



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

JOVAN MARQUES LARA JUNIOR

OBTENÇÃO DE POLPA DE MANGA (*MANGIFERA INDICA* L.) EM PÓ PELO
PROCESSO EM *SPRAY-DRYER*

FORTALEZA

2017

JOVAN MARQUES LARA JUNIOR

OBTENÇÃO DE POLPA DE MANGA (*MANGIFERA INDICA* L.) EM PÓ PELO
PROCESSO EM *SPRAY-DRYER*

Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de concentração: Produtos de Origem Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. José Maria Correia da Costa.

Co - orientador: Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso.

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)

- L326o Lara Junior, Jovan Marques.
Obtenção de polpa de manga (*Mangifera indica* L.) em pó pelo processo em spray-dryer / Jovan Marques
Lara Junior. – 2017.
94 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. José Maria Correia da Costa.

Coorientação: Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorin Afonso.

1. Secagem. 2. Maltodextrina. 3. Estabilidade. I. Título.

CDD 664

JOVAN MARQUES LARA JUNIOR

OBTENÇÃO DE POLPA DE MANGA (*MANGIFERA INDICA* L.) EM PÓ PELO
PROCESSO EM *SPRAY-DRYER*

Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de concentração: Produtos de Origem Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. José Maria Correia da Costa.

Co - orientador: Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorin Afonso.

Aprovado em: ___/___/___

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. José Maria Correia da Costa (Orientador)
Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Luís Gomes de Moura Neto
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE)

Prof.^a Dr.^a Andréa Cardoso de Aquino
Universidade Federal do Ceará

A Deus.

A minha Família, que é a razão do meu caminho
e da minha estrada.

E a todos que de alguma maneira participaram
disso tudo.

AGRADECIMENTOS

A universidade federal do Ceará por proporcionar estrutura, oportunidade de estudos e bons professores.

Ao professor José Maria pela paciência, oportunidade, amizade e pelo compartilhamento de seus conhecimentos. Meu muito obrigado.

Aos amigos que aqui fiz (UFC) e que ficarão sempre guardados.

Aos amigos do Laconsa, Janaina, Luciana, Diácomo, Priscila, Brena, Francisca, Roberta, Leandro, Ana Paula, Luís, que sempre estenderam a mão quando precisei. Digo que valeu a pena!

A Laiana que desde o início fez parte desta história. Muito obrigado por lhe conhecer e pela amizade.

Lucina pela amizade, nos momentos bons e ruins, que será guardada para sempre.

Minha família que ao longo dos tempos sempre acreditou e colocou todos os créditos no meu caminho.

A Priscila pela paciência, carinho, companheirismo e respeito ao longo dos anos.

Ao Instituto Federal de Educação do Piauí e ao diretor (amigo) Miguel Rodrigues pela oportunidade de me disponibilizar em tempo integral para meus estudos.

A todos que de alguma maneira fez parte desta minha jornada.

“Tudo me é lícito, mas nem tudo me convém.”

I Coríntios 10:23

RESUMO

A transformação de frutos em pó, especialmente a manga, vem de encontro à necessidade de melhorar o aproveitamento desses frutos além de agregar valor ao produto. Este trabalho teve por objetivo a obtenção de polpa de manga em pó utilizando o processo em *spray-dryer*. Foi utilizado como matéria prima a manga *Tommy Atkins*. O trabalho foi dividido em: avaliação microscópica, isotermas de sorção e características de escoabilidade da polpa em pó em diferentes teores de maltodextrina; planejamento experimental, onde foi avaliado como variáveis respostas o rendimento, umidade, coordenada b^* e teor de ácido ascórbico; caracterização da polpa integral e da polpa em pó com 30 % de maltodextrina, onde avaliado umidade, atividade de água, teor de sólidos solúveis, pH, acidez total titulável, ácido ascórbico, cor (L^* , a^* e b^*), carotenoides totais, açúcares redutores e totais, solubilidade e higroscopicidade; e estudo da estabilidade físico-química da polpa em pó com 30 % de maltodextrina. Ao avaliar as partículas microscopicamente observou-se que as amostras controle e com 10 % de maltodextrina apresentaram pontes interligando as partículas. As partículas das amostras com 20 e 30 % de maltodextrina apresentaram formatos mais arredondados, heterogênicas, porém agrupadas. Para as isotermas nas temperaturas e concentrações avaliadas, o modelo de GAB descreveu com maior precisão as isotermas de sorção da polpa de manga em pó, apresentando valores de R^2 próximos de 1 e erros menores que 10 %. Ao verificar os valores dos índices de fluxo das amostras avaliadas observou-se que os mesmos apresentaram comportamento coesivo. O planejamento experimental demonstrou que o melhor parâmetro a ser utilizado na secagem de manga foi 30 % de maltodextrina e temperatura a 130 °C. Na caracterização, os parâmetros avaliados, com exceção do pH, apresentaram diferenças significativas entre a polpa de manga integral e a polpa de manga em pó a um nível de 95 % de confiança. Destacando-se a redução de 72,63 % do teor de ácido ascórbico e uma redução significativa ($p \leq 0,05$) da coordenada b^* , no teste colorimétrico, na ordem de 56,4 % entre a polpa integral e seu pó atomizado. O processo de secagem em *spray-dryer* demonstrou-se eficiente na secagem de polpa de manga com uso de maltodextrina como adjuvante de secagem. A polpa de manga em pó apresentou-se estável durante 90 dias de armazenamento em embalagens laminadas e de polietileno.

Palavras-chave: Secagem. Maltodextrina. Estabilidade. Armazenamento.

SUMMARY

The transformation of fruits into powder, specially the mango, comes against the need of improving the yield of these fruits and also add some value to the product. This work aims to obtain mango's pulp in powder using the spray-dryer process. The variety of mango Tommy Atkins was used as raw material. The work was divided into: microscopic evaluation, sorption isotherms and pulping characteristics of the pulp powder at different levels of maltodextrin; experimental design, where the yield, moisture, coordinate b^* and ascorbic acid content were evaluated as variables; characterization of the whole pulp and the pulp powder with 30 % maltodextrin, where moisture, water activity, soluble solids content, pH, titratable total acidity, ascorbic acid, color (L^* , a^* and b^*), total carotenoids, reducing and total sugars, solubility and hygroscopicity were evaluated; and study the physical-chemical stability of the pulp powder with 30% maltodextrin. When evaluating the particles microscopically it was observed that the control samples and the samples with 10 % of maltodextrin presented bridges interconnecting the particles. The particles in the 20 and 30 % maltodextrin samples presented more rounded, heterogenic but clustered forms. For the isotherms at the temperatures and concentrations evaluated, the GAB model more accurately described the sorption isotherms of the powdered mango pulp, presenting R^2 values close to 1 and errors less than 10 %. When checking the values of the flow indices of the evaluated samples, it was observed that they presented a cohesive behavior. The experimental design showed that the best parameter to be used in mango drying was 30 % maltodextrin and temperature at 130 °C. In the characterization, the evaluated parameters, with the exception of pH, presented significant differences between the mango pulp and the mango pulp powder at a 95 % confidence level. The experimental design showed that the best parameter to be used in the mango's drying was with 30 % of maltodextrin and temperature of 130 °C. In the characterization, the evaluated parameters, with the exception of pH, presented significant differences between the mango pulp and the mango pulp powder at a 95 % confidence level. A reduction of 72.63 % of the ascorbic acid content and a significant reduction ($p \leq 0.05$) of the b^* coordinate, in the colorimetric test, in the order of 56.4 % between the whole pulp and its atomized powder. The spray-drying process was an efficient method in drying mango's pulp with the use of maltodextrin as a drying aid. The pulp of mango powder was stable during 90 days of storage in laminated and polyethylene packages.

Keywords: Drying. Maltodextrin. Stability. Storage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Classificação de secadores segundo o modo de operação.....	23
Figura 2	– Formação de partícula por secagem por aspersão.....	25
Figura 3	– Figura esquemática de <i>spray-dryer</i>	27
Figura 4	– Função de fluxo (FF) de um produto	31
Figura 5	– Isoterma de sorção e o efeito da histerese	33
Figura 6	– Representação dos cinco tipos de isotermas de sorção descritos por BET	34
Figura 7	– Mecanismos de formação de <i>caking</i>	42
Figura 8	– Micrografias da polpa de manga em pó em aumento de 1000x em diferentes concentrações de maltodextrina.....	49
Figura 9	– Fluxo de escoamento para polpa de manga em pó obtidos pelo processo de secagem em <i>spray-dryer</i> , em diferentes concentrações de maltodextrina	52
Figura 10	– Densidade aparente para polpa de manga em pó obtidos pelo processo de secagem em <i>spray-dryer</i> , em diferentes concentrações de maltodextrina	53
Figura 11	– Ângulo de Atrito Interno com a Parede (θ_w), para polpa de manga em pó obtidos pelo processo de secagem em <i>spray-dryer</i> , em diferentes concentrações de maltodextrina	54
Figura 12	– Isotermas de adsorção da polpa de manga em pó nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40° C (linhas) prevista pelo modelo de GAB com 10 % de teor de maltodextrina	59
Figura 13	– Isotermas de adsorção da polpa de manga em pó nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40° C (linhas) prevista pelo modelo de GAB com 20 % de teor de maltodextrina	60
Figura 14	– Isotermas de adsorção da polpa de manga em pó nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40° C (linhas) prevista pelo modelo de GAB com 30% de teor de maltodextrina	61

LISTA E TABELAS

Tabela 1	–	Composição centesimal da polpa de manga Tommy Atkins.....	17
Tabela 2	–	Relação dos produtos com seus secadores mais adequados.....	22
Tabela 3	–	Classificação do tipo de fluxo de produtos sólidos armazenáveis.....	32
Tabela 4	–	Modelos matemáticos utilizados para ajuste de isotermas de sorção.....	38
Tabela 5	–	Valores da tensão não confinada de deslizamento (σ_c) e a tensão de consolidação principal (σ_1) para polpa de manga em pó nas em diferentes concentrações de maltodextrina.....	51
Tabela 6	–	Valores dos índices de escoamento de polpa de manga em pó analisados com diferentes concentrações de maltodextrina.....	51
Tabela 7	–	Valores médios dos Ângulos de Atrito Interno com a parede da polpa de manga em pó em diferentes concentrações de maltodextrina.....	54
Tabela 8	–	Dados das °C isotermas dos modelos GAB, BET, Henderson e Oswin para as temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C em diferentes concentrações de maltodextrina.....	56
Tabela 9	–	Valores médios dos parâmetros físicos e físico-químicos da polpa de manga em pó com diferentes concentrações de maltodextrina.....	63
Tabela 10	–	Valores médios dos parâmetros físicos e físico-químicos da polpa de manga integral e da polpa de manga em pó obtida por <i>spray-dryer</i>	65
Tabela 11	–	Valores médios da umidade (%) da polpa de manga em pó em diferentes embalagens e atmosfera.....	68
Tabela 12	–	Valores médios da atividade de água da polpa de manga em pó em diferentes embalagens e atmosfera.....	70
Tabela 13	–	Valores médios do teor de sólidos solúveis (° Brix) da polpa de manga em pó em diferentes embalagens e atmosfera.....	71
Tabela 14	–	Valores médios do pH da polpa de manga em pó em diferentes embalagens e atmosfera.....	72

Tabela 15 – Valores médios da acidez total titulável (%) da polpa de manga em pó em diferentes embalagens e atmosfera.....	73
Tabela 16 – Valores médios do teor de vitamina C (mg/100g) da polpa de manga em pó em diferentes embalagens e atmosfera.....	73
Tabela 17 – Valores médios da coordenada L* da polpa de manga em pó em diferentes embalagens e atmosfera.....	74
Tabela 18 – Valores médios da coordenada a* da polpa de manga em pó em diferentes embalagens e atmosfera.....	75
Tabela 19 – Valores médios da coordenada b* da polpa de manga em pó em diferentes embalagens e atmosfera.....	76
Tabela 20 – Valores médios do teor de Solubilidade (%) da polpa de manga em pó em diferentes embalagens e atmosfera.....	77
Tabela 21 – Valores médios do teor de Higroscopicidade (%) da polpa de manga em pó em diferentes embalagens e atmosfera.....	78

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo Geral	16
2.2	Objetivos Específicos	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	Manga	17
3.1.1	<i>Produção e comercialização da manga</i>	18
3.2	Secagem de Alimentos	19
3.2.1	<i>Produtos desidratados em pó</i>	20
3.2.2	<i>Processos de Secagem</i>	21
3.3	<i>Spray-dryer</i>	23
3.4	Adjuvantes de secagem	28
3.5	Propriedades de escoabilidade de pós	30
3.6	Isotermas de sorção	32
3.6.1	<i>Métodos de determinação de isotermas</i>	35
3.7	Higroscopicidade e caking em pós alimentícios	39
4	METODOLOGIA	43
4.1	Local do Experimento	43
4.2	Matéria prima	43
4.3	Secagem da Manga	43
4.4	Planejamento experimental	43
4.5	Rendimento	44
4.6	Descrição das análises	44
4.6.1	<i>Acidez Titulável</i>	44
4.6.2	<i>pH</i>	44
4.6.3	<i>Umidade</i>	45
4.6.4	<i>Atividade de água</i>	45
4.6.5	<i>Sólidos Solúveis</i>	45
4.6.6	<i>Cor</i>	45
4.6.7	<i>Solubilidade</i>	45
4.6.8	<i>Higroscopicidade</i>	46

4.6.9	<i>Grau de Caking</i>	46
4.6.10	<i>Açúcares redutores e totais</i>	46
4.6.11	<i>Carotenóides</i>	46
4.6.12	<i>Ácido Ascórbico</i>	46
4.6.13	<i>Densidade, análise de fluidez e compressibilidade</i>	47
4.6.14	<i>Estudo da estabilidade</i>	47
4.6.15	<i>Microscopia eletrônica</i>	47
4.6.16	<i>Isotermas de sorção</i>	48
4.7	<i>Análise estatística</i>	48
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
5.1	Morfologia	49
5.2	Características de escoabilidade	50
5.2.1	<i>Função de fluxo</i>	50
5.2.2	<i>Densidade aparente</i>	52
5.2.3	<i>Ângulo de Fricção interno com a parede</i>	43
5.3	Isotermas	55
5.4	Planejamento experimental	62
5.5	Caracterização da polpa de manga integral e polpa de manga em pó	64
5.6	Estabilidade físico-química da polpa de manga em pó	68
5.6.1	<i>Umidade</i>	68
5.6.2	<i>Atividade de água</i>	69
5.6.3	<i>Teor de sólidos solúveis totais</i>	70
5.6.4	<i>pH</i>	71
5.6.5	<i>Acidez titulável total</i>	72
5.6.6	<i>Ácido ascórbico</i>	73
5.6.7	<i>Cor</i>	74
5.6.8	<i>Solubilidade</i>	76
5.6.9	<i>Higroscopicidade</i>	77
6	CONCLUSÃO	79
	REFERÊNCIAS	80

1 INTRODUÇÃO

A fruticultura é um dos segmentos da economia brasileira que mais tem se destacado nos últimos anos e continua em plena ascensão tanto no cultivo de frutas in natura, quanto na industrialização de sucos e néctares. O Brasil é o terceiro maior produtor de frutas do mundo, perdendo apenas para a China e a Índia, com produção de 800 milhões de toneladas de frutas por ano. Atualmente, o setor conta com 30 polos fruticultores que vai desde o Rio Grande do Sul até o Rio Grande do Norte e Amazônia, sendo a laranja, banana, abacaxi e cocoda-baía as quatro maiores produções segundo o Anuário de Fruticultura (2015). Devido as condições climáticas e áreas que permitem a produção de frutas de alta qualidade, praticamente, durante todo o ano, o Brasil é hoje o país mais bem posicionado na corrida pela exportação de frutas in natura.

A produção atende o mercado interno (que consome acima de 95 % da produção total) e vem ganhando cada vez mais espaço no comércio internacional, aumentando o volume das exportações, número de empresas exportadoras, variedades das frutas e países de destino das exportações (IBRAF, 2014). De acordo com o último levantamento do IBGE sobre aquisição domiciliar de frutas, o Brasil consome 33 quilos por habitante ao ano, quando o recomendado seria ingerir próximo de 100 quilos/habitante/ano. 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 (SILVEIRA *et al.*, 2011)

O Nordeste é a nova fronteira agrícola do País e o Ceará desponta como um dos mais importantes agentes dessa transformação. Em 1999, quando o Estado do Ceará começou a apostar na produção de frutas irrigadas, ocupava o 12º lugar no ranking exportador brasileiro. Doze anos depois (2011), já ocupava o 3º lugar. São produzidos, no Ceará (2014) aproximadamente 2,5 milhões de toneladas de frutas, destacando-se o caju, sendo o principal estado produtor do Brasil, seguido do coco, melão e maracujá, nas quais o Ceará é o segundo produtor nacional, e o mamão, aparecendo como o terceiro do país. Neste contexto, as frutas irrigadas respondem por 38,4 mil hectares distribuídos em seis polos que abrangem 64 municípios do Estado, correspondendo a um valor bruto da produção de R\$ 755,5 milhões, gerando 21,6 mil empregos diretos e volume de exportações de US\$ 102,5 milhões (O POVO, 2012).

Em ordem decrescente temos os estados da Ceará, Rio Grande do Norte, Bahia, São Paulo e Pernambuco, como os maiores exportadores de frutas frescas. O principal expoente desta nova cultura nordestina é a região de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA), conhecida como

Vale do São Francisco, onde a agricultura irrigada de frutas frescas tornou-se a principal atividade econômica (SEBRAE, 2015).

As frutas frescas devem ser consumidas rapidamente, sendo necessário que cheguem com rapidez ao mercado consumidor, antes que se tenha início os processos fisiológicos de perda de qualidade, características nutricionais e aspectos visuais essenciais para seu consumo. Porém, inúmeras técnicas vêm sendo estudadas para aumentar a vida útil das frutas. Segundo o Anuário de Fruticultura (2015) o Brasil sofre perdas consideráveis de frutos por ano: Laranja – 23%; Abacaxi – 26%; Manga – 28%; Mamão – 32%; Abacate – 34%; Morango – 40% e a banana com 42%. Uma alternativa para evitar as perdas é o processamento e a transformação destes vegetais, como a produção de desidratação, minimamente processados, bebidas (suco, néctar, polpas), entre outros. Algumas regiões do Brasil se destacam na produção de mangas. Neste contexto, se encaixa o Vale do Submédio São Francisco polo produtor e exportador da fruta, concorrendo com seus produtos no mercado internacional. Atualmente, o consumo mundial de manga in natura está, em média, menor que 1 kg/pessoa/ano. O Brasil e a China têm taxas de consumo de 2,68 e 2,57 kg/pessoa/ano, respectivamente (GRANÇO *et al.*, 2010).

A remoção de água dos alimentos, além de ser uma forma de reduzir a atividade de água para inibir o crescimento microbiano e diminuir a atividade enzimática, também tem a função de reduzir o peso e volume, facilidade de armazenamento e conservação, disponibilidade do produto em qualquer época do ano, economia de energia (não necessitam de refrigeração), refinamento do alimento, tendo-se como consequência a oferta de um novo produto no mercado, disponibilidade de matéria prima e ingredientes para indústria alimentícia e redução do custo de embalagem e transporte (PARK *et al.*, 2014; ROMERO, 1997; GAVA, 2009).

O processo de secagem consiste em pulverizar o produto líquido dentro de uma câmara submetida a uma corrente controlada de ar quente, e dessa maneira se consegue uma evaporação da água, obtendo-se uma separação ultrarrápida dos sólidos e solúveis contidos, com a mínima degradação do produto a secar, terminando esse processo com a recuperação do produto já em pó (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Diante desse cenário, a transformação de vegetais em pó, especialmente a manga, vem de encontro à necessidade de melhorar o aproveitamento desses vegetais além de agregar valor ao produto, sendo a principal motivação do desenvolvimento deste trabalho, que visa obter polpa de manga em pó no processo de secagem em *spray-dryer*.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Obtenção de polpa de manga em pó utilizando o processo de *spray-dryer*.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar a caracterização físico-química da polpa integral de manga;
- Determinar os parâmetros físicos e físico-químicos da polpa de manga em pó, formulada com diferentes concentrações de maltodextrina;
- Avaliar o comportamento higroscópico da polpa de manga em pó;
- Estudar a estabilidade da polpa de manga em pó, avaliando suas propriedades físicas, físico-químicas e higroscópicas, bem como a influência das embalagens usadas;
- Avaliar o aspecto morfológico da polpa de manga em pó;
- Avaliar o ajuste dos modelos matemáticos de BET, GAB, Oswin e Henderson;
- Avaliar o comportamento de escoabilidade da polpa de manga em pó.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Manga

A mangueira (*Mangífera indica* L.) pertence à família das Anacardiáceas e é originária da Ásia Meridional e Arquipélago Indiano. A planta é nativa do Ceilão e regiões do Himalaia, onde aparece em florestas. A primeira difusão desde a região de origem foi feita pelo chinês Hwen Tisang que, visitando o Indostão, entre 622 e 645 a.C., levou a manga para outras nações. O Brasil foi o primeiro da América a cultivar a mangueira, trazida pelos portugueses no século XVI e plantada no Rio de Janeiro, onde se difundiu para todo o País, chegando em 1700 em Itamaracá na Bahia, nas Antilhas em 1742 e depois ao México, juntamente com o cafeeiro (SIMÃO, 1971).

A manga é constituída, principalmente, de água, carboidratos, ácidos orgânicos, minerais, proteínas, vitaminas e pigmentos (Tabela 1), variando de acordo com cada variedade.

Tabela 1 – Composição centesimal da polpa de manga Tommy Atkins

Componentes	Polpa da Manga (g/100g)
Umidade	82,11 ± 0,21
Resíduo Mineral Fixo	0,34 ± 0,06
Lipídios	0,61 ± 0,03
Proteínas	0,44 ± 0,08
Açúcares Redutores	4,13 ± 0,12
Açúcares Não Redutores	8,94 ± 0,17
Amido	0,15 ± 0,16
Fibra Alimentar Total	3,28 ± 0,28
Carboidratos Totais	16,5

Fonte: MARQUES *et al.*, 2010.

As variedades de manga podem ser distribuídas quanto à presença ou ausência de fibras na polpa e quanto à aptidão para uso culinário (em três grupos). Para consumo in natura são: Haden, Tommy Atkins, Keity, Palmer, Ruby, Zill e Van Dick. Para elaboração de compota em calda são: Imperial, Carlota, São Quirino, Nom Plus Ultra, Haden, Palmer, Kent e Zill. Para fabricar néctar são: Carlota, Palmer, Manga D'água e *Sensation* (CAMARGO FILHO *et al.*, 2004).

Atualmente, o consumo mundial de manga *in natura* está, em média, menor que 1 kg/pessoa/ano. Nos Estados Unidos, por exemplo, o consumo de manga é de 0,86 kg/pessoa/ano; nos países europeus, como França, Reino Unido, Alemanha e Bélgica, o consumo é de 0,29; 0,37; 0,26 e 0,21 kg/pessoa/ano, respectivamente. Entre os 10 maiores produtores de manga, o México (13,4 kg/pessoa/ano), a Tailândia (21,89 kg/pessoa/ano) e a Índia (11,29 kg/pessoa/ano) apresentam as mais altas taxas de consumo *per capita* de manga no mundo. O Brasil e a China têm as menores taxas de consumo entre os grandes produtores de manga com 2,68 e 2,57 kg/pessoa/ano, respectivamente (GRANÇO *et al.*, 2010).

3.1.1 Produção e comercialização da manga

A produção mundial de manga em 2013 foi de 42,14 milhões de toneladas. A Índia, principal produtora e grande exportadora, contribuiu com 36,19 % do total. O segundo maior produtor é a China com 14,44 %, seguido do Quênia com 6,6 %, em quarto lugar aparece Tailândia com 6,29 %. Também participam do mercado internacional a Indonésia, Paquistão e México que juntos contribuem com 14,45 %. O Brasil participa com 2,79 % e aparece em oitavo lugar (FAO, 2015; PRIYADHARSHINI, 2015).

Segundo o Anuário Brasileiro da Fruticultura (2013), os exportadores de frutas frescas alcançaram valor recorde no mercado externo em 2013, proporcionando bons preços interno apesar da safra reduzida. Entretanto, a manga, que aparece entre as principais frutas de exportação, possui grande participação também no mercado interno. Em 2013, sua receita foi de 147,5 milhões de reais. Contudo, em volume ficou aquém do esperado, quebrando uma trajetória que vinha crescente desde 2009.

Em termos comerciais, constata-se que a comercialização de manga no mercado interno brasileiro centraliza-se, praticamente, em uma variedade, Tommy Atkins, que representa quase 80 % da área plantada no Brasil. Essa escolha deve-se ao fato de tratar-se de variedade muito produtiva, com atrativa coloração de casca (avermelhada), apresentando-se pobre nos atributos de qualidade de polpa, como sabor e ausência de fibras (MELO; ARAUJO, 2011).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2012, o Nordeste foi responsável por 66,5 % da produção nacional de manga, sendo a participação do município de Petrolina em Pernambuco de 22,21 % e de Juazeiro na Bahia o correspondente a 26,23 %. Contudo, a variação percentual de 2008 a 2012, tratando-se de Nordeste, foi de queda, -4,2 % (IBGE/PAM, 2012).

Com problemas nas safras brasileiras de maçã, uva e melão no ano de 2014, a manga foi o fruto mais exportado no mesmo ano, em termos de receita. De janeiro a novembro, o volume de manga exportado foi de 120,3 mil toneladas, 8 % superior a 2013. Em receita, o montante soma US\$ 146,5 milhões, 9,1 % superior na mesma comparação (PACHECO, 2014).

3.2 Secagem de Alimentos

Por secagem, entende-se como a remoção de água de um material sólido ou líquido, na forma de vapor, para uma fase gasosa insaturada, através de um mecanismo de vaporização térmica, numa temperatura inferior à de ebulição. A secagem é um processo combinado de transferência de calor e massa, em que uma boa parte da água é eliminada, reduzindo, conseqüentemente, a sua atividade de água, que afeta o crescimento microbiano, reações enzimáticas e outras reações de origem química e física (GAVA, 2009; FELLOWS, 2006).

Sabe-se que a umidade é necessária ao crescimento dos microrganismos, assim, se diminuirmos bastante o seu conteúdo, estaremos criando condições desfavoráveis para o crescimento microbiano (GAVA, 2009). Por isso é usada como técnica de preservação de alimentos.

O tipo de secagem a ser utilizado depende, dentre outros fatores, do produto a ser desidratado, da sua constituição química e das características físicas do produto final desejado (PARK *et al.*, 2014).

Alguns produtos, quando submetidos à secagem, conservam bastante aceitáveis suas características físicas e nutritivas e, quando se lhes restituir a água, retornarão ao aspecto natural ou mudarão um pouco. No entanto, outros podem apresentar uma forte deterioração sensorial e nutricional. O projeto de operação equipamentos de secagem objetiva minimizar essas alterações, por meio da seleção de condições apropriadas de desidratação para cada alimento em particular (GAVA, 2009).

Os diversos processos de secagem dos produtos de origem vegetal e animal podem ser enquadrados dentro de dois grupos: secagem natural ou ao sol e secagem artificial ou desidratação.

A secagem pelo calor, produzida artificialmente em condições de temperatura umidade e corrente de ar, cuidadosamente, controlada se caracteriza como desidratação (GAVA, 2009).

Existe um grande número de fatores que controlam a taxa de secagem. Eles podem ser agrupados entre (FELLOWS, 2006):

- Os relacionados às condições de processamento (temperatura do ar, velocidade e vazão do ar, umidade do ar de secagem, etc.);
- Os relacionados à natureza do alimento (composição química, estado físico, estado fisiológico, quantidade de água no alimento, etc.);
- Os relacionados ao desenho do secador (tamanho do secador, regulagem de vazão de ar, regulagem de temperatura, isolamento térmico, material de contato com o alimento, área de contato das bandejas, etc.).

Em se tratando de alimentos, é de grande interesse para a indústria e, principalmente, para o consumidor que, além da qualidade nutricional, características como aparência, sabor e odor sejam preservadas. Assim, a escolha de um método de secagem adequado pode ser a chave para o sucesso da operação (MARQUES, 2008).

3.2.1 Produtos desidratados em pó

A indústria de alimentos em pó tem apresentado crescimento devido às vantagens que a utilização e o manejo dos materiais oferecem, principalmente, ligada com a conveniência oferecida pelos produtos em pó, sua estabilidade química e microbiológica e a redução dos custos de transporte e armazenamento (SOUZA, 2009; FORNY *et al.*, 2011).

Tendo em vista que as frutas *in natura* são produtos altamente perecíveis, que o estilo de vida dos consumidores impede a compra diária destes produtos e que, em nível global, as perdas pós-colheitas, desde o campo até o mercado consumidor, representam grandes prejuízos econômicos, pesquisadores desenvolveram processos para a produção de frutas e hortaliças em pó. Esses produtos devem apresentar características desejáveis pelo consumidor, como boa capacidade de reidratação, cor e aroma atrativos e serem nutricionalmente o mais próximo possível dos produtos *in natura* (VOCK, 2012).

Existem diversas técnicas de secagem na preservação de polpa de frutas, das quais as mais importantes para secagem de líquidos ou pastas são: *spray-dryer*, secagem em leito de jorro, secagem em leito fluidizado e liofilização.

Ferreira *et al.*, (2014) obtiveram sucesso na obtenção de polpa de cajá por processo de secagem em leito de jorro, que se mostrou eficiente na obtenção de um produto de qualidade e com maior tempo de vida útil. A mesma eficiência obteve também Rocha *et al.*, (2014) na aplicação do processo de secagem em *spray-dryer* para obtenção de suco de caju em pó com características físicas e físico-químicas de qualidade aceitável.

Bery e colaboradores (2015), ao obtiveram por liofilização polpa em pó de acerola, proporcionaram um produto de melhor qualidade em suas propriedades funcionais em relação à polpa *in natura*.

A produção de polpa de manga em pó pode ser obtida em processos diferentes, como em *spray-dryer*, liofilização, *refractance window* e por leito de jorro. Cada técnica de secagem tem um fluxograma de processamento diferente e, por fim, características diferentes dos pós. A secagem por atomização ou *spray-dryer* é uma técnica de processamento que utiliza a atomização de um líquido para criar gotas que são secas como partículas individuais, quando movidas em um meio de secagem com ar aquecido. O processo de liofilização ocorre inicialmente com o congelamento do material a ser seco, onde a água é removida como vapor pela sublimação em uma câmara de vácuo. O *refractance window* (RW) é um método de secagem em que o material úmido é espalhado sobre uma esteira de filme plástico que está em contato, na parte inferior, com água quente circulante em um reservatório (NINDO e TANG, 2007; ZOTARELLI, 2015).

Zotarelli *et al.*, (2015), que avaliou diferentes tipos de processo de secagem com manga, concluiu que os diferentes processos de secagem avaliados em seu estudo contribuem para que os pós tenham características físico-químicas diferentes, como a reidratação e comportamento reológico das polpas reconstituídas.

Sabe-se que no processo de liofilização há pouca perda das características sensoriais do produto a ser desidratado, porém ainda é um processo lento e caro. O processo de desidratação por *spray-dryer* a secagem é mais rápida e mais difundida no meio de obtenção de alimentos em pó.

3.2.2 Processos de Secagem

Cada secador atende às diferentes necessidades de processo, que, em geral estão intrinsecamente vinculadas ao produto. O conhecimento das propriedades do material a ser seco é a primeira exigência para dimensionamento de um secador. Os secadores que operam de um modo diferente, atendem às exigências de processo de diferentes produtos, conforme exemplificada na Tabela 2.

Tabela 2 – Relação dos produtos com seus secadores mais adequados

SECADOR	PRODUTOS							
	Filme	Granulares	Lama	Líquido	Lodo ou Pasta	Pasta Compacta	Pré- Formados	Sólido Fibroso
Agitador		x	x	x	x			
Bandeja	x	x			x	x	x	x
Com ar Circulado		x					x	x
Esteira	x	x	x		x	x	x	
Fluidizado		x			x		x	x
Pneumático		x			x		x	x
Rotativo Direto		x						x
Rotativo Indireto		x				x		x
<i>Spray-dryer</i>			x	x	x			
Tambor	x		x	x	x			

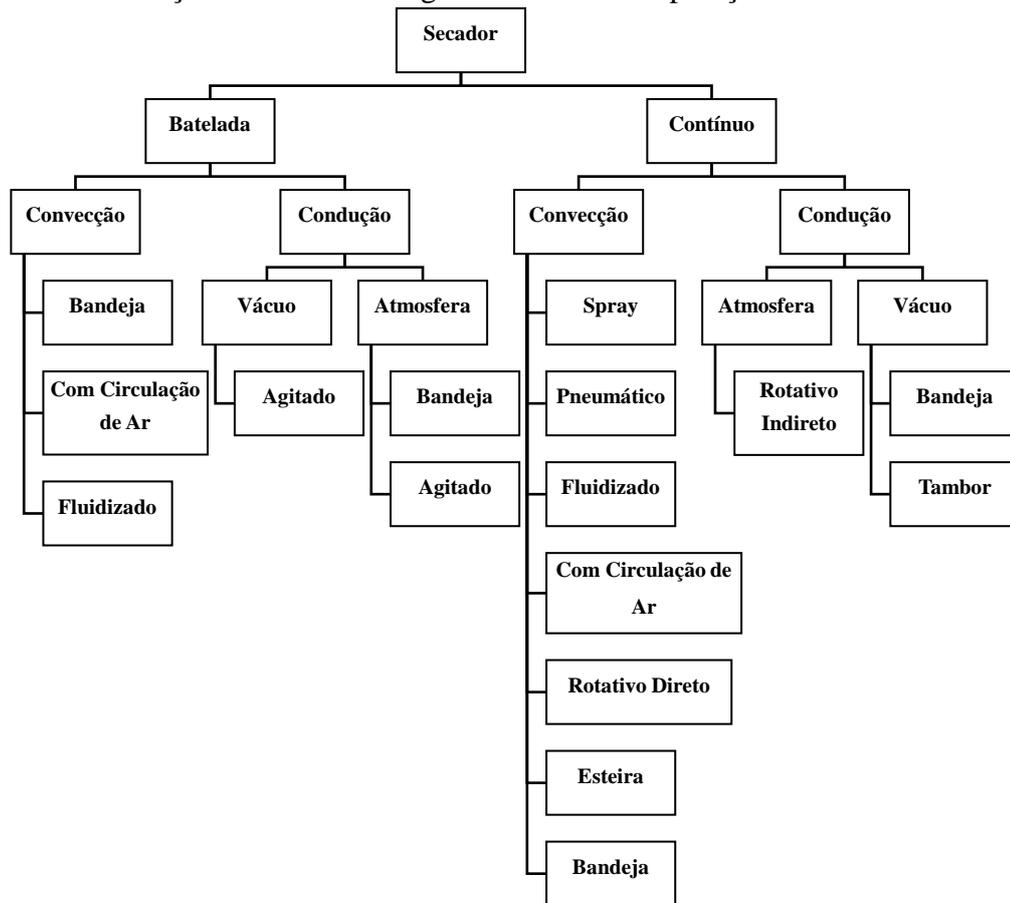
Fonte: PARK *et al.*, 2014.

O calor necessário para conseguir a evaporação da água dos alimentos (ou sublimação, no caso da liofilização) pode ser transmitido por condução, por convecção e por radiação, que geralmente se combinam, embora predomine uma delas. Esse calor pode aportar em pressão atmosférica ou sob certo grau de vácuo, quando se utilizam temperaturas mais baixas (ORDÓÑEZ, 2005).

A escolha de um determinado tipo é ditada pela natureza do produto que vai ser desidratado, pela forma que se deseja dar ao produto processado, pelo fator econômico e pelas condições de operação (GAVA, 2009; PARK *et al.*, 2014).

Os secadores são classificados de diversas formas, uma delas é segundo o seu modo de operação (Figura 1).

Figura 1 – Classificação de secadores segundo o modo de operação.



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

Segundo PARK *et al.*, (2014) o movimento de água do interior do material até a superfície é analisado pelos mecanismos de transferência de massa, que indicará a dificuldade de secagem nos materiais. Os mecanismos mais importantes são: Difusão líquida; Difusão de vapor; Escoamento de líquido e de vapor. Estas transferências internas de massa são influenciadas por dois fenômenos, particularmente, importantes para os produtos biológicos: a migração dos solutos e a deformação do produto. Do ponto de vista de fornecimento de calor, os mecanismos básicos de transferência de calor empregados indicam os possíveis equipamentos necessários ao processo.

3.3 *Spray-dryer*

A partir do século 20 a secagem por pulverização tornou-se uma tecnologia extremamente bem estabelecida para a produção de pós de micropartículas para uma variedade de aplicações. Sua versatilidade operacional permite desde escalas laboratoriais da ordem de mililitros por hora até dezenas de toneladas por hora na indústria. Além disto, dada sua

versatilidade e o pequeno tempo de residência dos produtos na câmara de secagem, tornou-se o principal equipamento para a secagem de materiais que apresentam sensibilidade ao calor, como alimentos e materiais de origem biológica. Dentre estes: extratos e produtos oriundos de plantas, corantes, microrganismos, produtos com leveduras, enzimas e proteínas. Outro campo onde a secagem por nebulização tem adquirido destaque recentemente é na microencapsulação de substâncias (ROSA *et al.*, 2002).

A tecnologia de secagem em *spray-dryer* é amplamente conhecida e utilizada para transformar soluções, emulsões, suspensões, lamas e pastas em pós sólidos. As suas principais aplicações são encontrados nas indústrias de materiais alimentares, químicos e para aumentar a conservação de ingredientes, propriedades de partícula, pó de manuseamento e armazenagem, etc. (LI *et al.*, 2010).

Sua eficácia está baseada no princípio do aumento de área de contato entre o material a ser seco e o agente dessecante, ou seja, o ar quente. Como este princípio atua na secagem por nebulização pode ser entendido se considerarmos uma esfera como a forma que o material toma quando é atomizado por um bico de *spray*. Para esferas, quando diminuimos o seu diâmetro pela metade, temos um aumento de oito vezes na sua área superficial. Esta característica de gerar na nebulização uma alta área superficial por grama do líquido é inigualável no *spray-dryer* (HENG *et al.*, 2011; ROSA *et al.*, 2002).

A ideia básica na secagem por atomização é realizar a mistura dentro de um recipiente (câmara de secagem) entre um gás aquecido (ar) e uma massa fluida, pulverizada em forma de gotículas com grande proporção de superfície para provocar pelo contato direto a evaporação do solvente (sobretudo água) de forma rápida e uniforme (CARVALHO, 2011).

O processo de secagem por *spray-dryer* consiste de três etapas fundamentais. Na primeira fase, o fluido é disperso como gotículas, produzindo uma grande área superficial. Na segunda, ocorre contato destas com uma corrente de ar aquecido, havendo transferência de calor. Na terceira etapa acontece a evaporação do solvente e a formação da partícula sólida, conforme a Figura 2 (OLIVEIRA; PETROVICK, 2010).

Com a transferência de calor do ar aquecido às gotículas, o líquido da superfície evapora-se rapidamente. As partículas solidificadas geralmente apresentam o mesmo tamanho e forma da gotícula que as originou. Na última etapa, o produto de secagem é transportado por uma corrente de ar, sendo posteriormente coletado (RANKELL *et al.*, 2001). A evaporação superficial da gotícula conduz à formação de uma camada de material seco externa. Através desta camada, o líquido situado no interior da gotícula propaga-se para o exterior. Dependendo da elasticidade e da permeabilidade da crosta, serão produzidos distintos materiais secos como

esferas intactas, com superfície imperfeita ou fragmentada, sólidas ou ocas (RANKELL *et al.*, 2001; OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Figura 2: Formação de partícula por secagem por aspersão (adaptada de CAO *et al.*, 2000).



Fonte: Adaptado de CAO *et al.*, (2000)

Um requisito fundamental para a secagem por atomização é a conversão eficiente do material úmido em gotículas com tamanho uniforme, a fim de garantir a secagem homogênea na secção transversal da torre e facilitar a recuperação do produto na sua reconstituição. Essa transformação, do fluido em um *spray* é atribuída por alguns investigadores à turbulência gerada na câmara de turbilhamento dos bicos atomizadores. Porém, a dispersão sob pressão de material no *spray-dryer* requer certo trabalho, que é despendido para vencer a tensão superficial e aumentar a superfície total do fluido. A capacidade de produzir trabalho, ou seja, de transformar ou mover algo é definida como energia. Essa energia de atomização é igual ao produto da tensão superficial e nova superfície total criada e a dispersão podem ser feitas de

várias maneiras, mas em todas as ocasiões materializa-se numa vaporização eficiente (CARVALHO, 2011).

Classificam-se os bicos de pressão como: discos rotativos, bicos de atomização por pressão (hidráulicos, bicos pneumáticos e atomizadores ultrassônicos (PEIGHAMBARDUST *et al.*, 2011). O transporte de líquido para o atomizador é feito através de bombas de alimentação, sendo que bombas peristálticas são as mais utilizadas. As características do fluido a ser atomizado devem permitir uma alimentação uniforme e capaz de ser repetida e, portanto, a viscosidade do fluido é uma característica importante. Fluidos muito viscosos não conseguem ser transportados por bombas peristálticas, pois a atomização poder ficar comprometida e poder haver o entupimento (CAL, *et al.*, 2010; SALOMÃO, 2012)

As propriedades físicas relacionadas com a qualidade dos produtos obtidos são influenciadas pelas condições operacionais do secador e características da suspensão de alimentação.

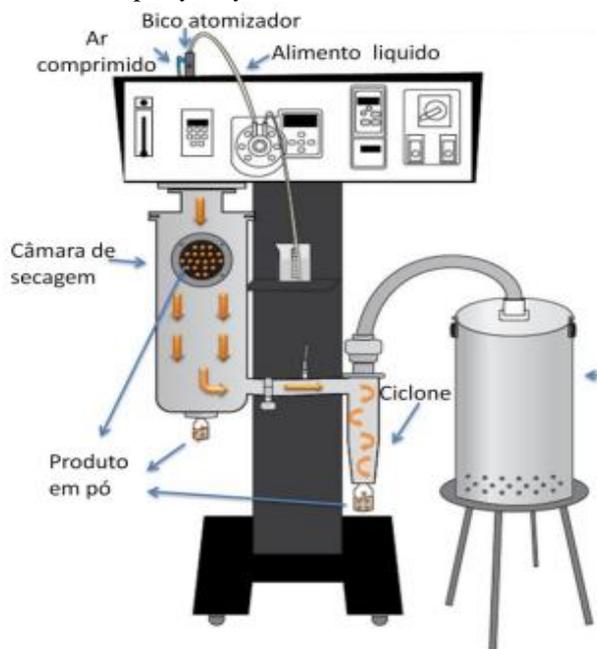
O conjunto que compõe um equipamento do tipo *spray-dryer* padrão é constituído de: 1) Sistema de atomização do material; 2) Sistema de aquecimento e controle de temperatura do ar de secagem; 3) Sistema de bombeamento e controle de vazão da alimentação de material a ser seco; 4) Sistema da alimentação de ar para secagem; 5) Câmara de secagem e 6) Sistema de separação ar - pó seco.

A temperatura de saída do produto é decorrente da combinação de alguns parâmetros: temperatura do ar de entrada no equipamento, velocidade de atomização e a vazão de ar quente que irá carrear o produto para o ciclone. A diferença entre a temperatura de entrada e a de saída do ar afeta o teor de umidade residual do produto – se essa diferença for excessiva resulta em um produto com alta umidade residual, o que pode comprometer sua estabilidade. Uma vazão de ar alta implica em menor tempo de residência do produto na câmara de secagem, alto grau de separação no ciclone e pode resultar em alta umidade residual. Maiores vazões de alimentação da solução resultam em menores temperaturas de saída do ar (BUCHI LABORTECHNIK AG, 2012; ROCHA, 2013).

A escolha do tipo de atomizador é, portanto, muito importante, pois as características finais do produto dependem não somente das propriedades dos produtos atomizados e condições de processo, mas também da eficiência do atomizador. Quanto maior a energia fornecida ao líquido, menores são as gotículas formadas e, para uma mesma quantidade de energia, o tamanho das gotículas vai ser dependente da vazão de alimentação. Quanto maior a vazão de alimentação, maior é o tamanho das gotículas e, portanto, maiores são

as partículas formadas (GHARSALLAQUI, *et al.*, 2017). A Figura 3 mostra uma figura esquemática de uma configuração básica de *spray-dryer*.

Figura 3 – Figura esquemática de *spray-dryer*.



Fonte: RIBEIRO, 2014.

O processo de secagem por aspersão apresenta diversas vantagens, tais como (MASTERS, 1985; SHAW, 1997; AULTON, 2002; OLIVEIRA; PETROVICK, 2010):

- Seleção adequada do equipamento com base nas características pretendidas para o produto final;
- Controle da uniformidade e do tamanho das partículas do produto pela manipulação das variáveis do processo;
- Processo contínuo, podendo ser alteradas condições de operação sem a necessidade de interrupção;
- Rapidez e rendimento. A evaporação ocorre em frações de segundos, em virtude da formação de inúmeras gotículas que proporcionam uma grande área superficial para trocas térmicas e transferência de massa;
- Baixa agressividade ao produto, o que a faz apropriada para produtos termossensíveis devido ao curto tempo de contato com a fonte de calor, podendo assim, ser empregada com sucesso na produção de produtos intermediários para fitomedicamentos;

- Partículas com forma esférica uniforme e rápida dissolução devido à grande área específica;
- Baixos custos do processo são baixos.

Entre as desvantagens acerca da utilização da técnica de secagem por este método podem ser citadas (BROADHEAD *et al.*, 1992; WENDEL; ÇELIK,1998; OLIVEIRA; PETROVICK, 2010):

- Equipamento com grandes dimensões, necessitando de instalações físicas adequadas;
- Custo inicial alto, pois necessita de investimento em instalações. Porém, o valor do produto final pode justificar o ônus inicial.

Em relação à secagem de suco de fruta por aspersão, alguns obstáculos ainda são encontrados em suas propriedades funcionais como a alta pegajosidade e higroscopicidade que tornam a sua embalagem e utilização substancialmente difíceis (CANO-CHAUCA *et al.*, 2005). Daí a necessidade da adição de um adjuvante de secagem com alto peso molecular ao produto a ser nebulizado (ROCHA, 2013).

3.4 Adjuvantes de secagem

Durante o processo de secagem por atomização, à medida que as partículas são lançadas no meio gasoso (fluxo de ar quente, mais comum) em movimento descendente ou ascendente, elas tomam a forma esférica que poderão ser “empacotadas” (revestidas) por material, denominado material de parede, que se depositam como uma fina camada na superfície das partículas formando microcápsulas (ANSELMO *et al.*, 2006).

Materiais ricos em açúcares e ácidos de baixo peso molecular, como os sucos de frutas, são difíceis de atomizar, pois produzem pós muito higroscópicos, suscetíveis a aglomeração e problemas de fluidez. Com as temperaturas dos atomizadores, tais compostos de baixo peso molecular tendem a apresentar problemas de adesão às paredes da câmara de secagem, além de coesão (adesão das partículas entre si), podendo produzir um produto pastoso ao invés de um pó. Como consequências, pode haver comprometimento da estabilidade do produto, redução do rendimento do processo (devido à adesão às paredes do secador), podendo causar até mesmo problemas operacionais ao equipamento.

A utilização de agentes carreadores pode promover um melhor manuseio do produto final obtido, conferindo uma maior proteção contra a adsorção de umidade do

ambiente, tornando-o menos higroscópico. Na secagem em *spray-dryer* é comum o uso da maltodextrina com baixa dextrose equivalente, xaropes de glicose, frutose, goma arábica, pectina, lactose, proteínas e agentes antiulectantes, sendo capazes de reduzir a higroscopicidade dos pós e facilitar a secagem (BHANDARI *et al.*, 1997; AUGUSTA, 2011; TONON *et al.*, 2010).

A variedade de material de parede, comumente usados no processo de empacotamento de partículas em cápsulas comestíveis (compostos de sabor, pigmentos, acidulantes, nutrientes, enzimas, conservantes) é relativamente limitada e inclui gomas naturais, carboidratos, proteínas, ceras e alguns polímeros naturais quimicamente modificados. Um dos materiais mais utilizados como encapsulante na secagem por atomização é a maltodextrina, pois possui como principais características baixo custo, baixa higroscopicidade, efeito antioxidante e ótima retenção de substâncias voláteis na ordem de 65 a 80 % (ANSELMO *et al.*, 2006).

Maltodextrinas com diferentes pesos moleculares são definidas como produtos hidrolisados (enzimas/ácidos) de amido e pertencem às matrizes mais comumente utilizadas como agente microencapsulante na área de alimentos (ELNAGGAR *et al.*, 2010). Têm extensa utilização como ingredientes por proporcionar características desejáveis a alimentos processados, com fórmula molecular $[(C_6H_{10}O_5)_n(H_2O)]$.

A classificação da maltodextrina é feita através do grau de hidrólise que é a porcentagem de açúcares redutores calculados como glicose em relação ao peso seco do amido e expresso em dextrose equivalente (DE).

A maltodextrina pode ser utilizada na indústria de alimentos como agente espessante para auxiliar a secagem por atomização, substituto de gorduras, como formador de filmes, no controle do congelamento, para prevenir cristalizações e complemento nutricional. Nessas aplicações, várias propriedades físicas, químicas e biológicas são requeridas. Sendo assim, a caracterização da maltodextrina apenas pelo valor da DE não tem sido suficiente para orientar o desempenho do produto em variadas aplicações (CARVALHO, 2011).

Maltodextrinas de fontes diferentes apresentam propriedades diferentes, mesmo com DE idênticos. Isso reflete a composição molecular formada durante o processo de hidrólise (COUTINHO; CABELLO, 2008).

Em seu estudo Bhandari *et al.*, (1997) observam que adição de 5 % de maltodextrina à polpa de manga antes da secagem resultou em duplicação do rendimento do pó de manga por processo de secagem em *spray-dryer*.

Zotarelli e colaboradores (2014) observaram a redução da higroscopicidade com o aumento da concentração de maltodextrina na polpa de manga secada em *spray-dryer*. Cai e

Corke (2000), estudando a secagem de pigmentos de betacianina, observaram a redução da higroscopicidade com o aumento das concentrações de maltodextrina. Tonon *et al.*, (2009) observaram resultado semelhante em açaí em pó produzido por *spray-dryer*.

3.5 Propriedades de escoabilidade de pós

No processamento de alimentos na indústria, na maioria dos casos, em algum estágio do processamento, tem a utilização de materiais particulados. Porém, existem muitos problemas relacionados ao manuseio, transporte e armazenagem que se tornam verdadeiros desafios nos dias de hoje (CAMPOS, 2012).

O manuseio de pós em escala industrial envolve operações unitárias como mistura, transporte pneumático, alimentação através de funis, nesse sentido, as características de fluxo destes materiais torna-se questão relevante e pode influenciar fortemente a eficiência do processo industrial (EMERY *et al.*, 2009).

A escoabilidade de pós é um fenômeno complexo onde as propriedades e características físico-químicas do amontoado de partículas determinam o tipo de escoamento nas etapas industriais do processo, por exemplo, a descarga de silos (CAMPOS, 2012). A fluidez depende de vários fatores como morfologia, tamanho e distribuição das partículas, densidade, área e forças de superfície, umidade, presença de ativadores de fluxo, processo produtivo (LAVOIE *et al.*, 2002; STANIFORTH, 2005) e composição química (SCHULZE, 2006).

O conhecimento das propriedades físicas e de escoamento como, tensão de cisalhamento, função de fluxo, densidade e ângulo de atrito de parede é válido tanto no manuseio quanto no processamento. Ao se utilizar estes conhecimentos é possível dimensionar corretamente os sistemas de transporte e armazenagem (LOPES, 2007; FIZTPATRICK *et al.*, 2004).

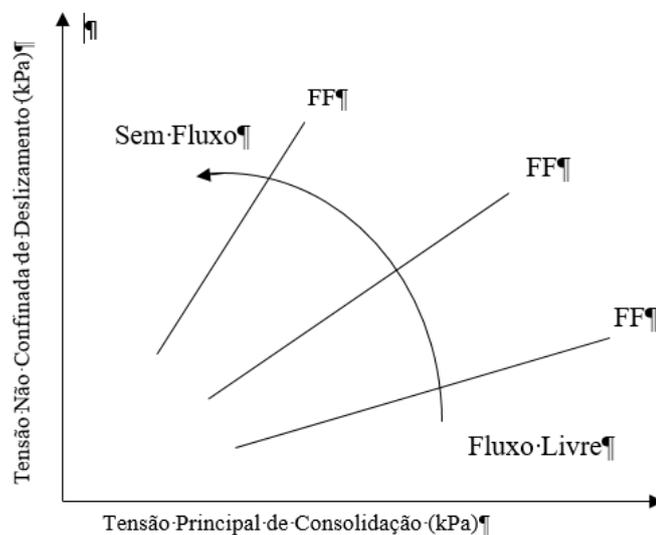
A escoabilidade dos materiais tem sido estudada sob três perspectivas principais. Na primeira delas, o escoamento de pó é considerado como análogo ao de um fluido, na segunda, conforme Sutton (1976), como um corpo sólido deformado elasticamente e plasticamente, e finalmente, a terceira perspectiva considera o escoamento como a ruptura mecânica da estrutura sólida (JENIKE, 1964)

A Tensão de cisalhamento está relacionada com a taxa de deformação, quanto maior a tensão de cisalhamento, maior a deformação das partículas de um pó (CARNEIRO *et al.*, 2012). Quando os aglomerados de partículas estão organizados, a força cisalhante aumenta,

mas quando os aglomerados de partículas estão desorganizados, a força cisalhante diminui, já que a força necessária para deslocar os aglomerados com a mesma velocidade de deslocamento deveria ser maior (CAMPOS, 2012).

É possível determinar a função fluxo de um produto (FF) através da construção de gráfico no qual é plotado a Tensão Não Confinada de Deslizamento (σ_c) versus Tensão Principal de Consolidação (σ_1) (Figura 4) a qual representa o esforço atuante no produto quando em situação de consolidação (FITZPATRICK, BARRINGER e IQBAL, 2004).

Figura 4 – Função de fluxo (FF) de um produto.



Fonte: FITZPATRICK *et al.*, 2004.

A determinação da função fluxo se faz importante porque, de acordo com Benink (1989) apud Neto *et al.*, (2007), a função fluxo é uma medida da escoabilidade do produto e que pode ser utilizada para obtenção da abertura mínima de descarga do silo de forma a prevenir a obstrução do fluxo.

O índice de escoamento (ffc) é expresso pela razão entre a pressão ou tensão de consolidação atuante numa porção de sólidos granulados e a denominada tensão inconfina de deslizamento (*unconfined yield stress*) e é utilizada como uma medida da fluidez ou “escoabilidade” de um determinado material. A tensão inconfina de deslizamento é a tensão que provoca o colapso do material estando o mesmo não confinado, ou seja, livre (DA SILVA FILHO, 2008)

Jenike (1964) utilizou o fator de fluxo para classificar a fluidez ou comportamento dos materiais quando em condição de escoamento (Tabela 3), onde os valores mais altos corresponderiam a um fluxo mais fácil (FITZPATRICK *et al.*, 2004).

Tabela 3 – Classificação do tipo de fluxo de produtos sólidos armazenáveis

Tipo de fluxo	Índice de Fluxo - ff_c
Sem fluxo	$ff_c < 1$
Muito coesivo	$1 < ff_c < 2$
Coesivo	$2 < ff_c < 4$
Fácil	$4 < ff_c < 10$
Livre	$ff_c > 10$

Fonte: Jenike (1964).

O atrito com a parede representa a resistência ao atrito sofrida pelo fluxo de sólidos granulados que estão próximos à parede do recipiente, pode ser expresso pelo ângulo de atrito com a parede ou pelo coeficiente de atrito. Além de conhecer a dimensão da abertura de descarga de um silo requerida para evitar a formação de arcos e canais preferenciais (*ratholes*), os valores do atrito com a parede são extremamente importantes para se assegurar o fluxo em massa (DA SILVA FILHO, 2008)

3.6 Isotermas de sorção

Isoterma de sorção é a relação entre a atividade de água e umidade do produto em uma determinada temperatura (HONORATO, 2006; BETIOL, 2016). Cada produto tem sua isoterma de sorção própria devido as diferenças na composição química, estado físico-químico dos ingredientes, diferentes interações entre água e componentes sólidos com teores de umidade variados.

Isoterma de sorção é composta por adsorção (fixação de moléculas de água na superfície de outra substância, o adsorvente) e dessorção (processo inverso). Segundo Honorato (2006), normalmente uma isoterma de adsorção apresenta valores inferiores aos da isoterma de dessorção, fenômeno conhecido como histerese.

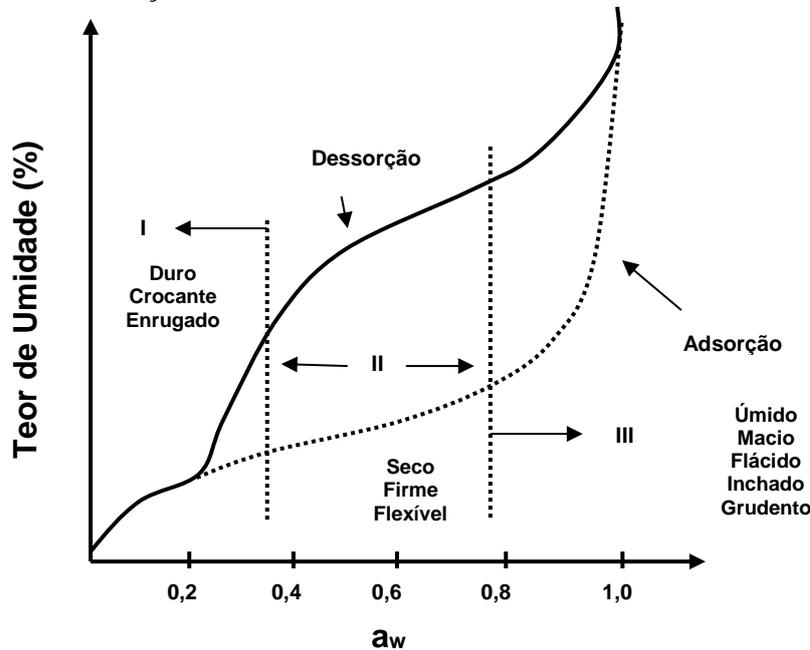
A Figura 5 representa uma isoterma de sorção típica, que indica a relação entre teor de umidade e atividade de água.

Quando a atividade de água é menor que 0,3 considera-se que a água está, relativamente, sobre sítios polares de alta energia, entre 0,3 e 0,7 se refere à multicamada de água, acima de 0,7 se aproxima à condição de condensação da água (HONORATO, 2006).

O teor de água livre no alimento e sua conservação têm relação estreita. O teor de água livre é expresso pela atividade de água (a_w), dada pela relação entre a pressão de vapor de

água em equilíbrio sobre o alimento e a pressão de vapor de água pura, sob mesma temperatura (PARK *et al.*, 2014).

Figura 5 – Isoterma de sorção e o efeito da histerese



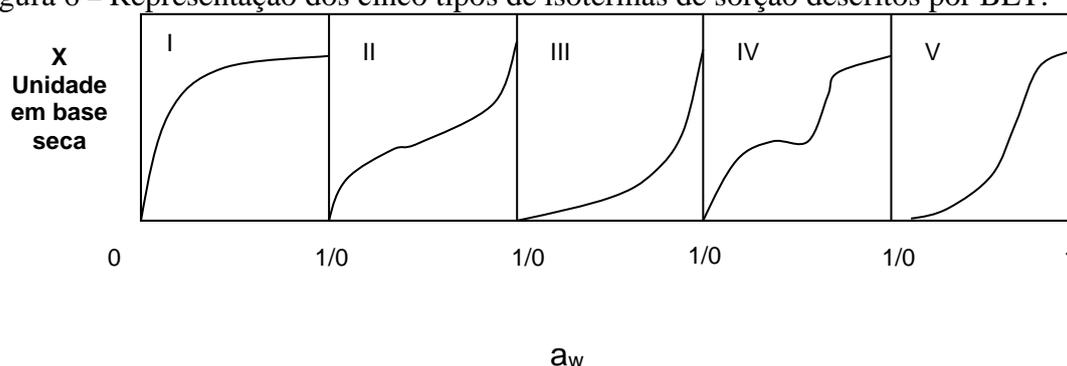
Fonte: Adaptado de Cheftel, Cheftel e Besançon (1983)

O estudo da curva de sorção, que relaciona esta atividade de água com a umidade relativa de equilíbrio, fornece informações relevantes para adequação dos parâmetros de secagem. A afinidade existente entre a água e os outros componentes de um produto define sua higroscopicidade, característica importante nos alimentos e influente nos processos de manuseio, estocagem e consumo de materiais biológicos (TEXEIRA; QUAST, 1993; PARK *et al.*, 2001).

As isotermas de sorção podem apresentar diferentes formatos dependentes da natureza do alimento. Características como temperatura, grau de cristalinidade, distribuição do tamanho das partículas do pó e presença de moléculas higroscópicas influenciam no comportamento dessas isotermas (PERRONE *et al.*, 2011).

Isoterma de sorção de umidade é dada numa curva que relaciona o teor de umidade de um alimento e a correspondente atividade de água a uma determinada temperatura. Cinco tipos de isotermas foram descritas por Braunauer, Emmet e Teller (1938), dependendo da natureza do alimento (MATHLOUTHI e ROGÉ, 2003), conforme apresentado na Figura 6 e discutido a seguir.

Figura 6 – Representação dos cinco tipos de isotermas de sorção descritos por BET.



Fonte: Adaptado de MATHLOUTHI e ROGÉ (2003).

- Isoterma Tipo I: é conhecida como isoterma de Langmuir, obtida pela adsorção de gás na camada monomolecular em sólidos porosos;
- Isoterma Tipo II: é a isoterma com formato sigmoide, representada por uma curva assintótica, obtida por produtos solúveis;
- Isoterma Tipo III: é conhecida como isoterma de Flory-Huggins e ocorre pela adsorção de um solvente abaixo da temperatura de transição vítrea;
- Isoterma Tipo IV: é obtida através da adsorção gerada por um sólido hidrofílico até máxima hidratação dos sítios de adsorção;
- Isoterma Tipo V: é a isoterma de adsorção multicamada de BET, obtida pela adsorção de vapor de água, relacionada aos Tipos II e III.

As curvas mais comumente encontradas em alimentos correspondem ao Tipo II, apresentando formato de sigmóide, porém alimentos como frutas que contêm grandes quantidades de açúcares e outras moléculas solúveis pequenas, podem exibir isotermas do Tipo III. A curva sigmóide ocorre devido à afinidade do sólido com a umidade e a facilidade de adsorção e dessorção de umidade dependem, principalmente, do modo como esta umidade está ligada ao sólido (MEDEIROS *et al.*, 2006).

As características das isotermas de sorção demonstram a capacidade de um produto de reter ou liberar água para o meio que o circunda, quando colocado em atmosferas de umidade relativa controlada sob determinada temperatura (MEDEIROS *et al.*, 2006).

A tendência de um material em adsorver água do ambiente onde se encontra define a sua higroscopicidade, que é parâmetro fundamental de qualidade de produtos alimentícios desidratados (TONON *et al.*, 2009). A migração de umidade do ambiente para o pó pode representar alguns inconvenientes, como a formação de agregados de alta consistência. A situação reversa, migração de umidade do pó para o ambiente, também pode ser prejudicial,

podendo influenciar características físicas como solubilidade e densidade. Desta maneira, Silva (2011) relata a importância no estudo das isotermas de sorção com produtos desidratados.

As informações provenientes das isotermas de sorção são úteis para diversas aplicações:

- Controlar processos de concentração e desidratação, pois a facilidade ou dificuldade para remoção de água estão relacionadas à atividade de água;
- Formular misturas de alimentos de modo a evitar a transferência de umidade entre os componentes;
- Determinar as propriedades de barreira de umidade necessárias ao material de embalagem;
- Determinar o conteúdo de umidade que reduzirá o crescimento de microrganismos de interesse;
- Prever a estabilidade física e química dos alimentos em relação à variação do seu conteúdo de água.

O teor de água de qualquer produto higroscópico, mesmo quando em equilíbrio com as condições psicrométricas do ar que o circunda, é chamado teor de água de equilíbrio e é alcançado quando a pressão parcial de vapor de água no produto se iguala à do ar que o envolve (CORRÊA, 2014).

As isotermas permitem a determinação da umidade adequada de um processo de secagem, aliando segurança microbiológica e viabilidade econômica. Fornece também dados para determinação da umidade ótima para a estabilidade de um produto desidratado em relação à oxidação de lipídios, atividade enzimática, preservação de componentes do sabor e características estruturais. Além de ser útil para a seleção ideal do processo de secagem, de um equipamento, do material da embalagem e a previsão de estabilidade durante a vida útil de armazenamento e transporte do produto (PAGLARINII, 2013; MCMINN; MAGEE, 2003).

3.6.1 Métodos de determinação de isotermas

Segundo Rossi e Roa (1980), para determinação das isotermas, utilizam-se três métodos convencionais: soluções aquosas saturadas de diferentes sais, soluções aquosas de diferentes concentrações de ácidos e métodos mecânicos.

Silva *et al.*, (2000) mostraram que a determinação da umidade de equilíbrio é feita pela manutenção do produto pelo ambiente (uma massa de ar), cujas características psicrométricas são conhecidas ou pré-estabelecidas, e nomearam os métodos de determinação

de umidade de equilíbrio, citados por Rossi e Roa (1980), de método estático (em que o ar e o produto não sofrem movimentação) e método dinâmico (em que o ar ou produto são movimentados mecanicamente para acelerar o equilíbrio).

Para representar as isotermas de sorção, modelos empíricos e teóricos têm sido propostos. Estas equações derivam de modelos empíricos com dois ou três parâmetros de ajuste, rigorosos modelos termodinâmicos e equações derivadas do modelo de BET (Brunauer-Emmett-Teller) (AGUERRE *et al.*, 1989).

Não há uma equação geral que descreva todas as isotermas dos alimentos 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. 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, pontos esses, de difícil determinação (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

3.6.1.1 Método Estático

Barrozo (1998) utilizou soluções aquosas saturadas de vários sais ou diferentes concentrações de ácido, onde obtiveram-se diferentes valores de umidade relativa do ar acima da superfície das soluções contidas em recipientes herméticos. A temperatura do ar foi controlada colocando-se os frascos em uma estufa ou câmara refrigerada. Para cada amostra, colocaram-se de 30 a 50g do produto sobre recipientes, que ficaram suspensas acima das superfícies das soluções. Estas foram pesadas periodicamente em balança de precisão, até que não houvesse mais variação de peso.

Foi possível determinar o teor de água da amostra em equilíbrio com as condições de temperatura e umidade relativa internas ao frasco hermético pelo método da estufa. O tempo para atingir o equilíbrio foi prolongado por mais de 21 dias, no caso de grãos (BARROZO, 1998), por três a quatro meses, para café em coco, e por sete dias, no caso de partículas de alumina (ALMEIDA *et al.*, 2002). O uso das soluções salinas foi mais comum devido a segurança no manuseio e pela facilidade de se manter a umidade relativa constante, que é uma das vantagens deste método.

3.6.1.2 Método dinâmico

Consiste em percolar o ar com condições de umidade e temperatura controladas através da amostra de grãos até que o grão e o ar atinjam o equilíbrio. As condições controladas de umidade relativa e temperatura são obtidas por meio de pulverização de água, vaporização de água com resistências elétricas, injeção direta de vapor ou alimentação de duas correntes, uma com ar saturado e outra com ar ambiente, regulando as vazões de forma a se obter a umidade do ar desejada. Neste método, a velocidade com que a umidade do grão caminha para o equilíbrio é maior quando comparado com o método anterior. Para alguns grãos, o tempo médio é de 5h, sendo esta a vantagem deste método quando comparado com o método estático (BARROZO, 1998).

3.6.1.3 Modelos matemáticos

O comportamento higroscópico de diversos produtos agrícolas tem sido estudado por vários pesquisadores que descrevem modelos diferenciados para expressar o teor de água de equilíbrio em função da temperatura e umidade relativa do ar (RESENDE *et al.*, 2006). A dependência do teor de água de equilíbrio de determinado produto com a umidade relativa e temperatura de equilíbrio pode ser expressa por equações matemáticas, que são denominadas isotermas de sorção ou curvas de equilíbrio higroscópico (CORRÊA *et al.*, 2014).

Na literatura são encontradas mais de 200 equações propostas para representar o fenômeno de equilíbrio higroscópico dos produtos agrícolas. Estes modelos diferem tanto em sua base teórica ou empírica quanto na quantidade de parâmetros envolvidos (MULET *et al.*, 2002).

As equações teóricas são baseadas nas conhecidas teorias cinéticas de adsorção de Kelvin, Langmuir e BET (Brunauer, Emmett e Teller) (LEHN e PINTO, 2004).

A Tabela 4 apresenta os principais modelos existentes com suas respectivas equações de ajuste das curvas, onde X_{eq} e X_m são, respectivamente, os teores de umidade de equilíbrio e de monocamada em kg água/kg amostra seca; a_w é a atividade de água, em kg água/kg ar seco e A, B, C, K, k_1 , k_2 , K_1 , K_2 , K_3 , K_4 , K_5 , N, n_1 e n_2 são constantes nos modelos em que aparecem.

Tabela 4 – Modelos matemáticos utilizados para ajuste de isotermas de sorção.

Modelo	Equação
BET	$\frac{a_w}{(1 - a_w) \cdot X_{eq}} = \frac{1}{X_m \cdot C_{BET}} + \frac{a_w(C_{BET} - 1)}{X_m \cdot C_{BET}}$
GAB	$X_{eq} = \frac{(X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w)}{(1 - K \cdot a_w) \cdot (1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)}$
Chirife	$X_{eq} = \exp[A + B \cdot \ln(C - \ln a_w)]$
Chung-Pfost	$\ln(a_w) = -A \cdot \exp(-B \cdot X_{eq})$
D'arcy Watt	$X_{eq} = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot a_w}{1 + K_1 \cdot a_w} + K_5 \cdot a_w + \frac{K_3 \cdot K_4 \cdot a_w}{1 - K_3 \cdot a_w}$
Halsey	$\ln(a_w) = \left(\frac{-A}{X_{eq}^B} \right)$
Henderson	$(1 - a_w) = \exp(-A \cdot X_{eq}^B)$
Oswin	$X_{eq} = A \left(\frac{a_w}{1 - a_w} \right) \cdot B$
Peleg	$X_{eq} = K1 \cdot a_w^{n1} + K2 \cdot a_w^{n2}$
Smith	$X_{eq} = A + (B \cdot \log(1 - a_w))$

Considerando que as curvas de sorção são específicas para cada produto, que os alimentos possuem uma composição muito complexa e que as previsões teóricas não são confiáveis, as isotermas de sorção, construídas com diferentes temperaturas, devem ser determinadas experimentalmente (CASSINI, MARCZAK e NOREÑA, 2006).

O modelo de GAB foi proposto independente por Guggenheim (1966), Anderson (1946) e de Boer (1953) e é o modelo mais citado na literatura, e tem sido amplamente utilizado para descrever o comportamento das isotermas de sorção em alimentos (VAN DEM BERG, 1983; BROUNDIN *et al.*, 2015; TIMMERMAN *et al.*, 2001). O modelo de GAB possui uma base teórica, é matematicamente simples e apresenta parâmetros cujo sentido físico é de fácil interpretação além de representar mais de 50 % das isotermas de frutas, vegetais e carnes (ANDRADE *et al.*, 2011; LOMAURO *et al.*, 2006). Entretanto não se aplica para casos onde a atividade de água for superior a 0,9 (BLAHOVEC; YANNIOTIS, 2008). Este modelo quando o de BET calcula o valor de X_m , que representa a quantidade de água que está fortemente

adsorvida aos sítios específicos na superfície do alimento e é considerado como o valor ótimo para assegurar a estabilidade (TONON, 2009).

A equação de BET juntamente com o modelo de GAB é um dos modelos mais utilizados na previsão de sorção de alimentos (SEID; HENSEL, 2011). Representa uma base na interpretação de multicamadas de sorção isotérmicos e ele tem sido aplicado na adsorção de gases e vapor poroso em superfície e de sólidos, bem como em água e em outros materiais (ANDRADE, 2011). Esse modelo é uma generalização do modelo de Langmuir e assume que a água forma uma camada monomolecular numa primeira fase enquanto que a água adicional forma uma multicamada (YANNIOTIS; BLAHOVEC, 2009). O modelo de BET é apenas para um limite de a_w de 0,0 a 0,55, acima dessa faixa os resultados desviam-se da linha reta quando traçados na equação do modelo (LABUZA; ALTUNAKAR, 2007).

Já os modelos de Henderson e Oswin representam modelos puramente empíricos, com alguns parâmetros a serem calculados (TONON, 2009).

O modelo de Henderson foi desenvolvido em 1952, como um modelo empírico com apenas dois parâmetros que pode descrever o comportamento de alimentos em faixa de atividade de água mais ampla – 0,1 a 0,75 – como grãos, cereais e frutas. (LEMUS *et al.*, 2011; LABUZA, 2007).

O modelo de Oswin consiste em uma expansão da série de curvas de forma sigmoide. É utilizado para relacionar o teor de umidade de uma variedade de alimentos até uma atividade de água de 0,5. Por ter apenas duas constantes de fácil linearização tem maior vantagem em relação aos modelos de GAB e BET (PARK *et al.*, 2008).

Os quatros modelos detalhados permitem que com poucos dados experimentais seja possível construir isotermas de umidade, que podem ser facilmente interpolados para a obtenção de pontos nas regiões de baixa e de alta atividade de água (CORRÊA *et al.*, 2006). Os critérios para selecionar o modelo de sorção mais apropriado são o grau de ajuste aos dados experimentais e o significado físico do modelo (GABAS *et al.*, 2007).

3.7 Higroscopicidade e *caking* em pós alimentícios

A desidratação de frutos é um processo que agrega valor ao produto e diversifica sua utilização. Uma das propriedades que devem ser levadas em consideração nos frutos desidratados é sua higroscopicidade. Alimentos em pó com altas higroscopicidades promovem um fenômeno conhecido como *caking*, que dificulta a utilização desses produtos (CARLOS *et al.*, 2005).

O termo higroscopicidade é empregado, principalmente, com dois significados distintos na literatura. Alguns autores o empregam para indicar a quantidade de água retida por um produto, quando em equilíbrio com uma determinada umidade relativa. Dentro desse conceito, o trigo é mais higroscópico do que o sal, pois, a 70 % UR, o teor de umidade relativa do trigo é bem mais alto que o do sal. Outros autores utilizam o termo para indicar mudanças físicas facilmente perceptíveis, tais como a aglomeração e a liquefação. Com essa definição, o sal de cozinha é mais higroscópico que o trigo, pois, a 70 % UR, apresenta sinais evidentes de aglomeração, enquanto o trigo não mostra transformações visíveis (QUAST, 1987).

As interações entre água-alimento constituem importantes aspectos a serem analisados, pois estão diretamente implicadas nas seguintes modificações das propriedades dos alimentos: autoaglomeração ou *caking*, transição do estado amorfo dos açúcares, reações deteriorativas (BORGES, 1988). A higroscopicidade de um alimento está ligada à sua estabilidade física, química e microbiológica; desta forma, torna-se imprescindível o conhecimento do comportamento higroscópico desses produtos (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

A higroscopicidade em alimentos desidratados, notadamente em frutas, é uma das propriedades de maior importância, tanto do ponto de vista industrial quanto comercial, pois exerce influência em setores de embalagem (autoaglomeração e perda de fluidez) e também está intimamente associada à estabilidade química, física e microbiológica destes produtos. Portanto, torna-se imprescindível o conhecimento do comportamento higroscópico de tais produtos, bem como das variáveis que o influenciam, para uma posterior otimização das condições de desidratação, condicionamento e armazenamento dos mesmos (BORGES, 1988).

Alimentos que contêm muitos açúcares, tais como sacarose, glicose e frutose são, geralmente, muito higroscópicos. Esses açúcares são responsáveis por fortes interações com moléculas de água, principalmente, quando se apresentam no estado amorfo (JAYA e DAS, 2004; CARLOS *et al.*, 2005).

Gea Niro Research Laboratory (2003) classifica os pós quanto à higroscopicidade (%) em: *Não higroscópico* (<10); *Ligeiramente higroscópico* (10,1 – 15,0); *Higroscópico* (15,1 – 20,0); *Muito higroscópico* (20,1 – 25,0) e *Extremamente higroscópico* (>25).

O *caking* consiste em um fenômeno deletério no qual os pós alimentícios, por modificação do ambiente, como a variação de umidade, transformam-se em um material endurecido e aglomerado com conseqüente perda de funcionalidade e qualidade, além das perdas econômicas envolvidas (AGUILERA, 1995).

A condição de livre fluidez de pós alimentares é de grande interesse técnico e comercial. No caso de frutos, é reconhecida a tendência destes pós em apresentar problemas de

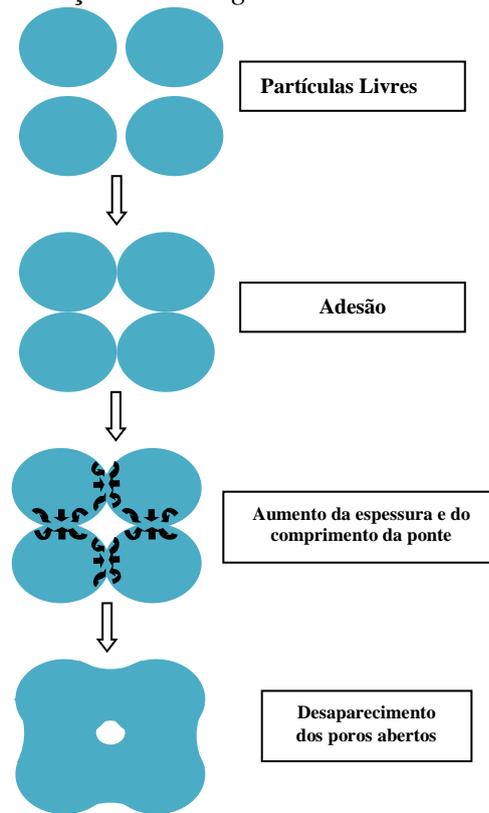
fluidez pela formação de aglomerados de alta consistência. O Tempo de consolidação do aglomerado durante a armazenagem é um grande problema no manuseamento dos pós (SANTOS; CAL-VIDAL, 1987). Silos inteiros podem ser bloqueados pelo pó endurecido e o conteúdo dos silos somente é ser removida manualmente. Além disso, a qualidade dos produtos em pó embalado é afetada negativamente pela aglutinação durante o armazenamento ou transporte. Para reduziros custos de processamento de pós-tratamento e para aumentar a qualidade dos produtos finais, tais aglomeraçõeess devem ser evitadas (HARTMANN; PALZER,2011).

Hartmann e Palzer (2011) destaca que a sinterização é responsável pela aglutinação observada nos pós alimentícios. Observa-se o mecanismo de formação de *caking* na Figura 7. 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. Eles formam caroços frágeis e, com a progessão da sinterização, forma-se um bolo de pó estável. Numa fase posterior de sinterização, partículas faltando uma estrutura interna de estabilização perdem sua estrutura e forma. A estrutura do pó entra em colapso, poros abertos no pacote de partículas desaparecem e, finalmente, é obtida uma fusão amorfa altamente viscosa, semelhante a espuma.

Os eventos físicos relacionados com a aglomeração de pós não são sempre indesejável. Por exemplo, na aglomeração de pós, partículas são propositadamente forçadas para interagir e formar grânulos com melhor forma, aparência e propriedades de manipulação, incluindo melhores características de fluxo, densidade de empacotamento, operação livre de poeira e maior velocidade de dissolução em líquidos (AGUILERA *et al.*, 1995; HARTMANN; PALZER, 2011).

Gea Niro Research Laboratory (2003) classifica os pós quanto ao grau de *caking* (%) em: *Não há formação de caking* (<10,0); *Ligeira formação de caking* (10,1 – 20,0); *Pó com formação de caking* (20,1 – 50,0); *Pó com muita formação de caking* (>50,0).

Figura 7 – Mecanismos de formação de *caking*.



Fonte: Adaptado de HARTMANN; PALZER (2011).

4 METODOLOGIA

4.1 Local do Experimento

O experimento foi realizado no laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem (LACONSA) do Departamento de Engenharia de Alimentos (DEAL) do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE

4.2 Matéria prima

As mangas da variedade *Tommy Atkins* foram adquiridas em Petrolina – PE e o processamento de obtenção da polpa foi realizado na Embrapa agroindustrial tropical em Fortaleza-CE.

Ao chegarem ao Laboratório, as polpas foram avaliadas quanto as suas condições básicas de temperatura e avarias nas embalagens com a finalidade de selecionar somente polpas com alto grau de qualidade, seguidas de armazenamento sob temperaturas de congelamento.

4.3 Secagem da Manga

As amostras foram preparadas com um adjuvante de secagem, maltodextrina, nas seguintes proporções: controle (0 %), 10, 20 e 30 % (m/m)

A secagem foi realizada com secador tipo *spray-dryer*, modelo LM MSD 1.0 (Labmaq do Brasil), com câmara de secagem de aço inox, com a utilização de um bico atomizador de 1,2 mm de diâmetro. O fator avaliado no processo de secagem foi a concentração de maltodextrina. Foram mantidos constantes os parâmetros de vazão do ar comprimido (3,0 L/min), vazão de alimentação (0,5 L/h) e vazão do ar de secagem (3,0 m³/min).

Em testes preliminares avaliou-se a variação da temperatura de entrada do ar de secagem, onde observou-se que as variáveis respostas se comportaram melhor a 130 °C.

4.4 Planejamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, mantendo fixa a temperatura de 130 °C e variando a concentração de maltodextrina (controle, 10, 20 e 30 %). Foram realizadas três repetições por tratamento, em cada concentração utilizada, totalizando 12 observações. Como variáveis respostas foram realizadas análises de rendimentos, coordenada b*, umidade e teor de ácido ascórbico. Os resultados obtidos foram analisados através de análise

de variância (ANOVA) para determinar diferenças entre as amostras e Teste de Tukey à 95 % de confiança para determinação de diferença entre as médias.

4.5 Rendimento

O rendimento do processo de desidratação da manga em pó foi determinado por meio da razão entre a massa dos sólidos presentes no pó coletado ao final da secagem e a massa de sólidos presentes na espuma destinada a secagem. Para o cálculo do rendimento foi utilizada a equação 1.

$$R = \frac{(1 - U_{pó}) \cdot M_{pó}}{(1 - U_a) \cdot M_a} \cdot 100 \quad \text{[Equação 1]}$$

Onde:

R – Rendimento do processo (%);

$U_{pó}$ – Umidade do pó (g/g);

U_a – massa da amostra (g);

$M_{pó}$ – Massa do pó (g);

M_a – Massa da amostra (g).

4.6 Descrição das análises

4.6.1 Acidez Titulável

A acidez titulável foi determinada segundo o Instituto Adolfo Lutz (2008). Essa norma baseia-se no método de acidimetria, utilizando uma solução tampão padronizada de NaOH 0,1 N para a realizar a neutralização da amostra, previamente diluída em água destilada. Os resultados foram expressos em percentagem de ácido cítrico.

4.6.2 pH

A análise de pH foi realizada através do método potenciométrico, onde utilizou-se um pHmetro, previamente calibrado, com soluções tampão. A amostra foi diluída, sendo 1 parte do pó para 10 partes de água destilada, onde realizou-se a leitura referida no visor do equipamento (IAL, 2008).

4.6.3 Umidade

Foi determinada com auxílio de uma balança de umidade Marconi ID50, que consiste na perda de água por desidratação com o emprego de calor (105 °C), baseando-se na perda de massa das amostras submetidas ao aquecimento.

4.6.4 Atividade de água

A análise de atividade de água foi realizada pela técnica do ponto de orvalho em espelho resfriado, utilizando-se o equipamento AQUALaB 4TEV (Decagon Devices, Inc., Pullman - Washington, USA) na temperatura de 25 °C.

4.6.5 Sólidos Solúveis

O teor de sólidos solúveis foi determinado pelo método de refratometria com auxílio de refratômetro de bancada, com correção de temperatura por meio de tabela proposta pelo Instituto Adolfo Lutz (2008). A amostra foi diluída em 1 parte do pó para 10 partes de água destilada.

4.6.6 Cor

As medidas do parâmetro cor foram realizadas utilizando-se colorímetro Konica Minolta, modelo CR-410, sendo os resultados expressos no sistema CIELAB de cor, onde L* indica a luminosidade e a* e b* são as coordenadas de cromaticidade (+a* = vermelho; -a* = verde; +b* = amarelo; -b* = azul), segundo metodologia AACC nº 14-22 (aprovado em 1976 do manual técnico do equipamento).

4.6.7 Solubilidade

A análise de solubilidade foi realizada segundo metodologia de Cano-Chauca *et al.* (2005), onde 1g da amostra foi diluída em 100 ml de água destilada. Após 5 minutos no agitador magnético a solução foi centrifugada e seca em estufa a 105 °C por 5 h. O material seco foi destinado como a quantidade da amostra solúvel em água.

4.6.8 Higroscopicidade

A higroscopicidade foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Goula e Adamopoulos (2010), onde se observou a capacidade de 1 g da amostra absorver água de ambiente úmido (células de higroscopicidade com umidade relativa de 75%) durante 90 minutos.

4.6.9 Grau de Caking

Foi determinado de acordo com a metodologia proposta por Jaya e Das (2004) através do peneiramento da amostra com agitação durante 5 minutos, seguido de pesagem do material retido.

4.6.10 Açúcares redutores e totais

A determinação de carboidratos foi realizada com base no método da redução de íons de cobre bivalente, em meio básico e pelos açúcares redutores, segundo a metodologia descrita pela AOAC (1997).

4.6.11 Carotenóides

Para a análise carotenóides totais, foi utilizada a metodologia de Higby (1962). Foram pesados cerca de 10 g da amostra, em balança analítica, e adicionado 30 ml de álcool isopropílico e 10 ml de hexano. Transferiu-se o conteúdo para um funil de separação de 125 ml coberto com papel alumínio. Completou-se o conteúdo do funil com água destilada e a solução focou sob repouso por 30 min. Depois, realizou-se a lavagem da fase aquosa, deixando apenas a fase de coloração amarela. Posteriormente, filtrou-se o conteúdo com algodão pulverizado com sulfato de sódio. Após a filtragem do resíduo amarelo do algodão com hexano, adicionou-se 5 ml de acetona e aferiu-se com hexano. Em seguida foi realizada a leitura do filtrado em espectrofotômetro nas absorvâncias de 470 nm.

4.6.12 Ácido Ascórbico

O teor de ácido ascórbico foi determinado por titulometria, utilizando 2,6-dicloro-fenol-indofenol (DFI) de acordo com metodologia proposta por Strohecker e Henning (1967). Cerca de 1g de amostra foi pesada e diluída em ácido oxálico 0,5 %. A mistura foi transferida

para um balão volumétrico de 100 mL, sendo aferido com ácido oxálico 0,5 %. Logo após a agitação do balão, uma alíquota de 5 mL foi retirada e transferida para um erlenmeyer, onde foram adicionados 45 mL de água destilada e por fim realizou-se a titulação com DFI 0,02 % até o aparecimento de uma coloração rósea persistente.

4.6.13 Densidade, análise de fluidez e compressibilidade

Foram determinadas por meio de um aparelho de fluxo de pó, Brookfield Powder Flow Tester 104, de acordo com o manual técnico do equipamento.

4.6.14 Estudo da estabilidade

Para a realização do estudo da estabilidade, o pó da polpa de manga, obtido em *spray-dryer* foi homogeneizado e pesado em quantidades aproximadas de 30 g e acondicionado em duas embalagens diferentes, que foram seladas com e sem vácuo e armazenadas a temperatura ambiente de 25 °C.

Foram realizadas as seguintes análises na polpa de manga em pó: umidade, atividade de água, sólidos solúveis, pH, acidez total titulável, teor de ácido ascórbico, higroscopicidade, solubilidade, açúcares redutores e totais, carotenoides. Todas as análises foram realizadas a cada 15 dias, totalizando 90 dias de estabilidade.

As embalagens utilizadas nesse estudo foram a embalagem plástica formada pela combinação de PA (Poliamida) + PE (Polietileno) e a embalagem laminada formada pela junção de Alumínio/PET 17g/ m² + ADES 2g + Alumínio 21,6 + ADES 2g + Filme PE 80g/ m².

4.6.15 Microscopia eletrônica

Foram avaliadas amostras contendo 10, 20 e 30 % de maltodextrina, além da amostra controle. Os pós foram depositados sobre fita adesiva dupla face, fixada em suporte metálico. A placa metálica foi recoberta com platina em uma metalizadora (QUORUM 150T ES) e as imagens foram capturadas em um microscópio eletrônico de varredura (MEV Inspect-50 FEI).

4.6.16 Isotermas de sorção

As isotermas de adsorção foram determinadas pelo método gravimétrico estático de acordo com Greespan (1977).

Foram pesadas amostras com cerca de 0,2 g em cadinhos de alumínio, previamente tarados. Os cadinhos foram alocados sobre um suporte dentro de células de vidro fechadas, contendo soluções saturadas de sais (CH_3COOK – 21 %, K_2CO_3 – 44 %, NaBr – 58 %, SnCl_2 – 76 %, KCl – 84 %, BaCl_2 – 90 %) a temperatura de $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$.

As soluções de sais foram preparadas e colocadas em recipientes de vidro temperado, fechados com silicone, denominados de células.

O processo foi acompanhado por pesagens das amostras a cada 24 horas até atingirem umidade de equilíbrio. Após a detecção do equilíbrio, foi medida a atividade em diferentes temperaturas (25, 30, 35 e 40 °C). Posteriormente, foram pesadas e levadas à estufa para determinação da massa seca de cada amostra.

A umidade de equilíbrio (X_{eq}) foi calculada pela diferença entre a massa que a amostra apresentou no equilíbrio e sua massa seca inicial, através da equação abaixo:

$$X_{eq} = \frac{M_o - M_s}{M_s} \quad \text{[Equação 2]}$$

Onde:

X_{eq} = umidade de equilíbrio ($\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ em base seca);

M_o = massa da amostra no equilíbrio (g);

M_s = massa da amostra seca (g).

Para o ajuste matemático dos dados experimentais das isotermas de adsorção foram utilizados os modelos matemáticos de: BRUNAUER, EMMET E TELLER (BET); GUGGENHEIM, ANDERSON E BOER (GAB); HENDERSON e OSWIN.

4.7 Análise estatística

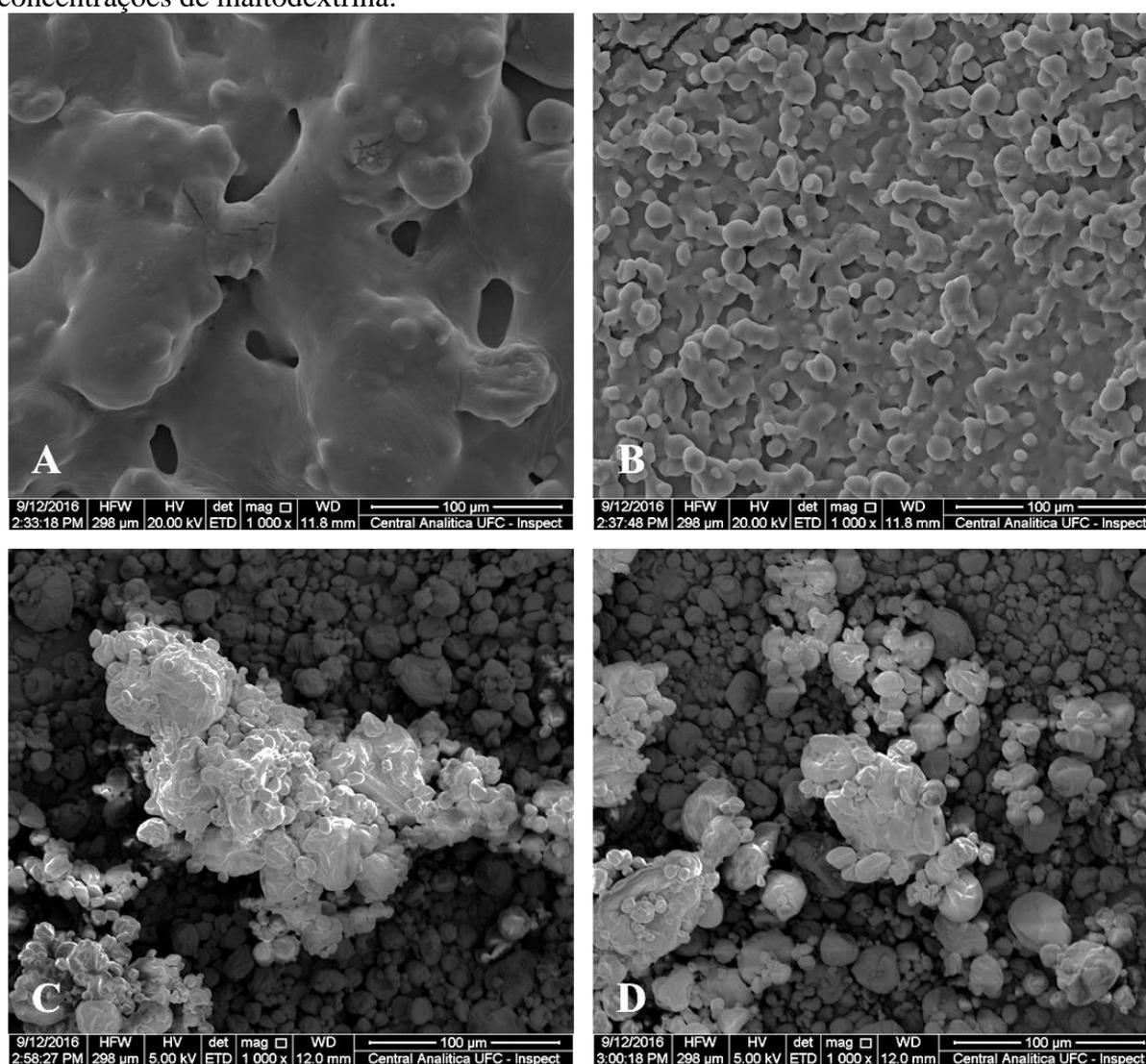
Os resultados das determinações analíticas foram avaliados pela análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey ao nível de confiança de 95% com auxílio do programa *Statistic*, versão 7,0 (STATSOFT CO., 2007).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Morfologia

A análise estrutural da polpa de manga em pó com 10, 20 e 30 % de maltodextrina foi realizada por meio do estudo das imagens geradas por microscópio eletrônico de varredura (MEV) apresentadas na Figura 8. Foi observado que as partículas apresentaram formato esférico, o que é típico do processo de secagem por *spray-dryer*, características desejáveis para a estabilidade do material (OSORIO *et al.*, 2010). Foi observado uma grande heterogeneidade no tamanho das partículas, exceto na amostra sem adição de maltodextrina.

Figura 8 – Micrografias da polpa de manga em pó em aumento de 1000x em diferentes concentrações de maltodextrina.



A: Polpa de manga em pó (controle); B: Polpa de manga em pó com 10% de maltodextrina; C: Polpa de manga em pó com 20% de maltodextrina; D: Polpa de manga em pó com 30% de maltodextrina. Fonte: Autor.

As imagens A e B, onde estão representadas as amostras controle (sem adição de maltodextrina) e com 10 % de maltodextrina, respectivamente, apresentam a formação de pontes interligando as partículas. Esse comportamento pode ser justificado pela higroscopicidade dos pós, já que essas amostras contêm baixa proporção de maltodextrina. A maltodextrina auxilia na diminuição da higroscopicidade de pós (AUGUSTA *et al.*, 2011). Na imagem C foi possível visualizar que a maltodextrina promoveu partículas maiores e com superfície achatada, tal estrutura pode favorecer o efeito físico protetor exercido pelo agente encapsulante.

Observou-se que as imagens C e D, com 20 e 30 % de maltodextrina, respectivamente, apresentaram partículas desprendidas, porém ainda aglomeradas. Lancha *et al.*, (2012) também observaram pontes interligando partículas de polpa de jabuticaba em pó com 5 e 10 % de maltodextrina. Ferrari, *et al.*, (2012a) citaram que essa aglomeração favorece a retenção de pigmentos por diminuir a superfície de contato, conseqüentemente a exposição ao oxigênio, reduzindo reações oxidativas.

Ao analisar as amostras com 20 e 30 % de maltodextrina, imagens C e D respectivamente, observou-se que a amostra com maior teor do agente de parede apresentou partículas menos corrugadas do que a amostra com menor teor de maltodextrina. Lokuwan (2007) e Ferrari *et al.*, (2012b) relataram que a maltodextrina com 20-24 DE contém uma grande quantidade de açúcares de baixo peso molecular, que podem atuar como plastificantes, impedindo o encolhimento da superfície durante a secagem por pulverização e levando à formação de partículas mais suaves.

A análise das imagens permitiu afirmar que o aumento da concentração de maltodextrina na polpa de manga em pó resultou em partículas menores e com formato mais definidos.

5.2 Características de escoabilidade

5.2.1 Função de fluxo

Na Tabela 5 estão apresentados os valores da σ_c e a σ_1 para polpa de manga em pó nas concentrações de 10, 20 e 30 % de maltodextrina. Observou-se que o aumento da concentração de maltodextrina acarretou no aumento da tensão não confinada de deslizamento σ_c , evidenciando que a adição de maltodextrina na amostra de polpa de manga em pó diminui tensão de deslizamento o que aumenta a escoabilidade da amostra.

Tabela 5 – Valores da tensão não confinada de deslizamento (σ_c) e a tensão de consolidação principal (σ_1) para polpa de manga em pó nas concentrações de 10, 20 e 30 % de maltodextrina.

10% de maltodextrina		20% de maltodextrina		30% de maltodextrina	
σ_c (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_c (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_c (kPa)	σ_1 (kPa)
0,904	1,686	0,769	1,512	0,734	1,453
1,529	3,76	1,375	3,655	1,325	3,579
2,704	8,088	2,626	8,91	2,614	8,427
5,181	16,485	5,128	17,981	5,093	18,285
10,093	32,519	9,471	35,669	8,918	36,512

Fonte: Elaborada pelo autor.

Com os valores médios da σ_c e a σ_1 determinou-se o índice de escoamento (ff_c) da polpa de manga em pó com diferentes teores de maltodextrina (Tabela 6).

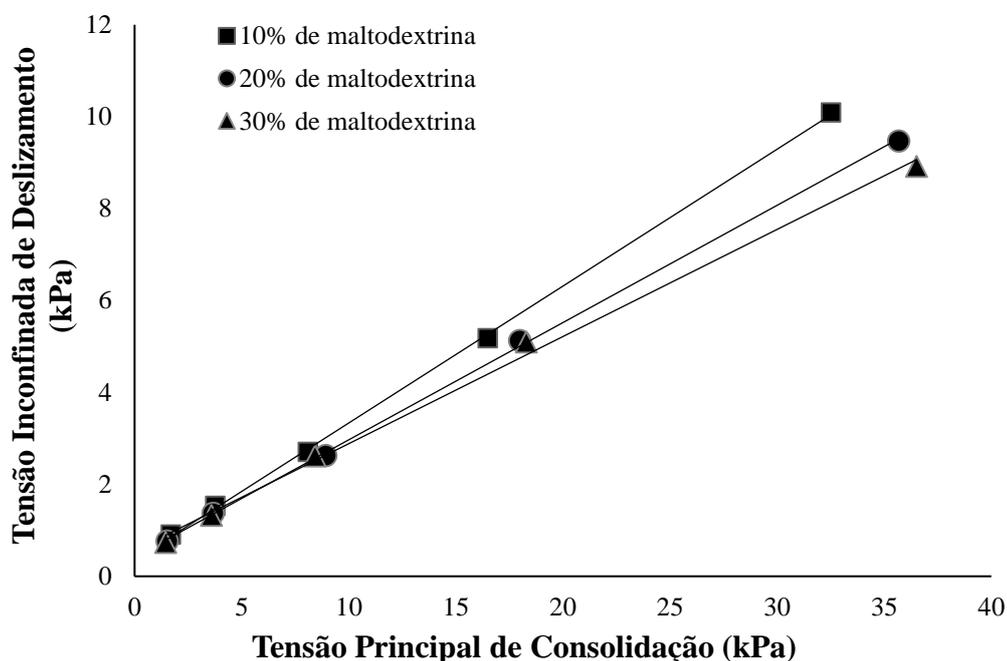
Tabela 6 – Valores dos índices de escoamento de polpa de manga em pó analisados com diferentes concentrações de maltodextrina.

Amostras	Índices de fluxo (ff_c)
10% de maltodextrina	3,06
20% de maltodextrina	3,50
30% de maltodextrina	3,65

Fonte: Elaborada pelo autor.

Ao verificar os valores dos índices de fluxo das amostras avaliadas observou-se que os mesmos apresentaram comportamento coesivo, conforme a classificação de Jenike (1964). As amostras apresentaram aumento nos valores de ff_c conforme se elevou a proporção de maltodextrina. Logo, a amostra com 30 % de maltodextrina apresentou maior fluidez dentre as amostras avaliadas. Pode-se observar na Figura 9 a representação do comportamento descrito na Tabela 6. A Figura 9 apresenta os fluxos de escoamento da polpa de manga em pó nas diferentes concentrações de maltodextrina. Verificou-se que a amostra com maior teor de maltodextrina apresentou menor distanciamento do eixo de tensão de principal de cisalhamento, enquanto que a amostra com 10 % de maltodextrina apresentou maior inclinação perante o mesmo eixo.

Figura 9 – Fluxo de escoamento para polpa de manga em pó obtidos pelo processo de secagem em *spray-dryer*, nas concentrações de 10, 20 e 30 % de maltodextrina.



Fonte: Elaborada pelo autor.

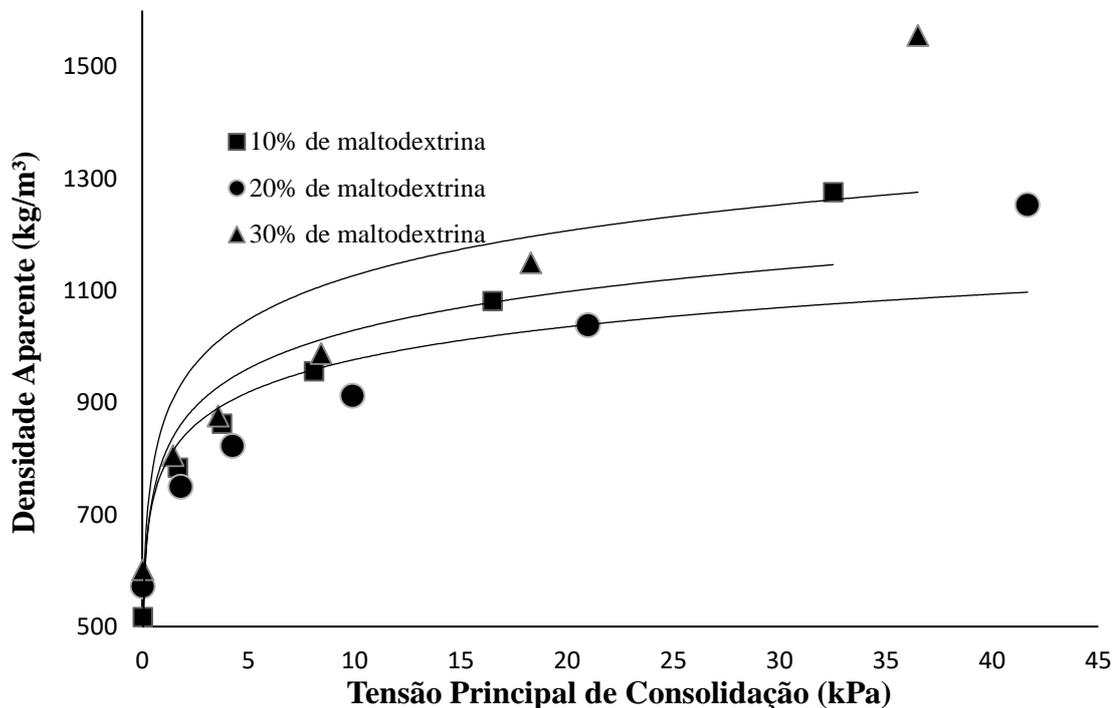
Esse comportamento está associado ao tamanho e a forma das partículas, conforme mencionado na microscopia eletrônica de varredura. Amostras com 30 % de maltodextrina apresentaram partículas com formas regulares e definidas e por apresentar baixa higroscopicidade não exibiram pontes interligando umas às outras.

5.2.2 Densidade Aparente

Os materiais sólidos particulados são formados por grãos ou partículas de diferentes tamanhos, que se agrupam formando um conjunto. Algumas características como densidade e composição química podem variar no conjunto de partículas, o que dificulta sua caracterização (WOODCOCK; MASON, 1987).

Na Figura 10 está demonstrada a densidade aparente das amostras de polpa de manga em pó de acordo com a tensão principal de consolidação. Observou-se que a amostra de 30 % de maltodextrina apresentou maior densidade aparente entre as amostras avaliadas, seguido da amostra com 10 % e a amostra contendo 20 % de maltodextrina que apresentou a menor densidade aparente.

Figura 10 – Densidade Aparente para polpa de manga em pó obtidos pelo processo de secagem em *spray-dryer*, nas concentrações de 10, 20 e 30 % de maltodextrina.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A densidade aparente leva em consideração a porosidade das partículas. Partículas com maior porosidade apresentam menor densidade aparente. De acordo com os dados, a amostra com 20 % de maltodextrina apresentou maior porosidade em relação às amostras avaliadas. Sabe-se que forças interparticulares são fortemente dependentes do tamanho e características de superfície das partículas (CASTELLANOS, 2005), esse comportamento pode ser explicado devido a particularidade do processo de secagem em *spray-dryer*: as moléculas de água evaporam-se dentro na partícula que posteriormente é expulsa, rompendo a partícula sólida criando poros na fração seca.

5.2.3 Ângulo de Fricção interno com a parede

Na Tabela 7 estão representados os valores médios dos ângulos de atrito com a parede (inox) da polpa de manga em pó em diferentes concentrações de maltodextrina. Observou-se que o maior ângulo de atrito foi na amostra de 10 % de maltodextrina, enquanto o menor na amostra de 20 %. Amostras contendo 20 % de maltodextrina necessitam de uma inclinação da parede menor para assegurar o escoamento, enquanto que amostras de polpa de manga em pó com 10 % de maltodextrina necessitaria de um ângulo maior para escoamento contínuo.

Tabela 7 – Valores Médios dos Ângulos de Atrito Interno com a parede da polpa de manga em pó em diferentes concentrações de maltodextrina.

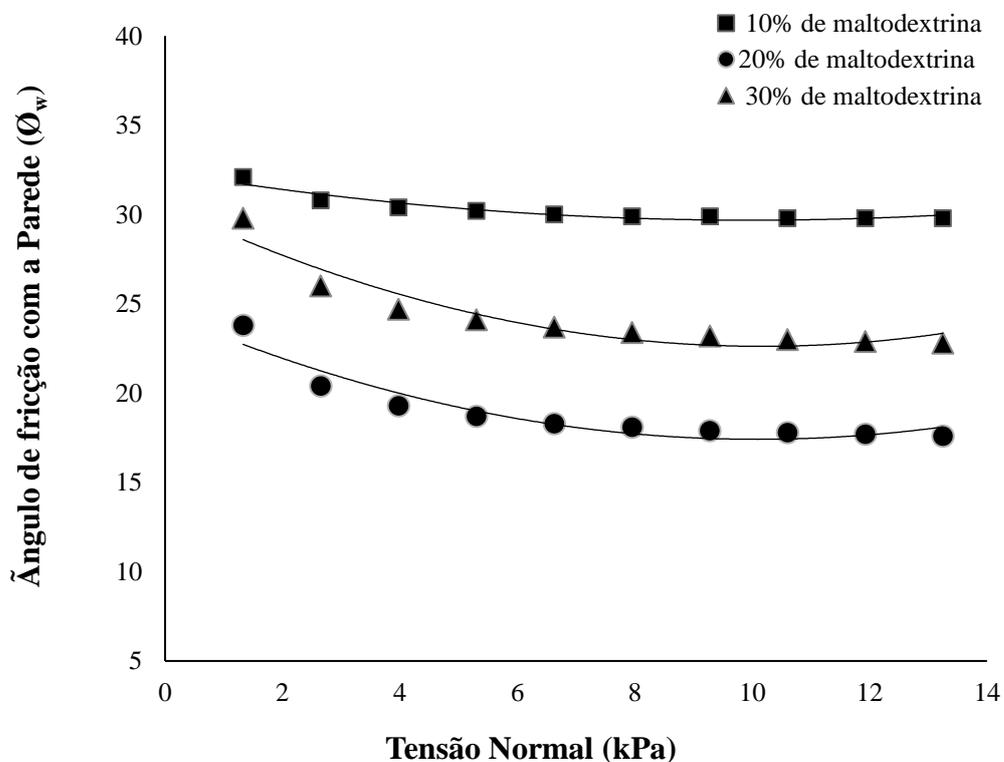
Amostras	Ângulo de atrito com a parede ($\hat{\theta}_w$)
10% de maltodextrina	30,27
20% de maltodextrina	18,96
30% de maltodextrina	24,36

Fonte: Elaborada pelo autor.

Esse comportamento pode levar a conclusão de que as partículas com 20 % de maltodextrina são maiores do que as outras amostras avaliadas, pois materiais com partículas maiores apresentam baixos valores de $\hat{\theta}_w$ em função do menor contato entre a superfície específica das partículas (Lopes Neto *et al.*, 2007).

Na Figura 11 estão representados os ângulos de Atrito Interno com a Parede ($\hat{\theta}_w$) para polpa de manga em pó obtidos pelo processo de secagem em *spray-dryer* nas concentrações de 10, 20 e 30 % de maltodextrina em diferentes tensões.

Figura 11 – Ângulo de Atrito Interno com a Parede ($\hat{\theta}_w$), para polpa de manga em pó obtidos pelo processo de secagem em *spray-dryer*, nas concentrações de 10, 20 e 30 % de maltodextrina.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Ao se aplicar uma força nas amostras, os ângulos θ_w apresentaram o mesmo comportamento para as três concentrações avaliadas: diminuição do ângulo conforme o aumento da tensão na amostra. A amostra com 20 % de maltodextrina apresentou menor ângulo de atrito em todas as tensões exercidas.

5.3 Isotermas

Os parâmetros dos modelos matemáticos ajustados para as isotermas da polpa de manga em pó com 10, 20 e 30 % de maltodextrina nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Dados das isotermas dos modelos GAB, BET, Henderson e Oswin para as temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C nas amostras com concentração de 10, 20 e 30 % de maltodextrina.

Modelos	Parâmetros	10 % Maltodextrina				20 % Maltodextrina				30 % Maltodextrina			
		25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C
GAB	X _m	0,0887	0,0929	0,0887	0,0877	0,0869	0,0924	0,0869	0,0831	0,0941	0,0907	0,0941	0,0856
	C	2,058	1,790	2,058	2,139	1,833	1,418	1,833	2,053	1,495	1,597	1,495	1,862
	K	0,9875	0,9714	0,9875	1,0000	0,9731	0,9664	0,9731	0,9921	0,9485	0,9413	0,9485	0,9732
	R ²	0,9979	0,9973	0,9970	0,9965	0,9999	0,9998	0,9991	0,9991	0,9995	0,9994	0,9998	0,9988
	E (%)	9,47	8,52	9,47	9,45	3,45	0,80	3,45	3,27	1,19	1,50	1,19	1,87
BET	X _m	0,0799	0,0805	0,0829	0,0877	0,0724	0,0787	0,0761	0,0790	0,0681	0,0708	0,0752	0,0757
	C	2,205	2,357	2,374	2,138	2,550	1,810	2,351	2,308	2,417	2,361	2,109	2,331
	n	26,1651	29,1990	36,0444	170,2965	25,6326	25,7811	28,5681	50,9193	22,9940	21,2104	21,7842	26,2839
	R ²	0,9966	0,9968	0,9968	0,9965	0,9995	0,9999	0,9987	0,999	0,9996	0,9999	0,9994	0,9997
	E (%)	8,59	9,38	9,85	9,18	2,75	1,26	4,21	3,79	1,58	0,50	2,16	1,96
Henderson	a	0,6831	0,6785	0,6730	0,6633	0,7064	0,6640	0,6944	0,6829	0,7183	0,7325	0,7199	0,7165
	b	3,224	3,154	3,055	2,940	3,517	3,266	3,350	3,205	3,797	3,803	3,615	3,505
	R ²	0,9958	0,9927	0,9899	0,9881	0,9954	0,9959	0,9943	0,9922	0,9959	0,9968	0,9972	0,9943
	E (%)	4,37	6,44	7,90	8,37	7,51	7,55	7,14	8,62	6,00	6,05	4,67	6,44
Oswin	a	0,1129	0,1142	0,1161	0,1181	0,1060	0,1032	0,1077	0,1096	0,0986	0,1023	0,1040	0,1065
	b	0,8105	0,8239	0,8458	0,8715	0,7946	0,8491	0,8264	0,8551	0,7889	0,7788	0,8097	0,8266
	R ²	0,9975	0,9973	0,9969	0,9960	0,9997	0,9996	0,9992	0,9990	0,9990	0,9990	0,9994	0,9988
	E (%)	8,03	8,91	9,24	9,75	2,21	1,98	3,49	2,98	2,07	2,24	2,62	1,76

Fonte: Elaborada pelo autor.

Analisando os resultados da umidade na monocamada (X_m) foi observado que no modelo de GAB os teores de X_m tenderam a diminuir quando se aumentou a temperatura, em todas as concentrações de maltodextrina, destacando-se a amostra com 30 % de maltodextrina que apresentou uma variação de 0,0941 a 0,0856 kg.kg^{-1} , quando se aumentou a temperatura de 25 para 40 °C. Prado *et al.*, (1999) justificou a redução do valor de X_m devido à redução de número de zonas ativas como resultado de mudanças físicas e/ou químicas induzidas pela temperatura.

No modelo de BET os valores de X_m aumentaram com o aumento da temperatura variando de 0,0799 a 0,0877 kg.kg^{-1} , 0,0724 a 0,0790 kg.kg^{-1} e 0,0681 a 0,0757 kg.kg^{-1} para 10, 20 e 30 % de maltodextrina, respectivamente.

Ao avaliar a variação dos teores de X_m em relação a concentração de maltodextrina na amostra, nos modelos de GAB e BET, observou-se que houve uma diminuição da umidade na monocamada conforme a elevação da concentração de maltodextrina aumenta. A amostra contendo menor teor de maltodextrina mostrou-se mais estável, apresentando maiores valores de X_m em ambos os modelos (GAB e BET) podendo ser exposta a ambientes com maiores umidades relativas se comparada às amostras com maior teor de maltodextrina. Resultado contrário a esse comportamento foi relatado por Oliveira *et al.*, (2014) em polpa de cajá, que relataram um aumento de X_m ao adicionar 17 % de maltodextrina na amostra.

O conceito de X_m tem sido bastante estudado em alimentos, devido à sua relação com a estabilidade química e física dos alimentos desidratados. O valor de X_m indica a quantidade de água que é fortemente adsorvida, formando uma primeira camada monomolecular na superfície dos alimentos. Segundo Goula *et al.*, (2008) a quantidade de umidade na monocamada é aquela que proporciona, em determinada temperatura, maior estabilidade e perdas mínimas de qualidade do alimento, abaixo deste valor as taxas de reações de deterioração, exceto oxidação de gorduras insaturadas, são mínimas. O teor de umidade de equilíbrio tende a diminuir com o aumento da temperatura em uma determinada atividade de água. A extensão desse decréscimo depende da composição dos alimentos (RIZVI, 1995).

Segundo Alcântara *et al.*, (2009) e Blahovec (2004) para representação das isotermas de adsorção de um alimento os parâmetros do modelo de Henderson deverão apresentar valores de $a > 0$ e $b > 1$, já para o modelo de Oswin os valores devem ser $a > 0$ e $0 < b < 1$. De acordo com a Tabela 21 os valores dos parâmetros 'a' e 'b', nos modelos de Henderson e Oswin, estão dentro dos limites relatados por Alcântara *et al.* (2009) e Blahovec (2004), evidenciando que a isoterma de adsorção da polpa de manga em pó pode ser representada pelos modelos de Henderson e Oswin.

Observou-se no modelo de Henderson e Oswin que a variação da temperatura obteve efeito sobre os valores de “a” e “b”, onde o modelo de Henderson apresentou uma redução dos valores de “a” e “b”, conforme aumentou-se a temperatura e no modelo de Oswin houve um aumento neste mesmo parâmetro conforme variou-se a temperatura de 25 a 40 °C.

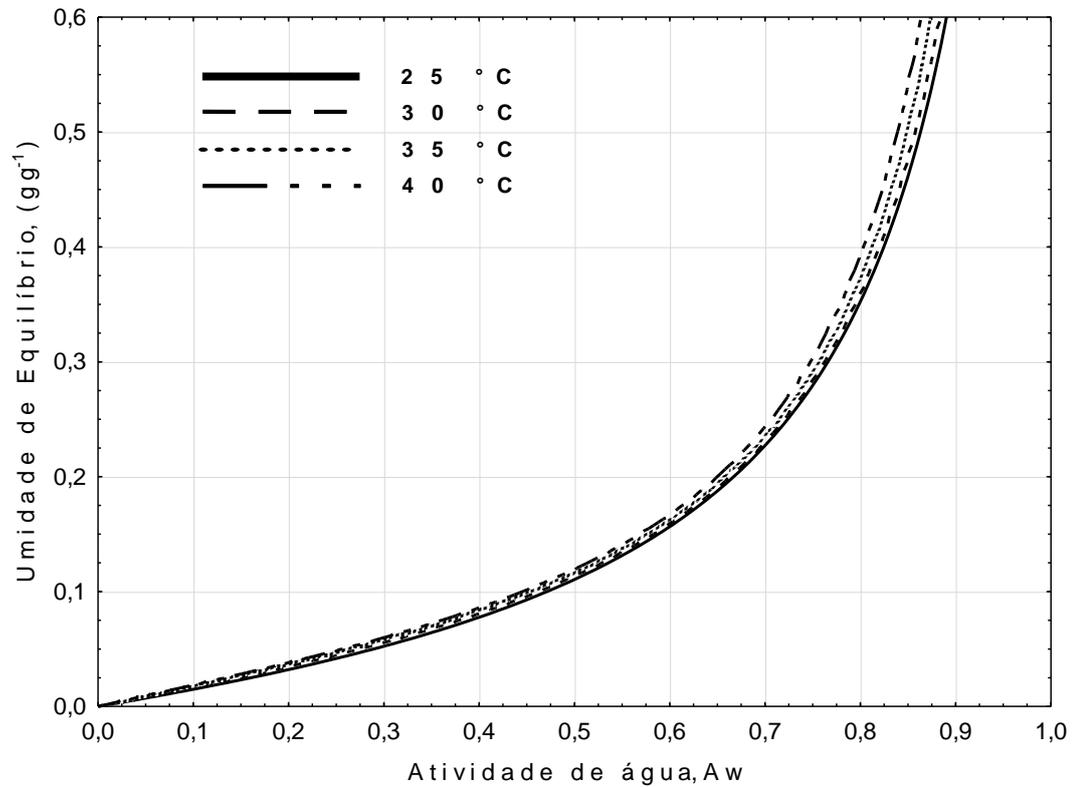
Erros médios relativos (E) inferiores a 10 % indicam um bom ajuste do modelo aos dados experimentais (LOMAURO *et al.*, 1985). Tomando a afirmação de LOMAURO *et al.*, (1985) pode-se concluir que todos os modelos propostos se ajustaram bem aos dados experimentais, variando de 0,80 a 9,75 % e com coeficientes de correlação (R^2) variando de 0,9881 a 0,9999.

Ao avaliar os erros médios relativos (E) entre os modelos matemáticos analisados notou-se que o modelo de GAB, para as isotermas nas temperaturas e concentrações avaliadas, descreveu com maior precisão as isotermas de sorção para a polpa de manga em pó, pois possuíram valores de R^2 próximos de 1, valores de E menores que 10 %.

De acordo com Pedro *et al.*, (2010) o modelo de GAB apresenta a vantagem de ser um modelo relativamente simples e com parâmetros que têm definição física, além de representar adequadamente os dados experimentais na faixa de atividade de água de maior interesse prático em alimentos (0,10 a 0,90)

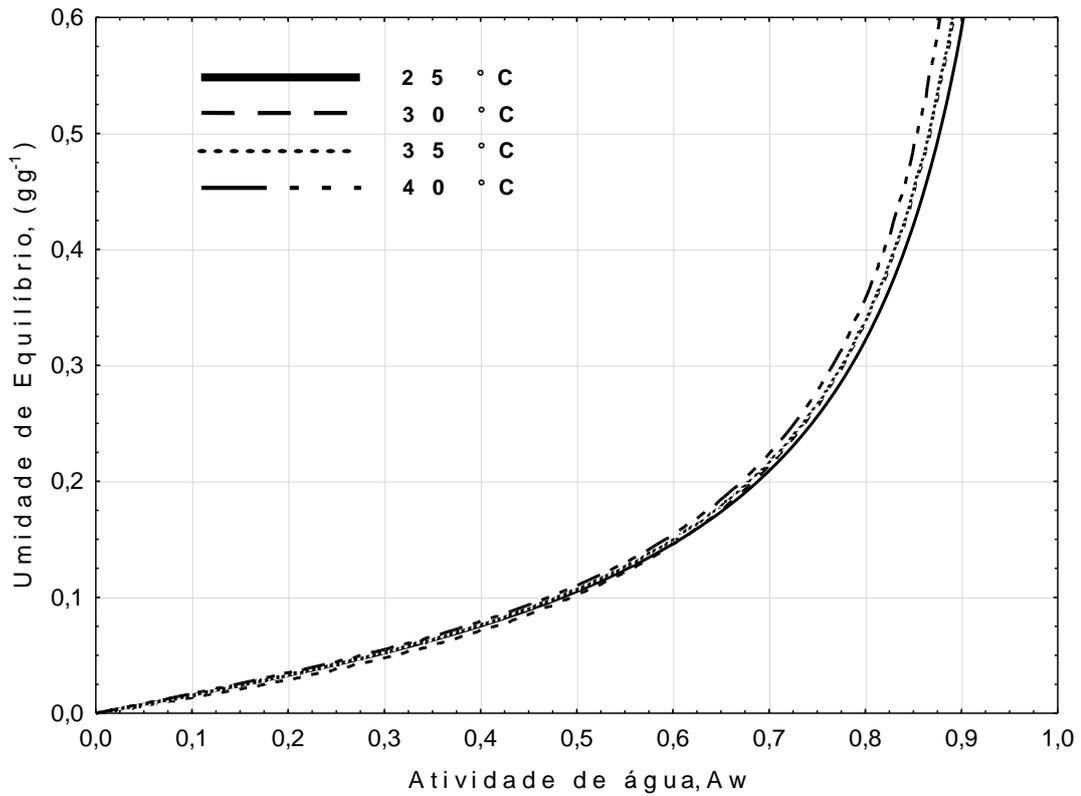
Nas Figuras 12, 13 e 14 estão apresentadas as isotermas de adsorção da polpa de manga em pó nas temperaturas experimentais de 25, 30, 35 e 40 °C prevista pelo modelo de GAB nos respectivos teores de maltodextrinas, 10, 20 e 30 %.

Figura 12 – Isotermas de adsorção da polpa de manga em pó nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C (linhas) prevista pelo modelo de GAB com 10 % de teor de maltodextrina.



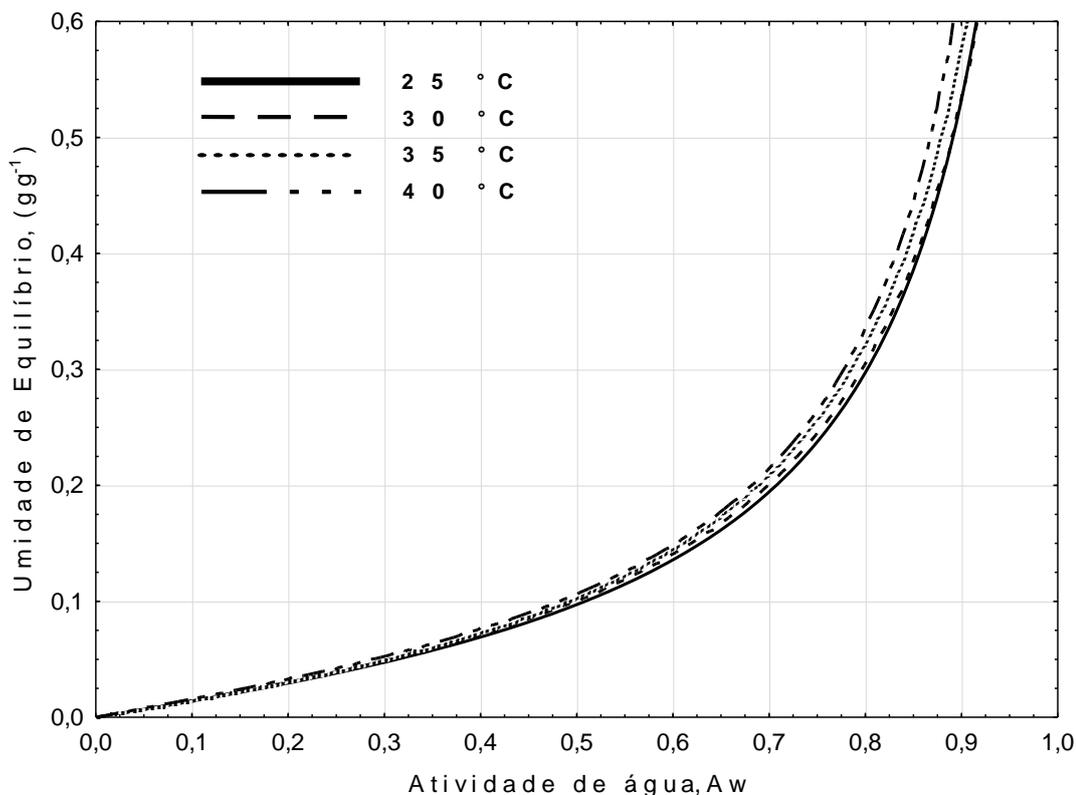
Verificou-se que não existe grande influência da temperatura sobre as umidades de equilíbrio da polpa de manga em pó para atividades de água inferiores a 0,6. A partir da a_w de 0,7 a curva referente a temperatura de 40 °C ocupou uma posição superior de destaque em relação as demais temperaturas, todavia a curva na temperatura de 25 °C encontrou-se em posição inferior das temperaturas em as atividades de água.

Figura 13 – Isotermas de adsorção da polpa de manga em pó nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C (linhas) prevista pelo modelo de GAB com 20 % de teor de maltodextrina.



Observou-se que o aumento de temperatura obteve pouca influência sobre o comportamento das isotermas com 20 % de maltodextrina, não sendo possível distinguir diferenças entre as curvas de temperaturas com atividade de água inferior a 0,6. A partir de uma umidade de equilíbrio de 0,3 g.g⁻¹ é que foi possível observar uma separação das curvas de temperatura, apresentando a curva de 40 °C e 25 °C posição superior e inferior, respectivamente.

Figura 14 – Isotermas de adsorção da polpa de manga em pó nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C (linhas) prevista pelo modelo de GAB com 30 % de teor de maltodextrina.



Nas isotermas de adsorção da polpa de manga em pó com 30 % de maltodextrina constatou-se que a partir de uma atividade de água de 0,6 as curvas de temperatura apresentam uma separação possível de distinguir as curvas, onde observou-se que a curva de 40 °C ocupa posição superior, conseqüentemente menor valor de umidade de equilíbrio que as demais temperaturas, comportamento esse apresentado na isotermas de adsorção da polpa de manga com 10 e 20 % de maltodextrina, deixando evidente que o aumento da atividade de água favoreceu a elevação da umidade de equilíbrio em todas as temperaturas testadas e em temperaturas mais elevadas obtiveram-se uma menor umidade de equilíbrio, logo, temperaturas mais altas contribuem para uma maior adsorção de água pela polpa de manga em pó obtida pelo processo de secagem em *spray-dryer*.

Observou-se, através das Figuras 12, 13 e 14, que as umidades de equilíbrio das amostras para baixas atividades de água ($a_w \leq 0,45$) permaneceram próximas e com valores baixos. Esse comportamento estável pode ser justificado pelo fato de que em ambientes com baixa umidade relativa a diferença de pressão de vapor entre o produto em pó e o ar ambiente é menor.

Para atividades de água intermediárias ($0,50 < a_w < 0,75$), a umidade de equilíbrio das amostras, em todas as concentrações de maltodextrina, aumentaram consideravelmente em

comparação às outras faixas de atividade de água. Observou-se que quanto maior a concentração de maltodextrina na amostra menor é a umidade de equilíbrio, esse comportamento fica claro no valor de atividade de água 0,8. Nessa a_w a umidade de equilíbrio variou entre 0,35 a 0,40 g.g⁻¹, 0,32 a 0,35 g.g⁻¹, 0,30 a 0,32 g.g⁻¹ para as amostras contendo 10, 20 e 30 % de maltodextrina, respectivamente. Tal resultado ocorreu pelo fato da maltodextrina ser um agente que diminui a higroscopicidade da amostra, logo quanto maior a concentração de maltodextrina maior estabilidade em relação à absorção de água.

A adsorção de água foi proporcional à temperatura, ou seja, quanto maior a temperatura de armazenamento, maior a umidade final da amostra. Comportamento esse contrário a Goula *et al.*, (2008) que observaram que o aumento da temperatura ocasionou diminuição da umidade de equilíbrio em uma mesma atividade de água para tomate em pó. Esse comportamento não foi observado na curva de 35 °C, em $a_w < 0,5$, na amostra com 20 % de maltodextrina (Figura 13). Tal curva demonstrou umidades relativas menores do que a curva de 40 °C.

Observou-se que as curvas obtidas para as temperaturas de estudo apresentaram uma isoterma do tipo III, segundo a classificação de Brunauer *et al.*, (1938), também conhecida como isoterma de Flory-Huggins e ocorre pela adsorção de um solvente abaixo da temperatura de transição vítrea. Alimentos como frutas que contêm grandes quantidades de açúcares e outras moléculas solúveis pequenas, podem exibir esse tipo de isothermas (MEDEIROS *et al.*, 2006).

5.4 Planejamento experimental

Os resultados do planejamento experimental estão descritos na Tabela 9. Foram considerados como variáveis dependentes: rendimento, cor (coordenada b*), umidade e ácido ascórbico e como variável independente a concentração de maltodextrina, fazendo uso da temperatura de 130 °C.

Tabela 9: Valores médios e desvio padrão dos parâmetros físicos e físico-químicos da polpa de manga em pó com diferentes concentrações de maltodextrina.

MD (%)	Rendimento (%)	Coordenada b*	Umidade (%)	Ácido Ascórbico (mg.100g ⁻¹)
Controle	0,86±0,51 ^c	22,79±0,74 ^a	4,14±0,63 ^a	91,81±1,40 ^a
10%	1,25±0,09 ^c	19,18±0,66 ^a	2,11±1,26 ^a	58,23±7,01 ^b
20%	4,05±1,31 ^b	16,14±3,72 ^a	2,57±0,69 ^a	50,18±4,96 ^b
30%	7,97±0,37 ^a	16,09±3,71 ^a	3,15±1,15 ^a	45,18±12,32 ^b

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 95% de confiança.

Observa-se que o rendimento da secagem do ensaio controle e do ensaio com 10 % de maltodextrina não apresentaram diferença significativa. Enquanto as concentrações de 20 e 30 % de maltodextrina diferiram significativamente das demais a um nível de 95 % de confiança ($p < 0,05$).

Outro fator a ser observado foi a elevação do rendimento com o aumento da concentração de maltodextrina nos ensaios. Esse comportamento ocorre pelo fato da maltodextrina ser um agente eficaz na encapsulação de amostras em secagem de alimentos em geral (CANO-CHAUCA *et al.*, 2005; MARQUES *et al.*, 2014). Com 30 % de maltodextrina obteve-se o maior rendimento (7,97%) entre os ensaios, apresentando 96,79 % a mais que o ensaio com 20 % e 826,74 % que o ensaio controle.

O parâmetro b^* na análise de colorimétrica é uma coordenada que avalia a faixa de cor, variando do amarelo (+60) ao azul (-60). Dentro do estudo, o maior valor para a coordenada b^* da cor foi encontrada no nível mínimo de concentração de maltodextrina. Porém estatisticamente (Tabela 4) as amostras avaliadas não diferiram entre si ($p < 0,05$). Todos os valores observados tenderam a coloração amarela, destacando a amostra controle com valor de 22,79. Observou-se que quanto maior a concentração de maltodextrina na amostra de secagem menor foi o valor obtido na coordenada b^* . Isto se deve a influência da adição de maltodextrina (que possui coloração branca) na amostra. O mesmo comportamento de diminuição da coordenada b^* também foi encontrado por Ferrari *et al.*, (2012b) e Arrazola (2014) em polpa em pó de amora preta e em casca de berinjela em pó, respectivamente.

A umidade de um alimento está relacionada diretamente com sua estabilidade, qualidade e composição, e pode afetar fatores como estocagem, embalagem e processamento. Nos resultados obtidos observou-se que não existiu diferença significativa, a um nível de 95% de confiança, na umidade das polpas em pó analisadas (Tabela 9). A maior umidade obtida foi no ensaio controle de (4,14 %) e a menor foi de 2,11 % no ensaio com 10 % de maltodextrina. Ao avaliar os valores obtidos da umidade das polpas em pó analisadas, considera-se que todas as amostras são estáveis em relação à deterioração bioquímica e microbiológica, pois os teores de umidade encontrados estão acordo com a legislação brasileira que estabelece um valor máximo de umidade de 25 % (DAMORADAN; PARKIN; FENEMMA, 2010; BRASIL, 2005).

Ao comparar os ensaios contendo 10 %, 20 % e 30 % de maltodextrina com o controle, observou-se uma redução do teor de ácido ascórbico na ordem de 35,6 %, 45,3 % e 50,8 %, respectivamente. As concentrações de 10, 20 e 30 % de maltodextrina diferiram significativamente dos ensaios controle e esses não diferiram entre si a um nível de 95% de confiança ($p < 0,05$). Diferente de Mendoza-Corvis *et al.*, (2016), que verificaram a recuperação

de ácido ascórbico saltar de 54,19 % (20 % de maltodextrina) para 65,17 % (25 % de maltodextrina) em um produto em pó a base de soro de leite e manga. Esse fenômeno ocorre pelo fato da encapsulação proteger os compostos da oxidação (FAVARO-TRINDADE *et al.*, 2008; WILKOWSKA *et al.*, 2016). Além de aumentar o rendimento final na secagem, a maltodextrina protegeu a degradação do ácido ascórbico durante o processo de secagem.

De acordo com os resultados discutidos acima o maior rendimento encontrado foi a da amostra contendo 30 % de maltodextrina. A coordenada b^* , a umidade e o teor de vitamina C não diferiram estatisticamente, a um nível de 95 % de confiança, entre os ensaios contendo o adjuvante. Então se pode concluir que, neste planejamento experimental, a concentração ideal de maltodextrina para obtenção de polpa de manga em pó é de 30 %.

5.5 Caracterização da polpa de manga integral e polpa de manga em pó

A caracterização da polpa de manga integral e da polpa de manga em pó estão apresentadas na Tabela 10.

Todos os parâmetros avaliados, com exceção do pH, apresentaram diferença significativa entre a polpa de manga integral e a polpa manga em pó a um nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$).

Tabela 10 – Valores médios da caracterização física e físico-química da polpa de manga integral e da polpa de manga em pó obtida por *spray-dryer*.

Análises	Polpa integral	Pó
Umidade (%)	85,28±0,15 ^a	3,08±0,16 ^b
Atividade de água (a_w)	0,9970±0,0013 ^a	0,3232±0,0036 ^b
SST (°Brix a 25°C)	12,60±0,00 ^a	81,67±4,73 ^b
pH	4,50±0,01 ^a	4,54±0,06 ^a
Acidez total titulável (% Ac. cítrico)	0,14±0,03 ^a	0,47±0,03 ^b
Ácido ascórbico (mg.100g ⁻¹)	23,65±0,23 ^a	43,09±5,03 ^b
Ácido ascórbico (mg.100g ⁻¹)*	162,43±0,22 ^a	44,46±5,00 ^b
L*	50,87±0,83 ^a	62,96±2,22 ^b
a*	3,83±0,10 ^a	-3,96±0,14 ^b
b*	41,96±0,92 ^a	18,28±0,48 ^b
Carotenóides totais (mg.100 g ⁻¹)*	14,12±0,05 ^a	2,94±0,03 ^b
Açúcares redutores (%)	14,89±1,36 ^a	23,21±0,40 ^b
Açúcares totais (%)	44,77±0,32 ^a	68,63±5,39 ^b
Solubilidade (%)*	-	98,59±0,88
Higroscopicidade (%)*	-	4,77±0,57

Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si na mesma linha, pelo teste de *Tukey* ($p \leq 0,05$). * Resultados em base seca. Fonte: Elaborada pelo autor.

A polpa de manga integral apresentou valor médio de umidade de 85,28 %, enquanto a manga em pó apresentou um teor médio de 3,08 %, correspondendo a uma perda média de 96,39 % de água. Valor este próximo ao relatado por Zotarelli *et al.*, (2015) com 83,97 % e 5,00 % de umidade para a polpa de manga integral e manga em pó, respectivamente, em secagem pelo processo de *spray-dryer*. A polpa de manga em pó apresentou valor de umidade muito abaixo do limite máximo para produtos de frutas desidratada (25 %), estando em acordo com o especificado pela legislação brasileira (BRASIL, 2005).

A atividade de água também teve seu valor reduzido após o processo de secagem, apresentando valor médio de 0,9970 e 0,3232 para a polpa integral e o pó, respectivamente. Rocha *et al.*, (2014) em seu trabalho com polpa de manga desidratada em *spray-dryer* relataram valores médios de atividade de água de 0,9800 e 0,3200 para manga integral e em pó, valores estes próximos aos observados no presente trabalho. Em termos de estabilidade de alimentos, a atividade de água é um dos fatores intrínsecos, chegando a ser considerado mais importante que a umidade do alimento, uma vez que corresponde a água termodinamicamente disponível para as reações químicas e bioquímicas (AZEREDO *et al.*, 2012). Atividade inferior a 0,60 há a interrupção do metabolismo dos microrganismos presentes, inibindo o seu desenvolvimento ou reprodução (COSTA, 2015; DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010). A polpa de manga em pó apresentou umidade e atividade de água que se pode considerar estável ao desenvolvimento microbiológico e a deterioração bioquímica. No entanto, é importante ressaltar que as condições de armazenamento – embalagem, local, temperatura, umidade relativa, etc. – poderão influenciar diretamente neste equilíbrio.

Os resultados relatados na Tabela 10 demonstram que houve um aumento de 548,2 % entre o valor médio do teor de sólidos solúveis da polpa de manga integral e da manga em pó obtido. Esse comportamento era previsto, pois houve uma concentração dos sólidos contidos na amostra com a retirada da água durante o processo de secagem, além da adição de maltodextrina. Moreira *et al.*, (2013) também observaram aumento considerável no teor de sólidos solúveis em polpa manga em pó pelo processo de liofilização, concentrando de 12,80 para 76,30 °Brix após o processo de secagem. O teor de sólidos solúveis totais é um indicativo da quantidade de açúcares nos frutos, principalmente, além de qualquer composto solúvel, incluindo os ácidos orgânicos e outros constituintes. (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

O processo de secagem não ocasionou mudança significativa, a um nível de 95 % de confiança, nas médias do pH das amostras, onde apresentou médias de 4,50 e 4,56, respectivamente, para polpa de manga integral e manga em pó. Moreira *et al.*, (2013)

observaram o mesmo comportamento para polpa de manga integral e em pó por processo de liofilização.

Observou-se também um aumento nas médias dos parâmetros de acidez e no teor de ácido ascórbico em base úmida na polpa integral e em pó, esse fato pode ser relacionado com a concentração dos nutrientes no produto seco ocorrido durante o processo de a secagem. Mata *et al.*, (2005) observam desempenho semelhante com polpa de graviola utilizando também secagem por *spray-dryer*. De acordo com o resultado, expresso em matéria seca, houve uma redução de 72,63 % do teor de ácido ascórbico entre a polpa integral e seu pó atomizado. Comportamento semelhante foi observado em Bezerra *et al.*, (2011) em que polpa de manga em pó, variedade *Tommy Atkins*, obtida por secagem em estufa a vácuo, apresentou redução de ácido ascórbico de 81,33 % em relação a polpa integral.

A coordenada L^* representa a luminosidade, portanto mede a quantidade de luz que é refletida de uma cor (KONICA MINOLTA, 1998). Na análise colorimétrica a coordenada da luminosidade apresentou valores médios de 50,87 e 62,96 para a polpa de manga integral e em pó, respectivamente, demonstrando diferença significativa ($p \leq 0,05$) e um aumento perceptível de 23,8 %, na luminosidade, caracterizando cor mais clara por estar próximo ao branco puro, resultado que pode estar associado à adição de maltodextrina na polpa.

O fato da luminosidade ter aumentado sugere que as condições de secagem foram adequadas, além de indicar uma proteção do agente encapsulante (maltodextrina) aos açúcares presentes na polpa. Produtos ricos em açúcares, como polpas de frutas, podem sofrer escurecimento em altas temperaturas nos processos de secagem, resultando numa redução nos valores de luminosidade.

Em relação à coordenada a^* , que representa a faixa de cor entre o verde ($-a^*$) ao vermelho ($+a^*$), apresentou valor médio de 3,83 e -3,96 para a polpa integral e em pó, respectivamente, havendo diferença significativa entre as amostras ($p \leq 0,05$). A polpa integral, por ter apresentado um valor positivo, tendeu ao vermelho ao contrário da polpa de manga em pó que tendeu ao amarelo.

Ao analisar a intensidade do amarelo (b^*) entre a polpa integral e em pó verificou-se diferença significativa entre as médias, com maior valor na polpa integral, indicando degradação da pigmentação durante a secagem. A polpa em pó apresentou uma redução significativa do amarelo na ordem de 56,4 %. Essa redução pode ter ocorrido devido à presença de reações sensíveis ao calor, envolvendo oxidação de pigmentos presentes, como carotenóides, compostos fenólicos, em função da alta temperatura da secagem, resultando num pó de coloração menos amarelada do que da polpa integral. Outro fator determinante é a presença da

maltodextrina que tem coloração branca e pode ter dissipado os pigmentos que dão cor amarela a polpa.

A manga é considerada uma boa fonte de carotenóides, em especial do β -caroteno (VARAKUMAR *et al.*, 2000), porém, todos são facilmente degradados na presença de luz e por altas temperaturas (UENOJO *et al.*, 2007). O valor médio da polpa integral apresentou 14,12 mg.100g⁻¹ de carotenóides totais, enquanto que para o pó, notou-se uma redução de 79,46%, atingindo um valor médio de 2,90 mg.100g⁻¹. Essa redução ocorreu devido à degradação dos carotenóides diante do calor em decorrência do processo de secagem. Vale ressaltar que durante a extração dos carotenóides da polpa em pó formaram-se aglomerados quando em contato com a acetona (reagente utilizado na execução da análise), dificultando a extração total do pigmento, o que pode ter colaborado para o resultado obtido. Essa aglomeração ocorreu devido à presença de maltodextrina na amostra, que é pouco solúvel em acetona. Esse mesmo comportamento foi relatado por Rocha *et al.*, (2014) ao extrair carotenóides de polpa de manga em pó.

Os açúcares redutores apresentaram-se valores médios de 14,89 % e 23,21 % (em base seca) para a polpa integral e o pó, respectivamente. O aumento relatado na amostra em pó pode ser explicado em função do tratamento térmico e do aumento da acidez, que contribuem para que ocorra a inversão da sacarose. Já, para os açúcares totais, foram obtidos médias de 44,77 % e de 68,63 % para a polpa integral e para polpa de manga em pó, respectivamente, este fato ocorreu porque o açúcar foi concentrado pela perda de umidade durante o processo de secagem.

A higroscopicidade é a capacidade de um determinado produto tem em absorver umidade do ambiente. Segundo a classificação de Gea Niro Research Laboratory (2003) a polpa de manga em pó apresentou um comportamento não higroscópico (<10 %). Esse comportamento justifica-se pela presença de maltodextrina na amostra, que tem como característica a baixa higroscopicidade.

A polpa de manga em pó apresentou alto poder de solubilidade em água, isto pode ter ocorrido devido a presença de açúcares em sua composição, que facilmente se dissolvem em meio aquoso, principalmente a maltodextrina, que foi adicionada durante o processo. Para Schuck, Dolivet e Jeantet (2012) a cinética do processo de hidratação vai depender da composição do pó e da interação de seus componentes com a água, da acessibilidade da água aos componentes do pó e das condições de reidratação.

5.6 Estabilidade físico-química da polpa de manga em pó

5.6.1 Umidade

Na Tabela 11 estão descritos os valores médios de umidade, com os respectivos desvios padrão da polpa de manga em pó durante o armazenamento de 90 dias. A análise estatística dos valores de umidade das amostras armazenadas em embalagem laminada, com e sem vácuo, em função do período de armazenamento não apresentou diferença significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de *Tukey* no 90° dia de armazenamento, conferindo esse tipo de embalagem uma barreira eficiente ao ganho de umidade.

Tabela 11 – Valores médios e desvio padrão da umidade (%) da polpa de manga em pó em diferentes embalagens e atmosfera.

Tempo (dias)	Laminada com Vácuo	Laminada sem Vácuo	Plástica com vácuo	Plástica sem vácuo
0	3,08±0,16 ^{bA}	3,08±0,16 ^{bA}	3,08±0,16 ^{dA}	3,08±0,16 ^{bA}
15	3,97±0,45 ^{aB}	3,87±0,22 ^{abB}	2,95±0,06 ^{dA}	3,41±0,40 ^{bcAB}
30	3,12±0,19 ^{bA}	3,57±0,54 ^{abA}	3,32±0,13 ^{bcdA}	3,24±0,08 ^{bcA}
45	3,20±0,27 ^{bA}	3,53±0,40 ^{abA}	2,99±0,28 ^{dA}	3,20±0,17 ^{bcA}
60	3,48±0,04 ^{abAB}	3,16±0,20 ^{bB}	3,57±0,25 ^{bcAB}	3,86±0,35 ^{acA}
75	4,02±0,18 ^{aA}	4,44±0,51 ^{aA}	3,77±0,12 ^{bcA}	3,87±0,17 ^{acA}
90	2,94±0,15 ^{bA}	4,15±0,52 ^{abB}	4,40±0,22 ^{aB}	4,19±0,24 ^{aB}

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de *Tukey*, a 5% de significância. Fonte: Elaborada pelo autor.

Houve um aumento de 34,7 %, 42,86 %, 36,0 % nas amostras das embalagens laminada sem vácuo, plástica com vácuo e plástica sem vácuo, respectivamente, durante os 90 dias avaliados. O crescimento maior no teor de umidade das embalagens plásticas ocorreu devido à sua composição. Embalagens plásticas compostas por polietileno tem maior taxa de transmissão de vapores d'água do que embalagens laminadas contendo alumínio em sua composição. Embalagens plásticas apresentam menor barreira a vapores de água do que a embalagens laminadas. No último dia de avaliação não houve diferença significativa entre as embalagens laminada sem vácuo e a embalagem plástica com e sem vácuo.

A permeabilidade das embalagens varia conforme a temperatura. De acordo com o tempo e as condições de umidade relativa e a temperatura do ambiente, ocorre à absorção de água para o produto, sendo esta acentuada em temperaturas mais elevadas (ENDO *et al.*, 2007)

Resultado com o mesmo comportamento foi observado por Loureiro *et al.*, (2013) que verificaram tendência de acréscimo da umidade da polpa de buriti microencapsulado em *spray-dryer* com o tempo de armazenamento. Comportamento divergente ao dessa pesquisa foi

relatado por Costa *et al.*, (2013) quando estudaram armazenamento da polpa de maracujá em pó em temperatura ambiente por 360 dias em embalagem plástica e observaram que não houve diferença significativa ($p < 0,05$).

Entre os ensaios avaliados neste trabalho, durante os 90 dias de armazenamento, todas as embalagens apresentaram níveis aceitáveis de teor de umidade nas amostras, proporcionando preservação da amostra.

5.6.2 Atividade de água

Com os valores apresentados na Tabela 12 verifica-se que a atividade de água (a_w) tem o mesmo comportamento que o teor de umidade. Quanto maior o tempo de armazenamento maior a atividade de água. Ao avaliar a a_w no nonagésimo dia observa um aumento de 11,0 %, 20,3 % e 20,3 % nas embalagens laminada sem vácuo, plástica com vácuo e plástica sem vácuo respectivamente.

Tabela 12 – Valores médios e desvio padrão da atividade de água da polpa de manga em pó em diferentes embalagens e atmosfera.

Tempo (dias)	Laminada com Vácuo	Laminada Sem Vácuo	Plástica com vácuo	Plástica sem vácuo
0	0,3232 \pm 0,0036 ^{abA}	0,3232 \pm 0,0036 ^{dA}	0,3232 \pm 0,0036 ^{aA}	0,3232 \pm 0,0036 ^{bA}
15	0,4312 \pm 0,0468 ^{cA}	0,4070 \pm 0,0006 ^{aA}	0,4149 \pm 0,0187 ^{bA}	0,3967 \pm 0,0032 ^{dA}
30	0,3804 \pm 0,0061 ^{acdB}	0,3788 \pm 0,0012 ^{eB}	0,4031 \pm 0,0038 ^{bA}	0,3969 \pm 0,0033 ^{dA}
45	0,4015 \pm 0,0197 ^{cdA}	0,3879 \pm 0,0008 ^{eAB}	0,3699 \pm 0,0248 ^{abAB}	0,3592 \pm 0,0016 ^{aB}
60	0,3615 \pm 0,0024 ^{abdA}	0,3432 \pm 0,0110 ^{cB}	0,3819 \pm 0,0041 ^{bC}	0,3962 \pm 0,0026 ^{cdC}
75	0,3869 \pm 0,0099 ^{cdA}	0,3896 \pm 0,0026 ^{eA}	0,3972 \pm 0,0432 ^{bA}	0,3859 \pm 0,0078 ^{cA}
90	0,3086 \pm 0,0256 ^{bA}	0,3588 \pm 0,0016 ^{bB}	0,3887 \pm 0,0011 ^{bB}	0,3889 \pm 0,0004 ^{cdB}

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Fonte: Elaborada pelo autor.

Não foi detectado diferença significativa, no último dia de avaliação, entre as embalagens laminada sem vácuo e a embalagem plástica com e sem vácuo. A atividade de água está relacionada com a umidade. Oliveira *et al.*, (2015) observaram aumento na umidade e na atividade de água em polpa do fruto do mandacaru em pó formulado com 10 % de maltodextrina durante os 50 dias de armazenamento.

Verifica-se, entre os resultados obtidos, que após os 90 dias de armazenamento, nenhuma amostra ultrapassou o valor de 0,38 para a_w , o que classifica o produto como estável e seguro de acordo com Damodaran *et al.*, (2010). Quanto menor a atividade de água menor é a velocidade de crescimento dos microrganismos, chegando até sofrer paralisação completa em

atividades de água menor que 0,60 (MELO FILHO e VASCONCELOS; 2011). Apesar do aumento da umidade e atividade de água nas amostras, as mesmas apresentaram característica estável para a conservação de alimentos em 90 dias de avaliação.

5.6.3 Teor de sólidos solúveis totais

Avaliando os resultados de sólidos solúveis das amostras avaliadas (Tabela 13), observou-se redução conforme o tempo de armazenamento, porém não diferiram entre si a um nível de 95 % de confiança ($p < 0,05$). De acordo com o aumento do teor de umidade e da atividade de água houve uma diminuição no teor de sólidos solúveis. O teor de sólidos solúveis é inversamente proporcional ao aumento de água na amostra, já que com o aumento da umidade a proporção de sólidos diminui.

Tabela 13 – Valores médios e desvio padrão do teor de sólidos solúveis (°Brix) da polpa de manga em pó em diferentes embalagens e atmosfera.

Tempo (dias)	Laminada com vácuo	Laminada sem vácuo	Plástica com vácuo	Plástica sem vácuo
0	81,7 \pm 4,7 ^{aA}	81,7 \pm 4,7 ^{aA}	81,7 \pm 4,7 ^{abA}	81,7 \pm 4,7 ^{aA}
15	81,0 \pm 1,0 ^{aA}	79,3 \pm 3,1 ^{aA}	79,0 \pm 1,0 ^{bA}	79,7 \pm 1,5 ^{aA}
30	83,7 \pm 0,7 ^{aA}	79,3 \pm 0,6 ^{aB}	78,7 \pm 0,6 ^{bB}	82,0 \pm 0,0 ^{aA}
45	80,3 \pm 0,6 ^{aD}	82,0 \pm 0,0 ^{aC}	86,0 \pm 0,0 ^{aA}	84,3 \pm 0,6 ^{aB}
60	80,0 \pm 0,0 ^{aB}	83,3 \pm 0,6 ^{aA}	82,0 \pm 0,0 ^{abC}	82,0 \pm 0,0 ^{aA}
75	80,3 \pm 0,6 ^{aB}	79,0 \pm 0,0 ^{aB}	82,0 \pm 1,0 ^{abA}	80,0 \pm 0,0 ^{aB}
90	78,3 \pm 1,2 ^{aA}	79,0 \pm 0,0 ^{aA}	79,0 \pm 0,6 ^{bA}	80,0 \pm 0,0 ^{aA}

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Fonte: Elaborada pelo autor.

A variação encontrada neste estudo pode estar relacionada com a decomposição de ácidos orgânicos presentes na polpa em pó, além do aumento do teor de água nas amostras.

Moura (2010) observou que após 360 dias de armazenamento houve uma redução de sólidos solúveis em amostras de polpa de acerola orgânica em pó apesar de não aumentar o teor de água nas amostras. Costa *et al.*, (2013) verificaram comportamento estável durante o período de estudo (360 dias) com valores médios de 89,3 % em polpa de maracujá orgânico em pó obtido por processo de *spray-dryer*, porém obteve aumento na atividade de água e na umidade.

Entre as embalagens laminada com e sem vácuo e plástica com e sem vácuo não ocorreu diferença significativa no nonagésimo dia de avaliação. Apesar de não haver diferença significativa entre as embalagens houve uma diminuição de 4,2 %, 3,3 %, 3,3 %, e 2,1 % nas

amostras das embalagens laminada sem vácuo, plástica com vácuo e plástica sem vácuo, respectivamente, durante os 90 dias avaliados.

5.6.4 pH

Na Tabela 14 estão descritos os valores médios do pH em função do tempo e das condições de armazenamento. Observou-se uma redução em todos os ensaios avaliados ao final do 90º dia de avaliação. Em relação ao início do experimento e o 90º dia, houve diferença significativa apenas na embalagem laminada com vácuo a um nível de 95 % de confiança. Observou-se que houve diferença significativa entre o tipo de material das embalagens, plástica e laminada no último dia de avaliação, porém a aplicação ou não do vácuo não apresentou efeito significativo em suas respectivas embalagens.

Tabela 14 – Valores médios e desvio padrão do pH da polpa de manga em pó em diferentes embalagens e atmosfera.

Tempo (dias)	Laminada com vácuo	Laminada sem vácuo	Plástica com vácuo	Plástica sem vácuo
0	4,54±0,06 ^{aA}	4,54±0,06 ^{abA}	4,54±0,06 ^{ba}	4,54±0,06 ^{dA}
15	4,79±0,08 ^{eAB}	5,03±0,39 ^{cA}	4,46±0,01 ^{bB}	4,52±0,02 ^{dAB}
30	4,69±0,02 ^{eC}	4,71±0,01 ^{abcC}	4,90±0,01 ^{aB}	4,93±0,01 ^{aA}
45	4,91±0,02 ^{dC}	4,91±0,02 ^{bcC}	4,04±0,03 ^{cB}	4,45±0,02 ^{dA}
60	4,94±0,01 ^{dC}	4,91±0,01 ^{bcC}	4,00±0,06 ^{cB}	4,30±0,08 ^{bA}
75	4,10±0,02 ^{cB}	5,08±0,01 ^{cA}	3,96±0,01 ^{cC}	3,96±0,00 ^{cC}
90	4,33±0,02 ^{bB}	4,33±0,01 ^{aB}	4,49±0,01 ^{bA}	4,48±0,01 ^{dA}

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Fonte: Elaborada pelo autor.

A medida de pH de um alimento é de grande importância tanto do ponto de vista microbiológico quanto químico, uma abordagem microbiológica os divide em duas categorias: alimentos com valores de pH inferiores ou superiores a 4,5 (GOMES *et al.*, 2011). Alimentos com pH inferiores a 4,5 são considerados alimentos ácidos, associados a baixa umidade e atividade de água, indicando um produto microbiologicamente estável. Em todos os ensaios, ao final do período do estudo da estabilidade, o pH apresentou abaixo de 4,5, podendo ser considerado um alimento seguro em todas as amostras avaliadas.

5.6.5 Acidez titulável total

Na Tabela 15 estão apresentados os valores médios dos resultados das análises de acidez total titulável (%) durante o período de 90 dias. Em ambas embalagens (laminada e plástica) e atmosferas (com e sem vácuo) a acidez total titulável não apresentou diferença significativa ao final dos 90 dias a um nível de 95 % de confiança, porém ao comparar o dia 0 com o 90º dia é observado uma redução em todos os ensaios ao final desse período. Tais fatos demonstram que as embalagens e a atmosfera não apresentaram interferência significativa na conservação da polpa de manga em pó após 90 dias de armazenamento.

Tabela 15 – Valores médios e desvio padrão da acidez total titulável (%) da polpa de manga em pó em diferentes embalagens e atmosfera.

Tempo (dias)	Laminada com vácuo	Laminada sem vácuo	Plástica com vácuo	Plástica sem vácuo
0	0,47±0,03 ^{aA}	0,47±0,03 ^{aA}	0,47±0,03 ^{aA}	0,47±0,03 ^{bA}
15	0,40±0,01 ^{bcA}	0,39±0,01 ^{bcA}	0,35±0,04 ^{baA}	0,40±0,03 ^{bcA}
30	0,38±0,00 ^{bcA}	0,36±0,01 ^{caA}	0,40±0,0 ^{abA}	0,38±0,00 ^{caA}
45	0,37±0,02 ^{caA}	0,37±0,01 ^{caA}	0,36±0,01 ^{baA}	0,40±0,02 ^{bcA}
60	0,37±0,04 ^{caB}	0,37±0,02 ^{caB}	0,34±0,02 ^{baB}	0,28±0,02 ^{caA}
75	0,44±0,00 ^{abA}	0,39±0,02 ^{bcA}	0,39±0,02 ^{baA}	0,41±0,03 ^{bcA}
90	0,44±0,02 ^{abA}	0,43±0,02 ^{abA}	0,40±0,02 ^{abA}	0,41±0,03 ^{bcA}

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Fonte: Elaborada pelo autor.

5.6.6 Ácido ascórbico

Na Tabela 16 estão descritos os valores médios do teor de ácido ascórbico com o tempo de armazenamento nas respectivas embalagens e atmosferas. Ao longo do período de estudo da estabilidade foram observadas oscilações, porém, em todos os ensaios houve redução significativa no 90º dia de avaliação em relação ao tempo inicial. Observa-se uma redução de 44,26 %, 40,54 %, 29,47 % e 25,71 % (mg de ácido ascórbico / 100g) nas amostras das embalagens laminada com vácuo, laminada sem vácuo, plástica com vácuo e plástica sem vácuo, respectivamente, durante os 90 dias avaliados. Comportamento que divergiu dos resultados de Rocha *et al.*, (2014) que verificaram que este parâmetro diminui com o aumento do tempo, atingindo um percentual de redução em torno de 63,48 % para a embalagem laminada e 67,82 % para a embalagem transparente ao final dos 180 dias em relação ao início (Tempo 0) para polpa de manga em pó.

Tabela 16 – Valores médios e desvio padrão do teor de vitamina C (mg/100g) da polpa de manga em pó em diferentes embalagens e atmosfera.

Tempo (dias)	Laminada com vácuo	Laminada sem vácuo	Plástica com vácuo	Plástica sem vácuo
0	43,09±5,03 ^{aA}	43,09±5,03 ^{bA}	43,09±5,03 ^{bcA}	43,09±5,03 ^{cA}
15	44,72±10,50 ^{aA}	44,69±1,58 ^{aA}	44,54±5,3 ^{cA}	47,51±0,45 ^{cA}
30	36,47±10,27 ^{abcA}	34,83±2,38 ^{bdA}	43,23±4,78 ^{bcA}	44,71±5,54 ^{cA}
45	19,48±0,13 ^{cB}	16,03±5,80 ^{cB}	32,12±5,54 ^{abA}	17,83±2,85 ^{bB}
60	33,73±5,28 ^{abcB}	30,16±3,39 ^{dB}	45,17±2,07 ^{cA}	50,33±2,12 ^{cA}
75	38,98±4,88 ^{abAB}	30,97±2,84 ^{dA}	40,73±2,83 ^{abcB}	45,65±2,82 ^{cB}
90	24,02±0,01 ^{bcC}	25,62±2,78 ^{cdBC}	30,39±2,77 ^{aAB}	32,01±2,78 ^{aA}

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Fonte: Elaborada pelo autor.

5.6.7 Cor

5.6.7.1 Coordenada L*

Na Tabela 17 estão apresentados os valores médios dos resultados das análises de luminosidade (L*) durante o período de 90 dias. Observou-se que houve um ligeiro aumento, do parâmetro avaliado nas embalagens laminadas com vácuo e plástica sem vácuo, apesar de não diferirem estatisticamente ($p < 0,05$).

Tabela 17 – Valores médios e desvio padrão da coordenada L* da polpa de manga em pó em diferentes embalagens e atmosfera.

Tempo (dias)	Laminada com vácuo	Laminada sem vácuo	Plástica com vácuo	Plástica sem vácuo
0	62,90±2,22 ^{aA}	62,90±2,22 ^{abA}	62,69±2,22 ^{aA}	62,96±2,22 ^{aA}
15	62,69±0,00 ^{aA}	63,00±0,00 ^{abA}	62,00±0,01 ^{aA}	61,59±0,00 ^{aA}
30	62,36±1,85 ^{ab}	61,68±0,08 ^{bB}	61,17±1,48 ^{aA}	62,47±0,66 ^{aA}
45	61,09±0,17 ^{aA}	62,12±0,22 ^{bAB}	62,71±0,18 ^{aAB}	63,77±0,13 ^{ab}
60	63,73±0,10 ^{aA}	64,63±0,22 ^{ab}	62,08±0,12 ^{aC}	62,52±0,44 ^{aC}
75	62,69±0,40 ^{aA}	62,86±0,17 ^{abA}	62,74±0,03 ^{aA}	63,00±0,10 ^{aA}
90	62,92±0,15 ^{aA}	62,53±0,06 ^{abA}	62,61±0,17 ^{aA}	63,25±0,06 ^{aA}

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Fonte: Elaborada pelo autor.

Na embalagem laminada sem vácuo e plástica com vácuo houve diminuição na luminosidade durante a armazenagem, porém no nonagésimo dia não houve diferença significativa em relação ao dia inicial. Pode-se afirmar que não houve escurecimento enzimático ou não enzimático da polpa de manga em pó durante os 90 dias de armazenamento.

Moura (2010) observou que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) no decorrer do armazenamento de 360 dias em polpa de acerola em pó em sacos aluminizados. Oliveira *et al.*, (2015) relataram que a polpa do fruto de mandacaru em pó, com 10 % de maltodextrina, indicou escurecimento em razão da diminuição de L^* ao longo do tempo de armazenamento em embalagens laminadas flexíveis compostas de uma camada de PET cristal (12 μm), uma camada de PET metal (12 μm) e uma camada de PEBD cristal (50 μm). Lisboa e colaboradores (2012) observaram que não houve mudança significativa na coordenada L em polpa de figo-da-índia em pó durante 100 dias armazenamento em embalagens laminadas elaboradas em filme composto de plástico, alumínio, papel e outro filme plástico a 25 °C. Portanto a polpa de manga em pó ofereceu elevada luminosidade durante o período de armazenagem.

5.6.7.2 Coordenada a^*

Na Tabela 18 estão apresentados os valores médios dos resultados do monitoramento da coordenada a^* . A intensidade da coordenada a^* diminuiu com o aumento do tempo de armazenamento em todas as embalagens. De acordo com o tempo as amostras tenderam do verde para o vermelho, apesar de continuarem com valores negativos.

O menor aumento foi apresentado na amostra da embalagem laminada com vácuo 13,1% e entre as outras embalagens não houve diferença significativas no 90° dia. Costa *et al.*, (2013) verificaram que não houve diferença significativa na amostra de polpa de maracujá orgânica em pó na coordenada a^* durante 360 dias de armazenamento em embalagem laminada. Moura (2010) observou diferença significativa em acerola orgânica em pó durante 360 dias embalados em sacos laminados. Lisboa *et al.*, (2012) verificaram aumento significativo na mesma coordenada com o passar do tempo em figo-da-Índia em pó armazenados em embalagem laminada durante 100 dias.

Tabela 18 – Valores médios e desvio padrão da coordenada a^* da polpa de manga em pó em diferentes embalagens e atmosfera.

Tempo (dias)	Laminada com vácuo	Laminada sem vácuo	Plástica com vácuo	Plástica sem vácuo
0	-3,96±0,14 ^{AA}	-3,96±0,14 ^{BA}	-3,96±0,14 ^{AA}	-3,96±0,14 ^{BA}
15	-3,65±0,01 ^{CD}	-3,52±0,01 ^{AD}	-3,36±0,00 ^{deA}	-3,38±0,00 ^{dB}
30	-3,28±0,03 ^{bdA}	-3,12±0,02 ^{CA}	-3,11±0,19 ^{bcdA}	-3,26±0,06 ^{dA}
45	-3,20±0,01 ^{dB}	-3,13±0,03 ^{CA}	-3,31±0,02 ^{cdeC}	-3,57±0,02 ^{AD}
60	-3,74±0,04 ^{CB}	-3,53±0,02 ^{AA}	-3,04±0,02 ^{BC}	-3,03±0,01 ^{CC}
75	-3,24±0,05 ^{DC}	-3,95±0,02 ^{BB}	-3,40±0,01 ^{EA}	-3,30±0,01 ^{DC}
90	-3,44±0,04 ^{BA}	-3,05±0,04 ^{CB}	-3,07±0,01 ^{bcB}	-3,10±0,04 ^{CB}

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Fonte: Elaborada pelo autor.

5.6.7.3 Coordenada b*

Os valores médios para coordenada b* da polpa de manga em pó seguidas dos desvios padrão estão demonstrados pela Tabela 19. Na coordenada b*, que representa a faixa de cor entre o azul e o amarelo, houve uma diminuição dos valores que tendem a cor amarela em todas as amostras apresentadas. Isso demonstra que houve degradação da cor amarelo tanto na presença como na ausência de oxigênio. Houve uma diminuição de 11,85 %, 17,78 %, 14,03 % e 18,97 % nas amostras das embalagens laminada sem vácuo, plástica com vácuo e plástica sem vácuo, respectivamente, durante os 90 dias avaliados.

Tabela 19 – Valores médios e desvio padrão da coordenada b* da polpa de manga em pó em diferentes embalagens e atmosfera.

Tempo (dias)	Laminada com vácuo	Laminada sem vácuo	Plástica com vácuo	Plástica sem vácuo
0	18,28±0,48 ^{bA}	18,28±0,48 ^{aA}	18,28±0,48 ^{aA}	18,28±0,48 ^{aA}
15	18,66±0,01 ^{bA}	18,09±0,01 ^{aB}	16,33±0,01 ^{cC}	15,92±0,01 ^{cD}
30	15,93±0,48 ^{cdA}	15,65±0,14 ^{bcA}	15,15±1,41 ^{bcA}	16,01±0,41 ^{cA}
45	15,55±0,22 ^{dA}	14,98±0,21 ^{cdB}	16,47±0,07 ^{cC}	16,10±0,17 ^{cC}
60	16,42±0,26 ^{cA}	14,60±0,13 ^{dB}	14,33±0,11 ^{bB}	14,13±0,19 ^{bB}
75	17,39±0,24 ^{aA}	15,89±0,33 ^{bB}	16,10±0,12 ^{cB}	16,33±0,49 ^{cB}
90	16,12±0,20 ^{cdA}	15,03±0,20 ^{cdB}	15,71±0,15 ^{bcA}	14,81±0,14 ^{bB}

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Fonte: Elaborada pelo autor.

Ao final do período de armazenamento houve diferença significativa nas embalagens a vácuo, o mesmo ocorreu nas embalagens sem vácuo. Alexandre *et al.*, (2014) revelaram em seu trabalho que a pitanga em pó apresentou o mesmo comportamento deste trabalho, onde a coordenada b* sofreu um decréscimo significativo durante os 60 dias de armazenamento em embalagem flexível multifoliada (PET/PP).

Oliveira *et al.*, (2015) observaram aumento da coordenada b* durante 50 dias de armazenamento para amostras de mandacaru em pó com 10 % de maltodextrina em embalagem laminadas flexíveis (compostas de uma camada de PET cristal (12 µm), uma camada de PET metal (12 µm) e uma camada de PEBD cristal (50 µm)), resultado contrário ao apresentado por este.

5.6.8 Solubilidade

Na Tabela 20 estão descritos os dados da estabilidade da solubilidade com o tempo de armazenamento nas respectivas embalagens e atmosferas. Ao observar os dados da Tabela 20 verificou-se que os pós apresentaram comportamento de alta solubilidade durante o armazenamento e diminuição na solubilidade em todos os ensaios analisados. Porém no nonagésimo dia verificou-se que não houve diferença significativa nas embalagens analisadas ao compará-las com o primeiro dia de avaliação. Observou-se um decréscimo maior na embalagem plástica com vácuo (4,1 %), seguida da laminada sem vácuo (2,6 %), laminada com vácuo (1,9 %) e plástica sem vácuo (1,1 %). Não houve diferença significativa entre as embalagens no último dia de avaliação. Goula e Adamapolus (2005) atribuem a diminuição da solubilidade ao ganho de umidade do material.

Tabela 20 – Valores médios e desvio padrão do teor de Solubilidade (%) da polpa de manga em pó em diferentes embalagens e atmosfera.

Tempo (dias)	Laminada com vácuo	Laminada sem vácuo	Plástica com vácuo	Plástica sem vácuo
0	98,59±0,88 ^{aA}	98,59±0,88 ^{aA}	98,59±0,88 ^{aA}	98,59±0,88 ^{aA}
15	95,90±2,03 ^{abA}	97,32±1,92 ^{abA}	96,04±2,62 ^{aA}	97,70±0,92 ^{abA}
30	94,08±1,37 ^{bA}	95,29±1,19 ^{bA}	94,29±0,72 ^{aA}	94,88±0,64 ^{bA}
45	94,77±0,32 ^{abC}	96,51±1,12 ^{abB}	98,58±0,14 ^{aA}	95,03±0,45 ^{bBC}
60	93,03±2,42 ^{bA}	97,62±0,00 ^{abB}	96,37±0,20 ^{abB}	94,89±0,15 ^{bAB}
75	96,58±0,00 ^{abB}	96,58±0,00 ^{abB}	96,58±0,00 ^{abB}	96,58±0,10 ^{abA}
90	96,76±0,64 ^{abA}	96,02±0,79 ^{abA}	94,60±5,85 ^{aA}	97,52±2,45 ^{abA}

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Fonte: Elaborada pelo autor.

A solubilidade está relacionada à interação entre as substâncias químicas e trata-se de um termo quantitativo para expressar a solubilização de um soluto no solvente (MARTINS, LOPES E ANDRADE, 2013). A solubilidade é um parâmetro utilizado para avaliar o comportamento do pó em solução aquosa e verifica a capacidade do pó para manter-se em mistura homogênea com a água (CRUZ, 2013; VISSOTO *et al.*, 2006).

Sousa *et al.* (2016) observaram comportamento semelhante na solubilidade em suco de caju em pó com 12 % de maltodextrina, apresentando valores superiores a 90 % de solubilidade e diminuição de acordo com o tempo de armazenamento. Carneiro (2011) observou redução de 93 a 79 % na solubilidade em pó de açaí orgânico durante os 270 dias de armazenamento. O mesmo ocorreu com Costa *et al.*, (2013), com maracujá em pó, onde houve

um decréscimo das médias até o último dia de armazenamento (360 dias), com alteração de 81,61 para 75,79 %.

5.6.9 Higroscopicidade

A Tabela 21 apresenta os valores médios da higroscopicidade da polpa de manga em pó. Houve uma redução na higroscopicidade em função das embalagens e atmosferas utilizadas. Essa redução variou 43,0 %, 57,7 %, 59,8 % e 59,1 % ao final do tempo da avaliação para a embalagem laminada com vácuo, laminada sem vácuo, plástica com vácuo e plástica sem vácuo, respectivamente.

Tabela 21 – Valores médios e desvio padrão do teor de Higroscopicidade (%) da polpa de manga em pó em diferentes embalagens e atmosfera.

Tempo (dias)	Laminada com vácuo	Laminada sem vácuo	Plástica com vácuo	Plástica sem vácuo
0	4,77±0,57 ^{aA}	4,77±0,57 ^{bcA}	4,77±0,57 ^{aA}	4,77±0,57 ^{aA}
15	2,98±0,29 ^{cA}	4,19±0,07 ^{bcB}	4,70±0,43 ^{abB}	4,28±0,67 ^{abB}
30	2,01±0,15 ^{dB}	5,39±0,13 ^{bA}	2,63±0,27 ^{cdC}	2,65±0,13 ^{cC}
45	2,55±0,25 ^{cdC}	2,57±0,13 ^{dC}	3,61±0,25 ^{bcB}	4,13±0,09 ^{abA}
60	1,80±0,04 ^{bdA}	2,03±0,16 ^{dA}	1,98±0,32 ^{dA}	2,62±0,64 ^{cA}
75	1,04±0,23 ^{bc}	1,18±0,01 ^{aC}	2,46±0,19 ^{dB}	3,07±0,18 ^{bcA}
90	2,72±0,53 ^{cdA}	2,02±0,23 ^{dA}	1,92±0,34 ^{dA}	1,95±0,38 ^{cA}

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Fonte: Elaborada pelo autor.

A higroscopicidade variou significativamente em todas as embalagens no final do último dia de avaliação comparando com o dia inicial. Verificou-se que as embalagens no nonagésimo dia não diferiram estatisticamente entre si. O uso do vácuo não revelou efeito negativo sobre a higroscopicidade das amostras avaliadas.

Sousa *et al.*, (2016) observaram redução de apenas 6,1 % na higroscopicidade em suco de caju em pó em embalagem laminada no período de 90 dias. Severo (2016), também após 90 dias, verificou em polpa de banana em pó redução de 3,8 % para embalagem laminada e 29,9 % em embalagem plástica. Costa *et al.*, (2013) observaram que o aumento da umidade não afetou, significativamente, as médias de higroscopicidade em maracujá em pó.

As amostras avaliadas, em ambas as embalagens, apresentaram valores para higroscopicidade menores do que 10%, com isso as mesmas podem ser classificadas como pós não higroscópicos de acordo com os padrões estabelecidos por GEA Niro Research Laboratory (2016).

Os pós com umidades menores têm maior facilidade em adsorver água, ou seja, é mais higroscópico, o que está relacionado ao maior gradiente de concentração de água existente entre o produto e o ambiente (TONON *et al.*, 2009; SEVERO, 2016). Isso pode ser observado na amostra da embalagem laminada com vácuo, cujo pó obteve maior higroscopicidade ao final da avaliação, visto que possuía uma menor umidade diante das outras embalagens.

6 CONCLUSÃO

Foi possível obter polpa de manga em pó pelo processo de secagem em *spray-dryer* com uso da maltodextrina como adjuvante de secagem.

A presença da maltodextrina na polpa de manga durante o processo de secagem resultou em um pó com partículas com formato mais definido e menores.

A amostra com 30 % de maltodextrina apresentou maior fluidez entre as amostras avaliadas, porém apresentou comportamento coesivo. A amostra com 20 % de maltodextrina apresentou maior ângulo de atrito de parede.

O modelo matemático de GAB foi o que descreveu com maior precisão as isotermas de sorção para a polpa de manga em pó.

As curvas obtidas para as temperaturas de estudo apresentaram uma isoterma do tipo III, segundo a classificação de Brunauer *et al.*, (1938).

A maltodextrina mostrou-se tecnologicamente viável na obtenção de polpa de manga em pó proporcionando incremento no rendimento além de conferir proteção contra a degradação do ácido ascórbico.

A polpa de manga em pó com 30 % de maltodextrina apresentou comportamento não higroscópico e com alto poder de solubilidade em água.

Foi possível considerar que a polpa de manga em pó apresentou características físicas e físico-químicas estáveis durante 90 dias de armazenamento em embalagens laminadas e de polietileno.

REFERÊNCIAS

- ABREU, G. M. Posicionamento de marca no mercado de sucos e néctares: uma análise do caso “do bem”. **Augustus**, v. 18, n. 35, p. 74-89, 2013.
- AGUERRE, R. J., SUAREZ, C., VIOLLAZ, P.E. Enthalpy-entropy compensation in sorption phenomena: Application to the prediction of the effect of temperature on food isotherms. *Journal of Food Science*, v. 51, n. 6, p. 1547-1549, 1986.
- AGUILERA, J. M; DEL VALLE, J. M; KAREL, M. *Caking* phenomena in amorphous food powders. **Trends in Food Science & Technology**, v. 6, n. 5, p. 149-155, 1995.
- ALEXANDRE, H. V. *et al.* Armazenamento de pitanga em pó. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 1, p. 83-91, 2014.
- ALCÂNTARA, S. R.; ALMEIDA, F. de A. C.; SILVA, F. L. H. da; GOMES, J. P. Isotermas de adsorção do pedúnculo seco do caju. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.81-87, 2009.
- ALMEIDA, O.; CALÇADA, L. A.; MASSARANI, G. Análise de um sistema para levantamento de Isotermas de secagem. **Revista Universidade Rural, Série Ciências Exatas da Terra**. Rio de Janeiro, v. 21, n. 1, p. 49-53, 2002.
- AMORÓS, J. L.; MALLOL, G.; SÁNCHEZ, E.; GARCÍA, J. Projeto de silos para o armazenamento de materiais na forma de pó. Problema associados à etapa de descarga. **Cerâmica Industrial**, n. 7, p. 1, 2002.
- BASU, SANTANU; SHIVHARE, U. S.; MUJUMDAR, A. S. Models for sorption isotherms for foods: a review. **Drying technology**, v. 24, n. 8, p. 917-930, 2006.
- ANSELMO, G. C. S.; MATA, M. E. R. M. C.; ARRUDA, P. C.; SOUSA M. C. Determinação da Higroscopicidade do Cajá em Pó por Meio da Secagem por Atomização. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, vol. 6, n° 2, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, pp. 58-65. 2006.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA 2015**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta, 2015. 127 p.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA 2013**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta, 2013. 136 p.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA 2012**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta, 2012. 138 p.
- ARRAZOLA, G.; HERAZO, I.; ALVIS, A. Microencapsulación de Antocianinas de Berenjena (*Solanum melongena* L.) mediante Secado por Aspersión y Evaluación de la Estabilidad de su Color y Capacidad Antioxidante. **Información tecnológica**, v. 25, n. 3, p. 31-42, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM. **Consumo de Sucos Prontos Cresce 12,5 % em um Ano**, São Paulo, SP, Brasil, Mar. 2014. Disponível em: <http://www.abre.org.br/noticias/consumo-de-sucos-prontos-cresce-125-em-um-ano/> Acessado em: 22 de novembro de 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGENS – ABRE. 2014. disponível em <<http://www.abre.org.br/noticias/consumo-de-sucos-prontos-cresce-125-em-um-ano/>> Acesso em: 10 de nov. de 2014

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 16^o. ed. Maryland: AOAC, 1997.

AUGUSTA, I. M.; RESENDE J. M.; BORGES, S. V.; GIMENES, M. A. P.; MAIA M. C. A. Quantificação da Cor e de Antocianinas Monoméricas no Pó da Casca de Jambo Vermelho (*Syzygium malaccense*) Obtido por Spray Drier. **Higiene Alimentar**, v. 25, p. 488-489, 2011.

AULTON M. E. *Pharmaceutics: The Science of Dosage Form Design*. 2 ed. **Edinburg: Churchill Livingstone**, p. 388-390. 2002

AZEREDO, H. M. C.; BRITO, E. S.; GARRUTI, D. S. **Alterações químicas em alimentos durante a estocagem**. In: AZEREDO (Ed.) *Fundamentos da Estabilidade de alimentos*. Brasília: Embrapa. 2012. p. 15-38.

BARROZO, M. A. S. **Transferência de Calor e Massa entre o Ar e Sementes de Soja em Leito Deslizante e Escoamentos Cruzados**. 1998. p.163. Dissertação de Doutorado, PPG-EQ/UFSCar, São Carlos, SP.

BENINK, E.J. **Flow and stress analysis of cohesioless bulk materials in silos related to codes**. 162p. Thesis Universiteit Tweste, Netherlands, 1989.

BERY, C. C. S.; VIEIRA, A. C. A.; GUALBERTO, N. C.; CASTRO, S. S.; SILVA, G. F.; SANTOS, E. D. A.; SANTOS, B. S. Caracterização físico-química de polpa de acerola *in natura* e liofilizada para preparação de sorvetes. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 2, p. 3542-3546, 2015.

BETIOL, Lilian Fachin Leonardo. **Estudo das isotermas de adsorção do bagaço de mandioca proveniente da indústria de fécula**. 2016.

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

BHANDARI, B. R.; DATTA, N.; HOWES, T. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. **Drying Technology**, v. 15, n. 2, p. 671–684, 1997.

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

BLAHOVEC, Jiří; YANNIOTIS, Stavros. Modified classification of sorption isotherms. **Journal of Food Engineering**, v. 91, n. 1, p. 72-77, 2009.

BORGES, S. V. **Análise higroscópica e microestrutural de flocos de frutas desidratadas**. 1988. 151p. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 272, de 22 de setembro de 2005, que dispõe sobre o Regulamento Técnico para produtos de vegetais, produtos de frutas e cogumelos comestíveis, **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2005.

BRASIL. Instrução Normativa nº 12, de 4 de setembro 1. de 2003. Aprova o regulamento técnico para fixação dos padrões de identidade e qualidade gerais para suco tropical, e os padrões de identidade e qualidade para néctares. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 4 set. 2003. Seção 1, p. 2.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto nº. 3.510, de 16 de junho de 2000. Altera dispositivos do Regulamento aprovado pelo Decreto nº. 2.314, de 4 de setembro de 1997, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Disponível em: <<http://e-legis.bvs.br/leisref/public/showAct.php>>. Acesso em: 31 de Setembro de 2015.

BROADHEAD, J.; EDMOND, R. S. K.; RHODES, C. T. The spray drying of pharmaceuticals. **Drug Dev Ind Pharm** 18: 1169-1206. 1992.

BROUDIN, M.; LE SAUX, V.; LE GAC, P. Y.; CHAMPY, C.; ROBERT, G.; CHARRIER, P.; MARCO, Y. Moisture sorption in polyamide 6.6: Experimental investigation and comparison to four physical-based models. **Polymer Testing**, v. 43, p. 10-20, 2015.

BRUNAUER, S.; EMMETT, P. H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. **Journal of the American chemical society**, v. 60, n. 2, p. 309-319, 1938.

BUCHI LABORTECHNIK AG. **Training papers** – Spray drying, 2002. Disponível em: http://www.buchi.com/Spray-Drying.69.0.html?&no_cache=1&file=308&uid=2283. Acesso: 17 de janeiro de 2017.

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.

CAL, K. f; SOLLOHUB, K. Spray drying technique. I: Hardware and process parameters. **Journal of pharmaceutical sciences**, v. 99, n. 2, p. 575-586, 2010.

CAMARGO FILHO, W. P.; ALVES, H. S.; MAZZEI, A. R. Mercado de manga no Brasil: contexto mundial, variedades e estacionalidade. **Informações econômicas**. São Paulo – SP, v. 34, n. 5, maio 2004.

CAMPOS, M. M. **Análise da Escoabilidade de Pós**. Dissertação Mestrado em Eng. Química, UFSCar, 2012.

CANAL RURAL. **Produção de sucos soma 38,9 bilhões de litros em 2014**. <http://www.canalrural.com.br/noticias/citrus/producao-sucos-soma-389-bilhoes-litros-2014-55968>. Abril de 2015. (Acesso em agosto de 2015).

CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, J. Effect the carriers on the microstructure of mango powder spray drying and its functional characterization. *Inn. Food Sci. & Eme. Tech.*, v. 6, n. 4, p. 420-428, 2005.

CAO, X. Q. *et al.* Spray-drying of ceramics for plasma-spray coating. *Journal of the European Ceramic Society*, v. 20, n. 14, p. 2433-2439, 2000.

CARLOS, L. A.; RESENDE, J. V.; CAL-VIDAL, J. Redução da higroscopicidade de pós liofilizados pela indução da cristalização em soluções-modelo de açúcares constituintes de frutas. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 8, n. 2, p. 163-173, 2005.

CARNEIRO, A. P. G.; SILVA, L. M. R. da; FIGUEIREDO, R. W. de; SOUSA, P. H. M. de; MAIA, G. A. Efeito da temperatura no comportamento reológico de pó de açaí (*Euterpe oleracea*) reconstituído. *Cient. Ciênc. Biol. Saúde*, Fortaleza, v 14, n. 4, p. 241-5, 2012.

CARNEIRO, A. P. G. **Estudo da estabilidade do pó de açaí**. 2011. 105 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

CARVALHO, F. **Construção e avaliação de desempenho de um *spray-dryer* piloto**. UFLA, 2012. 167 p. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.

CASSINI, A. S.; MARCZAK, L. D. F.; NOREÑA, C. P. Z. Water adsorption isotherms of texturized soy protein. *Journal of Food Engineering*, v. 77, n. 1, p. 194-199, 2006.

CASTELLANOS, A. The relationship between attractive interparticle forces and bulk behaviour in dry and uncharged fine powders. *Adv. Phys.*, v. 54, n. 4, p. 263-376, 2005.

CHEFTEL, J., CHEFTEL, H., BESANÇON, P., CHEFTEL, J., CHEFTEL, H., & BESANÇON, P. Métodos de conservación. Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. Zaragoza: *Acribia*, v. 2, p. 173-202, 1983.

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

CORRÊA, Paulo C. et al. Equilíbrio higroscópico de milho, alpiste e painço: obtenção e modelagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, n. 1, p. 162-167, 2006.

CORRÊA, P. C.; BOTELHO, F. M.; BOTELHO, S. C. C.; GONELI, A. L. D. Isotermas de sorção de água de frutos de *Coffea canephora*. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v. 18, n. 10, p. 1047-1052, 2014.

COSTA, J. N.; FIGUEIREDO R. W.; SOUSA, P. H. M. ; GONZAGA, M. L. C.; CONSTANT, P.B.L. ; SOARES, D. J. . Study of the stability of passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) powder from organic farming. *Semina. Ciências Agrárias (Online)*, v. 34, p. 705-716, 2013.

COSTA, J. P. **Camarão em pó obtido por spray dryer: caracterização e aplicação**. 2015. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Ceará.

COUTINHO, A. P. C.; CABELLO, C. Características estruturais e físico-químicas de maltodextrinas de mandioca e batata-doce. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 23, n. 3, p. 16-32, 2008.

CRUZ, W. F. **Obtenção de polpa de goiaba (*Psidium guajava* L.) em pó pelo método de secagem em camada de espuma**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa.

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

DA SILVA FILHO, A. B. **Efeito da rugosidade no escoamento em passagem de minério**. 2008. Tese de mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto.

ELNAGGAR, Y. S. R.; EL-MASSIK, A. M.; ABDALLAH O. Y.; EBIAN, A. E. R. Maltodextrin: A novel excipient used in sugar-based orally disintegrating tablets and phase transition process, **AAPS Pharm. Sci. Tech.** v.11 p. 645-651,2010.

Emery E, Oliver J, Pugsley T, Sharma J, Zhou J. Flowability of moist pharmaceutical powders. **Powders Technol.** 2009, n.189, p.409–415.

ENDO, E. *et al.* Avaliação da vida de prateleira do suco de maracujá (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) desidratado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 2, p. 787-792, 2007.

FAVARO-TRINDADE, C. S.; PINHO, S. C.; ROCHA, G. A. Revisão: Microencapsulação de ingredientes alimentícios. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 11, n. 2, p. 103-112, abr./jun. 2008.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia de processamento de alimentos: princípios e prática**. 2ª. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

FERRARI, C. C.; GERMER, S. P. M.; ALVIM, I. D.; VISSOTTO, F. Z.; DE AGUIRRE, J. M. Influence of carrier agents on the physicochemical properties of blackberry powder produced by spray drying. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 47, n. 6, p. 1237-1245, 2012a.

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

FERREIRA, A. P. R.; SOUSA, S. L.; LIMA, D.M.; COSTA, J. M. C. Caracterização de Polpa de Cajá em Pó Obtida pelo Método de Secagem em Leito de Jorro. **Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, 2014.

FITZPATRICK, J. J.; BARRINGER, S. A.; IQBAL, T. Flow property measurement of food powders and sensitivity of Jenike's hopper design methodology to the measured values. **Journal of Food Engineering**, n. 61, p. 399-405, 2004.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO. **FAOSTAT**. Disponível em: <<http://www.fao.org/corp/statistics/>>. Acesso em: Setembro de 2015.

FORNY, L.; MARABI, A.; PALZER, S. Wetting, disintegration and dissolution of agglomerated water soluble powders. **Powder Technology**, v. 206, n. 1, p. 72-78, 2011.

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, n. 2, p. 246-252, 2007.

GAVA, A. J. **Tecnologia em Alimentos: princípios e aplicações**. São Paulo: Nobel, 2009. GEA Niro Research Laboratory. **GEA Niro analytical methods**. Disponível em: <<http://www.niro.com/methods>>. Acesso em 03 dez. 2016.

GEA Niro Research Laboratory. **Analytical methods dry milk products**. GEA Niro analytical methods. Soeborg, Denmark, 2003.

GOMES, J. C.; OLIVEIRA, G. F. **Análises físico-químicas de alimentos**. Viçosa, MG: ed. UFV, 2011.303 p.

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. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. The effect on powder properties. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 1, p. 35-42, 2005.

GOULA, A. M.; KARAPANTSIOS, T. D.; ACHILIAS, D. S.; ADAMOPOULOS, K.G.. Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. **Journal of Food Engineering**, v.85, p.73-83, 2008.

GRANÇO, G.; MORAES, M. A. F. D. Padrões Técnicos e Custo de Transação na Exploração da Manga para a União Européia. In: **CONGRESSO DA SOBER**, 48., 2010, Campo Grande. **Anais**. p.1-16. Disponível em: <www.sober.org.br/palestras>. Acesso em: 11 de fevereiro de 2016.

GREENSPAN, L. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. **Journal of Research of the National Bureau of Standards – Physics and Chemistry**, v. 81, n. 1, p. 89-96, 1997.

HARTMANN, M; PALZER, S. *Caking* of amorphous powders—Material aspects, modelling and applications. **Powder Technology**, v. 206, n. 1, p. 112-121, 2011.

HENG, D.; LEE, S. H.; KIONG N. G. W.; TAN. R. The nano spray dryer B-90. **Expert opinion on drug delivery**, v. 8, n. 7, p. 965-972, 2011.

HIGBY, W. K. A simplified method for determination of some the carotenoid distribution *in natura* na carotene – fortify. Ed Orange juice. **J. Food Sci.**, Chicago, v. 27, p. 42-49, 1962.

HONORATO, G. C. **Concepção de um secador rotatório para secagem do cefalotórax do camarão**. 2006. 167 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

IAL- Instituto Adolfo Lutz. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos químicos e físicos para análise de Alimentos**. 4ª ed. São Paulo, v. 1, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Banco de Dados Agregados: Sistema IBGE de Recuperação Automática: SIDRA**: Pesquisas: Produção Agrícola Municipal: PAM. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: Janeiro de 2017.

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.

JENIKE, A. W. Storage and Flow of Solids. Bulletin 123. **Engineering Experimental Station**, University of Utah . 1964.

KONICA MINOLTA, Konica minolta Sensing, inc. **Precise color communication. Color control from perception to instrumentation**. Daisennishimachi, sakai. Osaka, japan. P. 59, 1998.

LABUZA, Theodore P.; ALTUNAKAR, Bilge. Water activity prediction and moisture sorption isotherms. **Water activity in foods: fundamentals and applications**, v. 1, 2007.

LANCHA, J. P.; GERMER, S. P. M.; DALLA DEA, R. C.; FERRARI, C. C.; ALVIM, I. D. Desidratação de polpa de pitanga e jabuticaba em spray dryer: Condições de processo e propriedades físico-químicas do pó. In: **congresso interinstitucional de iniciação científica**, 6., 2012, Jaguariúna. Anais...Jaguariúna: CIIC, 2014. Disponível:<<http://www.cnpma.embrapa.br/>>. Acesso em: 20 de nov. de 2014.

LAVOIE, F.;CARTILIER, L.; THIBERT, R. New methods characterizing avalanche behavior to determine powder flow. **Pharm. Res.** 2002, n.19, p.887-893

LEHN, D. N.; PINTO, L. A. de A. Isotermas de equilíbrio e curvas de secagem para arroz em casca em silos de armazenagem. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa MG, v. 12, n. 3, p. 177-191, 2004.

LEMUS M, Roberto *et al*. Models of sorption isotherms for food: uses and limitations. **Vitae**, v. 18, n. 3, p. 325-334, 2011.

LEONE, R. S.; RAMOS, A. M.; ROCHA, F. I. G. Assessment of bioactive components in blend by fruits and vegetable during 100 days of storage. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 05, p. 480-489, 2011.

LI, X.; ANTON, N.; ARPAGAUS, C. BELLETEIX, F. VANDAMME, T.F. Nanoparticles by spray drying using innovative new technology: The Büchi Nano Spray Dryer B-90. **Journal of Controlled Release**, v. 147, n. 2, p. 304-310, 2010.

LISBÔA, C, G. C; DE FIGUEIRÊDO, R. M. F; QUEIROZ, A. J. de M. Armazenamento de figo-da-índia em pó1. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 16, n. 2, p. 216-221, 2012.

- LOKSUWAN, J. (2007). Characteristics of microencapsulated b-carotene formed by spray drying with modified tapioca starch, native tapioca starch and maltodextrin. **Food Hydrocolloids**, 21, 928–935.
- LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I: Fruit, vegetable and meat products. **Lebens mittel-Wissens chaft & Technologie**, v.18, p.111-117, 1985.
- LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Moisture transfer properties of dry and semimoist foods. **Journal of Food Science**, v. 50, n. 2, p. 397-400, 1985.
- LOPES, N. J. P. et al. Flow properties and flowability characteristics of poultry rations for design of silos. **Ciências. Agrotecnológicas**, v. 31, n. 3, 2007.
- LOPES NETO, J. P.; NASCIMENTO, J. W. B. D.; SILVA, V. R. D.; LOPES, F. F. D. M. Flow properties and flowability characteristics of poultry rations for design of silos. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 3, p. 851-859, 2007.
- LOUREIRO, M. N. *et al.* Armazenamento de buriti em pó: efeito da embalagem nas características físicas e químicas= Storage buriti powder: effect of packaging on the characteristics physical and chemical. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 5, 2013.
- MARQUES, A.; CHICAYBAM, G.; ARAUJO, M. T.; MANHÃES, L. R. T.; SABAA-SRUR, A. U. O. Composição Centesimal e de Minerais de Casca e Polpa de Manga (*Mangifera indica* L.) cv. Tommy Atkins. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 32, n. 4, p. 1206-1210. Dezembro 2010.
- MARQUES, G. R. *et al.* Application of maltodextrin in green corn extract powder production. **Powder Technology**, v. 263, p. 89-95, 2014.
- MARQUES, L. G. **Liofilização de frutas tropicais**. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos – SP, 2008.
- MARTINS, C. R.; LOPES, W. A.; ANDRADE, J. B. de. Solubilidade das substâncias orgânicas. **Química Nova**, v.36, p.1248-1255, 2013.
- MASTERS K. Spray Drying Handbook. 4^a. ed. Londres: **George Godwin**. 1985
- MATA, M. E. R. M. C.; DUARTE, M. E. M.; ALSEMO, G. C. S.; RODRIGUES, E.; GUEDES, M. A.; CAVALCANTI, A. S. R. R. M.; OLIVEIRA, C. C. A. Obtenção de graviola em pó pelo processo de liofilização. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 7, n. 2, p. 165-172, 2005.
- MATHLOUTHI, M.; ROGÉ, B. Water vapour sorption isotherms and the *caking* of food powders. **Food Chemistry**, v. 82, n. 1, p. 61-71, 2003.
- MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Thermodynamic properties of moisture sorption of potato. **Journal of Food Engineering**, v. 60, n. 2, p. 157-165, 2003.

- MEDEIROS, M. L.; AYROSA, A. M. I. B.; PITOMBO, R. N. M.; LANNES, S. S. Sorption isotherms of cocoa and cupuassu products. **Journal of Food Engineering**, v. 73, n. 4, p. 402-406, 2006.
- 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**, v. 32, n. 4, p. 1451-1460, 2011.
- MENDOZA-CORVIS, F. A.; ARTEAGA, M.; PÉREZ, O. Comportamiento de la vitamina C en un producto a base de lactosuero y pulpa de mango variedad Magdalena River (Mangífera Indica.) durante el secado por aspersión. **Revista chilena de nutrición**, v. 43, n. 2, p. 159-166, 2016.
- MOREIRA, T. B. *et al.* Comportamento das isotermas de adsorção do pó da polpa de manga liofilizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande**, v. 17, n. 10, p. 1093-1098, 2013.
- MOURA, S. M. **Estabilidade da acerola em pó oriunda do cultivo orgânico**. 2010. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Ceará.
- MULET, A.; GARCIA-PASCUAL, P.; SANJUAN, N.; GARCIA-REVERTER, J. Equilibrium Isotherms and isotheric heats of morel (*Morchella esculenta*). **Journal of Food Engineering, London**, v.53, p. 75-81, 2002.
- NETO, J. P. L.; DO NASCIMENTO, J. W. B.; DA SILVA, V. R.; DE MELO LOPES, F. F. Propriedade de fluxo e característica de escoabilidade de rações avícolas para dimensionamento de silos. **Ciênc. agrotec.**, v. 31, n. 3, 2007.
- NINDO, C. I.; TANG, J. Refractance window dehydration technology: a novel contact drying method. **Drying Technology**, v. 25, n. 1, p. 37-48, 2007.
- OLIVEIRA, A. N. *et al.* Cinética de degradação e vida-de-prateleira de suco integral de manga. **Ciênc. Rural**, v. 43, n. 1, p. 172-177, 2013.
- OLIVEIRA, G. S.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, Marcos R. A. Caracterização e comportamento higroscópico do pó da polpa de cajá liofilizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 1059-1064, 2014.
- 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, p. 147-153, 2015.
- OLIVEIRA, O. W.; PETROVICK P. R. Secagem por aspersão (spray drying) de extratos vegetais: bases e aplicações. **Revista Brasileira de Farmacognosia** 20(4): 641-650, Ago./Set. 2010.

O POVO on line. Fruticultura Irrigada: **Um oásis em meio à seca no Ceará**. 2012.

Disponível em:

<<http://www.opovo.com.br/app/opovo/economia/2012/05/19/noticiasjornaleconomia,2842159/um-oasis-em-meio-a-seca.shtml>> Acesso em: 12 de Janeiro de 2017.

ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnologia de alimentos: componentes dos alimentos e processos**. trad. F. Murad. Porto Alegre: Artmed, 2005. V. 1, 294p.

OSORIO, C.; ACEVEDO, B.; HILLEBRAND, S.; CARRIAZO, J.; WINTERHALTER, P.; MORALES, A. L. Microencapsulation by spray-drying of anthocyanin pigments from corozo (*Bactris guineensis*) fruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 11, p. 6977-6985, 2010.

PACHECO, A. L. A. Seca afeta a produção na Bahia e em São Paulo, mas clima anima produtor em Minas Gerais. **Revista Hortifruti Brasil**. 2014.

PAGLARINI, C. S.; SILVA, F.; PORTO, A. G.; PIASSON, D.; SANTOS, P. Histerese das isotermas de sorção da polpa de manga (*Mangifera indica* L.) variedade manteiga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campo Grande, v. 17, n. 3, p. 299-305, 2013.

PARK, K. J.; ANTONIO, G.C.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. B. **Conceitos de processos e equipamentos de secagem**. Campinas, São Paulo. UNICAMP, 2007.

PARK, Kil Jin Brandini et al. Considerações termodinâmicas das isotermas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 10, n. 1, p. 83-94, 2008.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção de isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra Baetlett (*Pyrus SP.*) com e sem desidratação osmótica. **Revista Ciência e tecnologia de alimentos**- Campinas, São Paulo. v. 21 n. 1: 73-77, jan.-abr. 2001.

PARK, K. J.; PARK, P. J.; ALONSO, L. F. T.; CORNEJO, F. E. P.; FABBRO, I. M. D. Secagem: Fundamentos e equações. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 16, n. 1, p. 93-127, 2014.

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**, v.30, p.993-1000, 2010.

PEIGHAMBARDUST, S. H.; TAFTI, A. G.; HESARI, J. Application of spray drying for preservation of lactic acid starter cultures: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 22, n. 5, p. 215-224, 2011.

PERRONE, I. T.; CARVALHO, A. F.; PEREIRA, J. P. F.; RENHE, I. R. T.; PEREIRA, D. B. C. Processo para a secagem de soro integral em equipamento semi-industrial. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 66, n.381, p. 21-27, 2011.

PRADO, M. E. T.; ALONSO, L. F. T.; SALES, A. F.; PARK, K. J. Isotermas de sorção de tâmaras: Determinação experimental e avaliação de modelos matemáticos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.19, p.143-146, 1999.

PRIYADHARSHINI, REKHA. A study on the Export Performance of Fresh Mangoes from India. **International Journal of Interdisciplinary and Multidisciplinary Studies (IJIMS)**, Vol 2, N°.6, 134 -140, 2015.

QUAST, D.G. Transformações em alimentos em função da atividade de água. In: **Seminário sobre atividade de água em alimentos**, 1., 1987, Campinas. Resumos. Campinas: ITAL, 1987.

RANKELL, A.S.; LIEBERMAN, H. A.; SCHIFFMAN, R. F.; 2001. Secagem. In: Lachman L, Lieberman HA, Kanig JL. **Teoria e prática na indústria farmacêutica**. Vol 1. Lisboa: Calouste Gulbenkian, p. 83-112.

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; MARTINAZZO, A. P.; RIBEIRO, R. M. Isotermas e calor isostérico de dessecção do arroz em casca. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa MG, v.31, n. 1, p. 86-94. 2006.

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

RIZVI, S.S.H. Thermodynamic properties of foods in dehydration, In: M.A. Rao and S.S.H. Rizvi (Ed.). **Engineering Properties of Foods**, New York: Academic Press, 1995.

ROCHA E. M. F. F. *et al.* Obtenção de suco de caju atomizado através do controle das condições de secagem. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.18, n.6, p.646-651, 2014.

ROMERO, J. T.; GABAS, A. L.; YAMASHITA, F.; TELIS, V. R. N.; MENEGALLI, F. C. **Secagem de produtos alimentícios**. São José do Rio Preto, São Paulo: UNESP, 1997.

ROSA, E. D.; TSUKADA, M.; FREITAS, L. A. P. **Secagem por atomização na indústria alimentícia: Fundamentos e aplicações**. 2002. Departamento de engenharia - LABMAQ do Brasil Ltda. Ribeirão Preto, SP.

ROSSI, J. S.; ROA, G. **Secagem e armazenamento de produtos agropecuários com uso de energia solar e ar natural**. Academia de ciências do Estado de São Paulo: n. 22. 1980. 296p.

SALOMÃO, Wellington Fioravante. Microencapsulação de dimetil dissulfeto (DMDS) por spray drying e spray congealing. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo. 2012.

SANTOS, S. C. S; CAL-VIDAL, J.. Auto-aglomeração de abacate em pó obtido por atomização. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, n. 5, p. 615-620, 1985.

SCHUCK, P.; DOLIVET, A.; JEANTET, R. Sorption, Water Activity and Hygroscopicity. (Ed.) **Analytical Methods for Food and Dairy Powders**. Rennes: John Wiley & Sons. 2012. p. 167-189.

SCHULZE D. Storage of powders and bulk solids in silos. Dietmar Schulze.com. 2006. Disponível em: < <http://www.dietmar-schulze.de/storagepr.html>> Acesso em agosto de 2010.

SEVERO, L. S. **Obtenção de polpa de banana em pó pelo método de secagem em camada de espuma**. 2016. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Ceará.

SEID, Rebato Muhidin; HENSEL, O. Experimental evaluation of sorption isotherms of chili pepper: an Ethiopian variety, Mareko Fana (*Capsicum annum* L.). **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, v. 14, n. 4, p. 163-172, 2012.

SEBRAE. Mercado de fruticultura: panorama do setor no Brasil. Boletim de Inteligencia. Out/2015.

SHAW F. V. Spray drying as an alternative granulation technique. In: Parikj DM. **Handbook of Pharmaceutical Granulation Technology**. Nova York: Marcel Dekker, p. 75-96. 1997.

SILVA, J. S.; BERBERT, P. A.; AFONSO, A. D. L.; RUFATO, S. Qualidade dos grãos. In: **Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas**. Viçosa MG: Aprenda Fácil. 2000.

SILVA, P. I. **Otimização da Extração e Microencapsulamento de Polifenóis e Antocianinas de Jabuticaba (*Myrciaria jaboticaba*)**. 2011. 173 p. (Doutorado). Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa.

SILVEIRA, J.; GALESKAS, H.; TAPETTI, R.; LOURENCINI, I. Quem é o consumidor brasileiro de frutas e hortaliças. **Hortifruti Brasil**, p. 8-23, 2011.

SIMÃO, S. **Manual de fruticultura**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1971. 530 p.

SOUSA, S. L.; MORAIS, B. A.; RIBEIRO, L. C.; COSTA, J. M. C. Stability of cashew apple juice in powder dehydrated in spouted bed. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Online)**, v. 20, p. 678-682, 2016.

SOUZA, J. S. **Secagem de misturas de polpas de frutas tropicais em leito de jorro**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Química) -Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

STANIFORTH J. Fluxo de Pós. In: Aulton ME. Delineamento de formas farmacêuticas. Porto Alegre: Artmed, Cap. 14, p.208-221, 2005.

STATSOFT. **Statistica for Windows** – Computer programa manual. Versão 7.0 Tulsa: Sttatsoft Inc. 2007.

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

TEXEIRA NETO, R. O., QUAST, D. G. **Isotermas de adsorção de umidade em alimentos**. Campinas: ITAL, v. 8, p. 141-197, 1993.

TIMMERMANN, E. O.; CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H. A. Water sorption isotherms of foods and foodstuffs: BET or GAB parameters?. **Journal of food engineering**, v. 48, n. 1, p. 19-31, 2001.

TONON, R. V.; BARONI, A. F.; BRABET, C.; GIBERT, O.; PALLET, D.; HUBINGER, M. D. Water sorption and glass transition temperature of spray-drier açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice. **Journal of Food Engineering**, v. 94, n. 3-4, p. 215-221, // 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 açai em pó. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 29, n.2, p. 444-450, abr.-jun. 2009.

UENOJO, M.; MAROSTICA, M. R.; PASTORE, G. M. Carotenóides: propriedades, aplicações e biotransformação para formação de compostos de aroma. **Química Nova**, v. 30, n. 3, p. 616, 2007.

VAN DEN BERG, C. Description of water activity of foods for engineering purposes by means of the G.A.B. model of sorption, in: Third International **Congresso n Engineering and Food**. 1983. P.311-320

VARAKUMAR, S.; KUMAR, Y. S.; REDDY, O. V. S. Carotenoid composition of mango (*Mangifera indica* L.) wine and its antioxidant activity. **Journal of Food Biochemistry**, v. 35, n. 5, p. 1538-1547, 2011.

VIANA, S. S.; SILVA, L. M. R.; LIMA, P. V. P. S.; LEITE, L. A. S. Competitividade do Ceará no mercado internacional de frutas: o caso do melão. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 37, n. 1, p.25-31, 2006.

VISSOTTO, Fernanda Zaratini *et al.* Avaliação da influência dos processos de lecitinação e de aglomeração nas propriedades físicas de achocolatado em pó. **Ciênc. Tecnol. Alimentos**, v. 26, n. 3, p. 666-671, 2006.

VOCK, R. **HACCPEUROPA**. Acesso em Outubro de 2012, disponível em <http://www.haccpeuropa.com/2012/10/17/powder-fruits-and-dry-fruits-are-they-futurefruits/?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+HaccpeuropaRssFeed+%28Food+Safety+News%29&goback=%2Egde_3868872_member_177416216> Acesso em: 22 de nov. de 2016

WENDEL, S.; ÇELIK, M. Uma visão geral sobre o uso da tecnologia de spray-drying. **Pharmaceutical Technol.** Abril: 31-45. 1998.

WILKOWSKA, A.; AMBROZIAK, W.; CZYŻOWSKA, A.; ADAMIEC, J. Effect of microencapsulation by spray-drying and freeze-drying technique on the antioxidant properties of blueberry (*Vaccinium myrtillus*) juice polyphenolic compounds. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, v. 66, n. 1, p. 11-16, 2016.

WOODCOOK, C. R.; MASON, J. S. Bulk solids Handling: An introduction to the practice and technology. **Glasgow: Leonard Hill**, 1987.

YANNIOTIS, Stavros; BLAHOVEC, Jiří. Model analysis of sorption isotherms. **LWT-Food Science and Technology**, v. 42, n. 10, p. 1688-1695, 2009.

ZOTARELLI, M. F.; CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B. Effect of process variables on the drying rate of mango pulp by refractance window. **Food Research International**, v. 69, p. 410-417, 2015.

ZUG, J.P.; **Isotermas de adsorción: Bases mecánico-estadísticas**. En Monografía de Termodinámica Estadística. Ed. Facultad de Ingeniería. Universidad de Buenos Aires, Argentina. 2002