2010.
- GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. Powder Properties. **Drying Technology**, v. 26, p. 726 - 737, 2008.
- 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, p. 35 - 42, 2005.
- GOULA, A. M. *et al.* Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 85, p. 73 - 83, 2008.
- GOUVEIA, J. P. G. *et al.* Modelos matemáticos para ajuste das isotermas de dessorção da polpa de banana da variedade prata. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 799 - 806, set./dez., 2004.
- HARTMANN, M.; PALZER, S. Caking of amorphous powders - Material aspects, modelling and applications. **Powder Technology**, v. 206, p. 112 - 121, 2011.
- HIGBY, W. K. A. Simplified method for determination of some aspects of the carotenoid distribution in natural and carotene-fortified orange juice. **Journal of Food Science**, v. 27, n. 1, p. 42 - 49, 1962.
- HILUEY, L. J. *et al.* Avaliação do rendimento do fruto, cor da casca e polpa de manga tipo espada sob atmosfera modificada. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 151 - 157, 2005.
- HOFISKY, A. 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.

IAL, Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos.** (Coord.) ZENEBO, O.; PASCUET, N. S.; TIGLEA, P. 4ª ed., 1ª ed. Digital, São Paulo: 2008. P. 1020.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal – PAM:** Culturas temporárias e permanentes. CAVARARO, R. (Org.). Rio de Janeiro - RJ, Brasil, v. 39, p. 1 - 101, 2012.

IBRAF, Instituto Brasileiro de Frutas. **Panorama da cadeia produtiva das frutas em 2012 e projeções para 2013.** FERNANDES, M. S. (Coord.), 2013. Disponível em: <<http://goo.gl/6F5Hci>>. Acesso em: 02 de out. 2015.

JAYA, S.; DAS, H. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powders properties. **Journal of Food Engineering**, v. 63, p. 125 - 134, 2004.

KAJIYAMA, T.; PARK, K. J. Influência da umidade inicial da alimentação no tempo de secagem em secador atomizador. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 1 - 8, 2008.

KAUSHIK, N. *et al.* Effect of high pressure processing on color, biochemical and microbiological characteristics of mango pulp (*Mangifera indica* cv. Amrapali). **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 22, p. 40 - 50, 2014.

KOYNOV, S.; GLASSER, B.; MUZZIO, F. Comparison of three rotational shear cell testers: Powder flowability and bulk density. **Powder Technology**, v. 283, p. 103 - 112, 2015.

KUROZAWA, L. M.; PARK, K. J.; HUBINGER, M. D. Effect of carrier agents on the physicochemical properties of a spray dried chicken meat protein hydrolysate. **Journal of Food Engineering**, v. 94, p. 326 - 333, 2009.

LANCHA, J. P. *et al.* **Desidratação de polpa de pitanga e jabuticaba em spray-dryer:** condições de processo e propriedades físico-químicas do pó. In: VI Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica - CIIC. Embrapa Meio Ambiente. Jaguariúna - SP, 2012.

LIMA, N. D. **Bebida composta em pó contendo polpa de acerola (*Malpighia Emarginata* D. C.) e soro lácteo:** produção e estabilidade. 2015. 126. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Fortaleza - CE, 2015.

LIRIO, V. S. Panorama econômico da cultura e comercialização da manga. In: ROZANE, D. E. *et al.* (Ed.). **Manga - produção integrada, industrialização e comercialização.** Viçosa: UFV, 2004. p. 143 - 178.

LISBÔA, C. G. C; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Armazenamento de figo-da-índia em pó. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 2, p. 216 - 221, 2012.

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I. Fruit, vegetable and meat products. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v. 18, n. 2, p. 111 - 117, 1985.

LOPES NETO, J. P. *et al.* Propriedade de fluxo e característica de escoabilidade de rações avícolas para dimensionamento de silos. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 31, n. 3, p. 851 - 859, maio/jun., 2007.

LOPES NETO, J. P.; NASCIMENTO, J. W. B.; SILVA, V. R. Modelos de previsão do fluxo e vazão de descarga de produtos agrícolas. **Revista Educação Agrícola Superior**, v. 27, n. 1, p. 54 - 58, 2012.

LOPES, P. R. C. *et al.* Produção Integrada de manga. In: BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Produção integrada no Brasil: agropecuária sustentável alimentos seguros**. – Brasília: Mapa/ACS, 2009. 1008 p.

LOUREIRO, M. N. *et al.* Armazenamento de buriti em pó: efeito embalagem nas características físicas e químicas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 5, p. 1092 - 1100, sept./oct. 2013.

LUCCA, T. A. *et al.* **Influência da temperatura do ar e concentração de encapsulante na secagem de polpa de jambolão por aspersão**. In: XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA. São Pedro – SP, 2015.

MACIEL, L. F. **Caracterização físico-química e avaliação de compostos bioativos de mangas (*Mangifera indica* L.) provenientes de cultivo biodinâmico, orgânico e convencional**. 2009. 151 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Farmácia. Salvador - BA, 2009.

MADENE, A. *et al.* Flavour encapsulation and controlled release – a review. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 41, p. 1 - 21, 2006.

MATTIASO, D. Manga cheia de história. **Frutas e Derivados**. IBRAF, ano 2. ed. 08, dez. 2007.

MATOS, A. P. (Org.). **Manga**. Produção: aspectos técnicos. Embrapa Mandioca e Fruticultura (Cruz das Almas, BA). - Brasília: Embrapa. Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000.

MELO FILHO, A. B.; VASCONCELOS, M. A. S. **Química de alimentos**. Recife: UFRPE, 2011. 78p.

MELO, E. A.; ARAÚJO, C. R. Mangas das variedades espada, rosa e tommy atkins: compostos bioativos e potencial antioxidante. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1451 - 1460, out./dez., 2011.

MIGUEL, A. C. A. *et al.* Qualidade de mangas cv. Palmer após armazenamento sob baixas temperaturas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 35, n. 2, p. 398 - 408, jun., 2013.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 31, p. 426 - 428, 1959.

MOLINA, R. *et al.* Physical evaluation and hygroscopic behavior of dragon fruit (*Hylocereus undatus*) lyophilized pulp powder. **Drying Technology**, v. 32, p. 2005 - 2011, 2014.

MORAIS, F. P. *et al.* **Influência do tipo de embalagem no armazenamento da polpa de caju (*Anacardium occidentale* L.) atomizada com adição de goma arábica.** In: 54^o Congresso Brasileiro de Química - CBQ, Natal – RN, 3 a 7 de nov., 2014.

MOREIRA, J. S. A. *et al.* Estudo da estabilidade microbiológica e físico-química de polpa de cupuaçu desidratada em estufa. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 2, p. 26 - 32, abr./jun., 2011.

MOREIRA, T. B. *et al.* Comportamento das isotermas de adsorção do pó da polpa de manga liofilizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1093 - 1098, 2013.

NEVES, B. E. S. *et al.* Qualidade físico-química e microbiológica de diferentes frutas tropicais comercializadas no Estado de Sergipe. **Revista Higiene Alimentar**, v. 27, n. 218 - 219, p. 3206 - 3211, mar./abr., 2013.

OLIVEIRA, A. R. *et al.* **Cultivo da mangueira.** Embrapa Semiárido. Sistemas de Produção, 2. ed. Versão Eletrônica, ago., 2010.

OLIVEIRA, A. S. *et al.* Estabilidade da polpa do *Cereus jamacaru* em pó durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 147 - 153, 2015.

OLIVEIRA, D. M. *et al.* Hygroscopic Behavior of Lyophilized Powder of Grugru Palm (*Acrocomia aculeata*). **American Journal of Analytical Chemistry**, v. 4, p. 1 - 7, 2013.

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

OLIVEIRA, L. C. *et al.* **Estudo das isotermas de dessecção de sementes de cevadilha vacariana (*Bromus auleticus* TRINIUS).** In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química – COBEQ. Florianópolis – SC, 19 a 22 de out. 2014.

OLIVEIRA, M. I. S. *et al.* Estabilidade da polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 16, n. 4, p. 310 - 318, out./dez., 2013.

OLIVEIRA, M. M. *et al.* Isotermas de dessecção da casca do maracujá (*Passiflora edulis* Sims): determinação experimental e avaliação de modelos matemáticos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 5, p. 1624 - 1629, set./out., 2006.

OLIVEIRA, O. W.; PETROVICK, P. R. Secagem por aspersão (*spray drying*) de extratos vegetais: bases e aplicações. **Revista Brasileira de Farmacognosia Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 20, n. 4, p. 641 - 650, ago./set., 2010.

OLIVEIRA, V. S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Caracterização físico-química e comportamento higroscópico de sapoti liofilizado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 342 - 348, abr./jun., 2011.

ORDOÑEZ, J. A. **Tecnologia de Alimentos: Componentes dos Alimentos e Processos**. Porto Alegre: Artmed. v. 1, 2005. 294 p.

PACHECO, A. L. V. *et al.* Qualidade da manga ubá orgânica e convencional ofertada a uma agroindústria da zona da mata de minas gerais. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável - RBAS**, v. 5, n. 1, p. 130 - 136, jul., 2015.

PACHECO, L.; PERES, C. Frutas nordestinas: Feiras no Nordeste movimentam a fruticultura de exportação, geram negócios e troca de experiências entre visitantes nacionais e internacionais. **Frutas e Derivados**. Instituto Brasileiro de Frutas – IBRAF. ano 3, ed. 11, p. 38 - 40, set., 2008.

PAGLARINI, C. S. *et al.* Histerese das isotermas de sorção da polpa de manga (*Mangifera indica* L.) variedade manteiga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 3, p. 299 - 305, 2013.

PANTONE; MUNSELL. **On-Line systems for color measurement and closed loop color control: Color measurement and color matching, lightboxes color management**. GretagMachbeth GmbH, part of X-Rite, Munich – Germany. Disponível em: <<http://goo.gl/7Mfnoo>>. Acesso em: 07 de nov., 2015.

PARK, K. J. B. *et al.* Considerações termodinâmicas das isotermas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 10, p. 83 - 94, 2008.

PARK, K. J. *et al.* **Conceitos de processo e equipamentos de secagem**. Campinas, 2007, 127 p. Disponível em: <<http://goo.gl/E3wxVQ>>. Acesso em: 06 de set. 2015.

PARK, K. J. *et al.* **Seleção de processos e equipamentos de secagem**. Palestra – CONBEA, 2006. Disponível em: <<http://goo.gl/szhSCT>>. Acesso em: 06 de set. 2015.

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**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 73 - 77, jan./abr., 2001.

PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pêra bartlett (*pyrus* sp.) em fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 3, p. 288 - 292, set./dez., 2001.

PEDRO, M. A. M.; TELIS-ROMERO, J.; TELIS, V. R. N. Effect of drying method on the adsorption isotherms and isosteric heat of passion fruit pulp powder. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 4, p. 993 - 1000, out./dez., 2010.

PETERNELLI, L. A. **Regressão linear e correlação**. INF 162, cap. 09, Viçosa - MG. Disponível em: <http://www.dpi.ufv.br/~peterneli/inf162.www.16032004/materiais/CAPITULO9.pdf>. Acesso em: 19/07/2016.

PHISUT, N. Spray drying technique of fruit juice powder: some factors influencing the properties of product. **International Food Research Journal**, v. 19, n. 4, p. 1297 - 1306, 2012.

PINTO, A. C. Q. Melhoria genética da manga (*Mangifera indica* L.) no Brasil. In: ROZANE, D. E. *et al.* (Ed.). **Manga - produção integrada, industrialização e comercialização**. Viçosa: UFV, 2004. p. 571 - 604.

PONTES JÚNIOR, *et al.* **Secagem de polpas de frutas em leite de jorro**. Efeitos da adição de leites vegetal e animal e da proteína isolada de leite no desempenho do processo e qualidade do produto em pó produzido. In: XI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica - COBEQ IC, Campinas – SP, 19 a 22 de jul., 2015.

PORRAS - SAAVEDRA, J. *et al.* Microstructural properties and distribution of components in microparticles obtained by spray-drying. **Journal of Food Engineering**, v. 152, p. 105 – 112, 2015.

PRADO, M. E. T. *et al.* Isotermas de sorção de tâmaras: determinação experimental e avaliação de modelos matemáticos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 143 - 146, 1999.

PRADO, M. E. **Secagem de tâmara (*Phoenix dactylifera* L.) para obtenção de tâmara passa**. 1998. 245 p. Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas – SP, 1998.

PRADO, R. M. Nutrição e desordens fisiológicas na cultura da manga. In: ROZANE, D. E. *et al.* (Ed.). **Manga - produção integrada, industrialização e comercialização**. Viçosa: UFV, 2004. p. 143 - 178.

RAMOS, A. M.; SOUSA, P. H. M.; BENEVIDES, S. D. Tecnologia da Industrialização da manga. In: ROZANE, D. E. *et al.* (Ed.). **Manga - produção integrada, industrialização e comercialização**. Viçosa: UFV, 2004. p. 571 - 604.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. São Paulo: Edgard Blucher: Instituto Mauá de Tecnologia, 2004.

RIBEIRO, L. C. **Produção de acerola em pó: métodos de secagem e avaliação da estabilidade**. 2014. 126. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Fortaleza - CE, 2014.

RIBEIRO, L. C.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A. Hygroscopic behavior of lyophilized acerola pulp powder. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande - PB, v.20, n.3, p. 269 - 274, 2016.

RIBEIRO, T. P. *et al.* Quality and bioactive compounds in fruit of foreign accessions of

mango conserved in an Active Germplasm Bank. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 1, p. 117 - 125, jan./mar., 2015.

ROCHA, E. M. F. F. **Desidratação de polpa de manga e suco de caju integral por atomização e caracterização dos produtos obtidos**. 2013. 145 p. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza – CE, 2013.

ROCHA, E. M. F. F. *et al.* Obtenção de suco de caju atomizado através do controle das condições de secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 6, p. 646 - 651, 2014.

RODRIGUES, R. Frutas para o mundo. **Agroanalysis**. Jan/2015. Disponível em: <<http://goo.gl/T4Zoj>>. Acesso em: 02 de out. 2015.

ROSA, E. D.; TSUKADA, M.; FREITAS, L. A. P. **Secagem por atomização na indústria alimentícia: fundamentos e aplicações**. Palestra, 12 p. *In: V Jornada Científica FAZU*, 2006.

SABLANI, S. S.; SHRESTHA, A. K.; BHANDARI, B. R. A new method of producing date powder granules: Physicochemical characteristics of powder. **Journal of Food Engineering**, v.87, p. 416 - 421, 2008.

SAIKIA, S; MAHNOT, N. K.; MAHANTA, C. L. Effect of spray drying of four fruit juices on physicochemical, phytochemical and antioxidant properties. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, p. 1656 - 1664, 2015.

SANHUERA, R. M. V. *et al.* Propaganda e Divulgação da Produção Integrada. *In: BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Produção integrada no Brasil: agropecuária sustentável alimentos seguros.* – Brasília: Mapa/ACS, 2009. 1008 p.

SANTANA, A. A. **Obtenção da polpa de pequi e do leite de coco babaçu microencapsulados através da secagem por aspersão**. 2013. 344 p. Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas – SP, 2013.

SANTOS, A. A. C. *et al.* Avaliação físico-química e comportamento higroscópico de goiaba em pó obtida por *spray-dryer*. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 3, p. 508 - 514, jul./set., 2014.

SANTOS, L. C; CONDOTTA, R.; FERREIRA, M. C. **Obtenção e análise das propriedades de fluxo de açúcares**. *In: XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química – COBEQ*. Fortaleza – CE, 25 a 29 de set., 2016.

SENA, L. O. *et al.* **Efeito da pasteurização nas características físico-químicas de polpa de manga Itiuba**. *In: 5º Jornada Científica - Embrapa Mandioca e Fruticultura*. Cruz das Almas - BA, 2011.

SHARIFI, A. *et al.* Effect of spray drying conditions on the physicochemical properties of barberry (*Berberis vulgaris*) extract powder. **International Food Research Journal**, v. 22, n. 6, p. 2364 - 2370, 2015.

- SILVA FILHO, A. B. **Efeito da rugosidade no escoamento em passagem de minério.** 2009. 119. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral. Ouro Preto - MG, 2009.
- SILVA JÚNIOR, M. E.; MORAIS, B. D. M.; MACIEL, M. I. S. **Secagem por atomização de polpa de ciriguela (*Spondias Purpúrea L.*):** influência das variáveis de processo e sua qualidade. *In: XIII Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão – JEPEX - UFRPE.* Recife - PE, 09 a 13 de dez., 2013.
- SILVA, A. C. *et al.* Caracterização e correlação física e química dos frutos de cultivares de mangueira em São Manuel, São Paulo. **Magistra**, Cruz das Almas - BA, v. 24, n. 1, p. 15 - 26, jan./mar., 2012.
- SILVA, A. V. C; MENEZES, J. B. Caracterização físico-química da manga *tommy atkins* submetida a aplicação de cloreto de cálcio pré-colheita e armazenamento refrigerado. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 1, p. 67 - 72, jan./mar., 2001.
- SILVA, D. F. P. *et al.* Alterações nos níveis de antioxidantes em polpa de manga. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável - RBAS**, v. 4, n. 2, p. 26 - 31, dez., 2014.
- SILVA, L. M. R. *et al.* Estudo do comportamento reológico de polpas de caju (*Anacardium occidentale*, L.), acerola (*Malpighia emarginata*, D.C.) e manga (*Mangifera indica*, L.). **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 237 - 248, jan./mar., 2012.
- SILVA, R. *et al.* **Análise prospectiva do uso de *spray drying* na obtenção de desidratados de frutas tropicais.** *In: Congresso Brasileiro de Prospecção Tecnológica - ProspeCT&I.* Cadernos de Prospecção, v. 7, n. 2, p. 187 - 197, 2014.
- SILVA, R. N. G. *et al.* Isotermas de adsorção de umidade do umbu-cajá em pó. **Revista Educação Agrícola Superior**, v. 30, n. 1, p. 33 - 36, 2015.
- SIMÃO, S. **Tratado de fruticultura.** – Piracicaba: FEALQ, 1998. 760 p.
- SING, K. S. W. Reporting physisorption data for gas/solid systems: with special reference to the determination of surface area and porosity. **Pure and Applied Chemistry**, v. 54, n. 11, p. 2201 - 2218, 1982.
- SOARES, L. P.; SÃO JOSÉ, A. R. Compostos bioativos em polpas de mangas rosa e espada submetidas ao branqueamento e congelamento. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 35, n. 2, p. 579 - 586, jun., 2013.
- SOGI, D. S.; SIDDIQ, M.; DOLAN, K. D. Total phenolics, carotenoids and antioxidant properties of Tommy Atkin mango cubes as affected by drying techniques. **LWT - Food Science and Technology**, v. 62, p. 564 - 568, 2015.
- SOUSA, F. A. **Uso do índice de degradação de amido na indicação da qualidade de manga *tommy atkins* injuriada por impacto.** 2014. 36 p. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Pombal – PB, 2014.

SOUSA, M. B. *et al.* Cinética de secagem do farelo de mamona. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 8, n. 2, p. 135 - 146, 2006.

SOUSA, M. S. M. L. *et al.* Efeito da temperatura de secagem sobre a bebida mista de polpa de manga e soro lácteo. **Revista Higiene Alimentar**, Búzios - RJ, v. 29, n. 242 - 243, p. 4538 - 4543, mar./abr., 2015.

SOUSA, S. L. *et al.* Stability of cashew apple juice in powder dehydrated in spouted bed. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 7, p. 678 - 682, 2016.

SOUZA NETO, M. A. *et al.* **Manga e Melão Desidratados**. – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 34 p.

SOUZA, A. V. *et al.* Aplicação da secagem por *spray drying* para a produção de extratos vegetais secos. **Revista Científica UNILAGO**, v. 1, n. 1, p. 181 - 196, 2013.

STROHECKER, R.; HENNING, H. M. **Analisis de vitaminas: métodos comprobados**. Madrid: Paz Montalvo, 1967. 428 p.

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

TIANO, P. C. M. **Cor e colorimetria**. Conselho Regional de Química - IV Região. Minicursos, São Paulo, 18 de set. 2009.

TONON, R. V. **Secagem por atomização do suco de açaí: influência das variáveis de processo, qualidade e estabilidade do produto**. 2009. 242 p. Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas – SP, 2009.

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

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. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 2, p. 444 - 450, abr./jun., 2009.

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

TRUONG, V.; BHANDARI, B. R.; HOWES, T. Optimization of co-current spray drying process of sugar-rich foods. Part I - Moisture and glass transition temperature profile during drying. **Journal of Food Engineering**, v. 71, p. 55 - 65, 2005.

TSAMI, E.; KROKIDA, M. K.; DROUZAS, A. E., Effect of drying method on the sorption characteristics model fruit powders. **Journal of Food Engineering**, v. 38, p. 381 - 392, 1999.

VUKOVIK, B. D. **Exportação como canal para aumento da competitividade da manga brasileira:** Um estudo exploratório. São Paulo: EAESP/FGV; 1999. 170 p. Dissertação (Mestrado em Mercadologia) - Escola de Administração de Empresas de São Paulo - Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 1999.

WANG, N.; BRENNAN, J. G. Moisture sorption isotherm characteristics of potatoes at four temperatures. **Journal of Food Engineering**, v. 14, p. 269 - 287, 1991.

WOLF, W., SPIESS, W.E.L., JUNG, G. Sorption isotherms and water activity. Influence of food materials. **Elsevier Sciences Publishing Co.**, New York , 1985.

ZARDO, I. **Extração e microencapsulação de compostos antociânicos do bagaço de mirtilo (*Vaccinium corymbosum* L.)** Dissertação (Mestrado em Engenharia.) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Porto Alegre - RS, 2014.

APÊNDICE A – SUPERFÍCIES DE RESPOSTA DAS VARIÁVEIS DEPENDENTES DO PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL, DO PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO DE POLPA DE MANGA CV. PALMER EM *SPRAY-DRYER*.

Figura 27 - Superfície de resposta do rendimento do pó de manga obtido em *spray-dryer*.

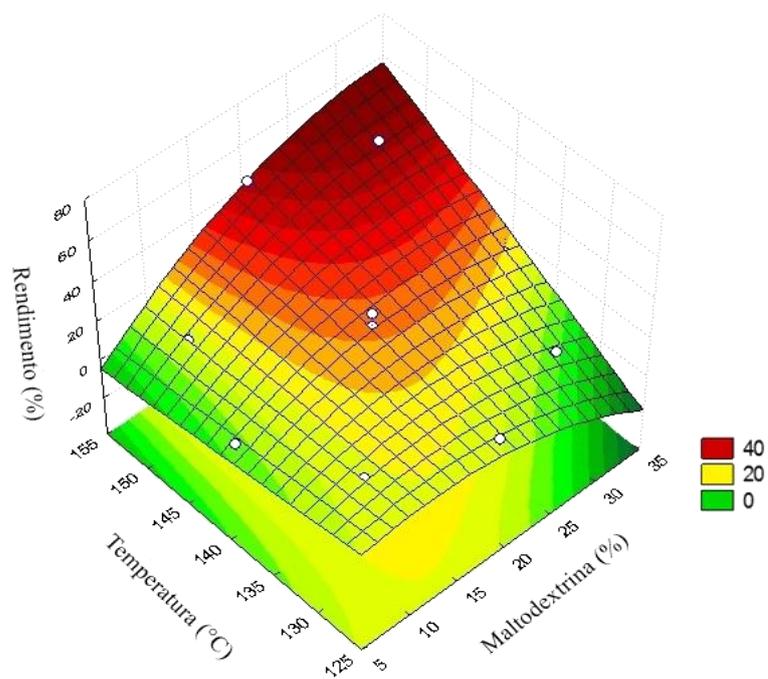
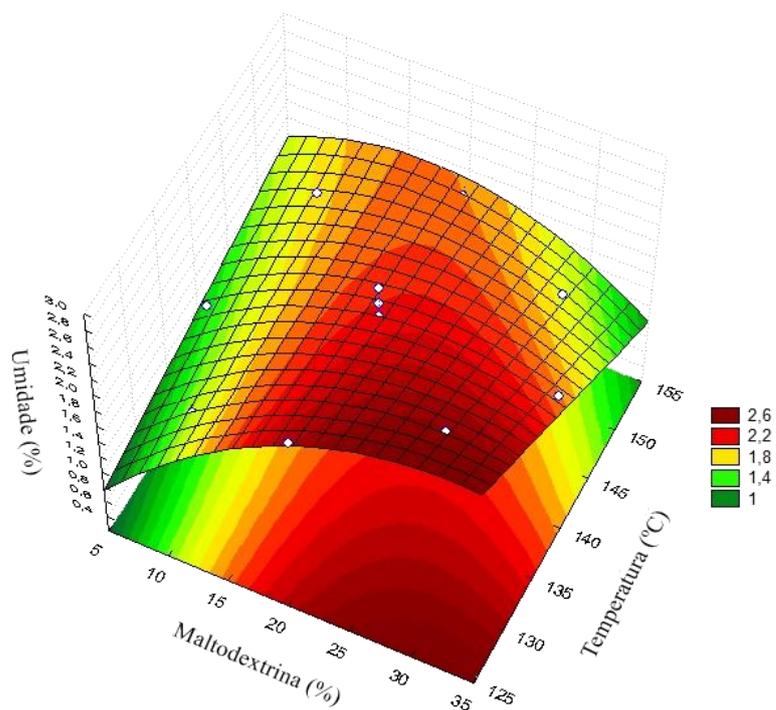
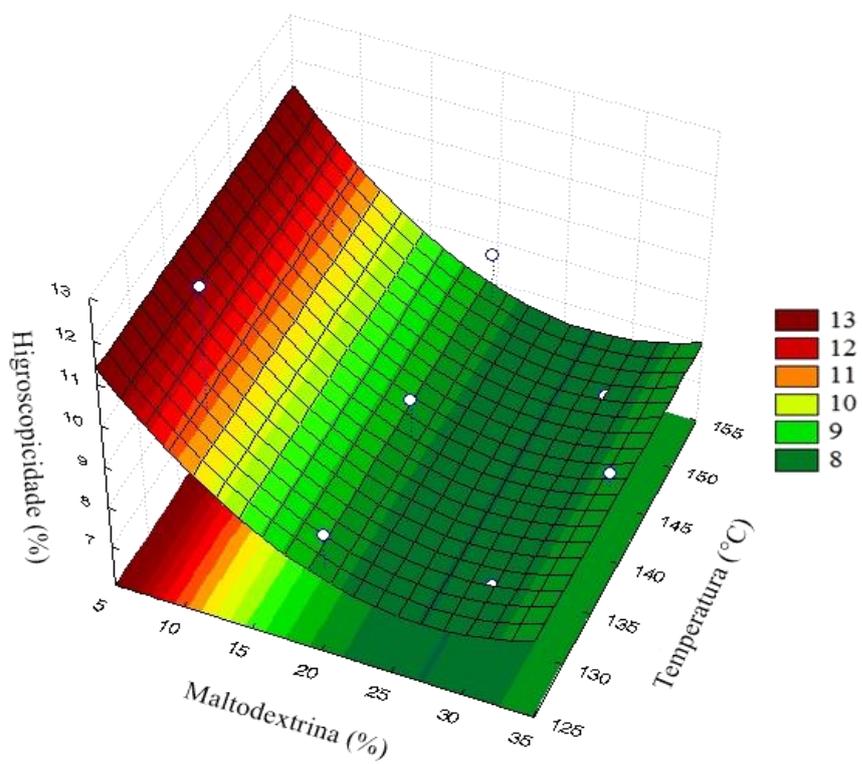


Figura 28 - Superfície de resposta para variável umidade do pó de manga obtido em *spray-dryer*.Figura 29 - Superfície de resposta para variável higroscopicidade do pó de manga obtido em *spray-dryer*.

**APÊNDICE B - TABELAS DOS RESULTADOS DO ESTUDO DA ESTABILIDADE
DO PÓ DE MANGA OBTIDO EM *SPRAY-DRYER*, EM FUNÇÃO DO TEMPO E
CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO.**

Tabela 25 - Influência do tempo e da embalagem na umidade do pó de manga.

Tempo de Armazenamento	Embalagens			
	LCV	LSV	PCV	PSV
0	2,17 ^{ab,A} ± 0,08	2,17 ^{c,A} ± 0,08	2,21 ^{d,A} ± 0,15	1,95 ^{e,A} ± 0,26
15	2,05 ^{b,A} ± 0,15	2,19 ^{c,A} ± 0,22	2,19 ^{d,A} ± 0,18	2,27 ^{de,A} ± 0,17
30	2,15 ^{ab,B} ± 0,22	2,20 ^{c,AB} ± 0,07	2,37 ^{cd,AB} ± 0,16	2,58 ^{cd,A} ± 0,08
45	2,23 ^{ab,C} ± 0,07	2,26 ^{bc,BC} ± 0,05	2,46 ^{cd,AB} ± 0,12	2,67 ^{c,A} ± 0,07
60	2,30 ^{ab,B} ± 0,21	2,35 ^{abc,B} ± 0,16	2,78 ^{bc,A} ± 0,07	2,82 ^{bc,A} ± 0,07
75	2,44 ^{ab,B} ± 0,05	2,59 ^{ab,B} ± 0,18	3,06 ^{ab,A} ± 0,21	3,11 ^{ab,A} ± 0,07
90	2,51 ^{a,C} ± 0,05	2,68 ^{a,C} ± 0,03	3,24 ^{a,B} ± 0,10	3,47 ^{a,A} ± 0,09

Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo; Médias seguidas dos desvios padrão; Letras diferentes minúscula na coluna e maiúscula na linha diferem entre si a ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Tabela 26 - Influência do tempo e da embalagem na atividade de água (a_w) do pó de manga.

Tempo de Armazenamento	Embalagens			
	LCV	LSV	PCV	PSV
0	0,18 ^{c,A} ± 0,008	0,18 ^{c,A} ± 0,008	0,17 ^{c,A} ± 0,005	0,18 ^{d,A} ± 0,003
15	0,19 ^{c,AB} ± 0,02	0,18 ^{c,B} ± 0,004	0,23 ^{d,A} ± 0,02	0,22 ^{cd,AB} ± 0,01
30	0,17 ^{c,B} ± 0,00	0,18 ^{c,B} ± 0,002	0,25 ^{cd,A} ± 0,01	0,25 ^{c,A} ± 0,02
45	0,19 ^{c,B} ± 0,006	0,20 ^{c,B} ± 0,004	0,27 ^{c,A} ± 0,006	0,27 ^{bc,A} ± 0,01
60	0,21 ^{bc,B} ± 0,02	0,22 ^{b,B} ± 0,007	0,32 ^{b,A} ± 0,01	0,32 ^{ab,A} ± 0,04
75	0,24 ^{ab,B} ± 0,005	0,25 ^{a,B} ± 0,01	0,34 ^{ab,A} ± 0,004	0,34 ^{a,A} ± 0,01
90	0,25 ^{a,B} ± 0,003	0,28 ^{a,B} ± 0,01	0,36 ^{a,A} ± 0,009	0,36 ^{a,A} ± 0,002

Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo; Médias seguidas dos desvios padrão; Letras diferentes minúscula na coluna e maiúscula na linha diferem entre si a ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Tabela 27 - Influência do tempo e da embalagem na solubilidade do pó de manga.

Tempo de Armazenamento	Embalagens			
	LCV	LSV	PCV	PSV
0	97,38 ^{a,A} ± 0,08	95,27 ^{ab,B} ± 0,07	96,12 ^{a,AB} ± 0,90	96,95 ^{a,A} ± 0,38
15	97,25 ^{a,A} ± 2,47	96,81 ^{a,A} ± 0,57	96,53 ^{a,A} ± 0,53	96,63 ^{a,A} ± 0,25
30	97,28 ^{a,A} ± 0,56	96,27 ^{a,AB} ± 0,43	94,77 ^{a,B} ± 1,66	94,30 ^{bc,B} ± 0,55
45	97,69 ^{a,A} ± 1,24	94,30 ^{b,B} ± 1,27	94,06 ^{a,B} ± 0,86	93,89 ^{c,B} ± 0,50
60	99,00 ^{a,A} ± 0,76	95,38 ^{ab,B} ± 0,67	95,02 ^{a,B} ± 1,29	95,04 ^{b,B} ± 0,43
75	98,24 ^{a,A} ± 0,38	96,24 ^{a,B} ± 0,35	94,84 ^{a,C} ± 0,77	94,67 ^{bc,C} ± 0,26
90	98,35 ^{a,A} ± 0,94	96,21 ^{a,B} ± 0,37	95,06 ^{a,BC} ± 0,79	94,01 ^{bc,C} ± 0,09

Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo; Médias seguidas dos desvios padrão; Letras diferentes minúscula na coluna e maiúscula na linha diferem entre si a ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Tabela 28 - Influência do tempo e da embalagem na higroscopicidade do pó de manga.

Tempo de Armazenamento	Embalagens			
	LCV	LSV	PCV	PSV
0	5,27 ^{a,A} ± 0,20	5,27 ^{a,A} ± 0,20	4,86 ^{ab,A} ± 0,38	5,03 ^{a,A} ± 0,19
15	4,38 ^{ab,A} ± 0,29	4,23 ^{a,A} ± 0,41	4,44 ^{ab,A} ± 0,54	4,82 ^{a,A} ± 0,33
30	4,19 ^{b,B} ± 0,42	4,26 ^{a,B} ± 0,45	4,39 ^{ab,AB} ± 0,11	5,20 ^{a,A} ± 0,20
45	4,95 ^{ab,A} ± 0,37	4,64 ^{a,A} ± 0,78	4,97 ^{a,A} ± 0,22	5,07 ^{a,A} ± 0,17
60	4,59 ^{ab,A} ± 0,35	4,63 ^{a,A} ± 0,26	4,69 ^{ab,A} ± 0,06	4,74 ^{a,A} ± 0,01
75	4,94 ^{ab,AB} ± 0,60	5,03 ^{a,A} ± 0,06	4,02 ^{b,B} ± 0,45	4,06 ^{b,AB} ± 0,08
90	5,08 ^{ab,A} ± 0,13	5,22 ^{a,A} ± 0,22	4,41 ^{ab,B} ± 0,18	4,64 ^{ab,AB} ± 0,32

Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo; Médias seguidas dos desvios padrão; Letras diferentes minúscula na coluna e maiúscula na linha diferem entre si a ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Tabela 29 - Influência do tempo e da embalagem no grau de *caking* do pó de manga.

Tempo de Armazenamento	Embalagens			
	LCV	LSV	PCV	PSV
0	25,17 ^{a,A} ± 7,89	25,17 ^{ab,A} ± 7,89	19,05 ^{b,A} ± 5,24	19,16 ^{c,A} ± 5,26
15	9,95 ^{a,BC} ± 3,88	7,61 ^{b,C} ± 1,53	16,54 ^{b,B} ± 5,10	29,21 ^{c,A} ± 1,17
30	10,56 ^{a,B} ± 2,64	10,32 ^{b,B} ± 5,78	11,92 ^{b,B} ± 1,69	48,31 ^{b,A} ± 4,82
45	22,50 ^{a,BC} ± 13,31	10,88 ^{b,C} ± 9,55	45,12 ^{a,AB} ± 8,49	53,73 ^{ab,A} ± 6,32
60	15,00 ^{a,B} ± 4,64	17,67 ^{b,B} ± 2,58	44,58 ^{a,A} ± 5,42	45,05 ^{b,A} ± 0,36
75	20,15 ^{a,B} ± 8,90	16,26 ^{b,B} ± 5,15	46,51 ^{a,A} ± 11,92	52,07 ^{ab,A} ± 3,81
90	21,73 ^{a,C} ± 1,61	38,98 ^{a,B} ± 9,91	55,75 ^{a,A} ± 5,75	60,62 ^{a,A} ± 5,41

Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo; Médias seguidas dos desvios padrão; Letras diferentes minúscula na coluna e maiúscula na linha diferem entre si a ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Tabela 30 - Influência do tempo e da embalagem no ácido ascórbico do pó de manga.

Tempo de Armazenamento	Embalagens			
	LCV	LSV	PCV	PSV
0	37,51 ^{a,A} ± 3,22	37,51 ^{a,A} ± 3,22	26,39 ^{bc,B} ± 2,91	30,76 ^{a,AB} ± 2,83
15	28,93 ^{b,AB} ± 0,04	25,74 ^{b,B} ± 2,77	35,42 ^{a,A} ± 5,55	28,83 ^{ab,AB} ± 0,56
30	21,05 ^{c,A} ± 2,83	21,05 ^{b,A} ± 2,80	19,37 ^{c,A} ± 0,06	20,94 ^{c,A} ± 2,80
45	20,93 ^{c,A} ± 2,76	20,94 ^{b,A} ± 2,81	22,50 ^{c,A} ± 2,76	21,26 ^{c,A} ± 2,81
60	22,58 ^{bc,A} ± 2,80	22,56 ^{b,A} ± 2,77	21,34 ^{c,A} ± 2,83	22,98 ^{bc,A} ± 2,81
75	19,89 ^{c,B} ± 0,03	21,53 ^{b,B} ± 2,86	31,43 ^{ab,A} ± 2,92	21,64 ^{bc,B} ± 2,86
90	23,06 ^{bc,A} ± 2,84	23,08 ^{b,A} ± 2,84	20,01 ^{c,A} ± 0,03	21,09 ^{c,A} ± 2,81

Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo; Médias expressas em matéria seca seguidas dos desvios padrão; Letras diferentes minúscula na coluna e maiúscula na linha diferem entre si a ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Tabela 31 - Influência do tempo e da embalagem nos sólidos solúveis do pó de manga.

Tempo de Armazenamento	Embalagens			
	LCV	LSV	PCV	PSV
0	83,66 ^{bc,C} ± 0,57	83,66 ^{b,C} ± 0,57	86,00 ^{ab,B} ± 1,00	90,66 ^{a,A} ± 0,57
15	83,00 ^{c,C} ± 1,00	83,66 ^{b,BC} ± 0,57	85,66 ^{ab,A} ± 0,57	85,33 ^{bc,AB} ± 0,57
30	87,00 ^{a,A} ± 2,00	86,66 ^{a,A} ± 0,57	86,33 ^{ab,A} ± 1,15	89,33 ^{ab,A} ± 3,51
45	86,33 ^{ab,A} ± 1,51	85,00 ^{ab,A} ± 1,00	85,66 ^{ab,A} ± 1,15	86,33 ^{abc,A} ± 0,57
60	85,33 ^{abc,A} ± 0,57	86,33 ^{a,A} ± 0,57	85,33 ^{ab,A} ± 0,57	84,00 ^{c,A} ± 2,64
75	86,00 ^{abc,A} ± 1,00	86,33 ^{a,A} ± 1,15	86,66 ^{a,A} ± 0,57	86,33 ^{abc,A} ± 0,57
90	86,66 ^{ab,A} ± 0,57	86,00 ^{a,A} ± 1,00	83,66 ^{b,A} ± 1,52	84,66 ^{bc,A} ± 1,52

Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo; Médias seguidas dos desvios padrão; Letras diferentes minúscula na coluna e maiúscula na linha diferem entre si a ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Tabela 32 - Influência do tempo e da embalagem na coordenada L* (luminosidade) do pó de manga.

Tempo de Armazenamento	Embalagens			
	LCV	LSV	PCV	PSV
0	63,94 ^{a,A} ± 0,23	63,94 ^{b,A} ± 0,23	63,23 ^{c,A} ± 0,43	63,75 ^{a,A} ± 0,11
15	63,84 ^{a,A} ± 0,39	64,16 ^{ab,A} ± 0,07	63,83 ^{ab,A} ± 0,07	63,74 ^{a,A} ± 0,14
30	63,92 ^{a,AB} ± 0,08	64,03 ^{ab,A} ± 0,06	63,67 ^{bc,C} ± 0,11	63,74 ^{a,BC} ± 0,03
45	64,17 ^{a,A} ± 0,08	64,20 ^{ab,A} ± 0,08	63,84 ^{ab,B} ± 0,11	64,06 ^{a,AB} ± 0,05
60	63,93 ^{a,B} ± 0,01	64,03 ^{ab,AB} ± 0,04	64,40 ^{a,A} ± 0,02	63,82 ^{a,B} ± 0,30
75	64,05 ^{a,AB} ± 0,21	64,27 ^{a,A} ± 0,06	63,57 ^{bc,B} ± 0,31	63,79 ^{a,AB} ± 0,05
90	64,34 ^{a,A} ± 0,05	64,15 ^{ab,AB} ± 0,06	63,84 ^{ab,BC} ± 0,06	63,60 ^{a,C} ± 0,32

Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo; Médias seguidas dos desvios padrão; Letras diferentes minúscula na coluna e maiúscula na linha diferem entre si a ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Tabela 33 - Influência do tempo e da embalagem na intensidade de verde (a*) do pó de manga.

Tempo de Armazenamento	Embalagens			
	LCV	LSV	PCV	PSV
0	-4,33 ^{c,B} ± 0,03	-4,33 ^{e,B} ± 0,03	-4,16 ^{f,A} ± 0,06	-4,34 ^{g,B} ± 0,01
15	-3,83 ^{b,BC} ± 0,03	-3,77 ^{d,AB} ± 0,02	-3,76 ^{e,A} ± 0,01	-3,87 ^{f,C} ± 0,01
30	-3,83 ^{b,C} ± 0,01	-3,72 ^{cd,B} ± 0,02	-3,66 ^{d,A} ± 0,02	-3,68 ^{e,AB} ± 0,01
45	-3,82 ^{b,D} ± 0,01	-3,68 ^{c,C} ± 0,01	-3,48 ^{c,A} ± 0,005	-3,59 ^{d,B} ± 0,01
60	-3,67 ^{a,D} ± 0,02	-3,56 ^{b,C} ± 0,005	-3,42 ^{bc,B} ± 0,01	-3,35 ^{a,A} ± 0,01
75	-3,69 ^{a,D} ± 0,005	-3,45 ^{a,B} ± 0,01	-3,37 ^{ab,A} ± 0,01	-3,53 ^{c,C} ± 0,01
90	-3,67 ^{a,C} ± 0,01	-3,43 ^{a,B} ± 0,01	-3,31 ^{a,A} ± 0,02	-3,40 ^{b,B} ± 0,01

Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo; Médias seguidas dos desvios padrão; Letras diferentes minúscula na coluna e maiúscula na linha diferem entre si a ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Tabela 34 - Influência do tempo e da embalagem na intensidade de amarelo (b*) do pó de manga.

Tempo de Armazenamento	Embalagens			
	LCV	LSV	PCV	PSV
0	14,89 ^{a,A} ± 0,35	14,89 ^{a,A} ± 0,35	14,95 ^{a,A} ± 0,32	15,43 ^{a,A} ± 0,005
15	13,96 ^{b,A} ± 0,12	13,68 ^{b,B} ± 0,09	14,03 ^{b,A} ± 0,08	14,07 ^{b,A} ± 0,11
30	13,80 ^{bc,A} ± 0,09	13,47 ^{bc,B} ± 0,04	13,57 ^{cd,AB} ± 0,17	13,64 ^{c,AB} ± 0,09
45	13,78 ^{bc,A} ± 0,03	13,08 ^{cd,B} ± 0,02	13,22 ^{d,B} ± 0,10	13,18 ^{d,B} ± 0,04
60	13,38 ^{c,B} ± 0,07	12,86 ^{de,C} ± 0,10	13,71 ^{bc,A} ± 0,11	13,25 ^{d,B} ± 0,06
75	13,61 ^{bc,A} ± 0,07	12,59 ^{e,C} ± 0,04	12,63 ^{e,C} ± 0,02	12,88 ^{e,B} ± 0,04
90	13,41 ^{c,A} ± 0,08	12,60 ^{e,C} ± 0,06	12,63 ^{e,C} ± 0,10	12,83 ^{e,B} ± 0,005

Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo; Médias seguidas dos desvios padrão; Letras diferentes minúscula na coluna e maiúscula na linha diferem entre si a ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.