



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 DO PÓ DA POLPA DE CAJÁ-MANGA (*SPONDIAS DULCIS*) POR
DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGEM

FORTALEZA

2021

JOVAN MARQUES LARA JUNIOR

OBTENÇÃO DO PÓ DA POLPA DE CAJÁ-MANGA (SPONDIAS DULCIS) POR
DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGEM

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

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

Coorientador: Marcos Rodrigues Amorim Afonso

FORTALEZA

2021

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 do pó da polpa de cajá-manga (*spondias dulcis*) por diferentes métodos de secagem / Jovan Marques Lara Junior. – 2022.
168 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2022.

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

Coorientação: Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso.

1. Cajarana. 2. Leite de Jorro. 3. Spray-Dryer. 4. Modelos de Isotermas. I. Título.

CDD 664

JOVAN MARQUES LARA JUNIOR

OBTENÇÃO DO PÓ DA POLPA DE CAJÁ-MANGA (SPONDIAS DULCIS) POR
DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGEM

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

Aprovado em: 13/12/2021

BANCA EXAMINADORA

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

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

Prof. Dr. Érica Milô de Freitas Felipe
Universidade Federal do Ceará (IFCE)

Prof.^a Dr.^a Luís Gomes de Moura Neto
Universidade Federal do Ceará (IFPB)

Prof. Dr. Janaina de Paula Costa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Ceará por proporcionar estrutura, oportunidade de estudos e profissionais que dedicam o melhor de si.

Ao professor José Maria pelo voto de confiança, pela paciência e pelo conhecimento tranferido. Sou extremamente grato.

Aos amigos que fiz na UFC e em especial aos do LACONSA (Ana Paula, Morgana, Diácomo, Luciana, Andresa, Carlota, Taline e Karla) que fizeram parte deste ciclo que aqui se fecha.

A Janaina que me estendeu a mão em um momento tão difícil.

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

Minha família que sempre acreditou no meu potencial.

A Priscila, Heitor e Henry pela paciência, carinho e companheirismo.

Ao Instituto Federal de Educação do Piauí pela oportunidade de me disponibilizar em tempo integral para meus estudos.

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

RESUMO

O objetivo principal deste trabalho foi a obtenção de polpa de cajá-manga em pó pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leite fluidizado, além de avaliar suas características físicas e físico-químicas. Foi realizada a caracterização físico-química da polpa integral de cajá-manga e dos pós obtidos, além da determinação da melhor condição de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leite fluidizado e concentração do adjuvante (maltodextrina) através de um delineamento composto central rotacional 2^2 . Também foi verificada a estabilidade físico-química dos pós obtidos em diferentes embalagens por 90 dias. Avaliou-se o comportamento higroscópico, morfologia e as características reológicas dos pós obtidos. Não foi possível obter um ponto ótimo na secagem de polpa de cajá-manga pelos processos de secagem avaliados. As umidades, atividades de água, solubilidade e a higroscopicidade dos pós obtidos apresentaram valores compatíveis e favoráveis para a manutenção da qualidade de produtos desidratados. As embalagens laminadas apresentaram resultados superiores no estudo da estabilidade físico-química, que apresentou aumento nos quesitos umidade e atividade de água, redução na acidez titulável e manteve-se estáveis a higroscopicidade e solubilidade após o tempo de avaliação. Os modelos de BET, BET e GAB foram os que melhor representaram as isotermas de sorção para os pós de cajá-manga obtidos pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leite fluidizado, respectivamente. O pó liofilizado apresentou formas geométricas irregulares e com grande variação de tamanho, enquanto que os pós obtidos em spray-dryer e em leite fluidizado apresentaram partículas com formato arredondados, com menor distribuição de tamanho e menos segregadas. Os pós de cajá-manga apresentaram diferenças, entre as densidades de compactação e as densidades aparentes, maiores para os pós que foram obtidos com maior concentração de maltodextrina. O incremento da maltodextrina com agente adjuvante de secagem resultou na diminuição da resistência ao escoamento dos pós de cajá-manga. Os processos de secagem demonstraram eficiência na secagem de polpa de cajá-manga com uso de maltodextrina como adjuvante de secagem e os pós apresentaram estabilidade durante 90 dias.

Palavras-chave: cajarana; leite de jorro; spray-dryer; modelos de isotermas.

ABSTRACT

The main objective of this work was to obtain powdered cajá-mango pulp by spray drying, lyophilization and fluidized bed processes, in addition to evaluating its physical and physicochemical characteristics. The physical-chemical characterization of the whole pulp of cajá-manga and the powders obtained was carried out, in addition to the determination of the best condition of drying by spray-dryer, lyophilization and fluidized bed and concentration of the adjuvant (maltodextrin) through a composite design. rotational center 22. The physicochemical stability of the powders obtained in different packages for 90 days was also verified. The hygroscopic behavior, morphology and rheological characteristics of the powders obtained were evaluated. It was not possible to obtain an optimal point in the drying of cajá-manga pulp by the evaluated drying processes. The humidity, water activities, solubility and hygroscopicity of the powders obtained showed compatible and favorable values for the maintenance of the quality of dehydrated products. The laminated packages showed superior results in the study of physicochemical stability, which showed an increase in moisture and water activity, reduction in titratable acidity and remained stable in hygroscopicity and solubility after the evaluation time. The BET, BET and GAB models were the ones that best represented the sorption isotherms for the cajá-manga powders obtained by the spray-dryer spray drying, lyophilization and fluidized bed processes, respectively. The lyophilized powder presented irregular geometric shapes and great variation in size, while the powders obtained in spray-dryer and fluidized bed presented particles with rounded shape, with smaller size distribution and less segregation. The cajá-manga powders showed differences between the compaction densities and the apparent densities, greater for the powders that were obtained with higher maltodextrin concentration. The increment of maltodextrin with a drying adjuvant agent resulted in a decrease in the resistance to flow of cajá-manga powders. The drying processes were efficient in the drying of cajá-manga pulp using maltodextrin as a drying adjuvant and the powders were stable for 90 days.

Keywords: cajarana; stream bed; spray-dryer; isotherm models.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Frutos de cajá-manga.....	21
Figura 2 - Classificação de secadores segundo o modo de operação e transferência de calor.....	26
Figura 3 - Formação de partícula por secagem por aspersão.....	28
Figura 4 - Diagrama esquemático de spray-dryer.....	29
Figura 5 - Diagrama esquemático do leito de jorro convencional.....	35
Figura 6 - Isoterma de sorção e o efeito da histerese.....	39
Figura 7 - Representação dos cinco tipos de isotermas de sorção descritos por BET.....	40
Figura 8 - Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) da variável higroscopicidade (%) da polpa de cajá-manga em pó obtido por secagem em leito fluidizado.....	73
Figura 9 - Comportamento do teor de umidade da polpa de cajá-manga em pó, em embalagem laminada e plástica, obtidos pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado.....	87
Figura 10 - Comportamento da atividade de água da polpa de cajá-manga em pó, em embalagem laminada e plástica, obtidos pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado.....	88
Figura 11 - Comportamento do pH da polpa de cajá-manga em pó, em embalagem laminada e plástica, obtidos pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado.....	90
Figura 12 - Comportamento da acidez da polpa de cajá-manga em pó, em embalagem laminada e plástica, obtidos pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado.....	91
Figura 13 - Comportamento do teor de ácido ascórbico da polpa de cajá-manga em pó, em embalagem laminada e plástica, obtidos pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado.....	92
Figura 14 - Comportamento da solubilidade da polpa de cajá-manga em pó, em embalagem laminada e plástica, obtidos pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado.....	93

Figura 15 - Comportamento da higroscopicidade da polpa de cajá-manga em pó, em embalagem laminada e plástica, obtidos pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leite fluidizado durante o armazenamento.....	94
Figura 16 - Comportamento da coordenada b^* da polpa de cajá-manga em pó, em embalagem laminada e plástica, obtidos pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leite fluidizado durante o armazenamento.....	96
Figura 17 - Comportamento da luminosidade da polpa de cajá-manga em pó, em embalagem laminada e plástica, obtidos pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leite fluidizado durante o armazenamento.....	97
Figura 18 - Isotermas de adsorção da polpa de cajá-manga em pó, obtido em secagem por aspersão em spray-dryer, nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C prevista pelo modelo de BET com 10 de teor de maltodextrina.....	113
Figura 19 - Isotermas de adsorção da polpa de cajá-manga em pó, obtido em secagem por aspersão em spray-dryer, nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C prevista pelo modelo de BET com 20% de teor de maltodextrina.....	113
Figura 20 - Isotermas de adsorção da polpa de cajá-manga em pó, obtido em secagem por aspersão em spray-dryer, nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C prevista pelo modelo de BET com 30% de teor de maltodextrina.....	114
Figura 21 - Isotermas de adsorção da polpa de cajá-manga em pó, obtido por liofilização, nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C prevista pelo modelo de BET com 10% de teor de maltodextrina.....	114
Figura 22 - Isotermas de adsorção da polpa de cajá-manga em pó, obtido por liofilização, nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C prevista pelo modelo de BET com 20% de teor de maltodextrina.....	115
Figura 23 - Isotermas de adsorção da polpa de cajá-manga em pó, obtido por liofilização, nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C prevista pelo modelo de BET com 30% de teor de maltodextrina.....	115
Figura 24 - Isotermas de adsorção da polpa de cajá-manga em pó, obtido em leite fluidizado, nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C prevista pelo modelo de GAB com 10% de teor de maltodextrina.....	116

Figura 25 - Isotermas de adsorção da polpa de cajá-manga em pó, obtido em leite fluidizado, nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C prevista pelo modelo de GAB com 20% de teor de maltodextrina.....	116
Figura 26 - Isotermas de adsorção da polpa de cajá-manga em pó, obtido em leite fluidizado, nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C prevista pelo modelo de GAB com 30% de teor de maltodextrina.....	117
Figura 27 - Isotermas de adsorção da polpa de cajá-manga em pó, obtido em secagem por aspersão em spray-dryer, na temperatura de 25 °C prevista pelo modelo de BET, com 10, 20 e 30% de teor de maltodextrina.....	120
Figura 28 - Isotermas de adsorção da polpa de cajá-manga em pó, obtido em secagem por liofilização, na temperatura de 25 °C prevista pelo modelo de BET com 10, 20 e 30% de teor de maltodextrina.....	120
Figura 29 - Isotermas de adsorção da polpa de cajá-manga em pó, obtido em secagem em leite fluidizado, na temperatura de 25 °C prevista pelo modelo de GAB com 10, 20 e 30% de teor de maltodextrina.....	121
Figura 30 - Micrografias de partículas de pó de cajá-manga obtidas pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leite fluidizado com 30, 20 e 20% de maltodextrina, respectivamente.....	132

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características físico-química da polpa de cajá-manga.....	22
Tabela 2 - Relação dos produtos com seus secadores mais adequados.....	25
Tabela 3 - Modelos matemáticos utilizados para ajuste de isotermas de sorção.....	44
Tabela 4 - Níveis do planejamento da polpa de cajá-manga para secagem por aspersão em spray dryer.....	55
Tabela 5 - Níveis do planejamento da polpa de cajá-manga para secagem em leite fluidizado.....	55
Tabela 6 - Níveis do planejamento da polpa de cajá-manga para secagem por liofilização.....	55
Tabela 7 - Resultados do planejamento experimental para secagem por aspersão em spray dryer de polpa de cajá-manga.....	59
Tabela 8 - Efeito da adição de maltodextrina e temperatura do ar de secagem na umidade da polpa de cajá-manga em pó obtido em secagem por aspersão em spray-dryer.....	60
Tabela 9 - Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para a umidade da polpa de cajá-manga em pó obtido em secagem por aspersão em spray-dryer.....	60
Tabela 10 - Efeito da adição de maltodextrina e temperatura do ar de secagem no rendimento da polpa de cajá-manga em pó obtido em secagem por aspersão em spray-dryer.....	61
Tabela 11 - Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para o rendimento da polpa de cajá-manga em pó obtido em secagem por aspersão em spray-dryer.....	60
Tabela 12 - Efeito da adição de maltodextrina e temperatura do ar de secagem no teor de ácido ascorbico da polpa de cajá-manga em pó obtido em secagem por aspersão em spray-dryer.....	62
Tabela 13 - Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para o teor de ácido ascorbico da polpa de cajá-manga em pó obtido em secagem por aspersão em spray-dryer.....	63
Tabela 14 - Efeito da adição de maltodextrina e temperatura do ar de secagem na higroscopicidade da polpa de cajá-manga em pó obtido em spray-dryer	64

Tabela 15 - Resultados do planejamento experimental para secagem de polpa de cajá-manga em processo de liofilização.....	64
Tabela 16 - Efeito da adição de maltodextrina e tempo de congelamento da amostra na umidade da polpa de cajá-manga em pó obtido por liofilização.....	65
Tabela 17 - Efeito da adição de maltodextrina e tempo de congelamento da amostra no rendimento da polpa de cajá-manga em pó obtido por liofilização.....	66
Tabela 18 - Efeito da adição de maltodextrina e tempo de congelamento da amostra na higroscopicidade da polpa de cajá-manga em pó obtido por liofilização.....	66
Tabela 19 - Efeito da adição de maltodextrina e tempo de congelamento da amostra no teor de ácido ascórbico da polpa de cajá-manga em pó obtido por liofilização.....	67
Tabela 20 - Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para o teor de ácido ascórbico da polpa de cajá-manga em pó obtido por liofilização....	67
Tabela 21 - Resultados do planejamento experimental para secagem de polpa de cajá-manga em leite fluidizado.....	68
Tabela 22 - Efeito da adição de maltodextrina e temperatura do ar de secagem na umidade da polpa de cajá-manga em pó obtido por secagem em leite fluidizado.....	69
Tabela 23 - Efeito da adição de maltodextrina e temperatura do ar de secagem no rendimento da polpa de cajá-manga em pó obtido por secagem em leite fluidizado.....	69
Tabela 24 - Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para o rendimento da polpa de cajá-manga em pó obtido por secagem em leite fluidizado.....	70
Tabela 25 - Efeito da adição de maltodextrina e temperatura do ar de secagem no teor ácido ascórbico da polpa de cajá-manga em pó obtido por secagem em leite fluidizado.....	71
Tabela 26 - Efeito da adição de maltodextrina e temperatura do ar de secagem na higroscopicidade da polpa de cajá-manga em pó obtido por secagem em leite fluidizado.....	71
Tabela 27 - Análise de variância do modelo de regressão para a higroscopicidade da polpa de cajá-manga em pó obtido em leite fluidizado.....	72

Tabela 28 - Valores médios da caracterização física e físico-química da polpa de cajá-manga integral, e em pó obtidos pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e em leite fluidizado.....	82
Tabela 29 - Parâmetros dos modelos matemáticos de BET, BET e GAB, para representação das isotermas de sorção da polpa de cajá-manga em pó, obtidos em secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leite fluidizado, respectivamente, e formulada com 10, 20 e 30% de maltodextrina.....	109
Tabela 30 - Classificação do tipo de fluidez de produtos sólidos armazenáveis JENIKE (1964).....	131
Tabela 31 - Resultados da resistência à fluidez de polpa de cajá-manga em pó pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leite fluidizado, contendo 10, 20 e 30% de maltodextrina.....	134
Tabela 32 - Índices de escoamento de polpa de cajá-manga em pó pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leite fluidizado, contendo 10, 20 e 30% de maltodextrina.....	135
Tabela 33 - Densidade de polpa de cajá-manga em pó pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leite fluidizado, contendo 10, 20 e 30% de maltodextrina.....	136
Tabela 34 - Ângulo efetivo de atrito interno δ ($^{\circ}$) e ângulo de atrito com a parede de aço inox liso ϕ ($^{\circ}$) para polpa de cajá-manga em pó pelos processos de spray-dryer, liofilização e leite fluidizado contendo 10, 20 e 30% de maltodextrina.....	138

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REVISÃO DA LITERATURA	20
2.1	Cajá-Manga	20
2.2	Secagem de Alimentos	25
2.2.1	<i>Processos de Secagem</i>	25
2.2.2	<i>Spray-dryer</i>	26
2.2.3	<i>Liofilização</i>	30
2.2.4	<i>Leito fluidizado</i>	33
2.3	Adjuvantes de secagem	36
2.4	Isotermas de sorção	38
2.4.1	<i>Métodos de determinação de isotermas</i>	42
2.5	Higroscopicidade em pós alimentícios	44
3	AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE SECAGEM NA OBTENÇÃO DA POLPA DE CAJÁ-MANGA EM PÓ EM DIFERENTES PROCESSOS	53
3.1	Introdução	53
3.2	Materiais e Métodos	54
3.2.1	<i>Local do Experimento</i>	54
3.2.2	<i>Matéria prima</i>	54
3.2.3	<i>Planejamento experimental e análise estatística</i>	54
3.2.4	<i>Preparação da amostra</i>	56
3.2.5	<i>Secagem por aspersão em spray dryer</i>	56
3.2.6	<i>Liofilização</i>	56
3.2.7	<i>Secagem em leito fluidizado</i>	57
3.2.8	<i>Determinações analíticas</i>	57
3.3	Resultados e Discussão	68
3.3.1	<i>Planejamento experimental - Secagem por aspersão em spray dryer</i>	58
3.3.2	<i>Planejamento experimental – Liofilização</i>	63
3.3.3	<i>Planejamento experimental - Leito fluidizado</i>	68
3.4	Conclusões	74

4	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E ESTABILIDADE DA POLPA DE CAJÁ-MANGA EM DIFERENTES PROCESSOS DE SECAGEM.....	77
4.1	Introdução.....	77
4.2	Materiais e Métodos.....	79
4.2.1	<i>Local do Experimento, matéria-prima, preparação das amostras.....</i>	<i>79</i>
4.2.2	<i>Secagem por aspersão em spray-dryer.....</i>	<i>79</i>
4.2.3	<i>Liofilização.....</i>	<i>79</i>
4.2.4	<i>Secagem em leito fluidizado.....</i>	<i>79</i>
4.2.5	<i>Caracterização físico-química da polpa in natura e dos pós.....</i>	<i>79</i>
4.2.6	<i>Estudo da estabilidade das polpas em pó.....</i>	<i>79</i>
4.2.7	<i>Determinações analíticas.....</i>	<i>80</i>
4.3	Resultados e Discussão.....	82
4.3.1	<i>Caracterização físico-química da polpa e pós obtidos em secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado.....</i>	<i>82</i>
4.3.2	<i>Estabilidade físico-química do pó obtido por secagem em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado.....</i>	<i>86</i>
4.4	Conclusões.....	98
5	COMPORTAMENTO HIGROSCÓPICO DA POLPA DE CAJÁ-MANGA EM PÓ EM DIFERENTES PROCESSOS DE SECAGEM.....	104
5.1	Introdução.....	104
5.2	Materiais e Métodos.....	105
5.2.1	<i>Local do Experimento, matéria-prima e preparação das amostras.....</i>	<i>105</i>
5.2.2	<i>Secagem por aspersão em spray-dryer.....</i>	<i>105</i>
5.2.3	<i>Secagem por Liofilização.....</i>	<i>105</i>
5.2.4	<i>Secagem em leito fluidizado.....</i>	<i>105</i>
5.2.5	<i>Isotermas de sorção.....</i>	<i>106</i>
5.3	Resultados e Discussão.....	107
5.4	Conclusões.....	122
6	AVALIAÇÃO DO USO DA MALTODEXTRINA NA FLUIDEZ E MICROESTRUTURA DA POLPA DE CAJÁ-MANGA EM PÓ POR DIFERENTES PROCESSOS DE SECAGEM.....	128
6.1	Introdução.....	128

6.2	Materiais e Métodos.....	130
6.2.1	<i>Local do Experimento, matéria-prima, preparação das amostras.....</i>	130
6.2.2	<i>Secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leite fluidizado.....</i>	130
6.2.3	<i>Microscopia eletrônica de varredura.....</i>	130
6.2.4	<i>Avaliação reológica dos pós.....</i>	130
6.3	Resultados e Discussão.....	131
6.3.1	<i>Análise morfológica das partículas.....</i>	131
6.3.2	<i>Avaliação da fluidez.....</i>	133
6.3.3	<i>Densidade.....</i>	147
6.3.4	<i>Ângulo de atrito.....</i>	138
6.4	Conclusões.....	140
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	144
	REFERÊNCIAS.....	145
	ANEXO A – VALORES MÉDIOS PARA OS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA POLPA DE CAJÁ-MANGA EM PÓ EM SECAGEM POR ASPERSÃO EM SPRAY-DRYER ARMAZENADAS EM DIFERENTES EMBALAGENS.....	163
	ANEXO B – VALORES MÉDIOS PARA OS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA POLPA DE CAJÁ-MANGA EM PÓ OBTIDA POR LIOFILIZAÇÃO ARMAZENADAS EM DIFERENTES EMBALAGENS.....	164
	ANEXO C – VALORES MÉDIOS PARA OS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA POLPA DE CAJÁ-MANGA EM PÓ OBTIDA EM LEITO FLUIDIZADO ARMAZENADAS EM DIFERENTES EMBALAGENS.....	165
	ANEXO D – EQUAÇÕES DA RETA E COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA POLPA DE CAJÁ-MANGA EM PÓ EM DIFERENTES PROCESSOS DE SECAGEM ARMAZENADAS EM DIFERENTES EMBALAGENS.....	166
	ANEXO E – PARÂMETROS DOS MODELOS MATEMÁTICOS DAS ISOTERMAS DE SORÇÃO DA POLPA DE CAJÁ-MANGA EM PÓ E OBTIDA POR SECAGEM EM ASPERSÃO EM SPRAY-DRYER.....	167

ANEXO F – PARÂMETROS DOS MODELOS MATEMÁTICOS PARA REPRESENTAÇÃO DAS ISOTERMAS DE SORÇÃO DA POLPA DE CAJÁ-MANGA EM PÓ FORMULADA COM 10, 20 E 30% DE MALTODEXTRINA E OBTIDA POR SECAGEM EM LIOFILIZAÇÃO.....	168
ANEXO G – PARÂMETROS DOS MODELOS MATEMÁTICOS PARA REPRESENTAÇÃO DAS ISOTERMAS DE SORÇÃO DA POLPA DE CAJÁ-MANGA EM PÓ FORMULADA COM 10, 20 E 30% DE MALTODEXTRINA E OBTIDA POR SECAGEM EM LEITO FLUIDIZADO.....	169

1 INTRODUÇÃO

A fruticultura é um dos setores de maior destaque do agronegócio brasileiro. O Brasil é o terceiro maior produtor de frutas no mundo e o país mais bem posicionado na corrida pela exportação de frutas in natura em âmbito mundial, apesar de exportar apenas 20% de sua produção. O Brasil atinge esse destaque graças a sua grande diversidade climática, da grande variedade de culturas, aliado às chuvas regulares, luz solar abundante e disponibilidade de água doce, o que permite a produção de frutas de clima temperado e tropical de alta qualidade, praticamente, durante todo o ano.

O setor fruticultor do Brasil exportou mais frutas frescas e derivados em 2019, mas planeja alcançar resultados ainda maiores nos próximos anos. Os envios totais chegaram a US\$ 858 milhões em valor e 980 milhões de toneladas, com altas de 8,5 e 16%, respectivamente, em relação a 2018, de acordo com dados do sistema Agrostat, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Além das frutas frescas, há ainda o segmento de frutas processadas, que basicamente atende às produções de sucos, néctares, drinques e polpas de frutas.

Mesmo com o desenvolvimento da fruticultura no Brasil, os brasileiros ainda não consomem a quantidade de frutas recomendada pela Organização Mundial da Saúde (OMS). 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. Porém, o hábito de consumo de sucos, frutas processadas e em pó tem aumentado, motivado pela falta de tempo da população em preparar suco in natura, pela maioria dos processos de obtenção de sucos nas indústrias de alimentos e praticidade oferecida por esses produtos.

Frutos exóticos e não tradicionais, como os do cerrado e da região amazônica, apesar de serem apreciados por suas propriedades nutricionais e sensoriais como o aroma e sabor, apresentam uma vida útil pós-colheita relativamente curta, o que tem dificultado a comercialização e requerem técnicas especiais para conservação e comercialização, inclusive para agregar-lhes valor (RUFINO et al. 2010; FERREIRA; PINTO, 2017).

O cajá-manga é uma fruta amplamente distribuída na zona da mata, cerrado, no agreste e nas serras úmidas do Nordeste. Pertencente ao gênero *Spondias*, que abrange cerca de 15 espécies, sendo uma das menos estudadas. É muito apreciado no Brasil, consumido in natura ou na forma de produtos, principalmente, polpa congelada, bebidas, doces, sorvetes e picolés.

O cajá-manga contém quantidade relevante de minerais, vitaminas, compostos fenólicos, carotenoides e taninos e destacando-se como uma das frutas tropicais mais aromáticas (TIBURSKI et al., 2011; NARAIN et al., 2004; HAMANO; MERCADANTE, 2001). Porém, apresentam alta perecibilidade pós-colheita, sendo necessário o estudo de tecnologias que promovam maior período de comercialização do fruto in natura, com boa qualidade sensorial, nutricional e biológica. Há poucos estudos relevantes no que diz respeito ao processamento deste fruto. Para a agregação de valor a esta fruta e ampliação do seu mercado, é importante o maior conhecimento das suas características de processamento.

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. Inúmeras técnicas vêm sendo estudadas para aumentar a vida útil das frutas e uma alternativa para evitar as perdas é o processamento e a transformação destes vegetais, como a produção de desidratação, minimamente processados e bebidas.

Diante desse cenário de alta produção da fruticultura no Brasil e com as perdas consideráveis, com o crescimento da produção e consumo de sucos à tecnologia de secagem de vegetais vem a calhar a fim de desenvolver produtos mais seguros e com qualidade visando o crescimento do mercado de frutas (in natura e processada) e evitar as altas perdas.

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). Dentre os processos de secagem destaca-se o processo de secagem por spray-drying, leito fluidizado e a liofilização.

O cajá-manga, atualmente, é comercializado in natura, em forma de doces artesanais e em polpa, que por sua vez é amplamente utilizado em gelados comestíveis. Com o aumento do consumo deste fruto, principalmente pela indústria, a conservação através da desidratação é uma alternativa que amplia as possibilidades de emprego e comercialização.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo principal a obtenção de polpa de cajá-manga em pó pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado, verificando a influência das variáveis do processo de secagem (temperatura

do ar de secagem e concentração de maltodextrina no processo de spray-drying e leiteo fluidizado e tempo de congelamento e concentração de maltodextrina no processo de liofilização) sobre o rendimento, umidade, higroscopicidade e teor de ácido ascórbico do produto final, visando a determinar as melhores das condições de secagem.

Além disso, estudar as suas características físico-química, reológicas, morfológicas e o comportamento higroscópico, por meio da determinação de suas isotermas de adsorção, e ainda avaliar a estabilidade dos pós obtidos durante o armazenamento em embalagem laminada e plástica sob condições ambientais.

REFERÊNCIAS

FERREIRA, L.; PINTO, L. S. R. C. Estruturados de cajá-manga (*Spondias dulcis*) com diferentes hidrocoloides. **Enciclopédia Biosfera**, v. 14, n. 25, p. 32-41, 2017.

GAVA, A. J. **Tecnologia em Alimentos: princípios e aplicações**. São Paulo: Nobel, 2009.

HAMANO, P. S.; MERCADANTE, A. Z. Composition of carotenoids from commercial products of Caja (*Spondias lutea*). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 14, n. 4, p. 335–343, 2001.

NARAIN, N.; ALMEIDA, J. D. N.; GALVÃO, M. D. S.; MADRUGA, M. S.; BRITO, E. S. D. Compostos voláteis dos frutos de maracujá (*Passiflora edulis* forma *Flavicarpa*) e de cajá (*Spondias mombin* L.) obtidos pela técnica de headspace dinâmico. **Food Science and Technology**, v. 24, n. 2, p. 212-216, 2004.

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.

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.

RUFINO, M. S. M.; BRITO, E. S.; JIMÉNEZ, J. P.; CALIXTO, F. S.; MANCINI FILHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food chemistry**, v. 121, n. 4, p. 996-1002, 2010.

TIBURSKI, J. H.; ROSENTHAL, A. DELIZA, R.; GODOY, R. O.; PACHECO, S. Nutritional properties of yellow mombin (*Spondias mombin* L.) pulp. **Food Research International**, v. 44, p. 2326–2331, 2011.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Cajá-Manga

A cajazeira (*Spondias* sp.), pertencente à família *Anacardiaceae*, e ao gênero *Spondias* e é nativa da América Tropical, sendo encontrado nas áreas tropicais da América, Ásia, África e no Brasil (MILLER; SCHAAL, 2005). A família *Anacardiaceae* é representada por cerca de 80 gêneros e 600 espécies, que são conhecidas por produzirem frutos comestíveis, excelente madeira, compostos que são utilizados na indústria e na medicina (BARROSO et al., 2002).

O gênero *Spondias* possui 18 espécies, seis dessas ocorrem no Nordeste e são árvores frutíferas tropicais em domesticação e exploradas pelo seu valor comercial (MITCHELL; DALY, 1995). Este gênero foi inicialmente nominado à criação da nomenclatura binomial e do sistema de classificação científica concebido pelo médico, botânico e zoólogo sueco Carl Linnaeus, em seu tratado botânico *Genera Plantarum*, de 1753, época em que era conhecida apenas uma espécie do gênero, a cajazeira (*Spondias mombin* L. sin. *Spondias lutea* L.) (SHAW; FORMAN, 1967). Posteriormente, foi realizado o aperfeiçoamento da descrição das diferentes espécies do gênero, resultado que culminou na catalogação e denominação de outras espécies dentre as quais a *Spondias dulcis* Forst (GOMES, 2007; SEREJO et al., 2009) sin. *Spondias cytherea* Sonn., popularmente conhecida como cajarana ou cajá-manga (EMBRAPA, 2006).

Dentre as espécies pertencentes ao gênero *Spondias* destacam-se umbu-cajá, cajarana ou cajá-manga (*Spondias spondias dulcis*), umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.), cirigüela (*Spondias purpurea* L.) e cajá (*Spondias mombin* L.), que vem despertando interesse, especialmente para agroindústria. A procura pelos frutos deste gênero deve-se principalmente às boas características para a industrialização e para o consumo in natura (FERNANDES et al., 2005; LIMA, 2010).

Segundo Gomes (2007) o cajá-manga, também chamada taperebá-do-sertão no Brasil, é originário das Ilhas da Melanésia e Polinésia, na Oceania. É bastante frequente na Malásia, Índia, no Ceilão e no Vietnã, onde os frutos são vendidos em mercados. Foi introduzido na América Central pela Jamaica em 1782 e é cultivado em Cuba, Haiti, República Dominicana, Porto Rico e Trinidad e Tobago. No Brasil e em outras partes da América tropical é ainda obtida por extrativismo (JANICK; PAULL, 2008).

No Brasil, o conhecimento da extensão e distribuição geográfica deste gênero tem variado muito, sendo encontrada principalmente nas regiões de cerrado e disseminada por vários estados do país (OLIVEIRA, 2011), principalmente Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste.

O cajá-manga, são frutos comestíveis ao natural, é constituído de polpa, casca e semente, apresentando formato elipsoide, do tipo drupa com, aproximadamente, 6 a 10 cm de comprimento e 3 a 10 cm de largura e 100 g, de tamanho pouco maior que um limão (Figura 1). Os frutos são do tipo climatério de casca verde, fina e lisa e, à medida que amadurecem, tornam-se amarelo-ouro. Sua semente é dotada de fibras rígidas e espinescentes que penetram parcialmente na polpa. A polpa é succulenta, fibrosa e pouco ácida, de fragrância marcante. (FRANQUIN et al., 2005; JANICK; PAULL, 2008; OLIVEIRA, 2011).

Figura 1 - Frutos de cajá-manga.



a. frutos maduro; b. fruto sem casca; c. semente

Fonte: SILVA, 2016

Devido ao clima peculiar a cada região e da constituição da própria planta, a época de safra pode variar nos diversos estados brasileiros (BOSCO et al., 2000). Na região Amazônica, a colheita ocorre de dezembro a fevereiro, enquanto no Sudeste da Bahia e no estado do Ceará de janeiro a maio, na Paraíba de maio a julho, e em Goiás, de abril a junho (CAVALCANTE et al., 2009; SILVA, 2016).

Segundo Mattietto (2007) as características físico-químicas dos frutos podem variar com a espécie, fator genético, local de cultivo, época de frutificação e de colheita, fatores ambientais, entre muitos outros.

O cajá-manga é constituído, principalmente, de água, carboidratos, ácidos orgânicos, minerais, proteínas, vitaminas e pigmentos (Tabela 1).

Tabela 1 - Características físico-química da polpa de cajá-manga

Componentes	Polpa da Cajá-Manga
Umidade (g/100g)	83,66
Resíduo Mineral Fixo (g/100g)	0,76
Lipídios (g/100g)	0,62
Proteínas (g/100g)	1,06
Fibra Alimentar Total (g/100g)	1,87
Carboidratos Totais (g/100g)	13,90
Calorias (kcal/100g)	65,62
pH	2,53
Acidez total (g/100g em ac. cítrico)	1,86
Sólidos Solúveis (°Brix)	10,09

Fonte: TIBURSKI et al., 2011; MATTIETTO et al. 2010

Segundo Tiburski et al. (2011), a polpa de cajá-manga contém quantidade relevante de potássio, cobre, atividade antioxidante e conteúdo de fenólicos totais, carotenoides, taninos e vitamina C. O cajá-manga destaca-se como uma das frutas mais aromáticas, com 33 compostos que ajudam a formar o aroma característico da fruta.

O cajá-manga é um fruto muito apreciado no Brasil, para o consumo in natura e produtos processados. Tem demanda crescente, pois é matéria prima de produtos como polpa congelada, bebidas, doces, sorvetes, picolés e geleias, apresentando grande aceitação no mercado pelo sabor exótico, rendimento superior a 60 -70% em polpa, por seu característico *flavour* e excelente valor comercial como matéria-prima. (MATTIETTO et al., 2007; CARVALHO et al., 2008; SOARES et al., 2006; BUSANELLO, 2014; NETO et al., 2019).

A crescente demanda pelos frutos e produtos processados, vem aumentando o interesse das agroindústrias e dos fruticultores para a exploração comercial, porém a produção, em sua grande maioria, ainda é realizada de forma extrativista ou em cultivos não domesticados (RIBEIRO; DE LIMA; MIZOBUTSI, 2019). Não faz parte das estatísticas oficiais, mas, mesmo assim, tem grande importância socioeconômica para as regiões Central, Norte e Nordeste do Brasil (OLIVEIRA, 2011).

O cajá-manga apresenta curto período de comercialização, alta perecibilidade, sendo necessário o estudo e desenvolvimento de tecnologias que promovam maior período de comercialização do fruto in natura, com boa qualidade sensorial, nutricional e biológica.

Portanto, é importante o conhecimento do desenvolvimento fisiológico do fruto, assim como o ponto ideal de colheita para melhor conservação (SILVA, 2016; LIMA et al., 2019).

2.2 Secagem de Alimentos

A secagem é um processo combinado de transferência de calor e massa, em que uma boa parte da água é eliminada de um produto, reduzindo, conseqüentemente, a sua atividade de água que afeta o crescimento microbiano, reações enzimáticas e outras reações de origem química e física (GAVA, 2009).

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, obtendo-se como consequência a oferta de um novo produto ao 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).

Alguns alimentos quando submetidos à secagem conservam 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 modificação sensorial e nutricional. O projeto de operação dos equipamentos e do processo de secagem objetiva minimizar essas alterações, por meio da seleção de condições apropriadas de desidratação para cada alimento em particular (GAVA, 2009).

Segundo Fellows (2006) existe um grande número de fatores que controlam a taxa de secagem: 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.); e 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 processo de secagem adequado pode ser a chave para o sucesso da operação (MARQUES, 2008).

O conhecimento do mecanismo de ação da água entre os materiais e o ambiente é de grande importância no processamento da secagem (SOUSA et al., 2006). Segundo PARK et al (2014) o movimento de água do interior, de um material sólido, até a superfície é analisado pelos mecanismos de transferência de massa, que indicará a dificuldade de secagem nos materiais.

Durante a secagem, para que haja a evaporação de água da superfície do material ao ambiente, a água deve ser transportada do interior do sólido até a superfície.

Os mecanismos mais importantes são:

- Difusão líquida: ocorre devido à existência do gradiente de concentração;
- Difusão de vapor: ocorre devido ao gradiente de pressão de vapor, causado pelo gradiente de temperatura;
- Escoamento de líquido e de vapor: ocorrem devido à diferença de pressão externa, de concentração, capilaridade e alta temperatura.

Todas estas considerações, tais como, conteúdo inicial de umidade do material; conteúdo final de umidade que o material pode chegar (umidade de equilíbrio); modo pelo qual a água está relacionada com a estrutura do sólido e modo pelo qual o transporte da água é feito do interior à superfície do sólido durante a secagem servem para fundamentar o fenômeno de secagem.

Porém está longe de estabelecer uma única relação teórica que possibilite generalizações para tratamentos na secagem.

Fatores como a temperatura, umidade relativa do ar ambiente, temperatura e vazão do ar de secagem, teor de água inicial, composição do produto e vazão do produto no secador influenciam na migração da água (ANDRADE et al., 2006).

Todas estas considerações, tais como, conteúdo inicial de umidade do material sólido, conteúdo final de umidade que o material sólido pode chegar (umidade de equilíbrio), como a água está relacionada com a estrutura do sólido e como o transporte da água é feito do interior à superfície do sólido durante a secagem servem para fundamentar o fenômeno de secagem (PARK et al, 2008).

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 (PARK et al, 2008).

Do ponto de vista de fornecimento de calor, os mecanismos básicos de transferência de calor empregados, do tipo de alimentos a ser desidratado, do nível de qualidade que se deseja obter e de um custo que possa ser justificado indicam os possíveis

equipamentos necessários ao processo. A retirada do vapor de água formado na superfície do material é analisada do ponto de vista de movimento do fluido (mecânica dos fluidos), indicando também os possíveis equipamentos para esta finalidade (MOURA, 2010; PARK et al, 2008).

2.2.1 Processos de Secagem

Cada secador atende às diferentes necessidades de processo, que, em geral estão intrinsecamente vinculadas ao produto. O conhecimento das propriedades do alimento a ser seco é a primeira exigência para dimensionamento de um secador.

Cada tipo de secador operando de um modo diferente atende 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	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
Spray-dryer			X	x	x			
Liofilizador	x	x	X	x	x	x	x	x
Tambor	x		X	x	x			

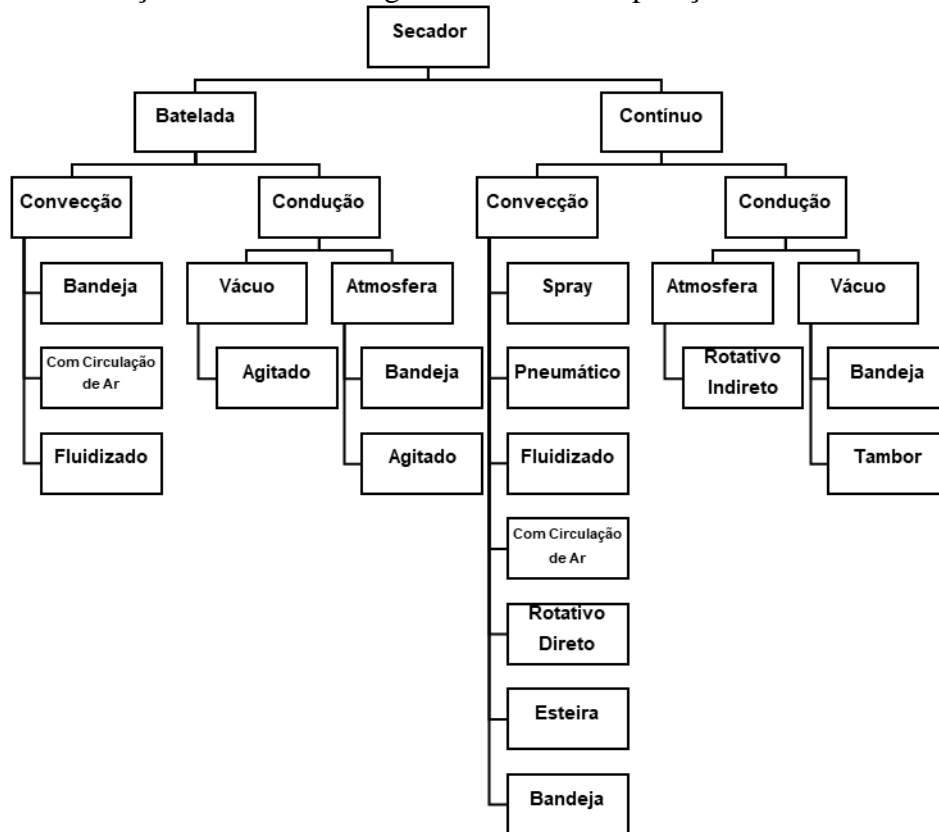
Fonte: Adaptado de PARK et al. (2014)

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 de secador 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 modo de operação de cada secador (Figura 2).

Figura 2 - Classificação de secadores segundo o modo de operação e transferência de calor.



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

2.2.2 *Spray-dryer*

A secagem por aspersão é uma tecnologia extremamente bem estabelecida para a produção de pós de micropartículas para uma variedade de produtos. 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, microorganismos, produtos com leveduras, enzimas e proteínas. Outro campo onde a secagem por atomização tem adquirido destaque recentemente é na microencapsulação de substâncias (ROSA *et al.*, 2002).

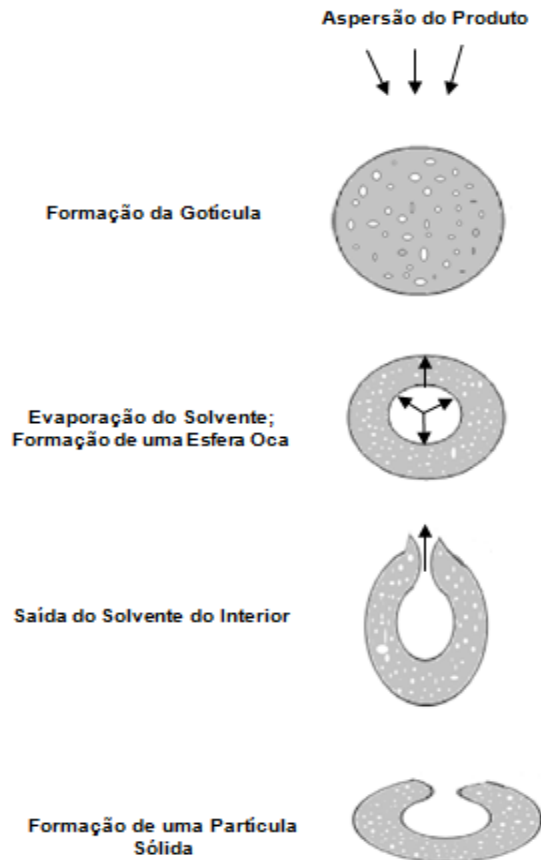
A tecnologia de secagem em spray-dryer é amplamente conhecida e utilizada para transformar líquidos (soluções, emulsões, suspensões, lamas e pastas) em pós sólidos. As suas principais aplicações são encontrados nas indústrias de materiais alimentícios, químicos e para aumentar a conservação de ingredientes, 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 atomização 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 aspersão é provocar a mistura dentro de um recipiente (câmara de secagem) entre um gás aquecido (ar) e uma massa fluida, atomizada 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; PACE *et al.*, 2004).

O processo de secagem em spray-dryer consiste de quatro etapas fundamentais. Na primeira fase, o fluído é atomizado na câmara de secagem, produzindo gotículas e uma grande área superficial. Na segunda, ocorre contato destas com uma corrente de ar aquecido, havendo transferência de calor. Na terceira etapa ocorre a evaporação do solvente e a formação da partícula sólida e na quarta a separação do sólido do ar de secagem nos ciclones - Figura 3 (OLIVEIRA; PETROVICK, 2010; ISHWARYA; ANANDHARAMAKRISHNAN, 2017).

Figura 3 - Formação de partícula por secagem por aspersão.



Fonte: Adaptada de Cal et al., 2000

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 (OLIVEIRA; PETROVICK, 2010).

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 (ROSA *et al*, 2002).

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 à turbulência gerada na câmara de turbilhamento dos bicos atomizadores. Porém, a dispersão sob pressão de material

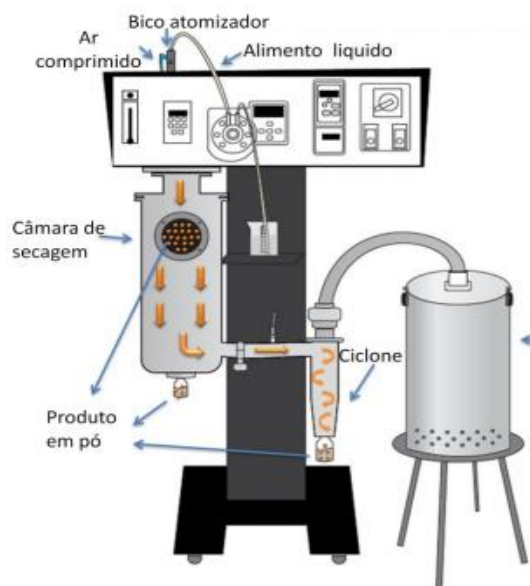
no spray-dryer requer certo trabalho, que é despendido para vencer a tensão superficial e aumentar a superfície total do fluido. A capacidade de produzir trabalho, ou seja, de transformar ou mover algo é definida como energia. Essa energia de atomização é igual ao produto da tensão superficial e nova superfície total criada e a dispersão podem ser realizadas de várias maneiras, mas em todas as ocasiões materializa numa vaporização eficiente (CARVALHO, 2011).

Classifica-se os bicos de pressão como: discos rotativos, bicos de atomização por pressão (hidráulicos, bicos pneumáticos e atomizadores ultrassônicos (PEIGHAMBARDoust *et al.*, 2011).

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 Figura 4 mostra um diagrama esquemático de uma configuração básica de spray-dryer.

Figura 4 - Diagrama esquemático de spray-dryer.



Fonte: Ribeiro (2014)

2.2.3 Liofilização

A liofilização é uma técnica de secagem que retira a umidade contida no material através do congelamento da parte líquida e posterior sublimação do gelo. Por trabalhar com baixas temperaturas e sob vácuo, esse processo é recomendado para materiais termo sensíveis, materiais biológicos (fungos, enzimas, tecidos, sangue, cobaias), farmacêuticos (antibióticos, vacinas, soros), alimentos (suco, carnes, legumes, frutas) e produtos químicos; gerando produtos de qualidade superior quando comparados às outras técnicas de secagem (PITOMBO, 1989; LOMBRAÑA; IZKARA, 1996).

Também denominada como criodesidratação ou criosecagem, é um processo diferenciado de desidratação de produtos, pois ocorre em condições especiais de pressão e temperatura, possibilitando que a água previamente congelada (estado sólido) passe diretamente ao estado gasoso (sem passar pelo estado líquido), ou seja, a mudança de estado físico ocorre por sublimação (GARCIA, 2009).

A liofilização é uma técnica de secagem que não agride os alimentos como outras técnicas mais tradicionais como secagem a quente. Apesar de ser mais caro, o uso deste método é justificado quando o produto é muito sensível ao calor ou quando se deseja preservar características originais do alimento (FELLOWES, 2000; OSAKO, 2012).

Um produto liofilizado torna-se ainda mais competitivo quando se analisa sua praticidade no transporte e armazenamento, dado que o produto desidratado ocupa menos espaço, é mais leve (FELLOWES, 2000; OSAKO, 2012) dispensa o uso de câmaras de refrigeração (pode ser armazenado a temperatura ambiente), desde que esteja adequadamente vedado em uma embalagem a vácuo para não absorver a umidade presente no ar e atmosfera livre de oxigênio.

A produção de alimentos naturais sólidos, em que a aparência é muito importante, como no caso de snacks de frutas, normalmente é feita por este método. Neste caso, ele é preferível em relação a outros modos de secagem, pois o alimento não reduz drasticamente de tamanho e permanece com o sabor original. Para produtos líquidos, como suco de frutas, a liofilização também é altamente recomendada, pois a formação de poros (resultado da sublimação do gelo presente no alimento congelado) permite rápida e praticamente completa reidratação, além de conservar características sensoriais originais (FELLOWES, 2000; OSAKO, 2012).

A primeira etapa da liofilização é o congelamento do produto. É necessário que o alimento a ser liofilizado seja submetido a temperaturas baixas o suficiente, de modo que toda a água presente esteja no estado sólido e abaixo do ponto triplo da água.

O modo como o congelamento acontece depende do produto com que se está trabalhando e da estrutura que se espera obter. Congelamentos rápidos implicam em cristais pequenos, e conseqüentemente, poros pequenos e numerosos. Já se o processo se der lentamente, os poros serão maiores, facilitando a saída do vapor d'água na segunda etapa da liofilização (OSAKO, 2012).

O desempenho da liofilização depende significativamente do processo de congelamento (TERRONI, 2012), uma vez que ele define a forma, o tamanho e a distribuição dos poros e a conectividade na camada seca formada durante a sublimação, e influenciando, conseqüentemente, os parâmetros que caracterizam a transferência de massa e de calor no produto seco durante a secagem primária e secundária (LIAPIS *et al.*, 1996).

Ao se congelar uma solução, a água transforma-se em gelo num grau variado, porém de alta pureza. Logo, os constituintes não aquosos são concentrados em uma pequena quantidade de água. Como resultado do congelamento, pode ocorrer a formação de misturas eutéticas (temperatura de fusão dos componentes da mistura se torna a mesma e não ocorre modificações na composição) ou precipitados amorfos, ainda pode acontecer a desidratação do material insolúvel, assim como a coalescência de gotas de líquidos imiscíveis (BARUFFALDI; OLIVEIRA, 1998; LIAPIS *et al.*, 1996).

Se os cristais de gelo são pequenos e descontínuos então a taxa de transferência de massa de vapor de água pode ser limitada. Por outro lado, se o tamanho dos cristais de gelo é formado de maneira apropriada, e a dispersão da solução pré-eutética e pós-eutética congelada é homogênea, a taxa de transferência de massa de vapor de água na camada seca pode ser elevada e o produto pode secar mais rapidamente (LIAPIS *et al.*, 1996).

A segunda etapa consiste em sublimar o gelo formado na etapa anterior. Para isso, o alimento é colocado em uma câmara, à qual é aplicado vácuo. Como o produto se encontra a uma temperatura abaixo do ponto triplo da água, a queda de pressão e aumento da temperatura para o valor ambiente faz com que parte da água evapore, sem passar pelo estado líquido (FELLOEWS, 2000; OSAKO, 2012). Caso, por alguma falha do processo, ainda exista alguma quantidade de água residual no estado líquido, haverá a formação de bolhas e a aparência do produto será comprometida. Nesta etapa, elimina-se cerca de 80 a 90% da umidade presente, umidade esta que é acumulada no condensador.

A etapa de sublimação retira praticamente toda a água sólida presente no alimento. Porém, a umidade residual está na forma de água combinada, fortemente ligada ao substrato. Nesta etapa busca-se a otimização do processo de desidratação, o qual reside na minimização da etapa da sublimação, aumentando a velocidade da remoção da água sublimada na interface e prevenindo a formação de cristais de gelo no interior do alimento que poderiam romper as estruturas moleculares. Ela representa uma parte significativa da umidade total do alimento, e, portanto, deve ser retirada para que o produto final apresente valores abaixo de 2% de umidade, valor suficiente para que não haja atividade microbiana (CHARM,1971 *apud* OSAKO, 2012; MEDEIROS, 2014).

A secagem secundária, em que a secagem é efetuada a uma temperatura elevada, porém, inferior à da degradação do produto, com a finalidade de eliminar os últimos vestígios de água retida por absorção. Isso é feito fornecendo calor lentamente para o alimento no liofilizador e mantendo o vácuo, de modo que a água ligada evapore. Como a pressão na câmara é baixa e o alimento continua abaixo do ponto triplo da água, a temperatura a qual o alimento deve ser submetido não precisa ser muito elevada. Dessa forma, os nutrientes não são destruídos e as características sensoriais também se mantêm. Ao término da secagem antes da retirada do alimento da câmara, deve haver a introdução de um gás inerte, em geral, utiliza-se o nitrogênio, para rompimento do vácuo, pois se ocorrer à entrada de ar na câmara, os produtos imediatamente absorveriam umidade (ORDÓÑEZ, 2005).

O modelo de liofilizador mais comum é o que opera em batelada, e assim como qualquer outro, é composto basicamente de quatro partes: câmara de vácuo, bombas para manter o vácuo, sistema de refrigeração para coleta do vapor gerado durante a secagem e fonte de calor para vaporizar a água ligada (OSAKO, 2012).

Existem diversos tipos de liofilizadores, diferenciando-se em detrimento do modo como se proporciona calor para a superfície do alimento. Os tipos que utilizam condução e radiação são utilizados comercialmente e, atualmente, também se utiliza a liofilização por micro-onda (GARCIA, 2009).

A câmara de liofilização tem duas funções principais: (1) fornecer um ambiente seguro para o produto durante todo o processo de liofilização, e (2) fornecer as temperaturas e pressões necessárias para realizar cada etapa do processo. A câmara de secagem é um compartimento de metal, geralmente, construído em aço inoxidável, em que se pode ter acesso através de uma porta articulada (RIBEIRO, 2012).

A câmara de vácuo possui prateleiras, sobre as quais os alimentos ficam dispostos durante o processo, e um tubo que a conecta a uma bomba. Esta, por sua vez, retira o ar do

sistema, e provoca a queda de pressão, essencial para criar as condições necessárias à sublimação do gelo. Normalmente, a câmara de vácuo é dividida em duas através de uma válvula borboleta. Primeiro se faz vácuo no condensador, e só depois que o liofilizador é carregado, a válvula é aberta. Essa manobra diminui o tempo em que o alimento congelado fica a pressão atmosférica, e evita que o gelo derreta e comprometa o processo (OSAKO, 2012).

Ainda há um sistema de refrigeração acoplado ao liofilizador, que diminui a temperatura de placas metálicas, onde a água desprendida do alimento congela e fica retida no condensador. No fim do processo, água é recolhida através da abertura de uma válvula externa ao equipamento (FELLOEWS, 2000; OSAKO, 2012).

A última parte básica de um liofilizador consiste em um sistema de aquecimento, nos equipamentos que possuem esse sistema, que engloba a circulação de óleo quente pelas prateleiras onde o alimento é carregado. A temperatura do fluido não precisa ser muito elevada, dado que, a baixas pressões, a quantidade de energia que deve ser transferida ao gelo para que ele evapore é pequena (FELLOEWS, 2000; OSAKO, 2012). O calor é necessário para remover a água ligada restante do processo de sublimação do gelo, e é essencial, pois representa cerca de 10% da umidade total do alimento, portanto significativa na conservação do produto final (OSAKO, 2012).

2.2.4 Leito fluidizado

A técnica de leito de jorro foi descoberta ao acaso por Mathur e Gishler (Mathur e Epstein, 1974) no Canadá em 1954, quando estudavam a secagem de trigo em leito fluidizado.

Esse equipamento foi inicialmente projetado para a secagem de grãos de trigo em um processo que permite a aplicação de maiores quantidades de calor sem a ocorrência de perda da qualidade do material. Em seguida, os pesquisadores em questão, prevendo o grande potencial de aplicação da nova técnica, iniciaram um estudo mais profundo sobre o regime fluidodinâmico de jorro e concluíram que: “O mecanismo de fluxo dos sólidos assim como de fluxo do ar no leito de jorro é diferente ao observado para a fluidização, entretanto, o leito de jorro possui as mesmas aplicações do leito fluidizado, só que para partículas de dimensões mais elevadas” (MATHUR; EPSTEIN, 1974 apud MARRETO, 2006).

O leito de jorro convencional, como o empregado por Gishler e Mathur, é constituído por uma câmara de secagem cilíndrica conectada a uma base cônica, a qual possui em sua extremidade inferior um orifício de reduzida dimensão, através do qual o fluido de

jorro é alimentado ao sistema. Configurações totalmente cônicas, cilíndricas ou retangulares também podem ser empregadas (MARRETO, 2006).

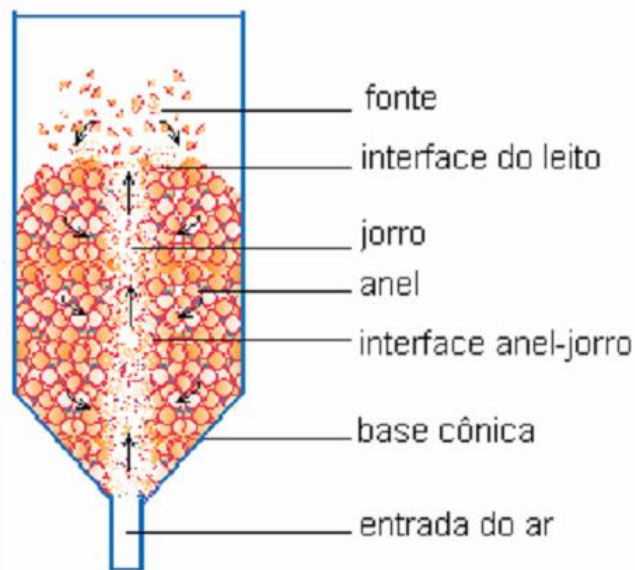
Ao invés de múltiplos orifícios para distribuição de gás, presentes no leito fluidizado, o leito de jorro apresenta uma coluna cônica e um orifício abaixo do cone por onde o gás é alimentado (ROCHA, 2006).

O leito de jorro é obtido pelo jato de uma corrente ascendente de gás (usualmente o ar), através de um leito de partículas sólidas. Quando o fluido atinge uma vazão suficientemente alta, ele aflora no leito provocando um movimento ascendente das partículas. Estas após atingirem uma determinada altura, caem em uma região denominada de região anular (LIMA, 2004).

Desta forma, podemos observar a formação de três regiões distintas, representadas pela Figura 5, que são:

- Região de jorro (ou central), onde as partículas são arrastadas pelo ar e apresentam um movimento característico do transporte pneumático;
- Fonte, onde as partículas oriundas da região de jorro, desaceleram e posteriormente caem na região anular;
- Região anular, onde as partículas apresentam um movimento descendente, comportando-se como em um leito deslizante.

Figura 5 - Diagrama esquemático do leito de jorro convencional.



Fonte: Rocha (2006)

O movimento do sólido depende muito da razão do comprimento cone-cilindro. Em leitos com pequenos ângulos do cone, o fluxo tem forma muito semelhante à fluidização. O leito de jorro convencional apresenta algumas limitações, entre elas (ROCHA, 2006):

- Elevada perda de carga antes de atingir o jorro estável;
- Dimensões geométricas limitadas para uma operação eficiente;
- Fluxo de gás limitado mais pelas exigências de estabilidade do jorro que pelas necessidades de transferência de calor e massa;
- Faixa operacional limitada;
- Capacidade limitada por unidade de espaço (devido aos limites sobre as dimensões do secador e à altura máxima de carga capaz de manter o jorro estável);
- Dificuldade de mudança de escala.

Quanto ao mecanismo que promove o jorro, pode-se citar o pneumático, comumente utilizado nos leitos convencionais; o mecânico, onde o deslocamento das partículas é realizado por um transportador mecânico tipo parafuso; e o vibratório, cuja base cônica é flexível e vibra provocando o movimento do leito. Quanto à entrada do gás (mecanismo pneumático), que tanto pode ser o ar como outro gás ou vapor superaquecido, está se dá na forma convencional através do orifício de entrada na base, com aeração complementar na região anular, com múltiplas entradas (diversos arranjos), ou combinadas com outros mecanismos tipo mecânico e vibro-jorrado. Nos processos de secagem a vácuo, usa-se comumente o jorro vibratório (ROCHA, 2006).

Há três diferentes formas de alimentação no processamento de secagem em leito de jorro quando se utilizam inertes: na parte superior do equipamento; na base central da coluna; e no interior da região anular. A suspensão em contato com as partículas inertes forma uma película que é seca rapidamente por convecção e condução. Essa película seca se fratura devido às colisões das partículas dentro do equipamento e então arrastada pela corrente de ar produzida pelo ciclone e recolhida (SOUZA, 2009).

Neste tipo de secagem, dois fatores se tornam limitantes: as taxas de transferência de calor e massa e a aderência da película sobre a partícula inerte, que poderá acarretar em aglomeração no leito, seguido de acúmulo do material dentro do secador. Esses fatores podem ser influenciados pelas variáveis do processo, tais como: vazão da alimentação da suspensão e do ar; as propriedades do material a ser seco; e pela localização da alimentação, que influencia o desempenho do secador e conseqüentemente a qualidade do produto final - umidade, granulometria, densidade, etc. (SOUZA, 2009).

Partículas inertes de alguns tipos de materiais podem ser utilizadas como suportes para a secagem de pastas e polpas de frutas em leito de jorro. Entre os materiais inertes que merecem destaque estão o vidro e o Teflon® (LAVOYER, 2012).

O vidro é um produto inorgânico obtido pelo resfriamento a uma taxa apropriada do material fundido sem que haja cristalização, obtendo-se um sólido amorfo. Esse produto tem excelente resistência a quase todos os ácidos, exceto ao ácido fluorídrico com aquecimento e ao ácido fosfórico concentrado, e também está sujeito ao ataque de soluções alcalinas aquecidas (LAVOYER, 2012).

O Teflon® é um polímero que contém somente átomos de carbono e flúor, quimicamente inertes. São conhecidos pela sua estabilidade térmica e baixa tensão superficial (LAVOYER, 2012).

2.3 Adjuvantes de secagem

O rendimento da secagem pode ser melhorado por meio da utilização de diferentes tipos de aditivos para redução das perdas causadas principalmente pela adesão das partículas às paredes do equipamento. Alguns desses aditivos proporcionam alterações nas características do produto seco, protegendo-o contra efeitos negativos sobre as características físico-química, além da degradação dos bioativos no pó seco (MORAES, 2014).

Durante o processo de secagem por aspersão à medida que as partículas são lançadas no meio gasoso (fluxo de ar quente, o mais comum) em movimento descendente (ou

ascendente), elas tomam a forma esférica que poderá ser “empacotada” (revestidas) por determinado 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. Em temperaturas, geralmente usadas em atomizadores, tais compostos de baixo peso molecular tendem a apresentar os problemas de adesão às paredes da câmara de secagem, além de coesão (adesão das partículas entre si), podendo mesmo 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. Além disso, 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 por 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; MORAES, 2014)

A variedade de material de parede, comumente usados no processo de empacotamento de partículas em cápsulas comestíveis (exemplo: 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, que é definida 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 $[(C_6H_{10}O_5)_n(H_2O)]$. Tem como principais características baixo custo, baixa higroscopicidade, efeito antioxidante e ótima retenção de substâncias voláteis que estão na ordem de 65 a 80% (ANSELMO *et al.*, 2006).

A classificação das maltodextrinas 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).

São utilizadas nas indústrias de alimentos como agente espessante, para auxiliar a secagem por atomização, como substituto de gorduras, como formador de filmes, no controle do congelamento, para prevenir cristalizações e como complemento nutricional. Nessas aplicações, várias propriedades físicas, químicas e biológicas são requeridas. Sendo assim, a caracterização das maltodextrinas apenas pelo valor da DE não tem sido suficiente para orientar o desempenho do produto em variadas aplicações (CARVALHO, 2012). 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).

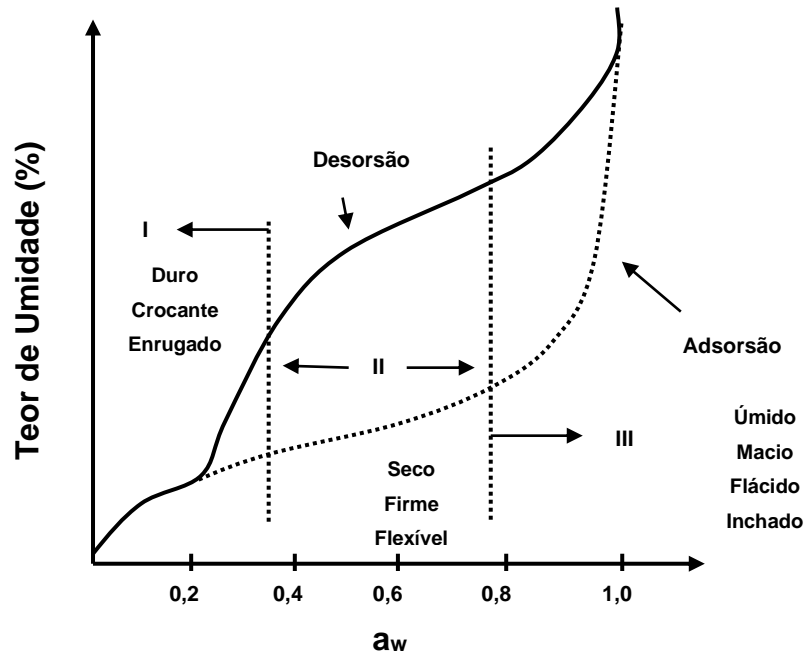
Em seu estudo Bhandari *et al.*, (1997) observou que adição de 5% de maltodextrina à polpa de manga antes da secagem resultou em praticamente o dobro de rendimento do pó de manga por esse processo. Zotarelli (2014) observou a redução da higroscopicidade com o aumento da concentração de maltodextrina na polpa de manga na secagem em spray dryer. Outros autores também observaram o mesmo comportamento. 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.

2.4 Isotermas de sorção

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

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

Figura 6 - Isoterma de sorção e o efeito da histerese.



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

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 tem relação estreita. O teor de água livre é expresso pela atividade de água (a_w) que é dada pela relação entre a pressão de vapor de água em equilíbrio sobre o alimento, e a pressão de vapor de água pura, à mesma temperatura (PARK *et al.*, 2014).

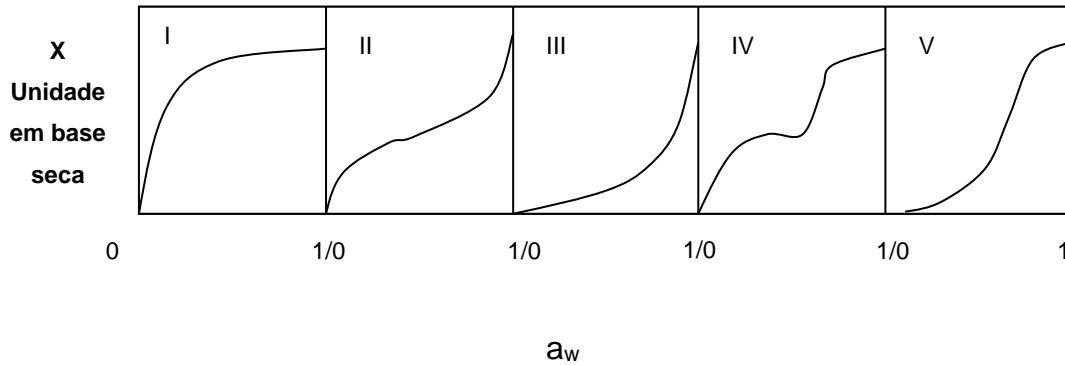
O estudo da curva de sorção, que relaciona esta atividade de água com a umidade relativa de equilíbrio, fornece informações relevantes para adequação dos parâmetros de secagem. A afinidade existente entre a água e os outros componentes de um produto define sua higroscopicidade que é uma característica importante nos alimentos e influente nos processos de manuseio, estocagem e consumo de materiais biológicos (TEXEIRA; QUAST, 1993 *apud* 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 nessas 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 (BET), dependendo da natureza do alimento (MATHLOUTHI; ROGÉ, 2003), conforme apresentado na Figura 7 e discutido abaixo.

Figura 7 - Representação dos cinco tipos de isotermas de sorção descritos por BET.



Fonte: MATHLOUTHI e ROGÉ, 2003

- Isoterma Tipo I: é conhecida como isoterma de Langmuir e é obtida pela adsorção de gás na camada monomolecular em sólidos porosos.
- Isoterma Tipo II: é a isoterma com formato de sigmoide, representada por uma curva assintótica, e é 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 e é 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 a certa 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 e;
- 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 (PAGLARINI, 2013; MCMINN; MAGEE, 2003).

A histerese (isoterma de dessorção com valores de umidade de equilíbrio superiores aos da isoterma de adsorção em certa atividade de água) pode ocorrer devido a

diversos fatores, tais como condensação capilar, mudanças na estrutura física do material, impurezas na superfície e mudança de fase (PAGLARINI, 2013). A histerese é importante na determinação da proteção necessária contra o ganho de umidade. Também pode ser usada para estimar a possibilidade de deterioração por reações químicas e microrganismos.

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

2.4.1.1 Método Estático

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

O teor de água da amostra em equilíbrio com as condições de temperatura e umidade relativa internas ao frasco hermético podem ser obtido pelo método da estufa. O tempo para atingir o equilíbrio pode se prolongar 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 é mais comum devido a segurança no manuseio e pela facilidade de se manter a umidade relativa constante, que é uma das vantagens deste método.

2.4.1.2 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 por meio de 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 5 h, sendo que esta é uma vantagem deste método quando comparado com o método estático (BARROZO, 1998).

2.4.1.3 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, 2014).

Na literatura são encontradas mais de 200 equações propostas para representar o 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; PINTO, 2004). A Tabela 3 apresenta os principais modelos existentes com suas respectivas equações de ajuste das curvas, onde X_m e X_{eq} 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, k1, k2, K1, K2, K3, K4, K5, N, n1 e n2 são constantes nos modelos em que aparecem.

Tabela 3 - Modelos matemáticos utilizados para ajuste de isotermas de sorção.

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

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

2.5 Higroscopicidade 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 utilizam o termo para indicar mudanças físicas facilmente perceptíveis, tais como a aglomeração e a liquefação (deliquescência). 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 modificações das propriedades dos alimentos – auto-aglomeração ou *caking*, transição do estado amorfo dos açúcares, reações deteriorativas, etc. (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 (auto-aglomeração 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 contenham 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; 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).

REFERÊNCIAS

- 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.
- ANDRADE, E. T. de; CORREA, P. C.; TEIXEIRA, L. P.; PEREIRA, R. G.; CALOMENI, J. de F. Cinética de secagem e qualidade de sementes de feijão. **Engevista**, v. 8, n. 2, p. 83-95, 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.
- 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 Dryer. **Higiene Alimentar**, v. 25, p. 488-489, 2011.
- BARROSO, G. M. et al. **Sistemática das Angiospermas do Brasil**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2002. v. 1, 309p.
- 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. Tese de Doutorado, PPG-EQ/UFSCar, São Carlos, SP.
- BARUFFALDI, R., OLIVEIRA, M. N. **Fundamentos de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1998. 317p.
- 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.
- BORGES, S. V. **Análise higroscópica e microestrutural de flocos de frutas desidratadas**. 1988. 151p. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG.
- BOSCO, J.; SOARES, K. T.; AGUIAR FILHO, S. P.; BARROS, R. V. **A cultura da cajazeira**. João Pessoa: EMEPA-PB, 2000.
- BUSANELLO, M. P. **Development of fermented milk drink with prebiotic caja-manga (*Spondias dulcis*)**. 2014. 50f. Monografy (Food Technology Degree) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- 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.

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.

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

CARVALHO, P.C.L., RITZINGER, R., SOARES FILHO, W.S., & LEDO, C.A.S. Características morfológicas, físicas e químicas de frutos de populações de umbu-cajazeira no Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 30, 140-147, 2008.

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.

CAVALCANTE, L. F.; LIMA, E. M.; FREIRE, J. L. O.; PEREIRA, W. E.; COSTA, A. P. M.; CAVALCANTE, I. H. L. Componentes qualitativos do cajá em sete municípios do brejo Paraibano. **Acta Scientiarum**, v. 31, n. 4, p. 627-632, 2009.

CHARM, S.E. **The Fundamentals of Food Engineering**. 2nd ed. Westport: Avi, 1971.

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.

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.

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.

DE LIMA, K. P.; DE MEDEIROS, E. S.; FERNANDES, F. A.; DA SILVA, V. F.; DE MORAIS, A. R. Ajuste de modelos não lineares para descrição do fruto cajá-manga. **Sigmae**, v. 8, n. 2, p. 221-226, 2019.

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.

EMBRAPA. **Fruticultura de Sequeiro: uma janela para o desenvolvimento**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2006. Disponível em: <http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/public_electronica/downloads/INT73.pdf>. Acessado em 05 -12- 2018)

FELLOEWS, P.J. **Food Processing Technology: Principles and Practice**. 2nd Edition. Woodhead Publishing, Limited, 2000.

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

FERNANDES, L. F.; MOURA FILHO, E. R.; ANDRADE, J. C.; MOREIRA, J. N.; VIEIRA, M. R. S.; MEDEIROS, D. C.; TOMAZ, H. V. Q.; LOPES, W. A. R. Influência de métodos combinados na preservação de polpa de cajarana em algumas características químicas. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS-COLHEITA DE FRUTOS TROPICAIS**, 1., 2005. Anais. João Pessoa, 2005.

FRANQUIN, S.; MARCELIN, O.; AURORE, G.; REYNES, M.; BRILLQUET, J.M. Physicochemical characterisation of the mature-green Golden apple (*Spondias cytherea* Sonnerat). **Fruits**, v.60, p.203-210, 2005.

GARCIA, L. P. **Liofilização aplicada a alimentos**. 2009. 45p. Trabalho Acadêmico (Graduação Bacharelado em Química de Alimentos) - Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, RS, 2009.

GAVA, A. J. **Tecnologia em Alimentos: princípios e aplicações**. São Paulo: Nobel, 2009.

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

GOMES, R.P. **Fruticultura brasileira**. 13. ed. São Paulo: NOBEL, 2007. 446 p.

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.

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.

ISHWARYA, S. P.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. **Spray drying. Handbook of drying for dairy products**, p. 56, 2017.

JANICK, J; PAULL, R. E. **The encyclopedia of fruit and nuts**. Ed. CABI, 2008.

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.

LAVOYER, F. C. G. **Estudo da secagem de polpa de coco verde em leite de jorro e viabilidade de sua utilização na indústria**. Dissertação (mestrado). -Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas. São José do Rio Preto: 2012. 74 f.

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.

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.

LIAPIS, A. I.; PIKAL, M. J. & BRUTINI, R. “Research and development needs and opportunities in freeze drying”. **Drying Technology**, 14(6), pp. 1265-1300, 1996.

LIMA, F. S. **Caracterização físico-química e bromatológica da polpa de Spondias sp (Cajarana do Sertão)**. 2010. 65 p. (Doutorado). Universidade Federal de Campina Grande. Patos.

LIMA, P. M. **Análise da fluidodinâmica e transferência de calor em leito de jorro com alimentação contínua de sólidos pela base**. São Carlos, 2004.

LOMBRAÑA, J. I. E.; IZKARA, J. “Experimental estimation of effective transports coefficients in freeze drying for simulation and optimization purposes”. **Drying Technology**, 14(3), pp. 743-763, 1996.

MARQUES, L. G. **Liofilização de frutas tropicais**. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos – SP, 2008.

MARRETO, R. N. **Estudo da técnica de leito de jorro convencional para secagem de microcápsulas de caseína e pectina**. Ribeirão Preto, 2006. 198 f. Tese (Doutorado em Medicamentos e Cosméticos) Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo – USP.

MATHLOUTHI, M.; ROGÉ, B. Water vapour sorption isotherms and the caking of food powders. **Food Chemistry**, v. 82, n. 1, p. 61-71, 2003.

MATHUR, K. B.; EPSTEIN, N. **Spouted beds**. New York: Academic Press, 1974. 304 p.

MATTIETO, R. A.; LOPES, A. S.; MENEZES, H. C. de. Caracterização física e físico-química dos frutos de cajazeira (*Spondia mombin* L.) e de suas polpas obtidas por dois tipos de extrator. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 13, n. 3, p. 156-164, 2010.

MATTIETTO, R.A.; LOPES, A.S.; MENEZES, H.C. Estabilidade do néctar misto de cajá e umbu. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 3, p. 156-463, 2007.

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, A. B. **Liofilização celular e sua aplicação na reprodução animal**. Monografia em medicina veterinária, Faculdade de agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, 2014.

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.

MILLER, A.; SCHAAL, B. Domestication of a mesoamerican cultivated fruit tree, *Spondias purpurea*. **Proceeding of the National Academy of Science of the United States of America**, v. 102, n. 1, p. 12.801-12.806, 2005.

MITCHELL, J.D. & DALY, D.C. Revisão das espécies neotropicais de Spondias (Anacardiaceae). In: **CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA**, 46, São Paulo, 1995. Anais. São Paulo: USP. p.207. 1995.

MOURA, S. M. **Estabilidade de acerola em pó oriunda de cultivo orgânico**. Dissertação (Mestrado) – Universidade federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Depto. de Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2010. 115 p.

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. R. C.; SCHUNEMANN, A. P. P.; DANTAS, A. L.; DOS SANTOS, L. F.; DANTAS, R. L.; DE MELO SILVA, S. QUALIDADE DE FRUTOS DE ACESSOS DE CAJÁ-MANGUEIRA DURANTE A MATURAÇÃO. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 36, n. 1, 2019.

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, J. R. S. de. **Caracterização de extratos de cajá-manga (*Spondias dulcis* Parkinson) potencialmente ativos e seguros para obtenção de fitocosmético antioxidante**. 2011. 212 p. (Doutorado). Ciências Farmacêuticas, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade Estadual de São Paulo. Araraquara.

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.

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

OSAKO, P. F. **Estudo e desenvolvimento de vitamina de iogurte e frutas liofilizadas**. 2012. 58f. Trabalho de conclusão de curso. Escola politécnica da universidade de São Paulo. Departamento de engenharia Química, USP.

PACE, G. W.; MISHRA, A. K.; SNOW, R. A.; PARIKH, I.; GUIVARC'H, P. H. W. **Spray drying process and compositions of fenofibrate**. U.S. Patent n. 6,696,084, 24 fev. 2004.

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

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, 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.
- PEIGHAMBARDOUST, 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.
- PITOMBO, R. N. M. “A liofilização como técnica de conservação de material de pesquisa”, In: **SBPC Ciência e Cultura**, pp. 427-431, 1989.
- 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.
- 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**. Fortaleza, CE, 2014.
- RIBEIRO, M. C. F.; LIMA, G. M. D. S.; MIZOBUTSI, G. P. Desverdecimento do cajá-manga com o uso do etileno. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 16, n. 2, p. 65-84, 2019.
- RIBEIRO, P.F.F.A.C. **Processo de Liofilização alimentares perecíveis**. 2012. 117 F. Dissertação. (licenciatura em engenharia mecânica) Departamento de engenharia mecânica. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa – ISEL.
- ROCHA, A. P. T. **Estudo do processo de recobrimento contínuo de extratos fitoterápicos secos em leito de jorro**. Campina Grande, 2006. 126f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia.
- 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.
- SEREJO, J. A. S. et al. **Fruticultura tropical: espécies regionais e exóticas**. Brasília (DF): Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SHAW, H. K.A.; FORMAN, L. L.: The genus *Spondias* L. (Anacardiaceae) in tropical Asia. **Kew Bull.**, v. 21, n. 1, p. 1-20, 1967.

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 Jaboticaba** (*Myrciaria jaboticaba*). 2011. 173 p. (Doutorado). Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa.

SILVA, T. L. L. **Cajá-manga (*Spondias mombin* L.): desenvolvimento fisiológico e avaliação do padrão respiratório**. 2016. 115 p. (Dissertação). Mestrado em Ciências Florestais, Universidade Federal de Goiás. Goiânia.

SOARES, E.B.; GOMES, R.L.F.; CARNEIRO, J.G.M.; NASCIMENTO, F.N.; SILVA, I.C.V.; COSTA, J.C.L. Caracterização física e química de frutos de cajazeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 28, 518-519, 2006.

SOUSA, M. de B.; PEDROZA, J. P.; BELTRÃO, N. E. de M.; SEVERINO, L. S.; DANTAS, F. P. Cinética de secagem do farelo de mamona. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.8, n.2, p.139-146, 2006.

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.

TERRONI, H. C. et al. Liofilização. **Revista científica UNILAGO**, PP 271 – 284. UNILAGO, 2012.

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

TIBURSKI, J. H.; ROSENTHAL, A. DELIZA, R.; GODOY, R. O.; PACHECO, S. Nutritional properties of yellow mombin (*Spondias mombin* L.) pulp. **Food Research International**, v. 44, p. 2326–2331, 2011.

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.

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.

3 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE SECAGEM NA OBTENÇÃO DA POLPA DE CAJÁ-MANGA EM PÓ EM DIFERENTES PROCESSOS

3.1 Introdução

Frutos exóticos e não tradicionais, apesar de serem apreciados por suas propriedades nutricionais e sensoriais como aroma e sabor, apresentam vida útil pós-colheita curta, o que tem dificultado a comercialização e requerem técnicas especiais para conservação e comercialização, inclusive para agregar-lhes valor (RUFINO et al. 2010).

Uma das alternativas para que isto ocorra é o uso de técnicas e processos pós-colheita a partir de frutas nativas que possibilite maior vida pós-colheita (MANOLOPOULOU et al., 2012; VASCONCELOS et al., 2017). Além disso, é de interesse à indústria e ao consumidor que, além da qualidade nutricional, características sensoriais sejam preservadas. Assim, a escolha de um processo adequado pode ser a chave para o sucesso. Técnicas de secagem como o spray-drying, liofilização e leiteo fluidizado são processos que visam à eliminação da água dos alimentos minimizando a degradação física, nutricional e sensorial dos mesmos.

O cajá-manga é um fruto muito apreciado no Brasil, para o consumo *in natura* e produtos processados. Tem demanda crescente, pois é matéria prima de produtos como polpa congelada, bebidas, doces, sorvetes, picolés e geleias, apresentando grande aceitação no mercado pelo sabor exótico, rendimento superior a 60 -70% em polpa, por seu característico *flavour* e excelente valor comercial como matéria-prima. (MATTIETTO et al., 2007; CARVALHO et al., 2008; NETO et al., 2019). O fruto apresenta formato elipsoide do tipo drupa, a polpa é composta por fibras rígidas e espinhosas, suculenta, agridoce e aromática (SIQUEIRA et al., 2017)

Por apresentar na constituição compostos bioativos como antioxidantes, carotenoides e vitaminas, a cajá-manga é uma fruta em que se deve buscar por técnicas que permitam a conservação dos frutos e dos nutrientes e oferta fora do período de safra (FERREIRA; PINTO, 2017). Dentre as técnicas de processamento e industrialização de frutos, a produção de polpa de cajá-manga desidratada em pó representa uma alternativa viável e bastante promissora.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi estudar a influência da temperatura do ar de secagem, o tempo de congelamento e da concentração de maltodextrina sobre as características da polpa de cajá-manga em pó pelos processos de secagem por aspersão em

spray dryer, liofilização e leite fluidizado visando à determinação das condições ótimas de processamento.

3.2 Materiais e Métodos

3.2.1 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 no período de janeiro de 2017 e dezembro de 2020.

3.2.2 Matéria prima

O experimento foi realizado com polpas comerciais de cajá-manga que foram adquiridas no município de Goiânia - GO e transportadas em refrigeração para o laboratório de secagem e controle de qualidade do departamento de engenharia de alimentos da Universidade Federal do Ceará em Fortaleza - CE.

Ao chegarem ao Laboratório, às polpas foram avaliadas quanto as suas condições de temperatura e avarias nas embalagens com a finalidade de selecionar somente embalagens de polpas sem defeitos visíveis, seguidas de armazenamento em temperaturas de congelamento.

3.2.3 Planejamento experimental e análise estatística

Para o estudo foram utilizados secador spray-dryer, liofilizador e leite fluidizado, além de maltodextrina (DE 20) como adjuvante de secagem.

O delineamento experimental foi realizado com o propósito de se avaliar a influência da temperatura de secagem (spray-dryer e leite fluidizado), tempo de congelamento (liofilizador) e a concentração de maltodextrina na polpa sobre o pó de cajá-manga obtido nos processos acima citados.

O mesmo tipo de delineamento foi aplicado para a determinação das condições de secagem por aspersão em spray dryer (Tabela 4) e em leite fluidizado (Tabela 5), variando os

níveis dos parâmetros de temperatura de secagem e concentração de maltodextrina (variáveis independentes).

Tabela 4 - Níveis do planejamento da polpa de cajá-manga para secagem por aspersão em spray dryer.

Variáveis independentes	Níveis				
	-1,42	-1,0	0	+1,0	+1,42
Temperatura de Secagem (°C) – X ₁	117,0	120,0	128,0	135,0	138,6
Concentração de Maltodextrina (%) – X ₂	5,9	10,0	20,0	30,0	34,1

Tabela 5 - Níveis do planejamento da polpa de cajá-manga para secagem em leito fluidizado.

Variáveis independentes	Níveis				
	-1,42	-1,0	0	+1,0	+1,42
Temperatura de Secagem (°C) – X ₁	57,4	60,0	68,0	75,0	78,6
Concentração de Maltodextrina (%) – X ₂	5,9	10,0	20,0	30,0	34,1

Na secagem por liofilização o planejamento foi realizado por meio da aplicação de delineamento composto central rotacional (DCCR) 2², que incluiu 4 ensaios fatoriais, 4 ensaios axiais e triplicata no ponto central, conforme Rodrigues e Lemma (2009), que permitiu o estudo de 5 níveis, variando os níveis dos parâmetros de tempo de congelamento e concentração de maltodextrina, admitidos como variáveis independentes, conforme Tabela 6.

Tabela 6 - Níveis do planejamento da polpa de cajá-manga para secagem por liofilização.

Variáveis independentes	Níveis				
	-1,42	-1,0	0	+1,0	+1,42
Tempo de Congelamento (h) – X ₁	2,3	6,0	15,0	24,0	27,7
Concentração de Maltodextrina (%) – X ₂	5,9	10,0	20,0	30,0	34,1

As faixas de variação entre os limites inferiores e superiores para as variáveis independentes foram estabelecidas a partir de testes preliminares realizados em laboratório a fim de se determinar limites para que possa haver a coleta de pó. Como variáveis respostas aos planejamentos, foram adotadas o rendimento da secagem, umidade, higroscopicidade e teor de ácido ascórbico.

A avaliação estatística dos resultados dos planejamentos foi realizada em um nível de confiança de 90%. Os efeitos de cada variável independente sobre as respostas foram avaliados, bem como aplicação da análise de variância (ANOVA) para testar a adequação dos modelos de regressão gerados, avaliados também através do coeficiente de correlação (R^2) e do teste F (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010). Os modelos de regressão para todas as variáveis respostas foram gerados com a finalidade de descrever o comportamento das variáveis independentes sobre as variáveis respostas. Foi construído o gráfico de superfície de resposta e curva de contorno quando o modelo se mostrou adequado.

Os dados foram tratados estatisticamente com o auxílio do software Statistica 7.0 (STATSOFT, 2007), de forma a assegurar a validade dos coeficientes dentro do intervalo de 90% de confiança.

3.2.4 Preparação da amostra

Na polpa de cajá-manga foi adicionado o adjuvante de secagem maltodextrina de acordo com as proporções determinadas pelo delineamento experimental. A mistura foi submetida a um processo de homogeneização por 5 minutos sob velocidade de aproximadamente 6000 rpm em homogeneizador rotativo/TE-102 de marca Tecnal®. A preparação da amostra foi aplicada aos três processos de secagem da polpa de cajá-manga: spray-dryer, liofilização e leito fluidizado.

3.2.5 Secagem por aspersão em spray dryer

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 bico aspersor de 1,2 mm de diâmetro. Foram mantidos constantes os parâmetros de vazão do ar comprimido (3,0 L/min), vazão de alimentação (0,5 L/h), vazão do ar de secagem (3,0 m³/min). A temperatura de entrada do ar de secagem foi aplicada de acordo com o planejamento experimental.

3.2.6 Liofilização

As amostras (100g) foram acondicionadas em bandejas de aço inox (18 cm de diâmetro), congeladas de acordo com o tempo determinado pelo delineamento experimental em ultrafreezer vertical da empresa Terroni® Equipamentos Científicos, em temperatura -40

°C e, posteriormente, liofilizada por 24 horas em equipamento modelo L101, da empresa Liotop®. Para a obtenção da polpa em pó as amostras liofilizadas passaram por trituração manual utilizando almofariz, seguido de peneiramento para homogeneização das partículas, em peneiras de 500µm.

3.2.7 Secagem em leito fluidizado

A secagem foi realizada com secador tipo leito de jorro, modelo FBD 3.0 Labmaq® Brasil, com câmara de secagem de aço inox, com bico atomizador de 1,2 mm de diâmetro. Foram fixados os seguintes parâmetros de secagem: massa do material inerte de 400 g, a vazão de alimentação de 4,5 mL/min, vazão de ar comprimido de 30 L/min. A temperatura de secagem foi determinada de acordo com o planejamento experimental. O material utilizado nesta pesquisa para formação do leito de jorro foram partículas esféricas de polietileno de alta densidade com diâmetro médio de 33 mm.

3.2.8 Determinações analíticas

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.

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.

Higroscopicidade

A higroscopicidade, expressa em % (g de água absorvida por g de sólidos), 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.

Rendimento

O rendimento do processo de desidratação 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 amostra 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 – Umidade da amostra (g);

$M_{pó}$ – Massa do pó (g);

M_a – Massa da amostra (g).

3.3 Resultados e Discussão

3.3.1 Planejamento experimental - Secagem por aspersão em spray dryer

Os resultados dos experimentos de secagem por aspersão em spray dryer para cada ensaio estão apresentados na Tabela 7. A partir dos mesmos foram gerados modelos de regressão, que foram avaliados com o objetivo de descrever o comportamento das variáveis independentes sobre as variáveis respostas.

Tabela 7 - Resultados do planejamento experimental para secagem por aspersão em spray dryer de polpa de cajá-manga.

Ensaio	Variáveis Independentes		Variáveis Dependentes			
	Temperatura (°C)	Concentração Maltodextrina (%)	Umidade (%)	Rendimento (%)	Ácido ascorbico (mg.100g ⁻¹)	Higroscopicidade (%)
1	120,0	10,0	1,49	7,41	27,43	5,37
2	120,0	30,0	1,60	35,18	19,24	2,49
3	135,0	10,0	1,57	19,10	18,93	5,39
4	135,0	30,0	1,60	56,40	18,34	3,03
5	117,4	20,0	2,23	17,94	19,25	4,56
6	138,6	20,0	1,70	34,64	19,07	4,45
7	128,0	5,90	1,29	5,69	23,37	5,47
8	128,0	34,1	1,57	15,76	26,29	6,11
9	128,0	20,0	1,19	22,40	26,65	4,73
10	128,0	20,0	1,47	21,77	27,18	6,45
11	128,0	20,0	1,70	27,71	26,48	6,44

Análise da variável resposta umidade

Alimentos com umidade abaixo de 25% são considerados alimentos estáveis quanto ao desenvolvimento de microrganismos, bem como, às reações bioquímicas indesejáveis. Os ensaios (Tabela 7) apresentaram umidades excelentes após a secagem por aspersão em spray-dryer. Constatou-se que a umidade variou de 1,19% (ensaio 9) o valor mínimo a 2,23% (ensaio 5) o valor máximo, podendo ser classificado como um produto estável em todos os 11 ensaios. Cavalcante et al. (2017), observaram umidades entre 0,88 e 1,45% ao obter pós de graviola em spray-dryer ao variar a temperatura de secagem em 148 °C a 190 °C e maltodextrina em 10 a 24%, comportamento semelhante ao encontrado neste trabalho.

Na Tabela 8 observam-se os efeitos sobre a variável umidade da polpa de cajá-manga em pó obtido por secagem em spray-dryer. Observou-se que o efeito da temperatura (Q) do ar de secagem foi positivo e significativo ao nível de confiança de 90% sobre a variável umidade.

Tabela 8 - Efeito da adição de maltodextrina e temperatura do ar de secagem na umidade da polpa de cajá-manga em pó obtido em secagem por aspersão em spray-dryer.

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	Grau de significância (p)
Temperatura (L)	-0,19	0,17	0,31
Temperatura (Q)	0,42	0,20	0,09*
Maltodextrina (L)	0,14	0,17	0,46
Maltodextrina (Q)	0,10	0,20	0,63
Temp. x Malto.	-0,04	0,24	0,89

(L) - Termo linear; (Q) - Termo quadrático; *Significativo a $p < 0,10$.

Os resultados da análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão gerado para a umidade são apresentados na Tabela 9. Foram levados em consideração apenas os efeitos significativos, desconsiderando os efeitos negativos.

Tabela 9 - Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para a umidade da polpa de cajá-manga em pó obtido em secagem por aspersão em spray-dryer.

	SQ	GL	QM	F_{cal}	F_{tab}^*	R^2
Regressão	0,29	1	0,29	6,43*	3,36	0,4166
Resíduo	0,41	9	0,05			
Falta de ajuste	0,28	7	0,04	0,63 ^{ns}	9,35	
Erro puro	0,13	2	0,06			
Total	0,71	10				

*Significativo a $p < 0,10$.

SQ = Soma Quadrática; GL = Grau de Liberdade; QM = Média Quadrática; R^2 = Coeficiente de determinação.

De acordo com a Tabela 9 o modelo de regressão gerado apresentou um F_{cal} maior que o F_{tab} . Apesar disso, o coeficiente de determinação R^2 apresentou um valor baixo, o que demonstra baixa qualidade do ajuste do modelo. Assim não foram gerados os gráficos de superfície de resposta e curva de contorne para a variável umidade.

Análise da variável resposta rendimento

O rendimento de secagem é importante, pois indica a viabilidade do processo em termos de produtividade, é desejável um alto rendimento como forma a compensar os custos com a desidratação (ROCHA, 2017). O rendimento da polpa em pó obtido no processo de secagem por aspersão em spray-dryer (Tabela 7) oscilou entre 5,69% (ensaio 7) e 56,40% (ensaio 4). Ao fixar a temperatura de secagem em 120 °C (ensaios 1 e 2) observou-se um aumento de 374,8% no rendimento ao variar a concentração de maltodextrina de 10 para 30%. Nos ensaios 3 e 4 (temperatura de 135 °C) ocorreu aumento de 195,3% no rendimento quando variou de 10 a 30% a concentração de maltodextrina. Quando se utilizou 10% (ensaios 1 e 3)

e 20% (ensaios 5, 6, 9, 10 e 11) de concentração de maltodextrina houve aumento do rendimento ao variar a temperatura de secagem de 120 e 135 °C.

Na Tabela 10 observam-se os efeitos sobre à variável rendimento da polpa de cajá-manga em pó obtido em secagem por aspersão em spray-dryer. Observou-se que apenas o fator linear da concentração de maltodextrina apresentou comportamento significativo no processo. Observou efeito positivo no rendimento da polpa de cajá-manga em pó pelo processo de secagem por aspersão em spray-dryer para o fator com significância (concentração de maltodextrina lineares). A adição de maltodextrina, aliado ao aumento da temperatura do ar de secagem, resulta no aumento de partículas secas recuperadas e menor aderência dessas partículas na parede da câmara do secador, aumentando o rendimento.

Tabela 10 - Efeito da adição de maltodextrina e temperatura do ar de secagem no rendimento da polpa de cajá-manga em pó obtido em secagem por aspersão em spray-dryer.

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	Grau de significância (p)
Temperatura (L)	13,23	7,96	0,16
Temperatura (Q)	7,80	9,43	0,45
Maltodextrina (L)	19,70	7,96	0,06*
Maltodextrina (Q)	-7,58	9,46	0,46
Temp. x Malto.	-3,91	11,23	0,74

(L) - Termo linear; (Q) - Termo quadrático; *Significativo a $p < 0,10$

Os resultados da análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão gerado para o rendimento são apresentados na Tabela 11. Foram levados em consideração apenas os efeitos significativos.

Tabela 11 - Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para o rendimento da polpa de cajá-manga em pó obtido em secagem por aspersão em spray-dryer.

	SQ	GL	QM	F _{cal}	F _{tab} *	R ²
Regressão	1123,17	2	561,59	4,85*	3,11	0,5483
Resíduo	925,46	8	115,68			
Falta de ajuste	904,20	6	150,70	14,18*	9,33	
Erro puro	21,25	2	10,63			
Total	2048,63	10				

*Significativo a $p < 0,10$.

SQ = Soma Quadrática; GL = Grau de Liberdade; QM = Média Quadrática; R² = Coeficiente de determinação.

De acordo com a tabela 11, a análise de variância (ANOVA) ao nível de confiança de 90% para variável rendimento, demonstrou que no teste F apresentou valor de $F_{cal} > F_{tab}$ na regressão. Apesar disso o modelo demonstrou ser inadequado devido ao baixo coeficiente de determinação (R²) e pela falta de ajuste.

Análise da variável resposta ácido ascórbico

O ácido ascórbico é um composto hidrossolúvel e termolábil. É facilmente oxidado quando exposta ao ar e em temperaturas elevadas. Estudos mostram que a temperatura de degradação varia de acordo com a umidade das amostras. Por essa termosensibilidade, pode ser usada como índice de qualidade nutricional de produtos derivados de frutas e vegetais, porque quando comparado a outros nutrientes, este composto é mais sensível à degradação durante o processamento. Os teores de ácido ascórbico (Tabela 7) variaram entre mínima de 18,34 mg.100g⁻¹ (ensaio 4) e máxima de 27,43 mg.100g⁻¹ (ensaio 1), diferença de 49,6%. Observou-se que o teor de ácido ascórbico apresentou maiores teores nos ensaios com temperatura de secagem menores quando se utilizou 10% (ensaio 1 e 3) e 30% (ensaios 2 e 4) de concentração de maltodextrina.

Na Tabela 12 observam-se os efeitos sobre a variável ácido ascorbico da polpa de cajá-manga em pó obtido em secagem por aspersão em spray-dryer. Observou-se que dentre os fatores lineares e quadráticos, apenas a temperatura (Q) apresentou comportamento significativo no teor do ácido ascórbico. Este parâmetro apresentou efeito negativo sobre o teor de ácido ascórbico, o que indica que o aumento desse fator contribui para diminuição do ácido ascórbico final da polpa de cajá-manga em pó no processo de secagem por aspersão em spray-dryer.

Tabela 12 - Efeito da adição de maltodextrina e temperatura do ar de secagem no teor de ácido ascorbico da polpa de cajá-manga em pó obtido em secagem por aspersão em spray-dryer.

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	Grau de significância (p)
Temperatura (L)	-1,85	1,95	0,39
Temperatura (Q)	-7,89	2,31	0,02*
Maltodextrina (L)	-1,30	1,94	0,53
Maltodextrina (Q)	-2,41	2,31	0,35
Temp. x Malto.	4,01	2,74	0,20

(L) - Termo linear; (Q) - Termo quadrático; *Significativo a $p < 0,10$.

Os resultados da análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão gerado para o teor de ácido ascórbico são apresentados na Tabela 13. Foram levados em consideração apenas os efeitos significativos.

Tabela 13 - Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para o teor de ácido ascórbico da polpa de cajá-manga em pó obtido em secagem por aspensão em spray-dryer.

	SQ	GL	QM	F _{cal}	F _{tab} *	R ²
Regressão	83,67	1	83,67	10,50	3,36	0,5385
Resíduo	71,70	9	7,97			
Falta de ajuste	71,44	7	10,21	77,11	9,35	
Erro puro	0,26	2	0,13			
Total	155,37	10				

*Significativo a $p < 0,10$.

SQ = Soma Quadrática; GL = Grau de Liberdade; QM = Média Quadrática; R² = Coeficiente de determinação.

A Tabela 13 revela que os valores do F_{cal} foram superiores aos valores de F_{tab} para análise de regressão e na falta de ajuste. Devido à falta de ajuste ser significativa o modelo apresentado não foi considerado adequado para a variável ácido ascórbico. O coeficiente de determinação apresentou pouco adequado ao modelo proposto, abaixo de 60%. O R² é uma maneira de verificar se o modelo proposto é adequado ou não para descrever os dados experimentais (PETERNELLI, 2015).

Análise da variável resposta higroscopicidade

Os ensaios realizados apresentaram higroscopicidade menores do que 10%. Observou na Tabela 7 o valor mínimo de 2,49% (ensaio 2) e valor máximo de 6,45% (ensaio 10), diferença de 160,6%. Segundo a classificação de Gea Niro Research Laboratory (2003) as polpas de cajá-manga em pó dos ensaios apresentaram comportamento não higroscópico (<10 %). Maciel et al. (2020), observaram comportamento higroscópico análogo ao encontrado neste trabalho, ao trabalhar com cupuaçu em spray-dryer, onde houve redução da higroscopicidade ao aumentar o teor de maltodextrina.

Na Tabela 14 observam-se os efeitos sobre a variável umidade da polpa de cajá-manga em pó obtido em secagem por aspensão em spray-dryer. A análise de regressão demonstrou que a higroscopicidade não pôde ser descrita pelas variáveis estudadas (concentração de maltodextrina e temperatura do ar de secagem), tanto em termos lineares quanto quadráticos, pois não houve diferença significativa nos efeitos em nenhum dos fatores analisados a um nível de 90% de significância.

Tabela 14 - Efeito da adição de maltodextrina e temperatura do ar de secagem na higroscopicidade da polpa de cajá-manga em pó obtido em secagem por aspersão em spray-dryer.

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	Grau de significância (p)
Temperatura (L)	0,26	0,95	0,79
Temperatura (Q)	-1,91	1,12	0,15
Maltodextrina (L)	-1,10	0,95	0,30
Maltodextrina (Q)	-0,62	1,12	0,60
Temp. x Malto.	0,36	1,33	0,80

(L) - Termo linear; (Q) - Termo quadrático; *Significativo a $p < 0,10$.

3.3.2 Planejamento experimental - Liofilização

Os resultados dos experimentos de secagem em processo de liofilização para cada ensaio estão apresentados na Tabela 15. A partir dos mesmos foram gerados modelos de regressão, que foram avaliados com o objetivo de descrever o comportamento das variáveis independentes sobre as variáveis respostas.

Tabela 15 - Resultados do planejamento experimental para secagem de polpa de cajá-manga em processo de liofilização.

Ensaio	Variáveis Independentes		Variáveis Dependentes			
	Tempo Congelamento (h)	Concentração Maltodextrina (%)	Umidade (%)	Rendimento (%)	Ácido Ascórbico (mg.100g ⁻¹)	Higroscopicidade (%)
1	6,0	10,0	5,44	92,26	18,21	7,12
2	6,0	30,0	4,19	92,82	16,27	4,28
3	24,0	10,0	4,54	93,13	28,09	6,59
4	24,0	30,0	3,51	93,14	24,00	4,07
5	2,3	20,0	3,99	94,35	19,78	7,39
6	27,7	20,0	3,68	90,37	32,07	6,25
7	15,0	5,9	5,15	81,10	16,53	6,97
8	15,0	34,1	4,43	92,39	29,69	6,67
9	15,0	20,0	2,99	87,29	27,60	4,97
10	15,0	20,0	4,82	94,33	17,77	6,86
11	15,0	20,0	3,96	92,90	28,08	8,28

Análise da variável resposta umidade, rendimento e higroscopicidade

De acordo com a Tabela 15 as umidades das amostras avaliadas variaram entre mínima de 2,99 (ensaio 9) e máxima de 5,44% (ensaio 1). Apresentou uma média de 4,24% de umidade entre as amostras. Ao comparar com o processo de secagem por aspersão em

spray-dryer, média de 1,58%, o processo de liofilização apresentou maior umidade após a secagem das amostras de polpa de cajá-manga, porém como no processo em spray-dryer, também apresentou umidade que variou de 2,99 a 5,44%, excelente para alimentos desidratados. Ibiapina et al. (2018), também relatou umidade maior em pós de mistura de vegetais obtidos em liofilização quando comparados a pós obtidos por processo em spray-dryer.

Os rendimentos das amostras avaliadas (Tabela 15) apresentaram média de 90,95% e variou entre 81,1% (ensaio 7) e 94,35% (ensaio 5). Destaca-se os ensaios 7 e 9 que apresentaram rendimento abaixo de 90%. Nesses dois ensaios foram utilizados 15 horas de tempo de congelamento e, 5,9 e 20% de concentração de maltodextrina, respectivamente. Observou-se que ao fixar a concentração de maltodextrina em 20% (ensaios 5 e 6) houve uma redução de 4,22% no rendimento das amostras com 2,3 e 27,7 horas de congelamento, respectivamente. Nos ensaios 7, 8, 9, 10 e 11 observou que com 15 horas de congelamento as amostras aumentaram seu rendimento de acordo com aumento da concentração de maltodextrina, considerando a média no ponto central (ensaios 9, 10 e 11).

As higroscopiedades (Tabela 15) das polpas de cajá-manga em pó apresentaram comportamento não higroscópico (<10%) de acordo com Gea Niro Research Laboratory (2003). A menor higroscopiedade observada (ensaio 4) utilizou 24 horas de congelamento e 30% de concentração de maltodextrina. Enquanto a maior higroscopiedade (ensaio 11) utilizou-se 15 horas de congelamento e 20% de maltodextrina. A higroscopiedade 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., 2012).

Na Tabela 16, 17 e 18 observam-se os efeitos sobre a variável umidade, rendimento e higroscopiedade, respectivamente, da polpa de cajá-manga em pó obtido por liofilização.

Tabela 16 - Efeito da adição de maltodextrina e tempo de congelamento da amostra na umidade da polpa de cajá-manga em pó obtido por liofilização.

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	Grau de significância (p)
Tempo de congelamento (L)	-0,50	0,45	0,32
Tempo de congelamento(Q)	-0,04	0,54	0,95
Maltodextrina (L)	-0,82	0,45	0,13
Maltodextrina (Q)	0,92	0,54	0,15
Tempo x Maltodextrina	0,11	0,64	0,87

(L) - Termo linear; (Q) - Termo quadrático; *Significativo a $p < 0,10$.

Tabela 17 - Efeito da adição de maltodextrina e tempo de congelamento da amostra no rendimento da polpa de cajá-manga em pó obtido por liofilização.

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	Grau de significância (p)
Tempo de congelamento (L)	-1,44	3,05	0,66
Tempo de congelamento(Q)	2,46	4,63	0,53
Maltodextrina (L)	3,47	3,05	0,31
Maltodextrina (Q)	-3,15	4,63	0,42
Tempo x Maltodextrina	-2,12	4,31	0,64

(L) - Termo linear; (Q) - Termo quadrático; *Significativo a $p < 0,10$.

Tabela 18 - Efeito da adição de maltodextrina e tempo de congelamento da amostra na higroscopicidade da polpa de cajá-manga em pó obtido por liofilização.

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	Grau de significância (p)
Tempo de congelamento (L)	-0,59	1,10	0,62
Tempo de congelamento(Q)	-0,53	1,31	0,70
Maltodextrina (L)	-1,45	1,10	0,24
Maltodextrina (Q)	-0,54	1,31	0,70
Tempo x Maltodextrina	0,16	1,55	0,92

(L) - Termo linear; (Q) - Termo quadrático; *Significativo a $p < 0,10$.

Ao analisar os dados das Tabelas 16, 17 e 18 foi possível verificar que a umidade, rendimento e a higroscopicidade não pôde ser explicado pelas variáveis analisadas (temperatura do ar de secagem e concentração de maltodextrina) dentro do intervalo estudado, uma vez que, não houve significância dos efeitos em nenhuma variável estudada, tanto linear quanto quadrática, a um nível de confiança de 90%. Por esse motivo, não foram realizadas as análises de variância (ANOVA) e, por conseguinte, os modelos e os gráficos não foram gerados.

Análise da variável resposta ácido ascorbico

Ao avaliar o teor de ácido ascorbico das amostras (Tabela 15) observou que ao utilizar 10% de maltodextrina houve um acréscimo de 54,25% ao elevar o tempo de congelamento de 6 (ensaio 1) para 24 horas (ensaio 3). O mesmo comportamento foi observado nos ensaios 2 e 4 quando se fixou a concentração de maltodextrina em 30%, houve um aumento de 47,51% no teor de ácido ascorbico. Ao utilizar 15 horas de congelamento verificou-se que houve acréscimo no teor de ácido ascorbico ao aumentar a concentração de maltodextrina, fato esse pode ter ocorrido devido a proteção exercida pela maltodextrina a esse nutriente.

Na Tabela 19 observam-se os efeitos sobre a variável ácido ascórbico da polpa de cajá-manga em pó obtido por liofilização. A variável independente, tempo de congelamento parâmetro linear, apresentou significância sobre a variável dependente ácido ascórbico, apresentando um efeito positivo, que indica que o aumento do tempo de congelamento aumenta o teor de ácido ascórbico na amostra em pó, dentro dos intervalos estudados.

Tabela 19 - Efeito da adição de maltodextrina e tempo de congelamento da amostra no teor de ácido ascórbico da polpa de cajá-manga em pó obtido por liofilização.

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	Grau de significância (p)
Tempo de congelamento (L)	8,75	4,00	0,08*
Tempo de congelamento(Q)	0,01	4,76	1,00
Maltodextrina (L)	3,15	4,01	0,47
Maltodextrina (Q)	-2,81	4,75	0,58
Tempo x Maltodextrina	-1,07	5,67	0,86

(L) - Termo linear; (Q) - Termo quadrático; *Significativo a $p < 0,10$.

Os resultados da análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão gerado para o teor de ácido ascórbico são apresentados na Tabela 20. Foram levados em consideração apenas os efeitos significativos.

Tabela 20 - Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para o teor de ácido ascórbico da polpa de cajá-manga em pó obtido por liofilização.

	SQ	GL	QM	F _{cal}	F _{tab} *	R ²
Regressão	153,12	1	153,12	7,13	3,36	0,4419
Resíduo	193,39	9	21,49			
Falta de ajuste	125,70	7	17,96	0,53	9,35	
Erro puro	67,69	2	33,85			
Total	346,50	10				

*Significativo a $p < 0,10$.

SQ = Soma Quadrática; GL = Grau de Liberdade; QM = Média Quadrática; R² = Coeficiente de determinação.

Observa-se (Tabela 20) que o valor de F_{cal} é superior que o do F_{tab}, sendo a variável resposta ácido ascórbico significativa para o modelo de regressão gerado. O valor obtido para o R² foi de 0,4419, indicando assim que apenas 44,19% da variabilidade na resposta podem ser explicadas pelo modelo. Este valor é considerado insatisfatório para obtenção de um modelo válido e útil para fins preditivos.

3.3.3 Planejamento experimental - Leito fluidizado

Os resultados dos experimentos de secagem em leito fluidizado para cada ensaio estão apresentados na Tabela 21. A partir dos mesmos foram gerados modelos de regressão, que foram avaliados com o objetivo de descrever o comportamento das variáveis independentes sobre as variáveis respostas.

Tabela 21 - Resultados do planejamento experimental para secagem de polpa de cajá-manga em leito fluidizado.

Ensaio	Variáveis Independentes			Variáveis Dependentes		
	Temperatura (°C)	Concentração Maltodextrina (%)	Umidade (%)	Rendimento (%)	Ácido Ascórbico (mg.100g ⁻¹)	Higroscopicidade (%)
1	60,0	10,0	2,87	8,91	9,85	6,81
2	60,0	30,0	3,91	17,01	13,06	4,63
3	75,0	10,0	2,41	16,18	16,14	6,23
4	75,0	30,0	2,87	17,27	14,51	4,47
5	57,4	20,0	2,95	5,99	24,42	5,25
6	78,6	20,0	2,53	25,13	17,89	5,64
7	68,0	5,9	3,11	6,69	18,55	8,25
8	68,0	34,1	3,38	5,47	19,58	3,48
9	68,0	20,0	3,17	17,10	19,63	4,54
10	68,0	20,0	3,54	15,16	25,76	4,73
11	68,0	20,0	2,70	16,87	22,58	5,38

Análise da variável resposta umidade e ácido ascórbico

As umidades das polpas de cajá-manga em pó pelo processo de secagem em leito fluidizado (Tabela 21) apresentaram teores satisfatórios, valores abaixo de 25%. Variaram entre 2,41% (ensaio 3) a 3,91% (ensaio 4) e apresentou uma média de 3,04% de umidade.

Na Tabela 22 observam-se os efeitos sobre a variável umidade da polpa de cajá-manga em pó obtido por secagem em leito fluidizado.

Tabela 22 - Efeito da adição de maltodextrina e temperatura do ar de secagem na umidade da polpa de cajá-manga em pó obtido por secagem em leito fluidizado.

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	Grau de significância (p)
Temperatura (L)	-0,50	0,25	0,10
Temperatura (Q)	-0,36	0,30	0,28
Maltodextrina (L)	0,48	0,25	0,11
Maltodextrina (Q)	0,12	0,30	0,70
Temp. x Malto.	-0,31	0,36	0,43

(L) - Termo linear; (Q) - Termo quadrático; *Significativo a $p < 0,10$.

Ao analisar os dados da Tabela 22 foi possível verificar que a variação da umidade não pode ser explicada pelas variáveis analisadas (temperatura e concentração de maltodextrina) dentro do intervalo estudado, uma vez que não houve significância dos efeitos em nenhuma variável estudada a um nível de confiança de 90%. Por esse motivo, não foi realizada a análise de variância (ANOVA) e, por conseguinte, os modelos e os gráficos não foram gerados.

Análise da variável resposta rendimento

Ao avaliar a Tabela 21 observou-se que houve uma grande variação no rendimento. O valor mínimo de rendimento foi apresentado no ensaio 8 (5,47%) e o máximo foi verificado no ensaio 6 (25,13%). Ao variar de 10% (ensaio 1) para 30% (ensaio 2) a concentração de maltodextrina e utilizar a temperatura de 60 °C no ar de secagem houve um aumento no rendimento de 90,91%. Ao fixar a concentração de maltodextrina em 30% observou-se que não houve influência significativa no rendimento ao variar a temperatura de secagem de 60 para 75 °C (ensaios 2 e 4). O ponto central (ensaios 9, 10 e 11) apresentou uma média de 16,47% de rendimento. Nos ensaios em que foi utilizado 20% de maltodextrina observou-se que com o aumento da temperatura do ar de secagem houve também o aumento do rendimento. Quando foi utilizadas temperaturas de 57,4; 68,0 e 78,6 °C obteve-se rendimento de 5,99; 16,47 e 25,13%, respectivamente.

Na Tabela 23 observam-se os efeitos sobre a variável rendimento da polpa de cajá-manga em pó obtido por secagem em leito fluidizado, onde notou-se que o efeito da temperatura (L) e concentração de maltodextrina (Q), apresentaram significância estatística sobre a variável do pó em um nível de 90% de confiança, podendo ser explicado pelas variáveis estudadas.

Tabela 23 - Efeito da adição de maltodextrina e temperatura do ar de secagem no rendimento da polpa de cajá-manga em pó obtido por secagem em leito fluidizado.

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	Grau de significância (p)
Temperatura (L)	8,40	3,16	0,04*
Temperatura (Q)	1,69	3,74	0,67
Maltodextrina (L)	1,99	3,15	0,56
Maltodextrina (Q)	-8,11	3,75	0,08*
Temp. x Malto.	-3,68	4,45	0,45

(L) - Termo linear; (Q) - Termo quadrático; *Significativo a $p < 0,10$.

O parâmetro temperatura (L) apresentou efeito positivo, indicando que o aumento da temperatura do ar de secagem aumentou o rendimento.

Os resultados da análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão gerado para o rendimento são apresentados na Tabela 24. Foram levados em consideração apenas os efeitos significativos, desconsiderando os efeitos negativos.

Tabela 24 - Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para o rendimento da polpa de cajá-manga em pó obtido por secagem em leito fluidizado.

	SQ	GL	QM	F _{cal}	F _{tab} *	R ²
Regressão	258,98	2	129,49	8,19	3,11	0,6718
Resíduo	126,55	8	15,82			
Falta de ajuste	123,80	6	20,63	15,01	9,33	
Erro puro	2,75	2	1,37			
Total	385,53	10				

*Significativo a $p < 0,10$. SQ = Soma Quadrática; GL = Grau de Liberdade; QM = Média Quadrática; R² = Coeficiente de determinação.

Na Tabela 24 observou-se que os valores do F_{cal} foram superiores aos valores de F_{tab} para análise de regressão e na falta de ajuste, o que demonstra que o modelo apresentado não é adequado para a variável rendimento.

Análise da variável resposta ácido ascórbico

Na Tabela 21 o teor de ácido ascórbico variou de 9,85 (ensaio 1) a 25,76 mg.100g⁻¹ (ensaio 10). O ponto central (ensaio 9, 10 e 11) apresentou média de 22,65 mg.100g⁻¹. A variação máxima apresentada entre os ensaios foi de 161,5% (ensaios 1 e 10) e a mínima foi de 0,3% (ensaios 8 e 9). Ao fixar a concentração de maltodextrina em 10% houve um aumento de 63,86% (ensaios 1 e 3), e ao fixar em 30% o aumento foi de apenas 11,10% (ensaios 2 e 4). O teor de ácido ascórbico apresentou valores inversamente proporcional ao aumento da temperatura do ar de secagem quando utilizado 20% de concentração de maltodextrina. Apresentou teores de ácido ascórbico de 24,42; 22,65 e 17,89 mg.100g⁻¹ ao utilizar 57,4; 68,0 e 78,6 °C no ar de secagem, respectivamente.

Na Tabela 25 observam-se os efeitos sobre as variáveis umidade e ácido ascórbico da polpa de cajá-manga em pó obtido por secagem em leito fluidizado.

Tabela 25 - Efeito da adição de maltodextrina e temperatura do ar de secagem no teor ácido ascórbico da polpa de cajá-manga em pó obtido por secagem em leito fluidizado.

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	Grau de significância (p)
Temperatura (L)	0,20	3,75	0,96
Temperatura (Q)	-5,23	4,44	0,29
Maltodextrina (L)	0,84	3,74	0,83
Maltodextrina (Q)	-7,06	4,45	0,17
Temp. x Malto.	-2,41	5,28	0,67

(L) - Termo linear; (Q) - Termo quadrático; *Significativo a $p < 0,10$.

Ao analisar os dados das Tabelas 25 foi possível verificar que a variação da do teor de ácido ascórbico não podem ser explicadas pelas variáveis analisadas (temperatura e concentração de maltodextrina) dentro do intervalo estudado, uma vez que não houve significância dos efeitos em nenhuma variável estudada a um nível de confiança de 90%. Por esse motivo, não foi realizada as análises de variância (ANOVA) e, por conseguinte, os modelos e os gráficos não foram gerados.

Análise da variável resposta higroscopicidade

Os valores de higroscopicidades das polpas de cajá-manga apresentaram comportamento não higroscópico (Tabela 21), de acordo com Gea Niro Research Laboratory (2003), pois todos os ensaios apresentaram valores menores do que 10%. O valor máximo apresentado foi 8,25%, onde foi utilizado 68,0 °C no ar de secagem e 5,9% de maltodextrina.

Na Tabela 26 observam-se os efeitos sobre a variável higroscopicidade da polpa de cajá-manga em pó obtido por secagem em leito fluidizado. Segundo os resultados da análise de regressão (Tabela 26), apenas a maltodextrina (L) foi significativo ($p < 0,10$) para a higroscopicidade do pó. A mesma apresentou um efeito negativo, ou seja, um aumento na concentração deste parâmetro, ocasiona uma redução da higroscopicidade da polpa de cajá-manga em pó obtido em leito fluidizado.

Tabela 26 - Efeito da adição de maltodextrina e temperatura do ar de secagem na higroscopicidade da polpa de cajá-manga em pó obtido por secagem em leito fluidizado.

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	Grau de significância (p)
Temperatura (L)	-0,08	0,40	0,858
Temperatura (Q)	0,53	0,47	0,313
Maltodextrina (L)	-2,68	0,40	0,011*
Maltodextrina (Q)	0,93	0,47	0,106
Temp. x Malto.	0,16	0,56	0,784

(L) - Termo linear; (Q) - Termo quadrático; *Significativo a $p < 0,10$.

Os resultados da análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão gerado para a higroscopicidade são apresentados na Tabela 27. Foram levados em consideração apenas os efeitos significativos, desconsiderando os efeitos negativos.

Tabela 27 - Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para a higroscopicidade da polpa de cajá-manga em pó obtido por secagem em leito fluidizado.

	SQ	GL	QM	F _{cal}	F _{tab} *	R ²
Regressão	14,28	1	14,28	43,50	3,36	0,8286
Resíduo	2,96	9	0,33			
Falta de ajuste	2,56	7	0,37	1,87	9,35	
Erro puro	0,39	2	0,20			
Total	17,24	10				

*Significativo a $p < 0,10$.

SQ = Soma Quadrática; GL = Grau de Liberdade; QM = Média Quadrática; R² = Coeficiente de determinação.

O modelo matemático ajustado aos dados experimentais para variável dependente higroscopicidade do pó da polpa de cajá-manga está representado pela equação 3.

$$H = -0,1336M + 8,07$$

[Equação 3]

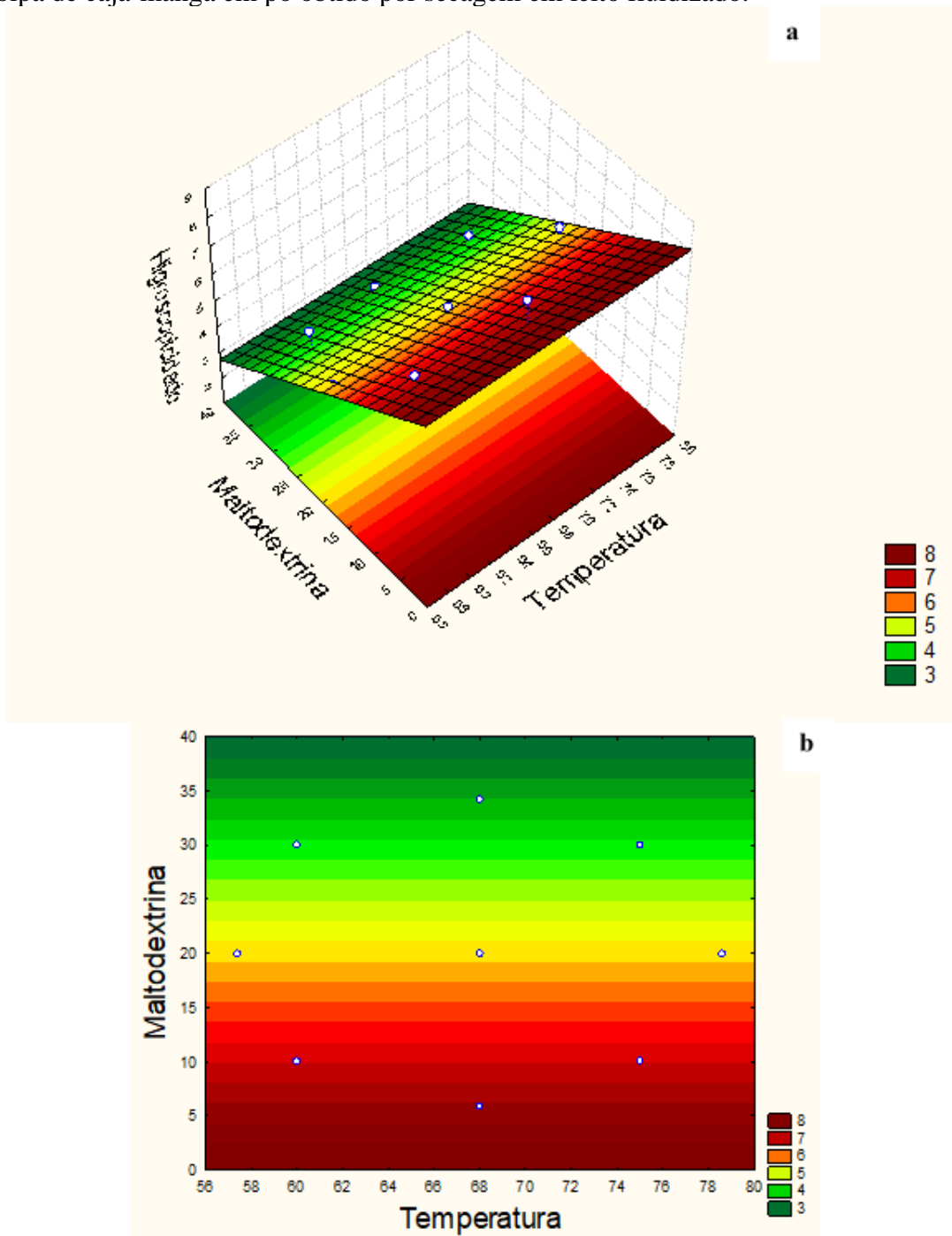
Onde:

H - Higroscopicidade (%);

M - Concentração de maltodextrina (%).

A ANOVA ao nível de confiança de 90%, para a higroscopicidade do pó de cajá-manga, apresentou valores de F significativos, o modelo de regressão revelou o R² de 82,86%. Constatou-se que o modelo de regressão foi capaz de descrever o comportamento da higroscopicidade devido ao valor alto do coeficiente de determinação. Assim sendo, foi gerada a superfície de resposta e curva de contorno representadas na Figura 9 (a e b).

Figura 8 - Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) da variável higroscopicidade (%) da polpa de cajá-manga em pó obtido por secagem em leito fluidizado.



Observa-se na figura 8 que quanto maior concentração de maltodextrina menor será a higroscopicidade da polpa de cajá-manga em pó. Na tabela 21 constata esse comportamento nos ensaios 4 (30% de maltodextrina) e 8 (34,1% de maltodextrina) onde obteve-se 4,47 e 3,48% de higroscopicidade, respectivamente.

3.4 Conclusões

As polpas de cajá-manga em pó obtidos nos processos de secagem apresentaram características de umidade e higroscopicidade favoráveis a produtos desidratados.

Obteve-se maior rendimento no processo de secagem por liofilização, seguido do spray-dryer e por fim com o processo em leito fluidizado.

A temperatura foi determinante no rendimento das polpas de cajá-manga em pó obtidos em leito fluidizado.

A maltodextrina foi responsável por reduzir a higroscopicidade dos pós obtidos em leito fluidizado, bem como no aumento do rendimento dos pós obtidos em secagem por aspersão em spray-dryer e leito fluidizado, respectivamente.

Através das análises matemáticas avaliadas e das variáveis analisadas, temperatura, concentração de maltodextrina e tempo de congelamento, dentro do intervalo estudado, não foi possível determinar condições ótimas de processamento para a obtenção de polpa de cajá-manga em pó através dos processos de secagem em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado.

Ao considerar o rendimento como principal variável resposta dentro das avaliadas neste trabalho, foi estabelecido como parâmetros de secagens ideais (temperatura de secagem e tempo de congelamento / concentração de maltodextrina) para o andamento deste estudo os admitidos inicialmente nos ensaios 4 (135 °C / 30%), 5 (2,3 h / 20%) e 6 (78,6 °C / 20%), por apresentarem os maiores rendimentos dos processos de secagem em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R.E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**, 1. Ed. Editora da Unicamp, Campinas, 2010.
- BIAPINA, A.; DE AGUIAR, A. O.; TORRES, E. A.; DA SILVA SOARES, C. M.; ZUNIGA, A. D. G. Obtenção de pó de polpa detox utilizando liofilização e spray drying como métodos de secagem. **Global Science and Technology**, v. 11, n. 3, 2018.
- CARVALHO, P. C. L.; RITZINGER, R.; SOARES FILHO, W. S.; LEDO, C. A. S. Características morfológicas, físicas e químicas de frutos de populações de umbu-cajazeira no Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 30, 140-147, 2008.
- CAVALCANTE, C. E. B.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Avaliação dos parâmetros de secagem da polpa de graviola em pó obtida por secagem em spray dryer. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, 2017.
- FERREIRA, L.; PINTO, L. S. R. C. Estruturados de cajá-manga (*Spondias dulcis*) com diferentes hidrocoloides. **Enciclopédia Biosfera**, v. 14, n. 25, p. 32-41, 2017.
- 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.
- MACIEL, R. M. G.; DE LIMA, S. B.; DA COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A. Influência da maltodextrina nas propriedades de escoamento do pó da polpa de cupuaçu/Influence of maltodextrin on the flow properties of the cupuaçu pulp powder. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 2, p. 5829-5839, 2020.
- MANOLOPOULOU, H.; LAMBRINOS, G.; XANTHOPOULOS, G. Active modified atmosphere packaging of fresh-cut bell peppers: effect on quality indices. **Journal of Food Research**, v. 1, n. 3, p. 148-158, 2012.
- MATTIETTO, R. A.; LOPES, A. S.; MENEZES, H. C. Estabilidade do néctar misto de cajá e umbu. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 3, p. 156-463, 2007.
- NETO, J. R. C.; SCHUNEMANN, A. P. P.; DANTAS, A. L.; DOS SANTOS, L. F.; DANTAS, R. L.; DE MELO SILVA, S. Qualidade de frutos de acessos de cajá-mangueira durante a maturação. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 36, n. 1, 2019.
- OLIVEIRA, D. M.; CLEMENTE, E.; COSTA, J. M. C. Hygroscopic behavior and degree of caking of grugru palm (*Acrocomia aculeata*) powder. **Journal of Food Science and Technology**, v.1, p.1-7, 2012.
- RODRIGUES, M. I.; LEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**. 2ª ed. Campinas, SP: Casa do Espírito Amigo, Fraternidade, Fé e Amor, 358 p, 2009.

RUFINO, M. S. M.; BRITO, E. S.; JIMÉNEZ, J. P.; CALIXTO, F. S.; MANCINI FILHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food chemistry**, v. 121, n. 4, p. 996-1002, 2010.

SIQUEIRA, A. P. S.; VASCONCELOS, L. H. C.; VENDRUSCOLO, E. P.; CUSTÓDIO, B. S. S.; COSTA, D. P.; FARIA, T. C.; SELEGUINI, A. Climatization for scheduled ripening of caja-manga. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, p. 424-428, 2017.

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.

VASCONCELOS, L. H. C.; EVANGELISTA, Z. R.; de CAMPOS, A. J.; TEIXEIRA, I. R. Diferentes embalagens na conservação pós-colheita de Cajá-Manga. **Revista Espacios, Caracas**, v. 38, n. 16, p. 1-10, 2017.

4 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E ESTABILIDADE DA POLPA DE CAJÁ-MANGA EM DIFERENTES PROCESSOS DE SECAGEM

4.1 Introdução

O cajá-manga, também conhecido como taperebá-do-sertão no Brasil, é um fruto comestível ao natural, é constituído de polpa, casca de cor verde e semente, apresentando formato elipsoide, do tipo drupa e climatério de casca verde, fina e lisa e, à medida que amadurecem, tornam-se amarelo-ouro. Sua semente é dotada de fibras rígidas e espinescentes que penetram parcialmente na polpa. A polpa é suculenta, fibrosa e pouco ácida, de fragrância marcante. (GOMES, 2007; FRANQUIN et al., 2005; JANICK; PAULL, 2008; OLIVEIRA, 2011). No Brasil e em outras partes da América tropical é ainda obtida por extrativismo (JANICK; PAULL, 2008). O conhecimento de sua extensão no Brasil e, distribuição geográfica deste gênero tem variado muito, sendo encontrada principalmente nas regiões de cerrado e disseminada por vários estados do país (OLIVEIRA, 2011), principalmente Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste. Devido ao clima peculiar a cada região, a época de safra pode variar nos diversos estados brasileiros (BOSCO et al., 2000, CAVALCANTE et al., 2009; SILVA, 2016).

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 necessitando de refrigeração), refinamento do alimento (obtendo-se como consequência a oferta de um novo produto ao 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).

Alguns alimentos quando submetidos à secagem conservam aceitáveis suas características físicas e nutritivas e, quando se lhes restitui a água, retornarão ao aspecto natural ou mudarão um pouco. No entanto, outros podem apresentar uma forte modificação sensorial e nutricional. A escolha de uma determinada tecnologia de secagem 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).

A tecnologia de secagem por aspersão em spray-dryer é amplamente conhecida e utilizada para transformar líquidos (soluções, emulsões, suspensões, lamas e pastas) em pós sólidos (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. (HENG *et al.*, 2011; ROSA *et al.*, 2002).

A liofilização também é um processo de secagem que retira a umidade contida no material através do congelamento da parte líquida e posterior sublimação do gelo. Apesar de ser mais caro, o uso deste método é justificado quando o produto é muito sensível ao calor ou quando se deseja preservar características originais do alimento (FELLOWES, 2000; OSAKO, 2012).

O secador de leito fluidizado é igualmente, um processo de secagem que consiste em transpassar um jato ascendente de ar aquecido, através de um leito de partículas sólidas. Quando o fluido atinge uma vazão suficientemente alta, ele aflora no leito provocando um movimento ascendente das partículas (LIMA, 2004). Hoje em dia ganha destaque na produção de frutas em pó. A vantagem do método consiste no baixo custo operacional do equipamento, produzindo, em pequena escala, um pó com características compatíveis com os de secadores tipo spray (ROSA *et al.*, 2010). Esse processo foi projetado para desidratação de grãos em um processo que permite a aplicação de maiores quantidades de calor sem a ocorrência de perda da qualidade do material.

Durante o armazenamento dos alimentos podem ocorrer alterações físico-químicas indesejáveis em alguns produtos. Tais alterações, como oxidação lipídica, variação da umidade, modificação no pH, degradação de pigmentos, sabor, textura e perda nutricional, podem prejudicar a aceitação do produto. O conhecimento das modificações dos alimentos durante o armazenamento poderá levar às indústrias a aplicarem, no processamento desses produtos, técnicas de conservação mais eficientes, além da determinação da vida útil do produto e do tipo de embalagem adequada para seu armazenamento.

Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade das polpas de cajá-manga em pó obtidos pelos processos secagem por aspersão em spray-dryer, leito fluidizado e liofilização. Além de avaliar a estabilidade durante o armazenamento no que se refere às propriedades físico-químicas da polpa de cajá-manga em pó obtidos nos diferentes processos de secagem.

4.2 Materiais e Métodos

4.2.1 Local do Experimento, matéria-prima, preparação das amostras

O local do experimento, obtenção da matéria-prima e procedimentos para preparação das amostras foram descritos no item 3.2.1, 3.2.2 e 3.2.4 do capítulo 3.

4.2.2 Secagem por aspersão em spray-dryer

A secagem foi realizada com secador tipo spray-dryer, de acordo com o item 3.2.5 do capítulo 3, juntamente com os procedimentos e parâmetros. Foram aplicados 135 °C de temperatura de secagem e concentração de maltodextrina (30%).

4.2.3 Liofilização

Os procedimentos da liofilização foram descritos de acordo com o item 3.2.6 do capítulo 3. A amostra foi congelada por 2,3 h, em bandejas de aço inox de 18 cm de diâmetro na pré-liofilização e utilizou 20% de maltodextrina com agente adjuvante.

4.2.4 Secagem em leito fluidizado

Os procedimentos da secagem de polpa de cajá-manga foram descritos de acordo com o item 3.2.6 do capítulo 3. Foi utilizado 78,6 °C de temperatura de secagem e 20% de maltodextrina.

4.2.5 Caracterização físico-química da polpa in natura e dos pós

A caracterização da polpa de cajá-manga integral e dos pós obtidos por secagem em spray-dryer, liofilização e leito de fluidizado compreendeu nas análises de umidade, atividade de água, teor de sólidos solúveis, pH, cor (coordenadas L, a* e b*), acidez total titulável, ácido ascórbico, açúcares (reduzidos e totais), carotenoides, solubilidade e higroscopicidade.

4.2.6 Estudo da estabilidade das polpas em pó

A realização do estudo da estabilidade da polpa de cajá-manga em pó obtido nos processos de secagem em spray-dryer, liofilização e leito de fluidizado compreendeu no

acondicionado, de aproximadamente 30 g, dos pós obtidos em cada processo de secagem em duas embalagens diferentes e ambas seladas sem vácuo e armazenadas a temperatura ambiente de 25 °C.

As análises realizadas para avaliar a estabilidade das polpas de cajá-manga em pó foram a umidade, atividade de água, pH, acidez total titulável, ácido ascórbico, solubilidade, higroscopicidade e cor (coordenada L e b*).

Todas as análises foram realizadas a cada 15 dias totalizando 90 dias de estabilidade. As embalagens utilizadas nesse estudo foram plásticas, formada pela combinação de PA (Poliamida) + PE (Polietileno), e laminadas, formada pela junção de Alumínio/PET 17g/ m² + ADES 2g + Alumínio 21,6 + ADES 2g + Filme PE 80g/ m².

4.2.7 Determinações analíticas

Umidade, ácido ascórbico e higroscopicidade

Os procedimentos para determinação de umidade, ácido ascórbico e higroscopicidade foram descritas no capítulo 3 no item 3.2.8.

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.

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 e após a leitura os valores foram multiplicados por 10.

pH

A análise de pH foi realizada através do método potenciométrico, onde utilizou-se um peagâmetro, 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).

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).

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.

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 (2016).

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.

Solubilidade

A análise de solubilidade foi realizada segundo metodologia de Cano-Chauca et al. (2005). Onde pesou-se 1g da amostra e diluiu em 100 ml de água destilada. A solução foi então homogeneizada por 5 minutos em agitador magnético e centrifugada e seca em estufa a 105 °C por 5 h. O material seco após a secagem foi a quantidade da amostra solúvel em água.

Análise estatística

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

4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 Caracterização físico-química da polpa e pós obtidos em secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado

As características físicas e físico-químicas da polpa de cajá-manga integral e em pó obtidos pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e em leito fluidizado estão apresentadas na Tabela 28.

Tabela 28 - Valores médios da caracterização física e físico-química da polpa de cajá-manga integral, e em pó obtidos pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e em leito fluidizado.

	Polpa integral	Spray Dryer	Liofilização	Leito Fluidizado
Umidade (%)	86,51 ± 0,29 ^a	1,50 ± 0,03 ^c	5,12 ± 0,47 ^b	2,19 ± 0,12 ^c
Atividade de água	0,99 ± 0,00 ^a	0,17 ± 0,01 ^c	0,21 ± 0,01 ^{bc}	0,26 ± 0,04 ^b
SS (°Brix a 25°C)	11,47 ± 0,06 ^b	77,67 ± 0,58 ^c	81,67 ± 1,53 ^a	76,00 ± 1,73 ^c
pH	3,29 ± 0,01 ^a	3,25 ± 0,00 ^a	3,23 ± 0,02 ^a	3,27 ± 0,05 ^a
Acidez Total (% Ac. cítrico)	5,99 ± 0,19 ^a	2,31 ± 0,05 ^b	3,33 ± 0,04 ^c	3,34 ± 0,16 ^c
Ácido ascórbico (mg.100g ⁻¹)*	27,40 ± 2,52 ^b	19,31 ± 0,12 ^{bc}	16,14 ± 2,95 ^c	32,64 ± 5,31 ^a
L*	48,11 ± 0,76 ^a	60,94 ± 0,50 ^{bc}	60,3 ± 0,17 ^c	61,65 ± 0,13 ^b
a*	3,45 ± 0,10 ^a	-0,84 ± 0,06 ^b	-1,06 ± 0,06 ^c	-1,11 ± 0,01 ^c
b*	24,18 ± 0,12 ^a	8,26 ± 0,17 ^c	8,69 ± 0,10 ^b	7,69 ± 0,18 ^d
Açúcares totais (%)	5,31 ± 0,05 ^a	16,65 ± 0,81 ^c	18,44 ± 1,44 ^{bc}	20,76 ± 0,77 ^b
Açúcares redutores (%)	2,44 ± 0,06 ^a	16,64 ± 1,23 ^b	17,75 ± 1,29 ^b	17,76 ± 0,49 ^b
Carotenóides totais (mg.100g ⁻¹)*	13,70 ± 0,54 ^a	2,14 ± 0,06 ^c	3,89 ± 0,16 ^b	1,90 ± 0,07 ^c
Solubilidade (%)		93,38 ± 0,74 ^b	93,78 ± 0,11 ^b	92,16 ± 0,12 ^a
Higroscopicidade (%)		5,71 ± 1,30 ^a	7,63 ± 0,65 ^a	5,53 ± 0,11 ^a

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

A polpa de cajá-manga integral apresentou médias de umidade de 86,51% e atividade de água de 0,99. O valor da umidade foi semelhante ao que é apresentado na tabela brasileira de composição de alimentos (NEPA-UNICAMP, 2006) que é de 86,90% e ligeiramente superior aos estudos de Damiani e colaboradores (2011), Breda et al. (2013) e Lago-Vanzela et al. (2011), que apresentaram valores médios de 84,00; 82,80 e 82,80%, respectivamente. 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 cajá-manga integral apresentou umidade e atividade de água propício ao desenvolvimento microbiológico e a deterioração bioquímica e vale ressaltar a necessidade do uso da refrigeração como técnica de conservação. As polpas de cajá-manga em pó apresentaram atividade de água e umidade abaixo de 0,6 e 25%, respectivamente, o que pode se considerar alimentos com baixo risco de desenvolvimento microbiano e estáveis a temperatura ambiente.

Para sólidos solúveis foi obtido o valor de 11,5 °Brix. O estudo de Mecenas e colaboradores (2010) verificou que o teor de sólidos solúveis da polpa de cajá-manga pouco é alterado em relação ao estágio de maturação verde e maduro, encontrando valores de 12,3 e 12,8 °Brix, respectivamente. O teor de sólidos solúveis é um excelente parâmetro para avaliação do ponto de colheita, aliado as características físicas do fruto, como coloração da casca (GALLI et al., 2011). Os pós apresentaram teores de sólidos solúveis elevados, em relação a polpa integral, visto que houve eliminação de água durante as secagens, além da incorporação do adjuvante de secagem, maltodextrina, adicionado, fatos que contribuíram para a maior quantidade de sólidos solúveis no produto seco. Teores de sólidos solúveis alto juntamente com a umidade e atividade de água baixos promovem estabilidade microbiológica na polpa de cajá-manga em pó pelos três processos de secagem avaliados.

Na análise de pH, o valor obtido da polpa integral foi de 3,29, semelhante aos resultados encontrados por Busanello (2014), Ferreira e Pinto (2017), Lago-Vanzela et al. (2011), que encontraram valores de 2,8; 2,8; 3,3, respectivamente. O pH dos pós não apresentaram diferença significativa, porem a acidez apresentou redução significativa em relação a polpa integral. A determinação desses dois parâmetros fornece dados importantes para a conservação dos alimentos, já que a capacidade reprodutiva dos microrganismos é influenciada pela acidez do meio (AZEREDO et al., 2012).

Considerando não haver legislação específica referente ao padrão de identidade e qualidade para polpa integral de cajá-manga os dados referentes aos parâmetros estudados foram confrontados com os valores para o cajá, fruto do mesmo gênero com características bastante semelhantes, estabelecidos pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, através da Instrução Normativa Nº 1, de 7 de janeiro de 2000. O pH e o teor de sólidos solúveis apresentaram acima do mínimo exigido para a polpa de cajá, 2,20 e 9,0 °Brix, respectivamente, e abaixo do máximo exigido, 12,0 g.100 g⁻¹. A acidez titulável apresentou abaixo do mínimo exigido de 0,90 g.100 g⁻¹.

O teor de ácido ascórbico (27,40 mg. 100.g⁻¹) da polpa integral são semelhantes aos apresentados pela tabela brasileira de composição de alimentos (NEPA-UNICAMP, 2006) que relata um valor de 26,7 mg.100 g⁻¹ para o fruto de cajá-manga in natura. Foi observado um incremento nos valores dos parâmetros do teor de ácido ascórbico no pó obtido em leite fluidizado e redução nos pós obtidos em spray-dryer e liofilizado quando comparados à polpa integral, fato relacionado ao processo de secagem. O processo de secagem em leite fluidizado utilizou menor temperatura de secagem em relação ao processo em spray-dryer e menor tempo de exposição ao ar e luz, fato que pode explicar a diferença entre seus teores de ácido ascórbico. O ácido ascórbico é um composto de fácil degradação, sendo a temperatura um dos fatores que mais influenciam na perda deste composto. Segundo Leme et al. (2007), a estabilidade das vitaminas nos alimentos pode ser afetada por inúmeros fatores, incluindo altas temperaturas, presença de luz e oxigênio e pH, sendo o ácido ascórbico um dos compostos vitamínicos que se degradam com maior facilidade.

Na análise colorimétrica a coordenada L* apresentou valor médio de 48,11 para a polpa de cajá-manga integral. A coordenada L* representa a luminosidade, portanto mede a quantidade de luz que é refletida de uma cor (KONICA MINOLTA, 1998). No presente trabalho, o fato da luminosidade ter aumentado nos pós durante o processo pode ser visto como um aspecto positivo das condições de secagem utilizadas, indicando que não houve escurecimento do pó. Outro aspecto do aumento da luminosidade foi devido a incrementação de maltodextrina durante os processos de secagens. Quek et al. (2007) e Cavalcante et al. (2017) relataram em seus estudos com melancia e graviola, respectivamente, que produtos ricos em açúcares, como as polpas de frutas, podem sofrer escurecimento quando expostos a altas temperaturas durante os processos de secagem, resultando numa redução dos valores de luminosidade (L*).

Em relação à coordenada a*, que representa a faixa de cor entre o verde (-a*) ao vermelho (+a*), apresentou valor médio de 3,53 para a polpa integral. A polpa integral, por

ter apresentado um valor positivo, tendeu ao vermelho. Observou redução nessa coordenada nos pós, redução essa mais drástica no processo em leite fluidizado. 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 observou uma tendência ao amarelo (24,18) para polpa integral. A coloração dos frutos pode ser influenciada por diversos fatores, entre eles a quantidade de contato com a luz no sol, estágio de maturação, clima, época de colheita, localização, solo entre outros. Também foi observado redução significativa nos valores observados nos pós para a coordenada b^* .

Observou-se a média do teor de carotenoides totais da polpa integral de cajá-manga ($13,70 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$) é compatível com que foi encontrado por Mecnas et al. (2010), $13,74 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$, em estudo com o mesmo fruto. Segundo Varakumar et al. (2011), a manga que contem em média $14,12 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ de carotenóides totais é considerada uma boa fonte de carotenoides. Então, pode-se considerar que o cajá-manga também é uma fonte considerável deste composto. Porém, são facilmente degradados na presença de luz e por altas temperaturas (UENOJO et al., 2007). Observou redução drásticas nos pós de 84,4; 71,6 e 86,1% dos carotenoides em spray-dryer, liofilização e leite fluidizado, respectivamente. Essas reduções ocorreram devido, provavelmente, à exposição ao calor e a luz durante os processos de secagens.

A média de açúcares totais e redutores encontrados na polpa integral de cajá-manga foram de 5,31 e 2,44% e o primeiro apresentou-se abaixo do padrão de identidade e qualidade (PIQ) de polpa de cajá, do Ministério da Agricultura (Brasil, 2000), que preconiza no máximo 12,0% em açúcares totais. Esses valores foram também inferiores às médias observadas por Breda et al. (2013) encontraram 15,05% para açúcares totais e 7,52% para açúcares redutores e por Damiani et al., (2011) que encontraram 5,35% para açúcares totais e 3,63% para açúcares redutores em frutos de cajá-manga. Também foi observado na polpa de cajá-manga em pó um incremento nos valores dos parâmetros de açucare totais e redutores quando comparados à polpa integral, fato relacionado ao processo de secagem e, conseqüentemente, à concentração desses açúcares ao produto seco.

A higroscopicidade é a capacidade de um determinado produto tem em absorver umidade do ambiente. Segundo a classificação de Gea Niro Research Laboratory (2003) as polpas de cajá-manga em pó apresentaram comportamento não higroscópico (<10 %), logo, apresentam baixa capacidade de absorção de água do ambiente. Esse comportamento justifica-se pela presença de maltodextrina nas amostras, 30, 20 e 20% nos pós obtidos em secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leite fluidizado, respectivamente, que tem

como característica a baixa higroscopicidade. A baixa capacidade de absorção de água do ambiente é favorável para produtos em pó, pois facilita o armazenamento dos mesmos, aumentando a vida útil do produto. Ferreira et al. (2014) ao analisarem polpa de cajá em pó relataram higroscopicidade ligeiramente maior que os observados neste estudo, 11,25% do produto desidratado, classificado como ligeiramente higroscópico

Os pós apresentaram alto poder de solubilidade em água, acima de 90%, isto ocorreu 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.

4.3.2 Estabilidade físico-química do pó obtido por secagem em spray-dryer, liofilização e leite fluidizado

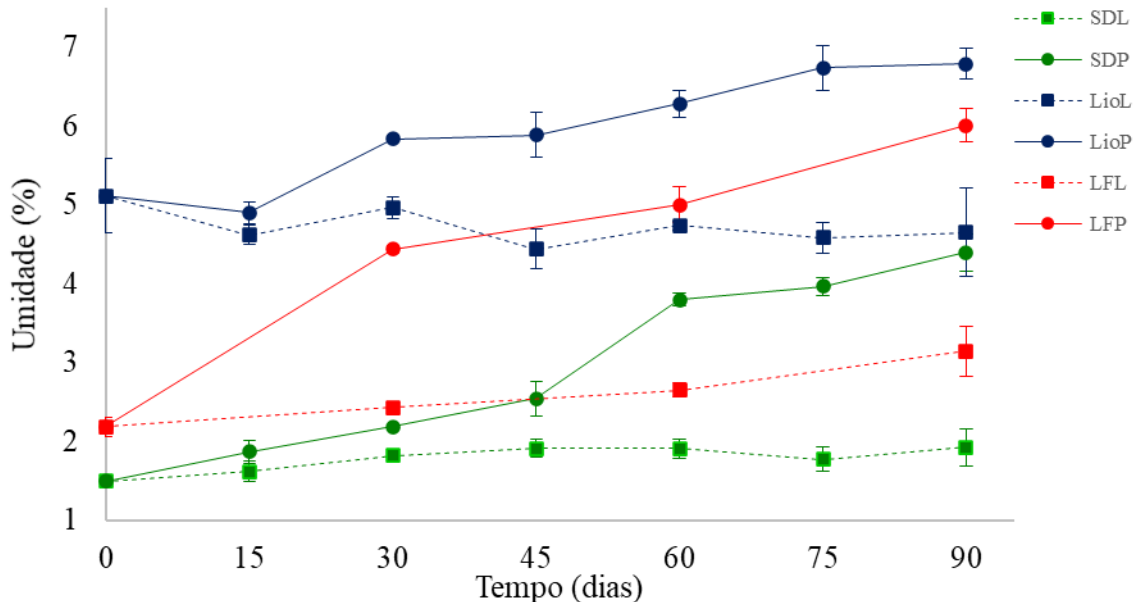
A seguir serão apresentadas as figuras do comportamento, dos pós de polpa de cajá-manga, da umidade, atividade de água, pH, acidez total, teor ácido ascórbico, luminosidade, coordenada b* da cor, solubilidade e higroscopicidade durante 90 dias de armazenamento. Em anexo nas Tabela 34, 35 e 36 são apresentados os resultados médios, com seus respectivos desvios padrões, para os parâmetros avaliados, citados acima, da polpa de cajá-manga em pó obtida por spray-dryer, liofilização e leite fluidizado, respectivamente. Foi aplicado o teste de *Tukey*, ao nível de confiança de 95%, para comparação das médias entre as embalagens e entre os tempos de avaliação de cada parâmetro físico e físico-químico. Na tabela 37, em anexo, estão apresentadas as equações da reta e os coeficientes de determinação dos parâmetros avaliados e demonstrados nas figuras 10 a 19.

Umidade

Na Figura 9 está representado o comportamento da umidade da polpa de cajá manga em pó obtidas por diferentes processos de secagem em diferentes embalagens durante 90 dias de armazenamento. A umidade dos pós apresentou aumento significativo em seus teores em todas as embalagens avaliadas, exceto ao pó liofilizado acondicionado em embalagem laminada (Figura 9). Observou que valores médios dos pós, em embalagem laminada e plásticas, variaram, após os 90 dias, de 1,50 a 1,93% e 1,50 a 4,40%; 5,12 a 4,65%

e 5,12 a 6,79%; 2,19 a 3,15% e 2,19 a 6,01% para os processos de spray-dryer, liofilização e leite liofilizado, respectivamente.

Figura 9 - Comportamento do teor de umidade da polpa de cajá-manga em pó, em embalagem laminada e plástica, obtidos pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leite fluidizado durante o armazenamento.



SDL – Embalagem laminada e spray-dryer; SDP - Embalagem plástica e spray-dryer; LioL - Embalagem laminada e liofilização; LioP - Embalagem plástica e liofilização; LFL – Embalagem laminada e leite fluidizado; LFP – Embalagem plástica e leite fluidizado.

As polpas de cajá manga em pó acondicionadas em embalagens plásticas apresentaram maior gradiente no teor de umidade, durante os 90 dias de armazenamento, em relação as embalagens laminadas, 193,3; 32,6 e 273,4% contra 28,7; -10,6 e 43,8%, dos spray-drying, liofilização e leite fluidizado, respectivamente. 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 de água do que embalagens laminadas contendo alumínio em sua composição. Embalagens plásticas apresentam menor barreira a vapores de água do que a embalagens laminadas.

Os teores de umidade apresentaram diferença significativa entre as embalagens, laminada e plástica, dentro dos mesmos processos, ao último dia de avaliação. Tal comportamento foi observado por Galdino et al. (2003) e Gomes (2002) ao avaliarem a estabilidade da polpa em pó de umbu e acerola utilizando os processos foam-mat e leite fluidizado, respectivamente. De uma forma geral, os pós obtidos em leite fluidizado apresentaram maior gradiente no teor de umidade entre os processos de secagem avaliados, posteriormente o spray-drying e por fim o liofilizado. Apesar da variação, durante o

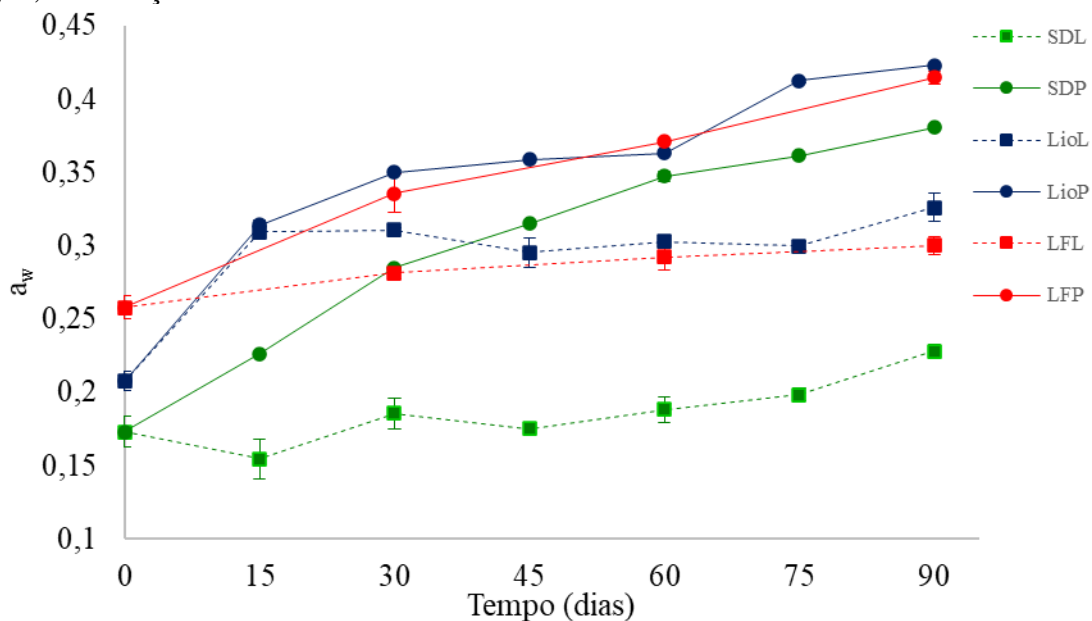
armazenamento, das embalagens, a umidade dos pós apresentara teores considerados ideais para alimentos desidratados.

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).

Atividade de água

Na Figura 10 está apresentado o comportamento higroscópico, durante 90 dias de armazenamento, da atividade de água (a_w) da polpa de cajá-manga em pó, em embalagem laminada e plástica, obtidos pelos processos de secagem em spray-dryer, liofilização e leiteo fluidizado.

Figura 10 - Comportamento da atividade de água da polpa de cajá-manga em pó, em embalagem laminada e plástica, obtidos pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leiteo fluidizado durante o armazenamento.



SDL – Embalagem laminada e spray-dryer; SDP - Embalagem plástica e spray-dryer; LioL - Embalagem laminada e liofilização; LioP - Embalagem plástica e liofilização; LFL – Embalagem laminada e leiteo fluidizado; LFP – Embalagem plástica e leiteo fluidizado.

Observou na Figura 10 que houve aumento da atividade de água em todas os pós avaliados, e apresentaram diferença significativa no 90º dia em relação ao primeiro. Os valores médios das a_w , nas embalagens plásticas, variaram de 0,17 a 0,23; 0,21 a 0,33 e 0,26 a 0,30 para os processos em spray-dryer, liofilização e leiteo fluidizado, respectivamente. Já nas

embalagens laminadas variou de 0,17 a 0,38; 0,21 a 0,42 e 0,26 a 0,41 para os processos em spray-dryer, liofilização e leite fluidizado, respectivamente. A atividade de água está relacionada com a umidade. De Lisboa et al. (2012) ao avaliarem figo-da-índia em pó, desidratados em leite de espuma, relataram que os pós acondicionados em embalagens laminadas, obtiveram aumento consistente na atividade de água, durante o armazenamento, em diferentes temperaturas e umidades relativas.

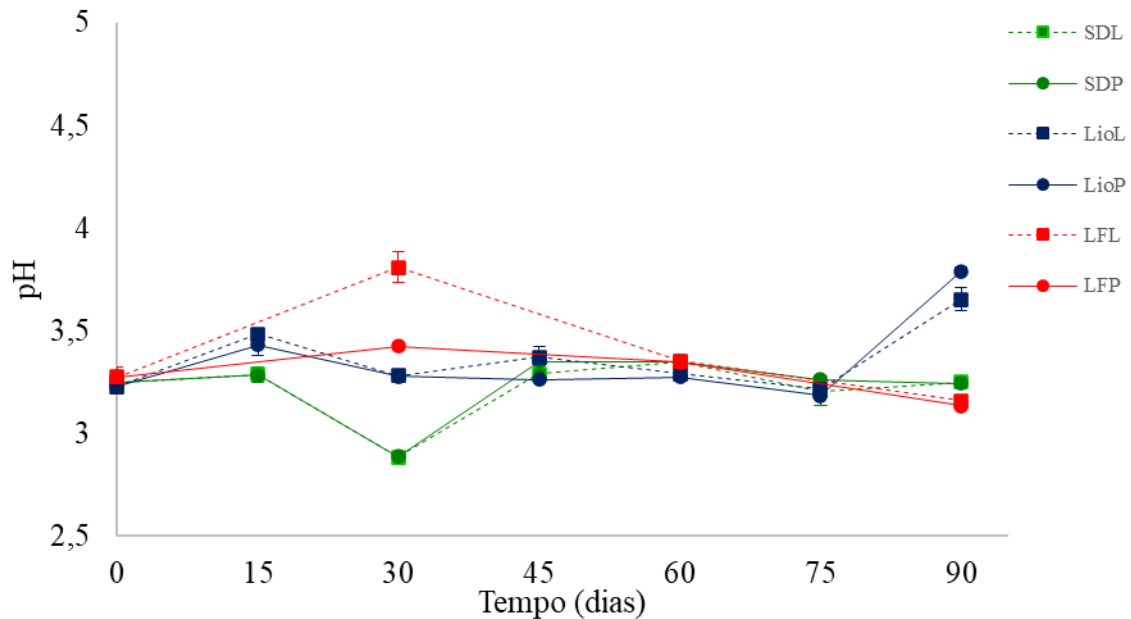
As polpas de cajá manga acondicionadas em embalagens plásticas apresentaram a_w maiores do que os acondicionados em embalagens laminadas. Ao final do tempo de armazenamento observou, que houve diferença significativa entre as embalagens avaliadas, para cada tipo de processo.

As amostras avaliadas apresentaram a_w dentro do limite considerado ótimo para alimentos estáveis e seguros 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; VASCONCELOS; 2011). Apesar do aumento da atividade de água nas amostras, as mesmas apresentaram característica estável para a conservação de alimentos em 90 dias de avaliação.

pH

Na Figura 11 está representado o comportamento, durante 90 dias de armazenamento, do pH da polpa de cajá-manga em pó em embalagem laminada e plástica obtidos pelos processos de secagem em spray-dryer, liofilização e leite fluidizado. As amostras de cajá-manga em pó obtidas em spray-dryer não apresentaram diferença significativa entre os 90 dias de armazenamento, apesar das pequenas variações observadas na Figura 3, partiram de 3,25 e finalizaram com 3,25 e 3,24 nas embalagens laminada e plástica, respectivamente.

Figura 11 - Comportamento do pH da polpa de cajá-manga em pó, em embalagem laminada e plástica, obtidos pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado durante o armazenamento.



SDL – Embalagem laminada e spray-dryer; SDP - Embalagem plástica e spray-dryer; LioL - Embalagem laminada e liofilização; LioP - Embalagem plástica e liofilização; LFL – Embalagem laminada e leito fluidizado; LFP – Embalagem plástica e leito fluidizado.

Os pós liofilizados apresentaram um aumento significativo no 90º dia. Iniciou-se a avaliação com pH 3,24 e finalizou-se com médias de 3,65 e 3,79 para embalagem laminada e plástica, respectivamente. Os pós provenientes do leito de fluidizado apresentou diferença significativa apenas na embalagem plástica. Galdino et al. (2003) observaram que o pH permaneceu constante durante o período de 60 dias de armazenamento de umbu em pó obtido pelo método de secagem foam-mat, acondicionado em embalagens laminada e de polietileno.

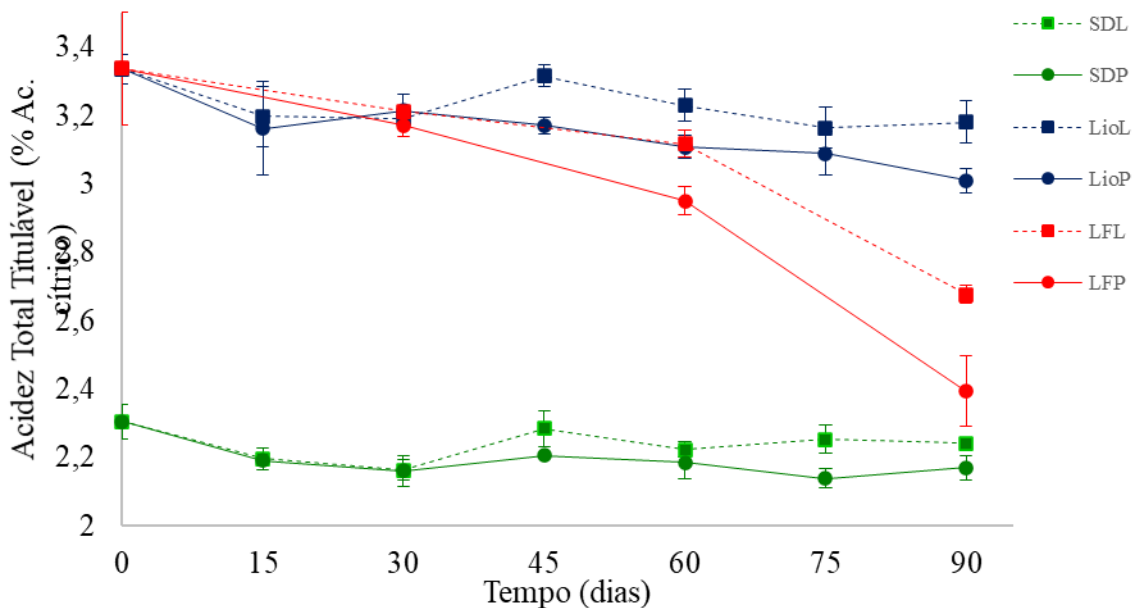
O pH de um alimento é de grande importância do ponto de vista microbiológico quanto químico, uma abordagem microbiológica os divide em duas categorias: alimentos com valores de pH inferiores ou superiores a 4,5 (GOMES *et al.*, 2011). Alimentos com pH inferiores a 4,5 são considerados alimentos ácidos, associados a baixa umidade e a_w , 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.

Acidez total titulável

A Figura 12 estão representados o comportamento, durante 90 dias de armazenamento, da acidez total titulável da polpa de cajá-manga em pó, em embalagem

laminada e plástica, obtidos pelos processos de secagem em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado. Observou-se que valores médios de pH dos pós, em embalagem laminada e plásticas, variaram, após os 90 dias, de 2,31 a 2,24% e 2,31 a 2,17%; 3,33 a 3,18% e 3,33 a 3,01%; 3,34 a 2,68% e 3,34 a 2,39% para os processos de spray-dryer, liofilização e leito liofilizado, respectivamente.

Figura 12 - Comportamento da acidez da polpa de cajá-manga em pó, em embalagem laminada e plástica, obtidos pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado durante o armazenamento.



SDL – Embalagem laminada e spray-dryer; SDP - Embalagem plástica e spray-dryer; LioL - Embalagem laminada e liofilização; LioP - Embalagem plástica e liofilização; LFL – Embalagem laminada e leito fluidizado; LFP – Embalagem plástica e leito fluidizado.

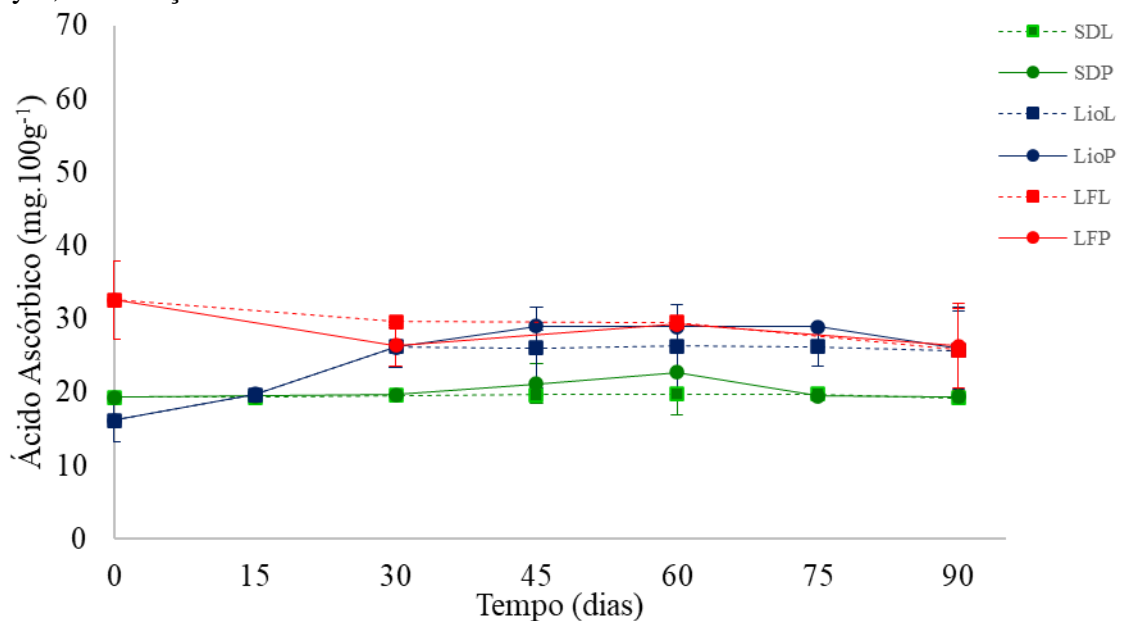
Não houve diferença significativa, no 90º dia em relação ao início da avaliação, apenas na amostra do spray-dryer acondicionado em embalagem laminada. Foi observado um comportamento de redução da acidez total titulável ao longo do tempo de armazenamento em todos os tratamentos avaliados. Essa redução foi mais acentuada nas embalagens plásticas como pode-se observar na Figura 13. Tais fatos demonstram que as embalagens apresentaram interferência significativa na conservação da polpa de manga em pó após 90 dias de armazenamento.

Galdino et al. (2016) analisaram a estabilidade de polpa em pó do figo-da-india, obtida em spray dryer, armazenadas em embalagens laminadas por 40 dias, em umidade relativa e temperatura controladas e observaram que a acidez das amostras permaneceu estável, após 40 dias de armazenamento em temperatura ambiente, com o comportamento este, similar ao deste estudo em relação aos pós obtidos também por aspersão em spray-dryer.

Ácido ascórbico

Na Figura 13 está representado o comportamento durante 90 dias de armazenamento, do teor de ácido ascórbico da polpa de cajá-manga em pó, em embalagem laminada e plástica, obtidos pelos processos de secagem em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado. Os valores médios dos teores de ácido ascórbico ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$), nas embalagens laminadas, variaram, após 90 dias de avaliação de 19,31 a 19,25; 16,14 a 26,02 e 44,64 a 29,69 para os processos em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado, respectivamente. Entre as embalagens plásticas o teor de ácido ascórbico variou de 19,31 a 19,39; 16,14 a 36,02 e 44,64 a 26,33 para os processos em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado, respectivamente.

Figura 13 - Comportamento do teor de ácido ascórbico da polpa de cajá-manga em pó, em embalagem laminada e plástica, obtidos pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado durante o armazenamento.



SDL – Embalagem laminada e spray-dryer; SDP - Embalagem plástica e spray-dryer; LioL - Embalagem laminada e liofilização; LioP - Embalagem plástica e liofilização; LFL – Embalagem laminada e leito fluidizado; LFP – Embalagem plástica e leito fluidizado.

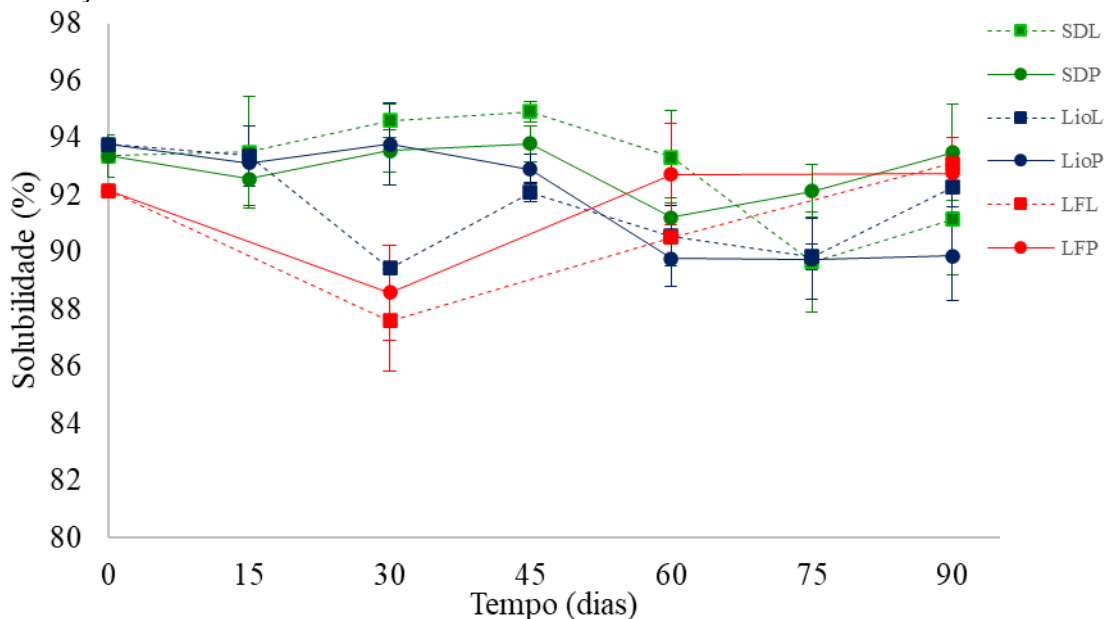
Os pós obtidos em spray-dryer e o pó liofilizado armazenado em embalagem laminada não demonstraram diferença significativa após 90 dias de armazenamento. Na embalagem plástica o pó liofilizado apresentou aumento significativo. Esse aumento deve-se pelo fato do aumento da disponibilidade da vitamina em ser detectado pelo método analítico ou por algum erro analítico. Os pós provenientes do leito de fluidizado apresentaram reduções nos teores de ácido ascórbico, conforme a Figura 13. Reduções na casa do 42,8 e 41,0% para

as embalagens laminada e plástica, respectivamente. Oliveira et al. (2015) constataram que os teores de ascórbico apresentaram tendência a redução com o tempo de armazenamento para polpa de mandacaru em pó, obtida em spray-dryer, acondicionadas em embalagens laminadas, por 50 dias. Segundo Moreira et al. (2011) os teores de ácido ascórbico podem variar de acordo o processo de desidratação, tempo de estocagem e da embalagem utilizada.

Solubilidade

A solubilidade das amostras nos tratamentos avaliados não apresentou diferença significativa no 90º dia de armazenamento em relação ao tempo 0, apesar de pequenas variações, conforme a Figura 14.

Figura 14 - Comportamento da solubilidade da polpa de cajá-manga em pó, em embalagem laminada e plástica, obtidos pelos processos de secagem por aspensão em spray-dryer, liofilização e leite fluidizado durante o armazenamento.



SDL – Embalagem laminada e spray-dryer; SDP - Embalagem plástica e spray-dryer; LioL - Embalagem laminada e liofilização; LioP - Embalagem plástica e liofilização; LFL – Embalagem laminada e leite fluidizado; LFP – Embalagem plástica e leite fluidizado.

Os pós obtidos em spray-dryer, liofilização e leite fluidizado apresentaram solubilidade inicial de 93,38; 93,78 e 92,16 e encerrou a avaliação com 91,14 e 93,49%; 92,29 e 89,87%; 93,10 e 92,77% nas embalagens laminada e plástica, respectivamente. Entre as embalagens, laminada e plástica, também não apresentaram diferença significativa da solubilidade, dentro dos mesmos processos de obtenção dos pós. Sousa et al. (2016) obtiveram resultados semelhante aos encontrados neste estudo, não encontrando diferença significativa na solubilidade das amostras de suco de caju em pó, obtidos em leite fluidizado,

durante 60 dias de armazenamento, em embalagens plásticas e laminadas. Os mesmos autores também não encontraram diferença entre as embalagens para o o mesmo parâmetro avaliado.

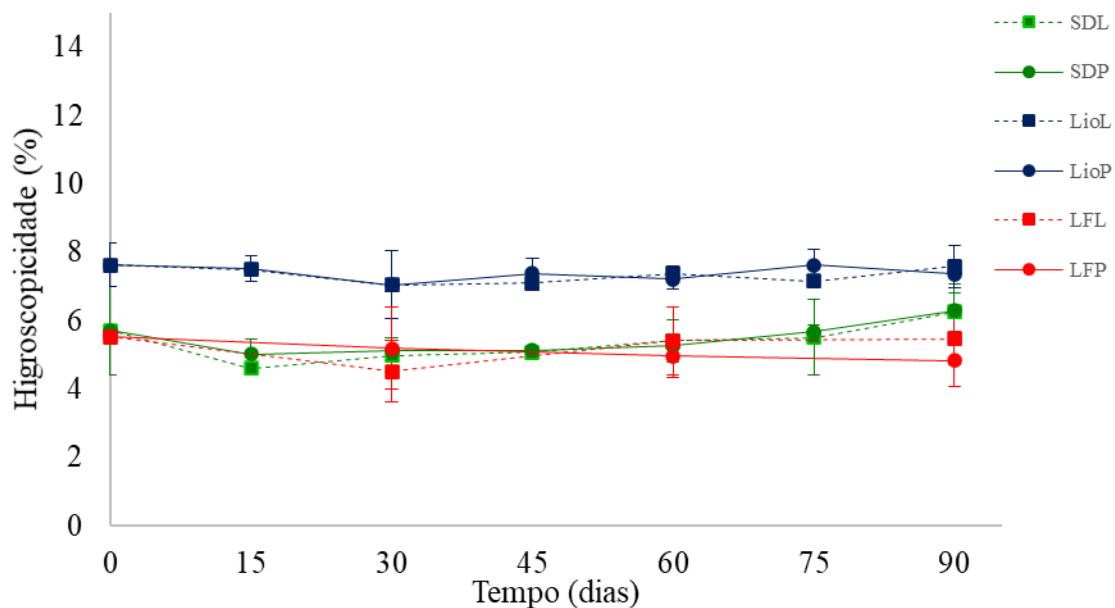
A solubilidade está relacionada à interação entre as substâncias químicas e trata-se de um termo quantitativo para expressar a solubilização de um soluto no solvente (MARTINS et al., 2013). A solubilidade é um parâmetro utilizado para avaliar o comportamento do pó em solução aquosa e verifica a capacidade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

Ao final dos 90 dias de armazenamento notou-se que os pós ainda possuíram alta capacidade de se solubilizar em água. Nota-se que o tempo e as condições de acondicionamento avaliadas não influenciaram neste aspecto físico nos pós.

Higroscopicidade

Na Figura 15 está representado o comportamento da higroscopicidade da polpa de cajá manga em pó obtidas por diferentes processos de secagem em diferentes embalagens durante 90 dias de armazenamento. A variação da higroscopicidade dos pós não apresentou efeito significativo em seus teores nas embalagens avaliadas, com exceção ao pó obtido em leite fluidizado acondicionado em embalagem plástica.

Figura 15 - Comportamento da higroscopicidade da polpa de cajá-manga em pó, em embalagem laminada e plástica, obtidos pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leite fluidizado durante o armazenamento.



SDL – Embalagem laminada e spray-dryer; SDP - Embalagem plástica e spray-dryer; LioL - Embalagem laminada e liofilização; LioP - Embalagem plástica e liofilização; LFL – Embalagem laminada e leite fluidizado; LFP – Embalagem plástica e leite fluidizado.

Observou que valores médios de higroscopicidade dos pós, em embalagem laminada e plásticas, variaram, após os 90 dias, de 5,71 a 6,26% e 5,71 a 6,29%; 7,63 a 7,59% e 7,63 a 7,35%; 5,53 a 5,46% e 5,53 a 4,83% para os processos de secagem em spray-dryer, liofilização e leite liofilizado, respectivamente. Verificou-se que os pós acondicionados em embalagens laminadas e plásticas no nonagésimo dia não diferiram estatisticamente entre si, dentro dos mesmos processos de secagem.

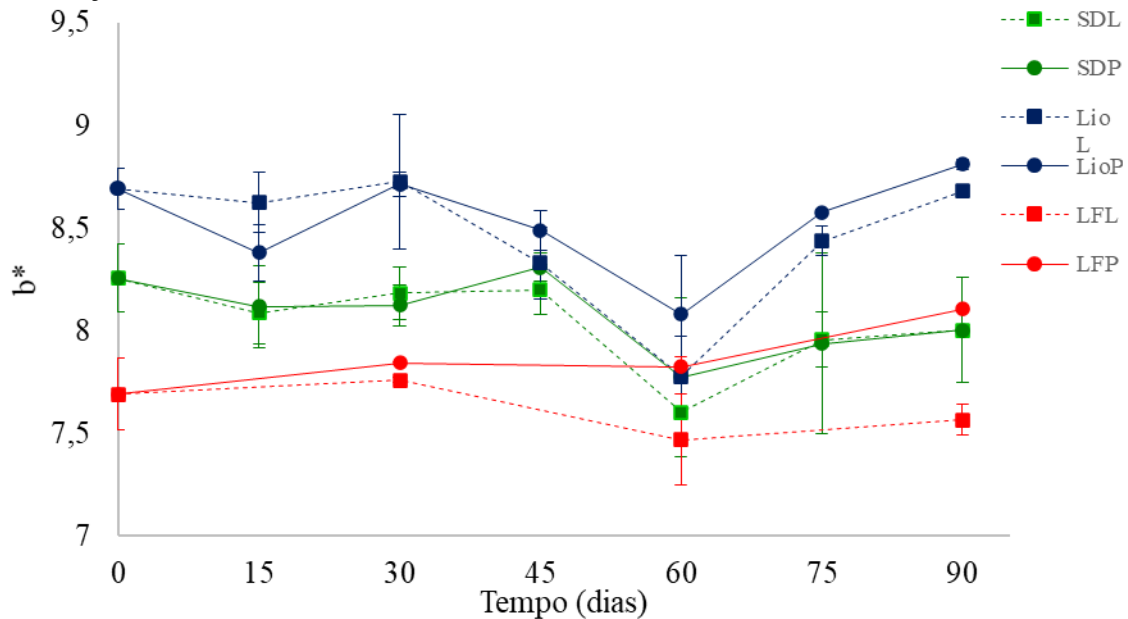
As amostras avaliadas, em ambas as embalagens, apresentaram valores para higroscopicidade menores do que 10%, com isso as mesmas podem ser classificadas como pós não higroscópicos de acordo com os padrões estabelecidos por GEA Niro Research Laboratory (2016). Sousa (2016), também encontraram resultados semelhantes ao deste estudo, em embalagens laminadas embaladas a vácuo, ao avaliarem suco de caju em pó desidratado em leite fluidizado. Os autores observaram valores para higroscopicidade abaixo de 10% e não encontraram variação durante 60 dias de armazenamento, já em embalagens plásticas observaram redução na hidrosopicidade das amostras.

Os pós com umidades menores são mais higroscópicos, 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.

*Cor – b**

Na Figura 16 está representado o comportamento da coordenada b^* da polpa de cajá manga em pó obtidas por diferentes processos de secagem em diferentes embalagens durante 90 dias de armazenamento.

Figura 16 - Comportamento da coordenada b^* da polpa de cajá-manga em pó, em embalagem laminada e plástica, obtidos pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado durante o armazenamento.



SDL – Embalagem laminada e spray-dryer; SDP - Embalagem plástica e spray-dryer; LioL - Embalagem laminada e liofilização; LioP - Embalagem plástica e liofilização; LFL – Embalagem laminada e leito fluidizado; LFP – Embalagem plástica e leito fluidizado.

Apesar de observar redução das médias da coordenada b^* , para os pós obtidos em spray-dryer, não foi observado diferença significativa no nonagésimo dia nas embalagens laminada e plástica, em relação ao início da avaliação, nem tão pouco em relação às embalagens. Os pós obtidos por liofilização apresentaram diferença significativa entre as embalagens no 90º dia de armazenamento. Aos pós (LF) acondicionados em embalagem laminada apresentou diferença significativa em relação a embalagem plástica no último dia de avaliação. Porém, o pó em embalagem plástica apresentou comportamento oposto ao encontrado na embalagem laminada, aumento significativo da coordenada b^* ao 90º dia em relação dia 0. Lisboa (2012) armazenou figo-da-india em pó, obtido em leito de espuma, acondicionada em embalagem laminadas, durante 100 dias na temperatura de 25, verificando estabilidade na intensidade do vermelho ao fim do armazenamento.

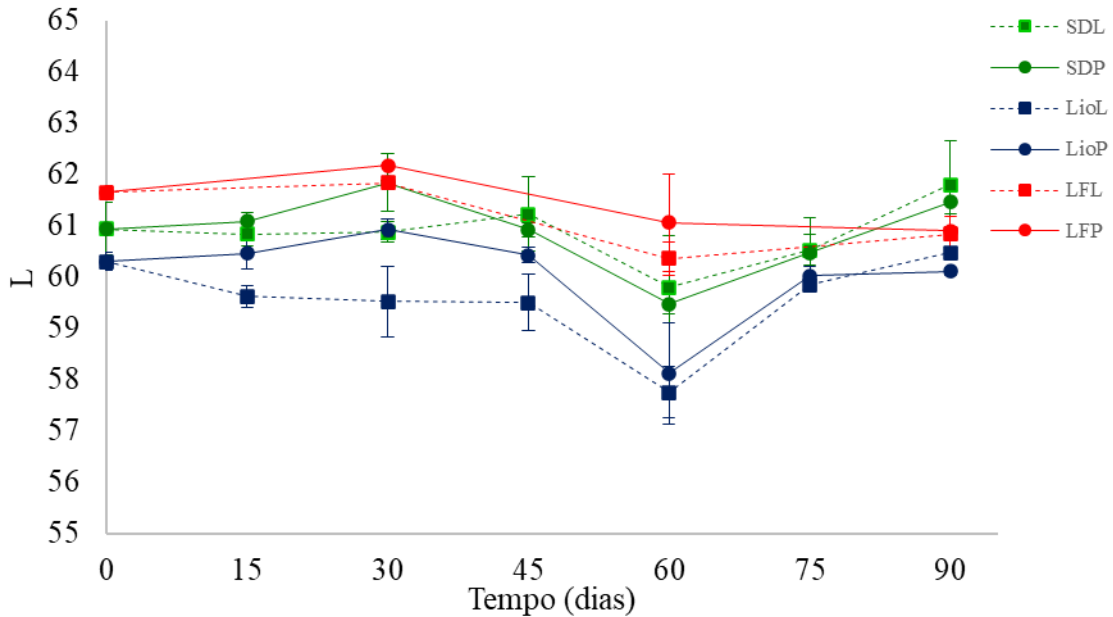
Apesar de alguns tratamentos acusarem diferença significativa da coordenada b^* observou-se que não interferiu substancialmente para mudança da cor dos pós armazenados.

Cor – L^*

Na Figura 17 está representado o comportamento da luminosidade da polpa de cajá manga em pó obtidas por diferentes processos de secagem em diferentes embalagens durante 90 dias de armazenamento. Foi observado que valores médios, em embalagem

laminada e plásticas, variaram, após os 90 dias, de 60,94 a 61,80% e 60,94 a 61,46%; 60,30 a 60,48% e 60,30 a 60,11%; 61,65 a 60,84% e 61,65 a 60,90% para os processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leito liofilizado, respectivamente.

Figura 17 - Comportamento da luminosidade da polpa de cajá-manga em pó, em embalagem laminada e plástica, obtidos pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado durante o armazenamento.



SDL – Embalagem laminada e spray-dryer; SDP - Embalagem plástica e spray-dryer; LioL - Embalagem laminada e liofilização; LioP - Embalagem plástica e liofilização; LFL – Embalagem laminada e leito fluidizado; LFP – Embalagem plástica e leito fluidizado.

Após 90 dias de avaliação da estabilidade da luminosidade dos pós armazenados, observou-se houve diferença significativa entre as embalagens plásticas e laminada, apenas nos pós liofilizados. Notou-se que somente apresentou diferença significativa no 90º dia no pó obtido em leito de fluidizado acondicionado em embalagem laminada quando comparado ao dia 0.

Apesar das variações significativas, durante os 90 dias de armazenamento, pode-se afirmar que não houve escurecimento enzimático ou não enzimático da polpa de cajá-manga em pó durante os 90 dias de armazenamento. Portanto a polpa de manga em pó ofereceu elevada luminosidade durante o período de armazenagem. Oliveira et al. (2015) relataram que houve diminuição dos valores de L^* ao longo de 50 dias de armazenamento de polpa de mandacaru em pó, obtido por aspersão em spray-dryer e acondicionado em embalagem laminada. Moura et al. (2007) observaram, em maçã-passa, escurecimento, ou seja, diminuição de L^* , obtidas em secador de bandeja em diferentes temperaturas.

4.4 Conclusões

Os pós obtidos pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado apresentaram alto poder de solubilização em água e baixa higroscopicidade.

O processo de secagem em leito fluidizado apresentou maior preservação dos teores de ácido ascórbico em relação aos processos de secagem por aspersão em spray-dryer e liofilização.

Os pós obtidos pelos processos estudados apresentaram baixa umidade e reduzida atividade de água.

A embalagem de polietileno proporciona maior absorção de água pelos pós, promovendo um aumento maior no teor de umidade e a atividade de água, porém ainda estáveis para produtos desidratados.

Indica-se que os pós, após 90 dias de armazenamento, nas embalagens laminadas e de polietileno, são estáveis microbiologicamente devido ao baixo valor do pH das amostras avaliadas.

O teor de ácido ascórbico, a higroscopicidade e a solubilidade dos pós após 90 dias de armazenamento apresentam estáveis nas embalagens laminadas e de polietileno.

O uso de embalagens laminadas apresenta maior eficiência na manutenção da qualidade das polpas de cajá-manga em pó por um período de 90 dias em condições ambientais.

REFERÊNCIAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 20°. ed. Maryland: AOAC, 2016.

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.

BOSCO, J.; SOARES, K. T.; AGUIAR FILHO, S. P.; BARROS, R. V. **A cultura da cajazeira**. João Pessoa: EMEPA-PB, 2000.

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: 11 de abril de 2020.

BREDA, C. A.; JUSTI, P. N.; SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J. Efeito da desidratação foam mat na retenção da vitamina C da polpa de cajá-manga. **Braz. J. Food Nutr**, v. 24, n. 2, p. 189-193, 2013.

BUSANELLO, M. P. **Desenvolvimento de bebida láctea prebiótica com cajámanga (Spondias dulcis)**. 2014. 51f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnólogo de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2014. Disponível em endereço eletrônico: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3462/1/FB_COALM_2014_2_08.pdf. Acesso em 25, de março de 2021.

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.

CAVALCANTE, L. F.; LIMA, E. M.; FREIRE, J. L. O.; PEREIRA, W. E.; COSTA, A. P. M.; CAVALCANTE, I. H. L. Componentes qualitativos do cajá em sete municípios do brejo Paraibano. **Acta Scientiarum**, v. 31, n. 4, p. 627-632, 2009.

CAVALCANTE, C. E. B.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Avaliação dos parâmetros de secagem da polpa de graviola em pó obtida por secagem em spray dryer. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, 2017.

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

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

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.

DAMIANI, C.; SILVA, F. A. D.; AMORIM, C. C. D. M.; SILVA, S. T. P.; BASTOS, I. M.; ASQUIERI, E. R.; VERA, R. Néctar misto de cajá-manga com hortelã: caracterização química, microbiológica e sensorial. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.13, n.3, p.301-309, 2011

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

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.

FELLOEWS, P.J. **Food Processing Technology: Principles and Practice**. 2nd Edition. Woodhead Publishing, Limited, 2000.

FERREIRA, L.; PINTO, L. S. R. C. Estruturados de cajá-manga (*Spondias dulcis*) com diferentes hidrocolóides. **Enciclopédia Biosfera**, v. 14, n. 25, p. 32-41, 2017.

FERREIRA, A. P. R.; SOUSA, S. L.; LIMA, D. M.; COSTA, J. M. C. D. Caracterização de polpa de cajá em pó obtida pelo método de secagem em leite de jorro. 2014.

FRANQUIN, S.; MARCELIN, O.; AURORE, G.; REYNES, M.; BRILLQUET, J.M. Physicochemical characterisation of the mature-green Golden apple (*Spondias cytherea* Sonnerat). **Fruits**, v.60, p.203-210, 2005.

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

GALDINO, P. O.; DE FIGUEIRÊDO, R. M.; QUEIROZ, A. J. D. M.; GALDINO, P. O.; FERNANDES, T. K. D. S. Estabilidade do figo-da-índia em pó durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 2, p. 169-173, 2016.

GALLI, J. A. *et al.* Produção e qualidade de frutos de diferentes cultivares de mangueira adubadas com boro. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 3, p. 358 - 363, 2013.

GAVA, A. J. **Tecnologia em Alimentos: princípios e aplicações**. São Paulo: Nobel, 2009.

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

GOMES, R.P. **Fruticultura brasileira**. 13. ed. São Paulo: NOBEL, 2007. 446 p.

GOMES, P.M. DE A. Estudo da polpa de acerola (*Malpighia emarginata* D. C) desidratada em leite de jorro. Campina Grande, 2002. 86p. (Dissertação de Mestrado).

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 simplific Ed 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.

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.

JANICK, J; PAULL, R. E. **The encyclopedia of fruit and nuts**. Ed. CABI, 2008.

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

LAGO-VANZELA, E. S.; RAMIN, P.; UMSZA-GUEZ, M. A.; SANTOS, G. V.; GOMES, E.; SILVA, R. Chemical and sensory characteristics of pulp and peel 'cajá-manga' (*Spondias cytherea* Sonn.) jelly. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 31, n. 2, p. 398-405, 2011.

LEME, A.C.; GROppo, V.D.; ROMERO, A.C.; SPOTO, M.H.F.; JACOMINO, A.P. **Influência do uso de películas comestíveis em laranja 'Pera' minimamente processada**. Boletim do CEPPA, Curitiba, v.25, n.1, p.15-24, 2007.

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.

LIMA, P. M. **Análise da fluidodinâmica e transferência de calor em leito de jorro com alimentação contínua de sólidos pela base**. São Carlos, 2004.

MARTINS, C. R.; LOPES, W. A.; ANDRADE, J. B. de. Solubilidade das substâncias orgânicas. **Química Nova**, v.36, p.1248-1255, 2013.

MECENAS, A. S.; da MATTA, V. M.; SILVA, F. T.; PONTES, S. M.; GOMES, F. D. S. Caracterização físico-química de cajá-manga (*Spondias dulcis*) em dois estádios de maturação. In: **Embrapa Agroindústria de Alimentos-Resumo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 22., 2010, Salvador. Potencialidades, desafios e inovações. [SI]: SBCTA, 2010. 1 CD-ROM., 2010.

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

MOREIRA, J. S. A.; SOUZA, M. L.; ARAÚJO NETO, S. E.; SILVA, R. F. Estudo da estabilidade microbiológica e físico-química de polpa de cupuaçu desidratada em estufa. **Revista Caatinga**, v.24, p.26-32, 2011.

MOURA, S. C. S. R.; BERBARI, S. A.; GERMER, S. P. M.; ALMEIDA, M. E. M.; FEFIM, D. A. Determinação da vida-de-prateleira de maçã-passa por testes acelerados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, p.141-148, 2007.

NEPA-UNICAMP. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. 4ª edição. Campinas: NEPA-UNICAMP, 2011. 161p.

OLIVEIRA, J. R. S. de. **Caracterização de extratos de cajá-manga (*Spondias dulcis* Parkinson) potencialmente ativos e seguros para obtenção de fitocosmético antioxidante.** 2011. 212 p. (Doutorado). Ciências Farmacêuticas, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade Estadual de São Paulo. Araraquara.

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

OSAKO, P. F. **Estudo e desenvolvimento de vitamina de iogurte e frutas liofilizadas.** 2012. 58f. Trabalho de conclusão de curso. Escola politécnica da universidade de São Paulo. Departamento de engenharia Química, USP.

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.

QUEK, S. Y.; CHOK, N. K.; SWEDLUND, P. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powder. **Chemical Engineering and Processing**, v. 46, n. 5, p. 386-392, 2007.

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.

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.

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.

SILVA, T. L. L. **Cajá-manga (*Spondias mombin* L.): desenvolvimento fisiológico e avaliação do padrão respiratório.** 2016. 115 p. (Dissertação). Mestrado em Ciências Florestais, Universidade Federal de Goiás. Goiânia.

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

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

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó. **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.

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.

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.

5 COMPORTAMENTO HIGROSCÓPICO DA POLPA DE CAJÁ-MANGA EM PÓ EM DIFERENTES PROCESSOS DE SECAGEM

5.1 Introdução

Os maiores obstáculos enfrentados na desidratação de polpa de frutas ricas em açúcares e ácidos de baixo peso molecular, que apresentam temperatura de transição vítrea baixa, é a elevada higroscopicidade, fácil aglomeração das partículas, baixa temperatura de transição vítrea e aderência do produto final às paredes do secador. O que proporciona ao produto seco características como dificuldades de manipulação, transporte e armazenamento e baixo rendimento durante o processo de secagem (FABRA, 2011; PAGANI, 2010; FREITAS et al., 2019). Esses problemas podem ser evitados com o uso de adjuvantes de secagem, que tornam os pós menos higroscópicos e de fácil fluidez. Segundo Tonon et al. (2009), a incorporação de aditivos de alto peso molecular, ao produto, antes de ser submetido à secagem, aumenta a temperatura de transição vítrea e evita a aglomeração das partículas do pó.

Um dos materiais mais utilizados como adjuvante de secagem é a maltodextrina, em função de seu baixo custo, baixa higroscopicidade, alta solubilidade, além de apresentar efeito antioxidante e ótima retenção de substâncias voláteis, na ordem de 65 a 80% (FERRARI et al., 2012; CEBALLOS et al., 2012; KHA et al., 2010; ANSELMO *et al.*, 2006).

Para que se obtenha sucesso no processo de secagem, é interessante e necessário conhecer a influência que a adição dos adjuvantes exercerá nas formulações elaboradas. (FEITOSA et al., 2018). O conhecimento de propriedades físicas dos pós, como a higroscopicidade, é de elevada importância, pois afetam, diretamente, o comportamento do produto durante o armazenamento, manuseio e processamento.

A higroscopicidade é definida como a capacidade que um material apresenta de absorver a umidade do ar (JAYA; DAS, 2004) e está ligada à sua estabilidade física, química e microbiológica e, dessa forma, torna-se imprescindível o conhecimento do comportamento higroscópico de produtos desidratados (OLIVEIRA et al., 2014). A presença da água em um pó pode afetar significativamente suas propriedades de fluidez e consistência (de SOUSA PINTO et al., 2019).

Uma maneira de se avaliar o comportamento higroscópico de alimentos é através de suas isotermas de sorção. Este meio ilustra a capacidade do alimento em absorver água quando colocado em determinadas condições atmosféricas e de temperatura, e são

empregados para definir processos, tempo de secagem, além da determinação da vida útil do produto e do tipo de embalagem mais adequada para o seu armazenamento (ALEXANDRE et al., 2007; de SOUSA PINTO, 2019; PICELLI et al., 2010).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da concentração da maltodextrina sobre as isotermas de sorção da polpa de cajá-manga em pó, nos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado.

5.2 Materiais e Métodos

5.2.1 Local do Experimento, matéria-prima e preparação das amostras

O local do experimento, obtenção da matéria-prima e procedimentos para preparação das amostras foram descritos no item 3.2.1, 3.2.2 e 3.2.4 do capítulo 3.

5.2.2 Secagem por aspersão em spray-dryer

A secagem foi realizada com secador tipo spray-dryer, citado no item 3.2.5 do capítulo 3, juntamente com os procedimentos e parâmetros. Foram realizadas 3 secagens, onde foi aplicado 135 °C de temperatura do ar de secagem e variou a concentração de maltodextrina entre 10, 20 e 30%.

5.2.3 Secagem por Liofilização

Os procedimentos da liofilização foram descritos no item 3.2.6 do capítulo 3. Foi utilizado 2,3 h de congelamento pré-liofilização e 10, 20 e 30% de maltodextrina como adjuvante de secagem, obtendo 3 amostras distintas.

5.2.4 Secagem em leito fluidizado

Os procedimentos da secagem de polpa de cajá-manga foram descritos no item 3.2.6 do capítulo 3. Foi utilizado 78,6 °C de temperatura de secagem e 10, 20 e 30% de maltodextrina como agente carreador, totalizando 3 secagens.

5.2.5 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 $25\text{ }^\circ\text{C} \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$.

As soluções de sais foram preparadas e colocadas em recipientes herméticos de vidro temperado, 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, 35 e 45 $^\circ\text{C}$). 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:

$$X_{\text{eq}} = \frac{M_o - M_s}{M_s} \quad \text{[Equação 4]}$$

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: Guggenheim, Anderson e Boer (GAB); Brunauer, Emmet e Teller (BET); Henderson e Oswin, conforme equações a seguir:

GAB: [Equação 5]

$$X_a = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w) \cdot (1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)}$$

BET: [Equação 6]

$$X_a = \frac{X_m \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w)} \cdot \left[\frac{1 - (n+1) \cdot (a_w)^n + n \cdot (a_w)^{n+1}}{1 - (1-C) \cdot a_w - C \cdot (a_w)^{n+1}} \right]$$

Henderson:

$$X_e = \left[\frac{-\ln(1-a_w)}{b} \right]^{\frac{1}{a}} \quad \text{[Equação 7]}$$

Oswin:

$$X_e = a \cdot \left[\frac{a_w}{1-a_w} \right]^b \quad \text{[Equação 8]}$$

Onde:

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

X_m - teor de umidade na monocamada ($kg \text{ água}/kg \text{ amostra seca}$);

a_w - atividade de água;

a, b, C, K, n - constantes nos modelos em que aparecem.

Os modelos matemáticos foram ajustados por meio de análise de regressão não-linear pelo método Gauss Newton. Os modelos foram selecionados considerando o coeficiente de determinação (R^2) e pelo erro médio relativo (E). Considerou-se o valor do erro médio relativo inferior a 10% como um dos critérios para seleção dos modelos (LOMAURO *et al.*, 1985, OLIVEIRA *et al.*, 2014a; OLIVEIRA *et al.*, 2014b; ROCHA *et al.*, 2014).

$$E = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|(M_i - Mp_i)|}{M_i} \quad \text{[Equação 9]}$$

Onde:

E - erro médio relativo;

M_i - valores obtidos experimentalmente;

Mp_i - valores preditos pelo modelo;

n - número de dados experimentais.

5.3 Resultados e Discussão

Os modelos matemáticos foram ajustados aos dados de umidade de equilíbrio para selecionar o modelo que melhor representasse as isotermas de sorção, observando-se, para tanto, os conteúdos de umidade de equilíbrio em função da variação de temperatura e da concentração de maltodextrina em cada experimento.

Em anexo, nas Tabelas 38, 39 e 40 estão apresentados os parâmetros completos dos modelos matemáticos, GAB, BET, Henderson e Oswin para as representações de sorção da polpa de cajá-manga em pó pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado, respectivamente. No decorrer do tópico Resultados e Discussão serão apresentados e discutidos apenas os modelos matemáticos que forneceram os melhores ajustes para cada processo de secagem.

De acordo com as Tabelas em anexo foi observado que os coeficientes de determinação apresentaram valores satisfatórios para todos os modelos avaliados neste estudo, em todos os métodos de secagem. Portanto, estes coeficientes foram levados em consideração, para determinação dos modelos melhores ajustados, os menores erros médios relativos (E).

Os modelos de BET, BET e GAB apresentaram as menores médias dos erros, 3,35; 3,35 e 5,28%, para os pós de cajá-manga obtidos pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado, respectivamente, e coeficiente de determinação acima de 0,99. Ajustes realizados através dos modelos matemáticos de GAB e BET permitem um entendimento físico (conteúdo de umidade da monocamada dos alimentos) da teoria da adsorção (ANDRADE et al., 2011; MOREIRA et al., 2013).

Na Tabela 29 estão apresentados os parâmetros dos modelos matemáticos de BET, BET e GAB, para representação das isotermas de sorção da polpa de cajá-manga em pó, obtidos por secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado, respectivamente, e formulada com 10, 20 e 30% de maltodextrina, nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C.

Tabela 29 - Parâmetros dos modelos matemáticos de BET, BET e GAB, para representação das isotermas de sorção da polpa de cajá-manga em pó, obtidos em secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado, respectivamente, e formulada com 10, 20 e 30% de maltodextrina.

Processo de secagem	Modelos Matemático	Parâmetros	10 % Maltodextrina			20 % Maltodextrina			30 % Maltodextrina		
			25 °C	35 °C	45 °C	25 °C	35 °C	45 °C	25 °C	35 °C	45 °C
Aspersão em Spray-Dryer	BET	X _m	0,0954	0,0924	0,0907	0,0630	0,0691	0,0773	0,0614	0,0625	0,0685
		C	1,2985	1,1470	1,1140	2,5523	2,3249	1,7714	1,9557	1,8418	1,6398
		n	13,0940	13,9247	17,6901	21,9151	31,3092	32,2794	19,0751	25,8526	27,2080
		R ²	0,9983	0,9991	0,9973	0,9980	0,9954	0,9997	0,9989	0,9968	0,9996
		E (%)	2,66	1,36	3,89	5,16	6,99	1,28	2,84	3,91	2,06
Liofilização	BET	X _m	0,0792	0,0834	0,0891	0,0754	0,0817	0,0880	0,0521	0,0704	0,0769
		C	2,4703	2,4548	2,1865	2,0867	2,0298	1,8016	8,5141	2,3088	1,9323
		n	21,3011	21,6515	21,5400	19,3964	17,5780	17,7367	35,9323	19,1261	18,9146
		R ²	0,9990	0,9997	0,9984	0,9979	0,9991	0,9994	0,9839	0,9991	0,9983
		E (%)	2,53	1,99	2,62	2,61	2,64	2,57	7,23	3,69	4,25
Leito Fluidizado	GAB	X _m	0,0884	0,0898	0,1085	0,0890	0,0899	0,1526	0,1092	0,1399	0,4172
		C	1,7065	1,6689	1,5831	1,3741	1,3633	0,6498	0,7121	0,5525	0,2017
		K	0,9643	0,9641	0,9602	0,9646	0,9338	0,9159	0,9174	0,9006	0,8061
		R ²	0,9994	0,9990	0,9979	0,9986	0,9987	0,9960	0,9989	0,9982	0,9986
		E (%)	3,63	4,94	5,14	6,94	5,85	5,24	6,44	5,69	3,64

Onde: X_m - teor de umidade na monocamada (kg água/kg amostra seca); C – constante relativa ao calor total de sorção da primeira camada; n - constante de BET relativa as multicamadas constantes nos modelos; K – constante de GAB relativa as multicamadas; R² – coeficiente de determinação; E – erro médio relativo.

Fonte: autor

Os valores do teor de umidade na monocamada (X_m), no modelo de BET, para os pós de cajá-manga obtidos pelo processo de secagem por aspersão em spray-dryer apresentou mínimo de 0,0614, máxima de 0,0954 e média de 0,0774 kg kg⁻¹. Houve redução, dos valores de X_m , conforme ocorreu o aumento da temperatura da avaliação, em todas as concentrações de maltodextrina. Silva et al. (2015), também verificaram que com o aumento da temperatura das isotermas, o teor de umidade na monocamada molecular diminuiu em polpa de umbu-cajá em pó. O teor de umidade de equilíbrio geralmente diminui com o aumento da temperatura, em atividade de água constante. Esse decréscimo é explicado em razão de que como as moléculas absorvidas ganham energia cinética, fazendo com que a umidade da monocamada decresça com o aumento da temperatura (DIOSADY et al., 1996). Esta tendência também pode ser atribuída à redução no número de sítios ativos para a ligação coma a água em resultado de esforços físicos e/ou alterações químicas induzidas pela temperatura (PERDOMO et al., 2009).

O mesmo modelo de BET, para a polpa de cajá-manga liofilizada em pó, apresentou comportamento contrário ao processo de secagem por aspersão em spray-dryer. Neste trabalho a elevação da temperatura de 25 a 45 °C resultou em um incremento dos valores da umidade na monocamada (X_m). O modelo de GAB forneceu o melhor ajuste para a polpa de cajá-manga em pó obtida por secagem em leito fluidizado. O modelo de GAB é um modelo simples e com parâmetros que têm definição física, além de representar adequadamente os dados experimentais numa faixa ampla de atividade de água - 0,10 a 0,90 (PEDRO et al., 2010). O teor da umidade na monocamada apresentou média de 0,1427 kg kg⁻¹ entre os ensaios avaliados. O modelo apresentou aumento do X_m ao variar a temperatura de 25 a 45 °C.

Ainda que, o aumento do teor de umidade na monocamada com o aumento da temperatura não seja um comportamento comum a todos os alimentos, Ferreira e Pena (2003) justificam esse desempenho às modificações na estrutura física do alimento, ao aumentar a temperatura, o que disponibiliza um número maior de sítios ativos com afinidade às moléculas de água. Os mesmos autores e também citam em seu trabalho que ocorre o aumento da solubilidade dos solutos, intrínseca ao produto, causando maior retenção de moléculas de água na monocamada.

Observou-se que o aumento do conteúdo de maltodextrina no processo de secagem reduziu o teor de água na monocamada, das polpas de cajá-manga em pó em secagem por aspersão em spray-dryer. Houve também redução do X_m das amostras liofilizadas quando aumentou a concentração de maltodextrina no processo de liofilização.

Em geral, quanto menor o X_m maior será a estabilidade do produto (ASCHERI et al., 2006). Sousa (2018), também obtiveram redução nos teores da monocamada com o uso de maltodextrina em tamarindo liofilizado. Neste contexto o uso da maltodextrina não cooperou com o aumento da estabilidade dos pós obtidos por spray-dryer e liofilização, já que houve redução no teor de umidade da monocamada, diminuindo assim a umidade relativa do ambiente que os pós possam estar expostos e, quando expostas a ambientes assim, recomenda-se que seu armazenamento seja realizado com o auxílio de embalagens que ofereçam resistências a troca de umidade.

Houve ganho de umidade na monocamada (X_m) no modelo GAB para o pó de cajá-manga em leite fluidizado, entre as concentrações de 10 e 30% (Tabela 29). Oliveira et al. (2014a; 2014b) também observaram aumento da umidade na monocamada ao acrescentar maltodextrina, até temperatura de 35 °C, na amostra de polpa de coco de macaúba e cajá em pó. As amostras contendo maiores teores de maltodextrina mostrou-se mais estáveis, apresentando maiores teores de umidade na monocamada, o que pode ser expostos em ambientes com umidades relativas maiores quando comparadas às amostras com menor teor de maltodextrina.

A constante de sorção (C), que representa o calor total de sorção da primeira camada e tem significado físico relacionado ao efeito da temperatura, dos modelos avaliados, BET, BET e GAB, das polpas de cajá-manga em pó por aspensão em spray-dryer, liofilização e leite fluidizado, respectivamente, demonstrou um comportamento de redução constante com o aumento da temperatura de 25 para 45 °C (Tabela 29). Comportamento semelhante aos observados por Conegero et al. (2017) e Cavalcante et al. (2018), em seus estudos sobre o comportamento higroscópico das polpas de mangaba e graviola em pó adicionadas de maltodextrina e obtidas por secagem em liofilização e spray-dryer, respectivamente. Essa redução pode ser explicada pela força de interação entre adsorvato-adsorvente, favorecida pelas baixas temperaturas, causando um incremento nos valores de C (GABAS et al., 2007; MOREIRA et al., 2013). O parâmetro C auxilia ainda a predizer o formato e o tipo de isoterma do alimento, valores inferiores a 10 para a Constante C indicam curvas de isoterma em formato de J classificadas como tipo III. (GOGUS et al., 1998).

O valor da constante K de GAB, representa uma medida das interações entre as moléculas de vapor de água com o adsorvente (CATELAM et al., 2011) e seus valores devem ser menores que 1,0 (GOULA et al., 2008). Syamaladevi et al. (2009), relataram que os valores de K, para alimentos, geralmente variam entre 0,7 e 1,0. Esta constante (K) aumenta

com a força de interação entre o vapor de água e o adsorvente e valores maiores que 1 são fisicamente inadequados indicando uma sorção infinita (TIMMERMANN, 2013).

Observa-se, de acordo com a Tabela 29, para os pós obtidos em leito fluidizado, que o valores de K da polpa de cajá-manga em pó, em todas as faixas de concentração de maltodextrina, apresentou redução com o aumento da temperatura. Neste trabalho os valores da constante K se encontraram na faixa de $0,7 < K < 1,0$ em todas as temperaturas e concentrações de maltodextrina avaliadas, apresentando variação entre 0,81 e 0,96. Observou-se (Tabela 29) também que a força de interação entre o vapor de água e a matriz sólida da polpa de cajá-manga em pó diminuiu com a adição da maltodextrina, observando-se maiores valores de K nas amostras com 10% de maltodextrina. Comportamento semelhante foi relatado por Oliveira et al. (2014b), para polpa de cajá, afirmando os autores que os valores da constante K reduziu com a adição da maltodextrina.

As Figuras 18 a 26 ilustram os valores experimentais de umidade de equilíbrio em função da atividade da água da polpa de cajá-manga em pó obtidos em secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e por leito fluidizado, nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C e com concentrações de maltodextrina de 10, 20 e 30%, respectivamente. Em todas as isotermas, foi observado aumento na umidade de equilíbrio juntamente com o aumento da atividade da água (a_w).

Figura 18 - Isotermas de adsorção da polpa de cajá-manga em pó, obtido em secagem por aspersão em spray-dryer, nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C prevista pelo modelo de BET com 10 de teor de maltodextrina.

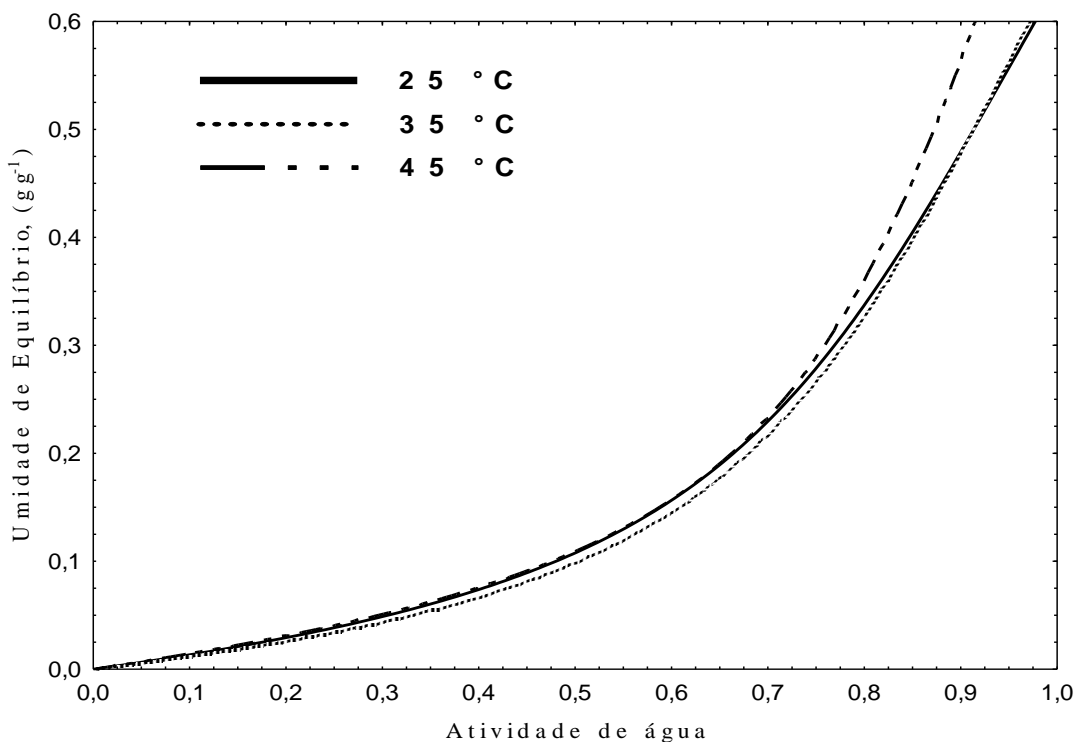


Figura 19 - Isotermas de adsorção da polpa de cajá-manga em pó, obtido em secagem por aspersão em spray-dryer, nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C prevista pelo modelo de BET com 20% de teor de maltodextrina.

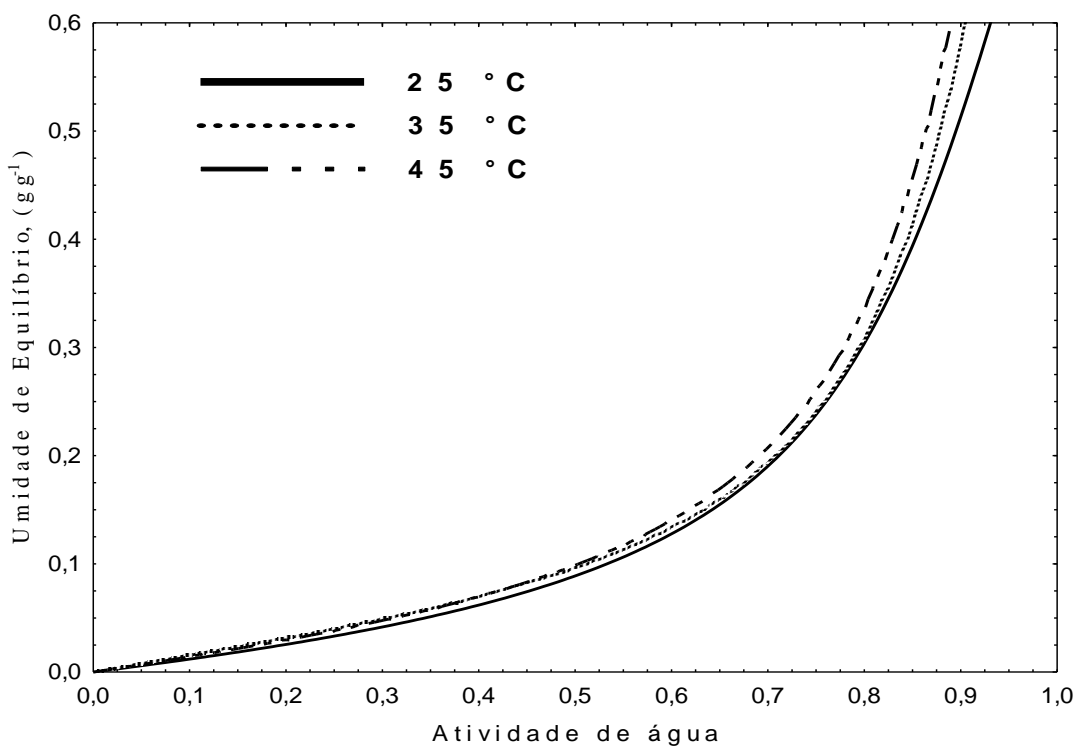


Figura 20 - Isotermas de adsorção da polpa de cajá-manga em pó, obtido em secagem por aspersão em spray-dryer, nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C prevista pelo modelo de BET com 30% de teor de maltodextrina.

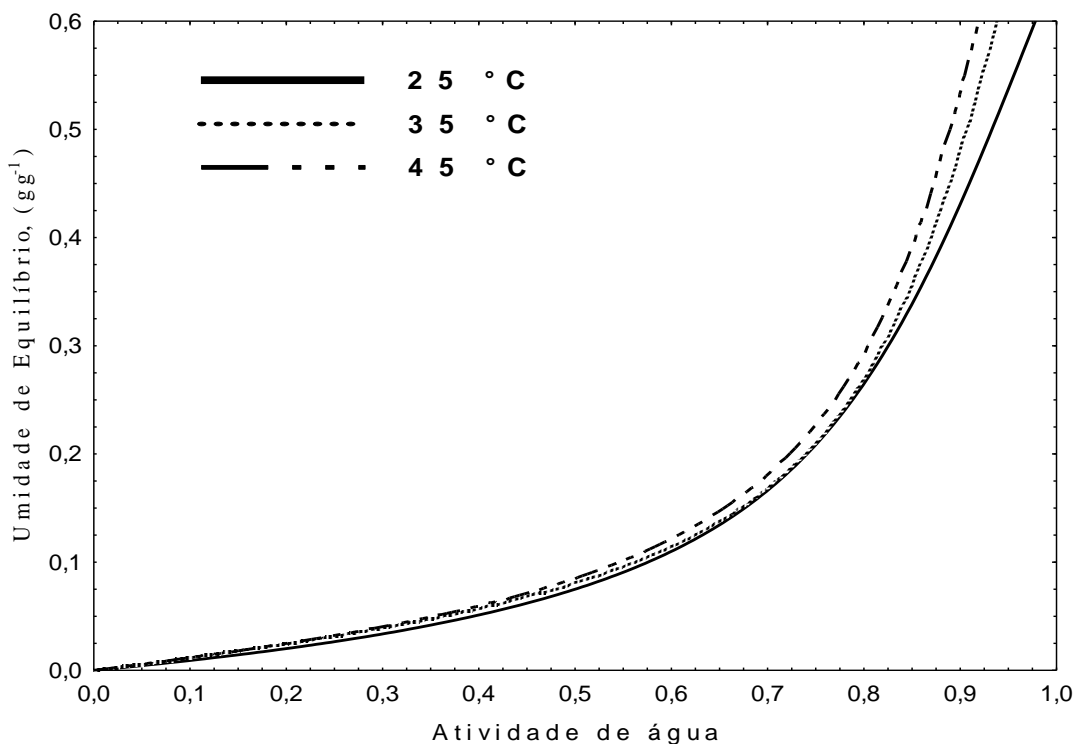


Figura 21 - Isotermas de adsorção da polpa de cajá-manga em pó, obtido por liofilização, nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C prevista pelo modelo de BET com 10% de teor de maltodextrina.

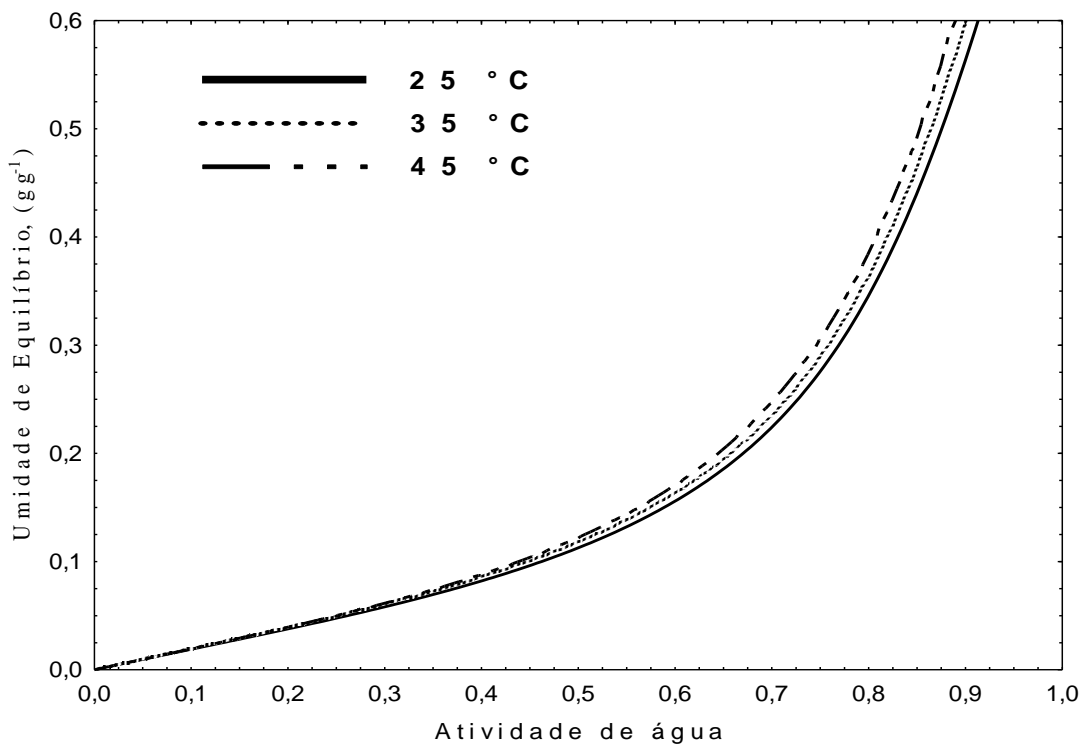


Figura 22 - Isotermas de adsorção da polpa de cajá-manga em pó, obtido por liofilização, nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C prevista pelo modelo de BET com 20% de teor de maltodextrina.

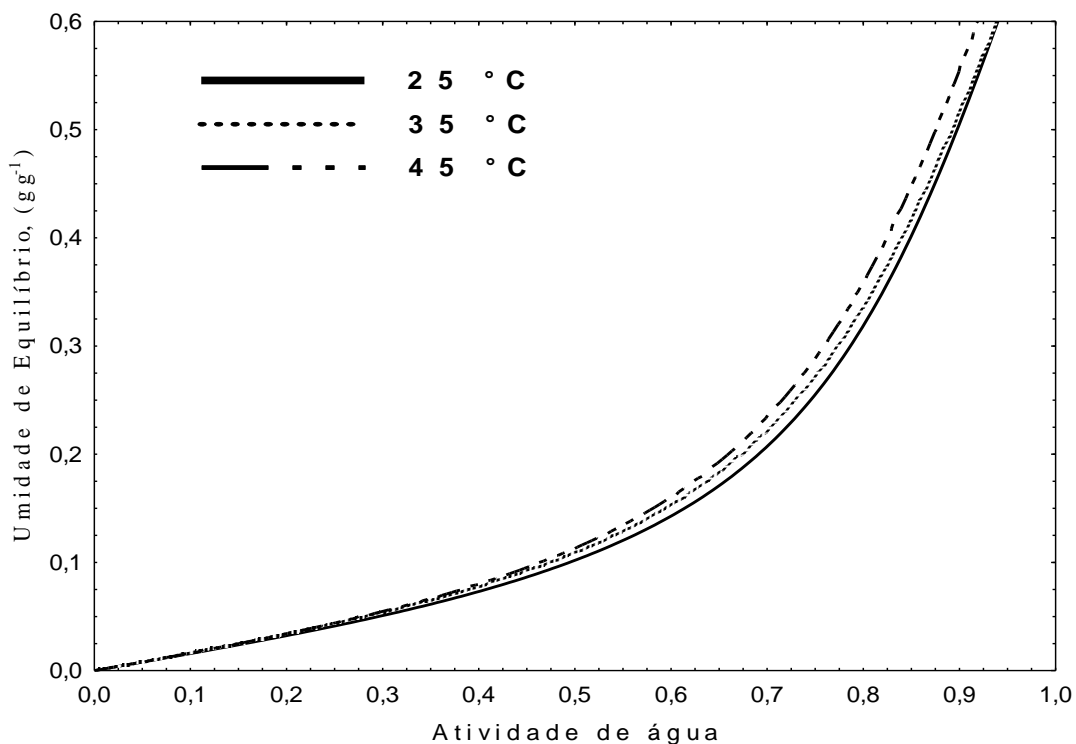


Figura 23 - Isotermas de adsorção da polpa de cajá-manga em pó, obtido por liofilização, nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C prevista pelo modelo de BET com 30% de teor de maltodextrina.

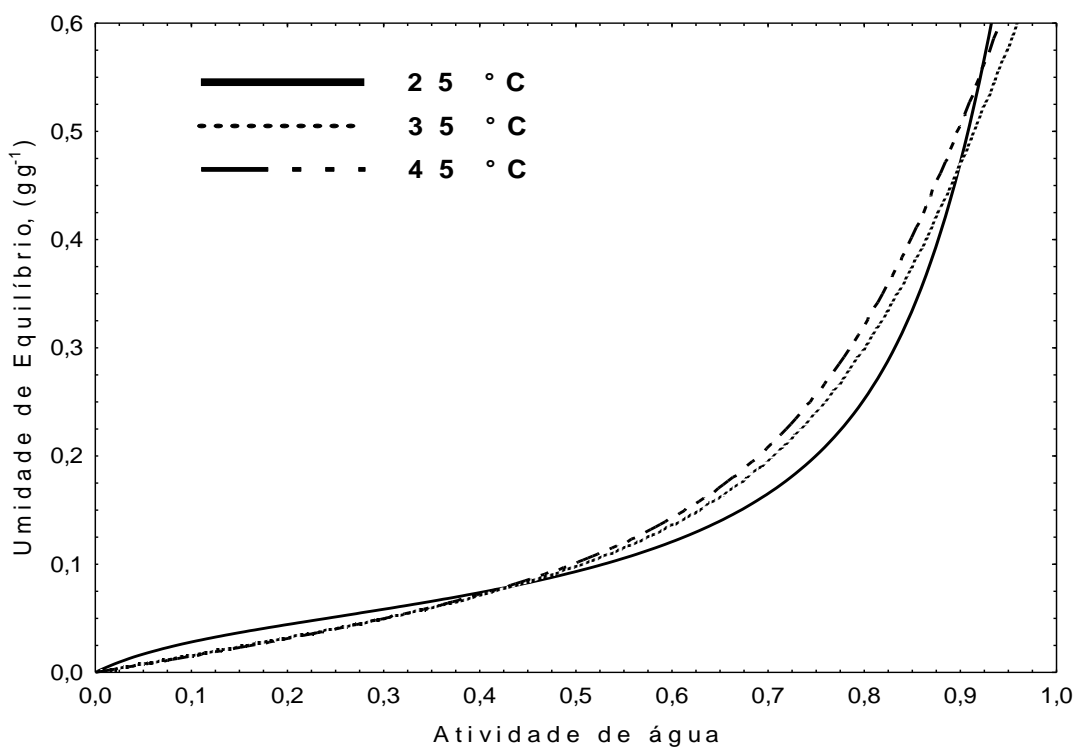


Figura 24 - Isotermas de adsorção da polpa de cajá-manga em pó, obtido em leito fluidizado, nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C prevista pelo modelo de GAB com 10% de teor de maltodextrina.

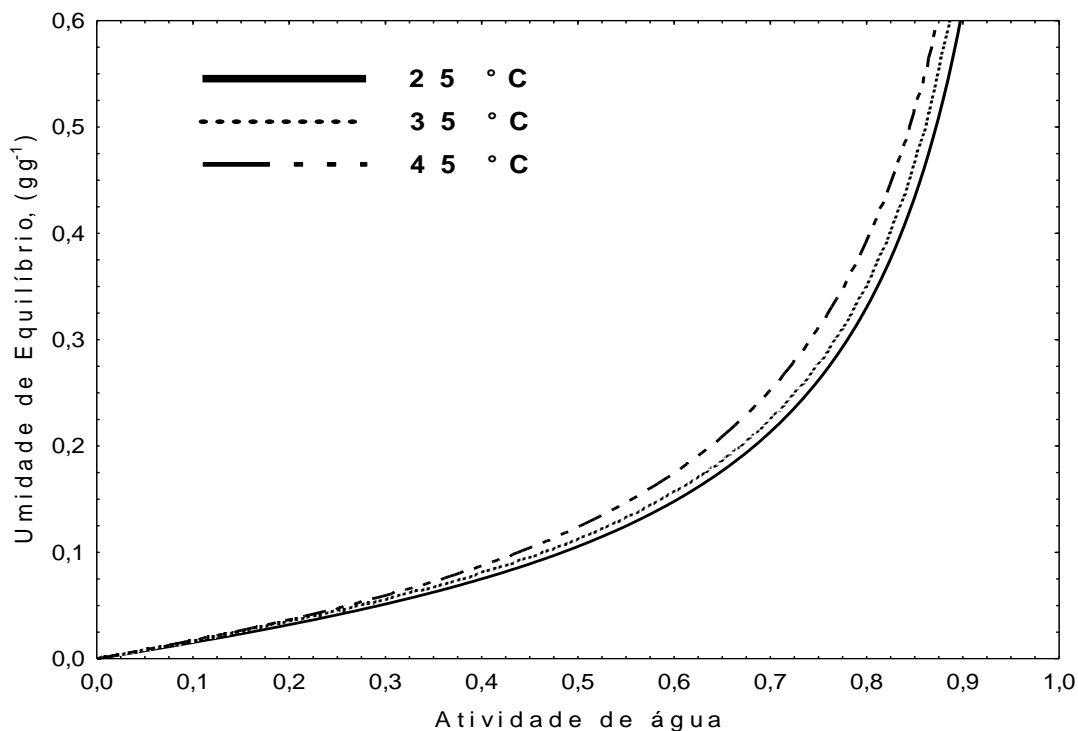


Figura 25 - Isotermas de adsorção da polpa de cajá-manga em pó, obtido em leito fluidizado, nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C prevista pelo modelo de GAB com 20% de teor de maltodextrina.

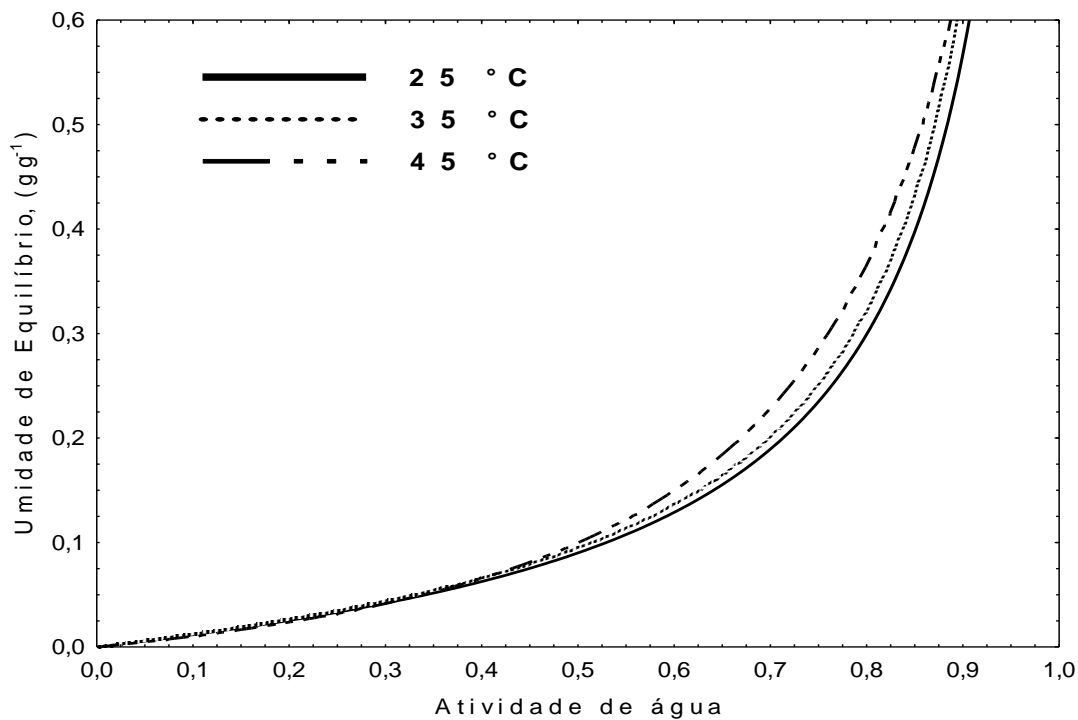
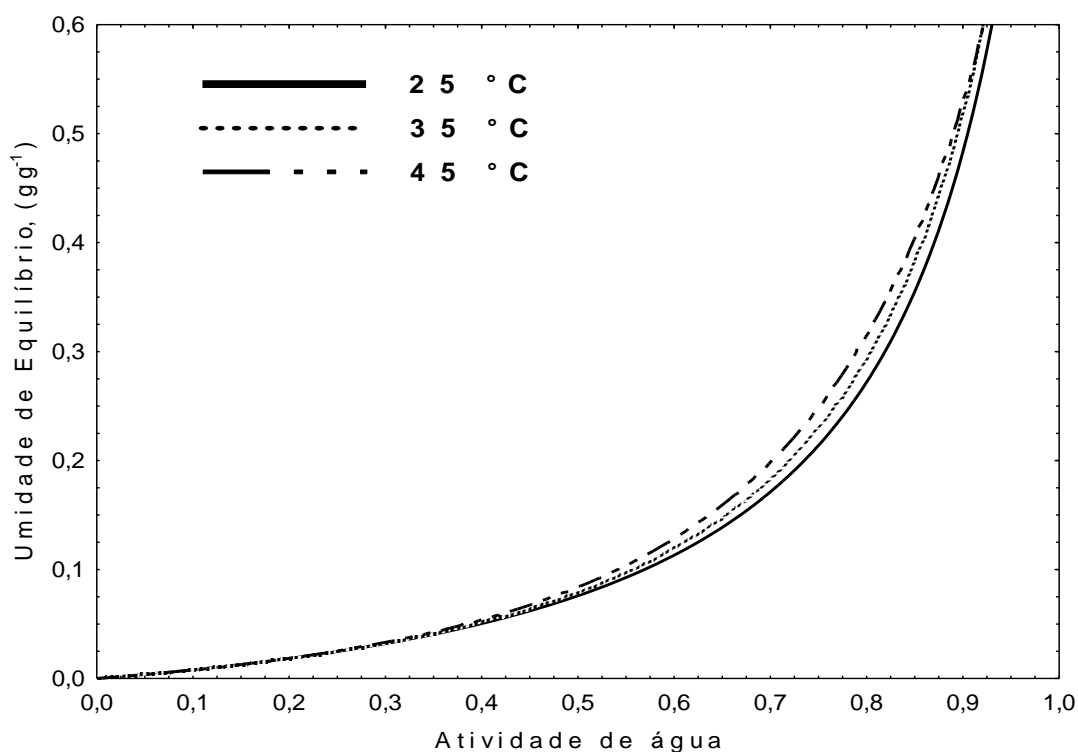


Figura 26 - Isotermas de adsorção da polpa de cajá-manga em pó, obtido em leite fluidizado, nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C prevista pelo modelo de GAB com 30% de teor de maltodextrina.



As isotermas de sorção de alimentos que possuem elevadas concentrações de açúcar, como a maior parte das frutas, geralmente se assemelham às isotermas do tipo II e do tipo III (OLIVEIRA, 2013b).

Conforme as Figuras anteriores (exceto 23) as isotermas de equilíbrio da polpa de cajá-manga em pó evidenciaram curvas exponenciais, com comportamento característico típico de isotermas do tipo III, conforme com IUPAC (1985). O tipo de isoterma é um reflexo de como ocorre as interações com a água. Interações mais fracas formam maior atividade de água, o que torna o alimento mais instável. Esse comportamento também foi observado por Cavalcante et al. (2018) em estudo das isotermas do pó de polpa de graviola atomizada. Feitosa et al. (2017) relataram que as curvas de pós de mix de batata yacon e suco de lima liofilizados apresentaram comportamento exponencial, semelhante ao presente trabalho. A isoterma que apresenta uma região plana inicial, ou seja, em formato de “J” são peculiares de alimentos ricos em componentes solúveis como açúcares (AL-MUHTASEB et al., 2004) e ácidos presentes em frutas tropicais. Em baixa a_w , o teor de umidade aumenta linearmente com a mesma, enquanto que, em elevada atividade hídrica, há o brusco aumento no teor de água (PEDRO et al., 2010).

A Figura 23, a isoterma de equilíbrio a 25 °C, para polpa de cajá-manga em pó liofilizada, apresentou curva com comportamento sigmoidal, do tipo II, de acordo com a classificação de Brunauer et al. (1940).

Observa-se que as curvas das isotermas apresentadas acima, exceto Figura 23, apresentaram condições de atividade de água e umidade de equilíbrio próximas, mesmo sendo de 10 °C a diferença de faixa de temperatura avaliadas, 25, 35 e 45 °C. O mesmo ocorreu no estudo de Ribeiro et al. (2016) nas isotermas de polpa de acerola liofilizada em pó nas temperaturas entre 15 e 45 °C. A opção das temperaturas avaliadas, 25, 35 e 45 °C, é justificada pelas condições do ambiente ao qual os alimentos são expostos em sua cadeia de distribuição.

O aumento da temperatura modifica a mobilidade das moléculas água e o equilíbrio entre o vapor e a fase adsorvida o que ocasiona a redução da umidade de equilíbrio (MOREIRA et al., 2013). Segundo Goula et al. (2008), a redução do número de sítios ativos disponíveis para ligação com a água reduz por motivos físicos e/ou químicos, o que ocasiona a diminuição da umidade de equilíbrio ao aumentar a temperatura. Neste trabalho foi notado que o teor da umidade de equilíbrio dos pós avaliados teve comportamento proporcional ao da temperatura, ou seja, o aumento da temperatura elevou a umidade de equilíbrio das isotermas. Conegero et al. (2017) afirmaram que o equilíbrio da umidade também aumentou com a elevação da temperatura das isotermas de polpa de mangaba liofilizada em pó, resultado semelhante ao presente trabalho. Dentro das temperaturas estudadas, que visou simular as possíveis temperaturas da cadeia de distribuição dos alimentos, processamento, transporte, comercialização e armazenamento, as isotermas com a temperatura mais elevada tenderam a aumentar a absorção de água.

Em temperatura constante, de uma forma geral, observou que houve elevação da a_w com o aumento da umidade de equilíbrio, para os pós avaliados de polpa de cajá-manga, em secagem por aspersão em spray-dryer, liofilizado e em leito fluidizado. Foi evidenciado uma expressiva absorção de água, o que ocasionou em um aumento da umidade de equilíbrio dos pós quando expostos em ambientes com umidade relativa superiores a 70%. Segundo Ribeiro et al. (2016), em temperatura constante, há uma relação entre a a_w de um alimento e a umidade relativa (UR) do ar, em ambiente fechado, a umidade relativa é sempre 100 vezes maior que o valor da atividade da água.

De acordo com as figuras apresentadas notou-se que, em atividades de água até 0,5, pouco houve variação nas umidades de equilíbrio entre as temperaturas numa mesma atividade de água, isso é, em umidades relativas baixas a temperatura não exerce muita

influência na absorção da água do ambiente. Observou-se também que o intervalo de atividade de água entre 0,5 e 0,7 observou-se que as curvas de isotermas dos pós ocasionou-se um pequeno aumento da umidade de equilíbrio a uma mesma atividade de água. Esse comportamento ocorre devido ao aumento da solubilidade dos açúcares em água, devido à temperatura (PEDRO et al., 2010).

A temperatura afetou a mobilidade das moléculas de água e o equilíbrio dinâmico entre o vapor e o gás adsorvido. Foi verificado que a a_w acima de 0,7 houve drástico aumento das umidades de equilíbrio das isotermas. Ribeiro et al. (2016) ao estudarem o comportamento higroscópico de acerola liofilizada, verificaram que as isotermas apresentaram uma tendência a maior absorção de água em temperaturas mais elevadas e em umidade relativa superiores a 70%, demonstrando similaridade com este trabalho, fenômeno comum para produtos ricos em açúcar como pós de frutas. Na região com atividades de água mais altas, a água exerce uma forte influência sobre a estabilidade da polpa de cajá-manga em pó em ambos os processos de secagem, uma vez que, atividades de água acima de 0,6 pode haver crescimento microbiano e resultando na aceleração de reações indesejáveis.

As figuras 27, 28 e 29 retratam os valores experimentais de umidade de equilíbrio em função da atividade da água da polpa de cajá-manga em pó obtidos em secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e por leito fluidizado, em diferentes concentrações de maltodextrina (10, 20 e 30%) a 25 °C. As isotermas apresentadas exibiram aumento na umidade de equilíbrio com o aumento da atividade da água (a_w).

Figura 27 - Isotermas de adsorção da polpa de cajá-manga em pó, obtido em secagem por aspersão em spray-dryer, na temperatura de 25 °C prevista pelo modelo de BET, com 10, 20 e 30% de teor de maltodextrina.

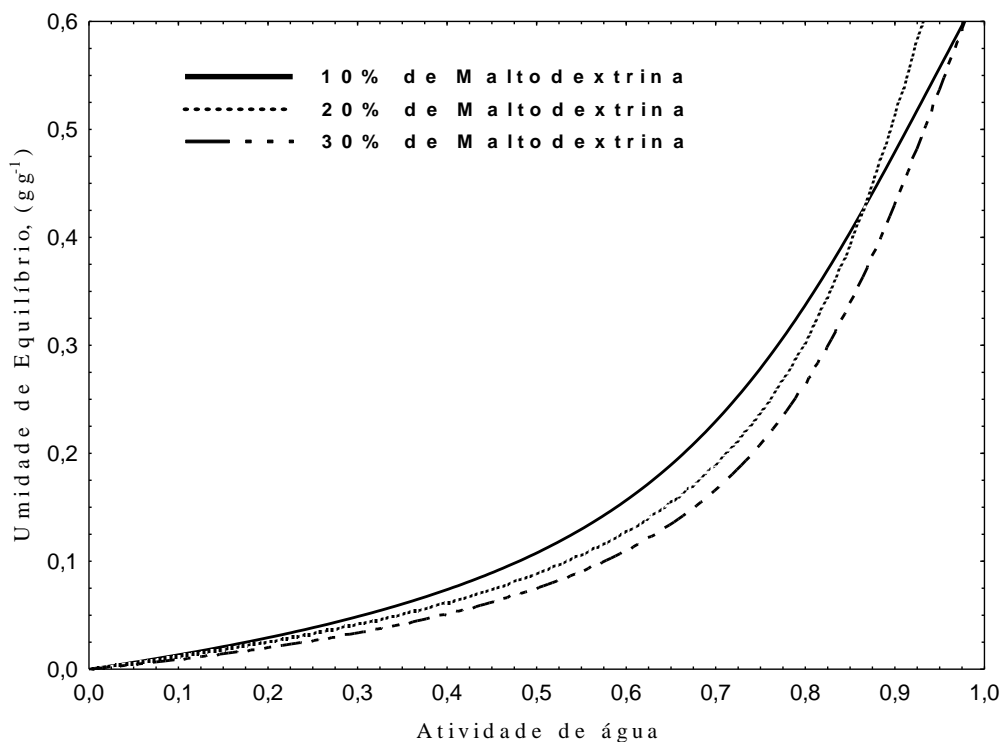


Figura 28 - Isotermas de adsorção da polpa de cajá-manga em pó, obtido em secagem por liofilização, na temperatura de 25 °C prevista pelo modelo de BET com 10, 20 e 30% de teor de maltodextrina.

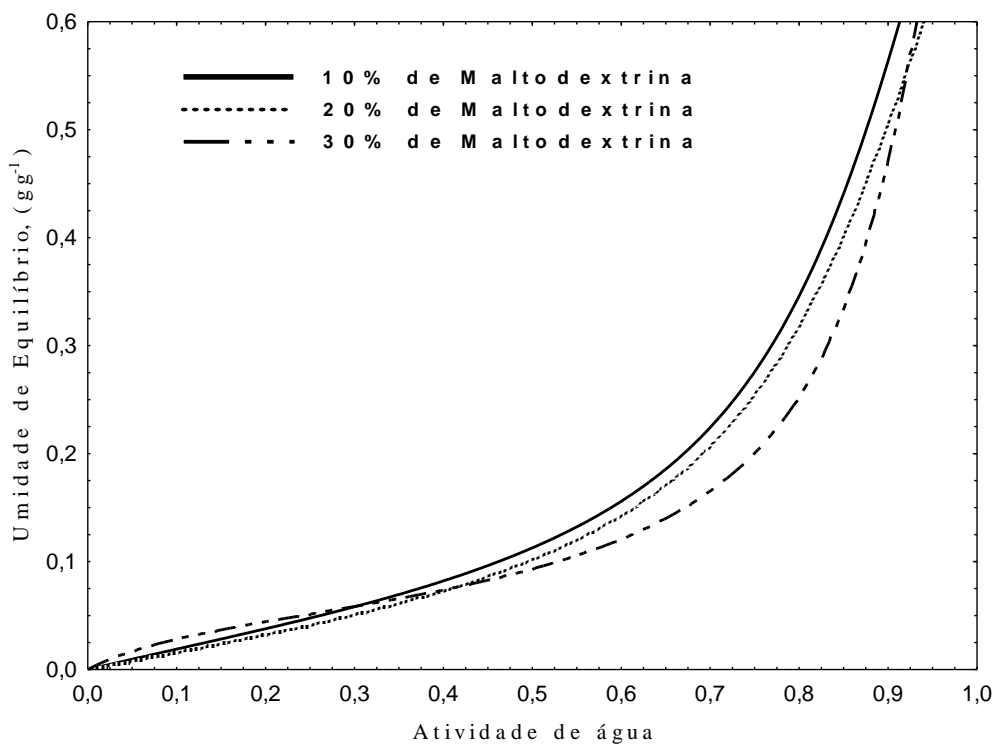
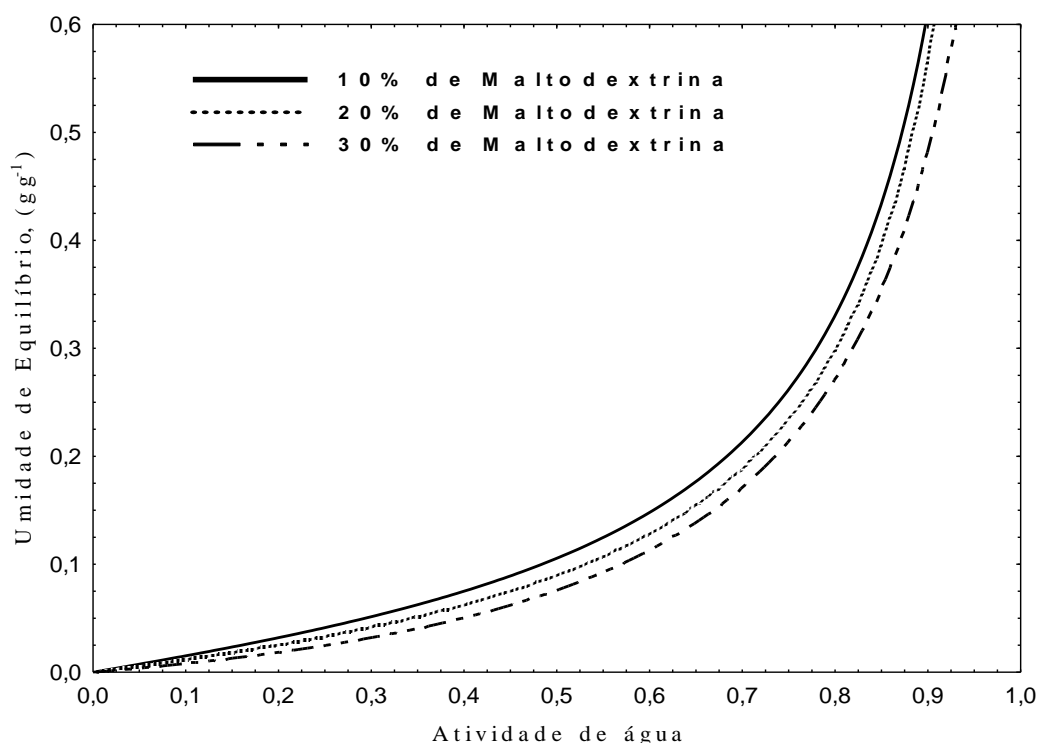


Figura 29 - Isotermas de adsorção da polpa de cajá-manga em pó, obtido em secagem em leito fluidizado, na temperatura de 25 °C prevista pelo modelo de GAB com 10, 20 e 30% de teor de maltodextrina.



A presença de maltodextrina nas polpas de cajá-manga em pó diminuíram proporcionalmente a umidade de equilíbrio das isotermas quando avaliados as curvas nas Figuras 27, 28 e 29. Foi observado que, ao aumentar a concentração de maltodextrina na polpa durante o processo de secagem, houve menores valores de umidade de equilíbrio pela mesma quantidade de atividade de água, demonstrando a influência da maltodextrina sobre a capacidade de absorver água, portanto menos higroscópicas. 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. Esse comportamento pode ser observado ao notar as posições das curvas de isotermas. As curvas das amostras que contem maiores teores de maltodextrina se apresentam em posição inferior às amostras com menor teor de maltodextrina.

Oliveira et al. (2014b), Mosquera et al. (2010) e Canuto et al. (2014) também relataram que obtiveram pós liofilizados de cajá, borojó e mamão com decréscimo nos teores de umidade de equilíbrio com o uso de maltodextrina, o que demonstra que a adição da maltodextrina amortiza a higroscopicidade de pós alimentícios.

Na figura 26, onde está representado as isotermas das polpas de cajá-manga em pó obtido pelo processo de secagem por aspersão em spray-dryer, mostra uma inversão das

isotermas de 10% de maltodextrina, nos pontos onde a atividade de água são 0,83 e 0,90, com as isotermas de 20 e 30%, respectivamente, o que deslocou a isoterma em questão para a direita. Este comportamento pode ser explicado pelo elevado teor de água de equilíbrio, o que aumenta o poder de solubilização dos açúcares, considerando que a amostra que ocorreu a inversão contém menor teor de maltodextrina, portanto, menor quantidade de açúcar a ser solubilizado.

Nas figuras 27, 28 e 29, verifica-se que as isotermas, nas regiões iniciais, até a_w 0,6 não apresentou grandes variações da umidade de equilíbrio. Porém na região de atividade de água acima de 0,7, este comportamento foi modificado, ou seja, qualquer pequena variação da atividade de água representou um ganho considerável de água pelos pós avaliados. Comportamento semelhante foi observado nas isotermas estudadas por Oliveira et al. (2014b) com polpa de cajá liofilizada com o uso de maltodextrina. Canuto et al. (2014), observaram um aumento exponencial da umidade de equilíbrio com pequenas variações da atividade de água, principalmente em valores acima de 0,7. Esses resultados demonstram que esses produtos devem ser evitados em ambiente com umidade relativa superior a 70%.

Na Figura 28, onde está representado as isotermas das polpas de cajá-manga em pó liofilizado, também mostra duas inversões da amostra com 30% de maltodextrina em relação outras amostras avaliadas (10 e 20%), pois a referida isoterma apresentou forma sigmoide, do tipo II, diferentemente das amostras de 10 e 20% de maltodextrina, tipo III.

Segundo Pereira (2006), a característica de adsorção da água nos alimentos desidratados é atribuída, pela natureza química de seus componentes orgânicos, tais como açúcares, a existência de forças inter-moleculares do tipo Van der Waals, da capacidade de grupos hidroxílicos para formar ligações com moléculas de água e do tipo de processo de secagem.

5.4 Conclusões

A higroscopicidade dos pós de cajá-manga apresenta uma similaridade no comportamento e, de uma forma geral, o tipo de processo de secagem não influenciou no comportamento das isotermas de adsorção.

O aumento da concentração de maltodextrina e da temperatura são significativas em reduzir os teores de água de equilíbrio, sendo assim, fatores decisivos para prever o comportamento da polpa de cajá-manga nas isotermas de sorção.

Há um aumento expressivo na adsorção de água pelos pós em valores de umidade relativa mais altos que 70%, especialmente em temperaturas mais altas, que afetam de forma negativa sua estabilidade.

Do ponto de vista tecnológico a maltodextrina pode ser recomendada como adjuvante de secagem adequado para a produção de polpa de cajá-manga em pó e para redução de sua higroscopicidade.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Moisture adsorption isotherms of red brazilian cherry powder. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, p. 11-20, 2007.
- AL-MUHTASEB, A. H.; MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Water sorption isotherms of starch powders Part 1: Mathematical description of experimental data. **Journal of Food Engineering**, v.61, p.297-307, 2004.
- ALVES, T. P.; FÓZ, H. D.; NICOLETI, J. F. Isotermas de dessorção de pimentão verde e energia envolvida no processo. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 2, p. 137-145, 2015.
- ANDRADE, R. D.; LUMES, R.; PÉREZ, C. E. Models of sorption isotherms for food: Uses and limitations. *Vitae*, **Revista de la Facultad de Química Farmaceutica** v.18, p.325-334, 2011.
- ANSELMO, G. C. S.; MATA, M. E. R. M. C.; ARRUDA, P.C. Determinação da higroscopicidade do cajá em pó por meio da secagem por atomização. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 2, p. 58-65, 2006.
- ASCHERI, D. P. R.; ANDRADE, C. T.; CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. R. Efeito da extrusão sobre a adsorção de água de farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz e bagaço de jabuticaba. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 2, p. 325-335, 2006.
- BRUNAUER, S.; DEMING, L. S.; TELLER, E. On a theory of Van der Waals adsorption of gases. **Journal of the American Chemical Society**, v.62, p.1723-1732, 1940.
- CANUTO, H. M. P.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Hygroscopic behavior of freeze-dried papaya pulp powder with maltodextrin. **Acta Scientiarum Technology**, v.36, n.1, 179-185, 2014.
- CATELAM, K. T.; TRINDADE, C. S. F.; ROMERO, J. T. Water adsorption isotherms and isosteric sorption heat of spray-dried and freeze-dried dehydrated passion fruit pulp with additives and skimmed milk. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1196-1203, 2011.
- CAVALCANTE, C. E. B.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Comportamento higroscópico da polpa de graviola em pó obtida por secagem em spray dryer. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, 2018.
- CEBALLOS, A. M.; GIRALDO, G. I.; ORREGO, C. E. Effect of freezing rate on quality parameters of freeze dried soursop fruit pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 111, p. 360-365, 2012.
- COMUNIAN, T. A; MONTERREY-QUINTERO, E. S.; THOMAZINI, M.; BALIEIRO, J. C. C.; PICCONE, P.; PITTIA, P.; FAVARO-TRINDADE, C. S. Assessment of production efficiency, physicochemical properties and storage stability of spray-dried chlorophyllide, a natural food colourant, using gum Arabic, maltodextrin and soy protein isolate-based carrier

systems. **International Journal of Food science and Technology**, Oxford, v.46, n.6, p.1259-1265, 2011.

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

COSTA, C. M. L. **Caracterização e análise experimental do recobrimento de sementes de jambu (*Spilhantes oleracea*) em leite fluidizado**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, 203p. 2010.

de SOUSA PINTO, E. M.; DE FARIA, L. J. G.; COSTA, W. J. P.; NETO, C. A. D. S. A.; PEREIRA, R. R.; da SILVA, C. L. F. Estudo higroscópico da polpa em pó do fruto da pitaya (*Hylocereus costaricensis*) em diferentes concentrações de maltodextrina. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 118, n. 2, p. 13, 2019.

DIOSADY, L. L.; RIZVI, S. S.; CAI, W.; JAGDEO, D. J. Moisture sorption isotherms of canola meals, and applications to packaging. **Journal of Food Science**, v. 61, n. 1, p. 204-208, 1996.

FABRA, M. J.; MÁRQUEZ, E.; CASTRO, D.; CHIRALT, A. Effect of maltodextrins in the water-content–water activity–glass transition relationships of noni (*Morinda citrifolia* L.) pulp powder. **Journal of food Engineering**, v. 103, p. 47–51, 2011.

FEITOSA, R. M.; DE FIGUEIRÊDO, R. M. F.; DE MELO QUEIROZ, A. J.; DE OLIVEIRA, E. N. A. Comportamento reológico da polpa de murta com maltodextrina. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 26, n. 5, p. 391-398, 2018.

FEITOSA, R. M.; SILVA, R. C.; AMADEU, L. T. S.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; DE OLIVEIRA, E. N. A. Modelos matemáticos na predição do comportamento higroscópico para pó do mix de batata yacon e suco de lima. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, n. 2, p. 319-324, 2017.

FERRARI, C. C.; GERMER, S. P. M.; de AGUIRRE, J. M. Effects of spray-drying conditions on the physicochemical properties of blackberry powder. **Drying Technology**, v. 30, n. 2, p. 154-163, 2012.

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

FREITAS, E. D. F. M.; LOPES, L. D. L.; ALVES, S. M. D. F.; CAMPOS, A. J. D. Efeito da maltodextrina no sumo da polpa de abacaxi Pérola atomizado. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 271-280, 2019.

GABAS, A. L.; TELIS, V. R. N.; SOBRAL, P. J. A.; TELIS-ROMERO, J. Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. **Journal of Food Engineering**, v.82, p.246–252, 2007.

GOGUS, F.; MASKAN, M.; KAYA, A. Sorption isotherms of turkish delight. **Journal of Food Protection**, v. 22, p. 345-357, 1998.

GOULA, A. M.; KARAPANTSIOS, T. D.; ACHILIAS, D. S.; ADAMOPOULOS, K. G. Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 85, n. 1, p. 73-83, 2008.

IUPAC - International Union of Pure and Applied Chemistry. **Reporting Physisorption data for gas solid. systems with special reference to the determination of surface area and porosity. Pure & Applied Chemistry**, v.57, p.603-619, 1985

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.

KHA, T. C.; NGUYEN, M. H.; ROACH P. D. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. **Journal of Food Engineering**. 98: 385-392, 2010.

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.

MISHIRA, V. K.; ORAIKUL, B.; TEMELLI, F. Physical characterization and water sorption of freeze dried dulse *Palmariapalmata* powder. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.20, n.1, p.25-39, 1996.

MOREIRA, T. B.; ROCHA, E. M. F. F.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Comportamento das isoterms de adsorção do pó da polpa de manga liofilizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1093-1098, 2013.

MOSQUERA, L. H.; MORAGA, G.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Effect of maltodextrin on the stability of freeze-dried borjón (*Borojoa patinoi* Cuatrec.) powder. **Journal of Food Engineering**, v.97, p.72-78, 2010.

OLIVEIRA, D. M.; CLEMENTE, E.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Hygroscopic behavior of lyophilized powder of grugru palm (*Acrocomia aculeata*). **American Journal of Analytical Chemistry**, v. 4, n. 10, p. 1-7, 2013a.

OLIVEIRA, D. M.; CLEMENTE, E.; COSTA, J. M. C. Hygroscopic behavior and degree of caking of grugru palm (*Acrocomia aculeata*) powder. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 10, p. 2783-2789, 2014a.

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

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

PAGANI, M. M. **Obtenção de suco de acerola (*Malpighia emarginata* d.c.) concentrado e pós estáveis através da integração dos processos de separação por membranas e microencapsulação por atomização.** Tese Doutorado. Rio de Janeiro, Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 183 p. 2010.

PAVAN, M. A.; SCHMIDT, S. J.; FENG, H. Water sorption behavior and thermal analysis of freeze-dried, refractance window dried and hot-air dried açai (*Euterpe oleracea* Martius) juice. **Lebensmittel-Wissenschaft Technologie**, v. 48, n. 1, p. 75-81, 2012.

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. **Food Science and Technology**, v. 30, n. 4, p. 993-1000, 2010.

PERDOMO, J. et al. Glass transition temperatures and water sorption isotherms of cassava starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 76, p. 305-313, 2009.

PEREIRA, I. E.; QUEIROZ, A. J. M. Q.; FIGUEIRÊDO, R. M. F Características físico-químicas do tomate em pó durante o armazenamento. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 06, n. 01, p. 83-90, 2006.

PICELLI, R. M.; ARRIECHE, L. S.; SARTORI, D. J. M. Drying and characterization of pioneer arboreal seeds. **Proceedings of the 17th IDS, Magdeburg**, p. 883-889, 2010.

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

ROCHA, E. M. F. F.; SOUSA, S. L.; COSTA, J. P.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Obtenção de suco de caju atomizado através do controle das condições de secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 6, p. 646-651, 2014.

SILVA, R. N.; FIGUEIRÊDO, R. D.; QUEIROZ, A. D. M.; FEITOSA, R. M. Isotermas de adsorção de umidade do umbu-cajá em pó. **Revista Educação Agrícola Superior**, v. 30, p. 33-36, 2015.

SOUSA, S. F. **Liofilização da polpa de tamarindo (*Tamarindus indica* L.) para obtenção de sucos reconstituídos.** Tese de doutorado. Universidade Federal de Campina Grande. 2018.

SYAMALADEVI, R. M.; SABLANI, S. S.; TANG, J.; POWERS, J.; SWANSON, B. G. State diagram and water adsorption isotherm of raspberry (*Rubusidæus*). **Journal of Food Engineering**, v. 91, n. 3, p. 460-467, 2009.

TIMMERMANN, E. O. Multilayer sorption parameters: BET or GAB values? Colloids and surfaces A: **Physicochemical and Engineering Aspects**, v.220, p.235-260, 2003.

TONON, R. V.; BARONI, A. F.; BRABET, C.; GILBERT, O.; PALLET, D. HUBINGER, M. D. Water sorption and glass transition temperature of spray dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice. **Journal of Food Engineering**, vol. 94, n. 3-4, p. 215-221. 2009.

6 AVALIAÇÃO DO USO DA MALTODEXTRINA NA FLUIDEZ E MICROESTRUTURA DA POLPA DE CAJÁ-MANGA EM PÓ POR DIFERENTES PROCESSOS DE SECAGEM

6.1 Introdução

No processo industrial de alimentos, em alguns casos, têm-se a utilização de material particulado. Porém, problemas relacionados ao manuseio, transporte e armazenamento são os desafios enfrentados pelas indústrias. Assim, é importante do ponto de vista tecnológico o conhecimento destes fenômenos.

Devido à importância prática para as indústrias, os fenômenos que envolvem material particulados (especial produtos alimentícios) implicam em aplicação de princípios científicos, às características dos comportamentos de fluxo de pó, os quais têm recebido considerável atenção nos últimos anos (LU et al., 2018; FREYSSINGEAS et al., 2011). Porém, ainda são escassos dados referentes as características do fluxo de pequenos volumes de pó em espaços limitados, onde o comportamento das características físicas e químicas das partículas domina o comportamento em massa (TAY et al., 2017; RÄSÄNEN et al., 2003).

Em processos industriais a fluidez dos pós é afetada por suas propriedades físicas, o tipo de carregamento e as condições ambientais (BLANCO et al., 2020). Quanto menor o tamanho das partículas de pó pior é a sua fluidez (KRANTZ et al., 2009). A variação do peso, por exemplo, durante o acondicionamento e/ou nos misturadores devem estar dentro de limites especificados, e é essencial entender as propriedades de fluxo desses produtos para garantir a qualidade dessa e de outras operações unitárias, igualmente relevantes, e evitar procedimentos com produto de qualidade inaceitável (BLANCO et al., 2020).

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 fluidez de pós é um fenômeno complexo onde as propriedades, características físico-químicas e comportamento das partículas determinam o tipo de escoamento nas etapas do processo. Dependendo das condições operacionais e das propriedades do material, os produtos em pó transportados podem exibir comportamentos de fluxo diversificados, como fluxo de massa, fluxo de funil e, em particular, dificuldades graves e inevitáveis, como arqueamento, zona morta, buraco de rato e segregação (LU et al., 2015).

Quando os pós são coesivos, é provável que vários problemas de vazão sejam induzidos (HAERTL et al., 2008) e, vários critérios e modos de operação devem ser levados em consideração e implementados para uma operação contínua e estável (SALEH et al., 2018) para evitar fenômenos desfavoráveis ao fluxo (SUN et al.2020). Podem ser utilizados alguns adjuvantes, durante a obtenção e formação desses pós, o que melhora as características de fluidez dos mesmos. Como exemplo, durante os processos de secagem, para evitar alterações desnecessárias ao produto, aumentar o rendimento e melhorar características higroscópicas são utilizadas determinadas quantidades de agentes transportadores como a maltodextrina.

Propriedades primárias do pó, como distribuição de tamanho de partícula, área superficial específica, forma e densidade das partículas, geralmente afetam o comportamento do fluxo e o manuseio do pó. Contudo, é difícil prever as propriedades secundárias do pó relacionadas à fluidez do pó, como ângulo de repouso, compressibilidade, coesão, resistência ao cisalhamento e resistência à tração, mesmo que as propriedades primárias acima possam ser obtidas (RÄSÄNEN et al., 2003).

A fluidez 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)

As pequenas partículas dos pós se aderem com facilidade e formam aglomerado, causando dificuldades no manuseio, transporte e armazenamento o que diminui a produtividade. As propriedades mecânicas do pó sob alta tensão variam significativamente de acordo com as condições de estresse; assim, são necessários métodos apropriados para avaliar as propriedades do pó (RÄSÄNEN et al., 2003).

Os equipamentos que avaliam propriedade de fluxo são instrumentos importantes para o dimensionamento de equipamentos de manuseios de sólidos, como tremonhas, silos e armazéns. O conhecimento da fluidez de pós e outros dados de propriedades de fluxo podem ser obtidos usando testadores de cisalhamento (SALEHI et al., 2017).

Vários equipamentos são utilizados para estudar as propriedades de fluidez dos produtos na forma de pó. Dentre eles citamos o Brookfield PFT (Brookfield Engineering Laboratories, Inc., Middleboro, MA, EUA). Este é um equipamento que opera aplicando uma compressão vertical através da tampa para a amostra de pó contida na cavidade anular (BERRY et al., 2015). Um procedimento automatizado interno controlado pelo 'software de

fluxo de pó' é usado para operar a célula para reproduzir as sequências de tensões normais e o movimento de cisalhamento (SALEHI et al., 2017).

Diante do exposto, o presente estudo foi desenvolvido para investigar o comportamento de fluidez da polpa de cajá-manga em pó sob a influência da adição de maltodextrina em diferentes processos de secagem.

6.2 Materiais e Métodos

6.2.1 Local do Experimento, matéria-prima, preparação das amostras

O local do experimento, obtenção da matéria-prima e procedimentos para preparação das amostras foram descritos no item 3.2.1, 3.2.2 e 3.2.4 do capítulo 3.

6.2.2 Secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leite fluidizado

Foram obtidas amostras de popas de cajá-manga em pó por diferentes processos de secagem utilizando 10, 20 e 30% de maltodextrina, como adjuvante de secagem. Os procedimentos e parâmetros empregados nos processos de secagens foram descritos nos itens 3.2.5, 3.2.6 e 3.2.7 do capítulo 3 e nos itens 5.3.3, 5.2.3 e 5.2.4 do capítulo 5.

6.2.3 Microscopia eletrônica de varredura

Foram avaliadas amostras de polpa de cajá-manga em pó, obtidos pelo processo de secagem em spray-dryer, liofilização e leite fluidizado, de acordo com os parâmetros ótimos de secagem para cada processo, conforme demonstrado no capítulo 3, com 30, 20 e 20% de maltodextrina, respectivamente. 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 XL30 - Phillips).

6.2.4 Avaliação reológica dos pós

Na avaliação reológica dos pós, os seguintes parâmetros foram determinados: dos valores das tensões de consolidação e deslizamento, densidade aparente e ângulo de atrito de parede, através do Teste de fluxo de pó (PFT) da Brookfield Engineering Laboratórios. O teste de fluxo opera aplicando uma compressão vertical através da tampa para a amostra de pó contida na cavidade anular (volume interno de 230 cm³, diâmetro do anel externo 152,4 mm).

Um procedimento automatizado interno controlado pelo 'software de fluxo de pó' é usado para operar a célula para reproduzir as sequencias de tensões normais e o movimento de cisalhamento necessário para definir os parâmetros selecionados. As amostras, de polpa de cajá-manga em pó contendo 10, 20 e 30% de maltodextrina DE20 foram alocadas em bandeja circular de aço inoxidável e acopladas ao dispositivo. O equipamento (PFT) aplicou tensões variadas na superfície dos pós através de um disco circular de aço inoxidável. para medir a parâmetros reológicos. A avaliação de comportamento do fluxo dos pós foi utilizada a metodologia de índice de fluxo (LOPES NETO et al., 2009a), como mostrado na Equação 10 e a classificação do tipo de fluxo foi de acordo o a metodologia de Jenike (1964), de acordo com a Tabela 30.

Equação 10

$$If = \frac{\sigma_1}{\sigma_c}$$

Onde, If - Índice de fluxo ($\text{kPa} \cdot \text{kPa}^{-1}$); σ_1 - Tensão principal de consolidação média (kPa); σ_c - Tensão não confinada de deslizamento média (kPa).

Tabela 30 - Classificação do tipo de fluidez de produtos sólidos armazenáveis JENIKE (1964).

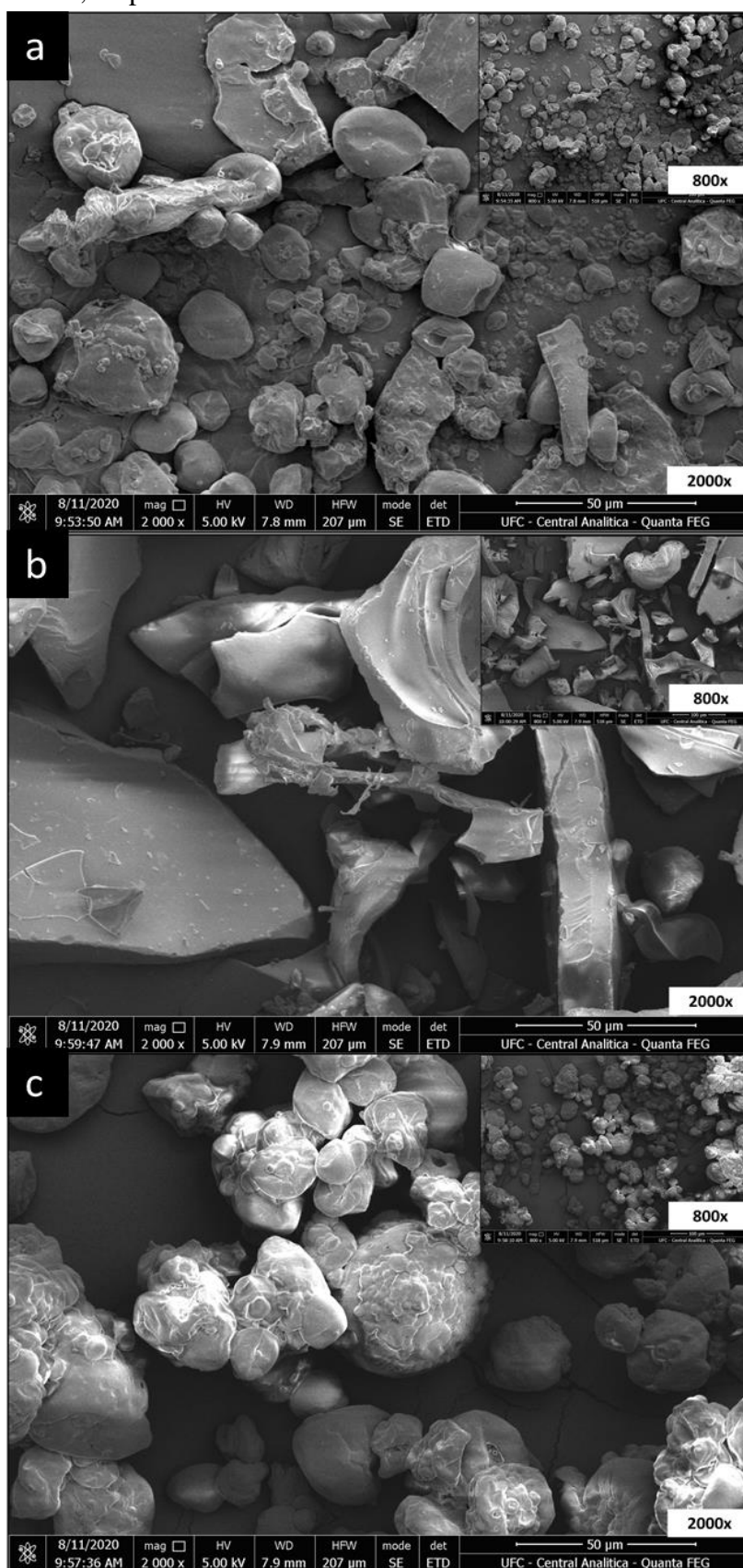
Tipo de fluidez	Índice de Fluxo - If
Sem escoamento	If < 1
Muito coesivo	1 < If < 2
Coesivo	2 < If < 4
Fácil	4 < If < 10
Livre	If > 10

6.3 Resultados e Discussão

6.3.1 Análise morfológica das partículas

A Figura 30 apresenta a morfologia das partículas de cajá-manga em pó pelos processos de secagem por aspersion em spray-dryer, liofilização e em leito fluidizado, incluindo a forma da partícula e distribuição de tamanho.

Figura 30 - Micrografias de partículas de pó de cajá-manga obtidas pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer (a), liofilização (b) e leito fluidizado (c) com 30, 20 e 20% de maltodextrina, respectivamente.



O pó de cajá-manga liofilizado (Figura 30b) apresenta forma geométricas irregulares e com grande variação de tamanho, enquanto que os pós obtido em spray-dryer (Figura 30a) e em leito fluidizado (Figura 30c) apresentam partículas com formato arredondados e com menor distribuição de tamanho, o que pode resultar em uma densidade aparente maior e um menor volume nestes dois pós. Pode se observar na Tabela 34 ângulos de fricção interna maiores para os pós obtidos por liofilização em relação aos pós obtidos por spray-dryer e leito fluidizados. Esse fato pode ter ocorrido devido ao formato geométrico irregular das partículas liofilizadas.

Observa-se que os pós obtidos em leito fluidizado apresenta maior aglomeração das partículas em comparação ao pó obtido em spray-dryer, já o pó liofilizado apresenta distribuição uniforme. Isso se deve à menor proporção de maltodextrina utilizada na polpa em pó fluidizada (20%), contra 30% do pó atomizado e liofilizado.

Ao estudar a microestrutura de alimentos secos por diferentes métodos, Fazaeli et al. (2012), relataram aglomeração em partículas com baixo teor de agente carreador. Afonso et al. (2019), citam em seu trabalho com manga liofilizada que o arredondamento das partículas, causado pelo uso de agentes carreadores durante a secagem pode reduzir a segregação das partículas dos pós.

Isso reflete diretamente no escoamento do pó, conforme observado na Tabela 32. O índice de escoamento apresentou valores de 5,41; 3,63 e 2,26 para os pós obtidos em spray-dryer, por liofilização e em leito fluidizado, respectivamente. O índice de escoabilidade do pó liofilizado, apesar de conter a mesma proporção de maltodextrina, apresentou menor valor devido ao formato das partículas, conforma apresentado na Figura 4b.

6.3.2 Avaliação da fluidez

A fluidez geralmente depende das propriedades físicas do pó, como tamanho de partícula e forma, estrutura da superfície, densidade de partículas e densidade aparente. A Tabela 31 estão apresentados os valores da σ_c e a σ_1 para polpa de cajá-manga em pó nas concentrações de 10, 20 e 30% de maltodextrina, obtidos em secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado, respectivamente.

Tabela 31 - Resultados da resistência à fluidez de polpa de cajá-manga em pó pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado, contendo 10, 20 e 30% de maltodextrina.

Método de secagem	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)
Aspersão em Spray-Dryer	0,96	1,72	0,63	1,44	0,41	1,46
	1,51	4,22	1,01	3,45	0,61	3,93
	2,99	8,64	2,04	7,85	1,49	8,45
	5,59	16,21	3,71	16,90	2,98	18,19
	10,94	32,69	7,65	31,51	5,86	30,70
Liofilização	1,19	2,46	0,78	1,96	0,57	1,66
	2,29	5,61	1,44	4,90	1,12	4,06
	3,77	12,01	2,81	11,94	2,48	9,60
	7,75	24,20	5,68	22,92	4,73	20,27
	15,40	50,95	13,45	47,49	9,71	33,77
Leito Fluidizado	1,26	1,42	1,04	1,68	0,84	1,80
	2,14	3,43	1,83	3,80	1,47	4,54
	4,07	6,47	3,84	7,23	2,13	9,47
	5,03	11,43	4,65	13,42	4,29	20,69
	10,22	21,90	8,48	24,22	8,23	27,29

Onde: σ_c – tensão não confinada de deslizamento; σ_1 - tensão principal de consolidação

Fonte: Elaborada pelo autor.

A resistência à falha não confinada (σ_c), descrito na Tabela 31, apresentaram menores valores para as amostras de pós contendo maiores teores de maltodextrina. Portanto, amostras contendo 10 e 20% de maltodextrina apresentaram maiores resistências à força de cisalhamento do que aquelas contendo 30%. O tipo de processo de secagem não influenciou o comportamento, de redução, da resistência à falha não confinada em relação ao aumento da concentração de maltodextrina nas amostras das polpas de cajá-manga em pó.

Afonso et al. (2019) também obtiveram redução da resistência à fluidez em função do aumento do teor de maltodextrina em polpa de manga liofilizada e justificou o comportamento devido a mudança na estrutura das partículas dos pós motivada pelo uso da maltodextrina no processo de secagem. Entende-se que o uso desse adjuvante, durante os processos de secagens, causa a redução da higroscopicidade, rugosidade e das pontes de interligação partícula-partícula e provoca o arredondamento das partículas.

A resistência à falha não confinada (σ_c) aumentou conforme à aplicação de força de tensão principal de consolidação (σ_1). Esse efeito ocorreu devido a capacidade dos pós em se tornar, gradualmente, mais compacto sob com a força aplicada aos mesmos. A existência

de maiores regiões de contato, quando aplicado uma força, ocorre um rearranjo das partículas, desta forma, sofrem deformações plásticas (LOPES NETO et al.; 2009b) o que dificulta o deslocamento.

Na Tabela 32, é possível observar os valores de índices de fluidez dos pós determinados pela equação 10. Observou que houve acréscimo no índice de fluidez dos pós ao aumentar os teores de maltodextrina. As amostras dos pós obtidos em secagem por aspersão em spray-dryer apresentaram valores abaixo de 4, que de acordo com Jenike (1964) é considerado de fluidez coesiva, quando utilizado concentrações entre 10 e 20% de maltodextrina. O aumento do teor do adjuvante de secagem (30%) indicou fácil fluidez para os pós atomizados.

Tabela 32 - Índices de escoamento de polpa de cajá-manga em pó pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado, contendo 10, 20 e 30% de maltodextrina.

Maltodextrina (%)	Índice de Fluidez		
	Aspersão em Spray-Dryer	Liofilização	Leito Fluidizado
10	2,68	2,83	1,75
20	3,65	3,55	2,26
30	5,41	3,63	3,57

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os pós liofilizados apresentaram-se muito coesivo e coesivo (Tabela 32). Os pós obtidos em leito fluidizados, com teor mínimo de maltodextrina, apresentaram fluidez muito coesiva, enquanto que, ao utilizar teores entre 20 e 30%, exibiram melhoras na fluidez, classificados como fluidez coesiva. Segundo Mohammed et al (2011), a resistência ao escoamento é provocada pelas interconexões das partículas, ocasionadas pelas irregularidades em suas superfícies.

Maciel et al. (2020) obtiveram resultados semelhantes com polpa de cupuaçu liofilizado, com uso 5, 15 e 25% de maltodextrina, e apresentaram valores crescentes dos índices de fluidez ao aumentar o uso do adjuvante, o que produziu pós com superfícies mais suaves, facilitando o escoamento do material. Sabe que o uso de maltodextrina como adjuvante de secagem proporcionam efeitos positivos sobre as características de higroscopicidade e fluidez de pós secos, como já citado neste trabalho. A maltodextrina apresentou relevância neste estudo, tal que, o uso deste adjuvante aumentou os valores de índice de fluidez das polpas de cajá-manga em pó, apesar de que apresentaram, de uma forma geral, comportamento de difícil fluidez.

A fluidez adequada dos pós é importante para o fabricante e para o consumidor final, manuseio, medição, transporte, acondicionamento nas embalagens e esvaziamento, armazenamento, dosagem proposta e seleção de parâmetros para mistura (CALISKAN; DIRIM, 2016).

6.3.3 Densidade

Na Tabela 33 estão demonstradas as densidades aparente e de compactação das amostras de polpa de cajá-manga em pó, contendo 10, 20 e 30% de maltodextrina, obtido em secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado, respectivamente. A aplicação de força sobre os pós acarretou incremento proporcional da densidade aparente dos pós avaliados. As tensões aplicadas sobre as amostras acarretam na compactação dos pós, elevando assim a densidade. Maciel et al. (2020), também obtiveram densidade de compactação, em polpa de cupuaçu liofilizado, maiores do que as densidades aparentes. Portanto, grandes mudanças ocorreram no volume durante a compactação. Quando um material em pó é mais poroso e a resistência à compactação é baixa, então o material em pó é mais compressível e a porosidade e a resistência à compressibilidade de um pó dependem de seu tamanho de partícula, forma e fluidez (SAIFULLAH et al., 2016).

Tabela 33 - Densidade de polpa de cajá-manga em pó pelos processos de secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado, contendo 10, 20 e 30% de maltodextrina.

Amostras	Densidade (kg/m ³)		
	Maltodextrina	Aparente	Compactação
Aspersão em spray-dryer	10%	472,9	1089,6
	20%	523,4	1364,8
	30%	583,1	1522,3
Liofilização	10%	314,5	680,4
	20%	385,7	858,1
	30%	443,1	1245,5
Leito Fluidizado	10%	444,4	983,1
	20%	472,9	1307,4
	30%	572,5	1402,3

Os pós de cajá-manga apresentaram diferenças, entre as densidades de compactação e as densidades aparentes, maiores para os pós que foram obtidos com maior concentração de maltodextrina. Resultados semelhantes foram obtidos por Afonso et al.

(2019) para polpa de manga liofilizada contendo 5, 10 e 15% de maltodextrina. Segundo Podczec e Sharma (1996), quando qualquer material em pó contém partículas de uma forma regular com uma alta variação no tamanho das partículas, torna-se menos poroso, porque as pequenas partículas preenchem os espaços vazios entre as partículas maiores. Resultados do presente trabalho também condizem com o Campos e Ferreira (2013), que observaram pós com maior resistência a escoabilidade quando as diferenças das densidades apresentaram maiores.

A densidade aparente das amostras apresentou aumento com a adição de maltodextrina na obtenção das polpas de cajá-manga em pó. Rocha et al. (2017) e Afonso et al. (2019), constataram comportamento semelhante ao obtido neste estudo, ao analisar o comportamento da densidade aparente em polpa de manga liofilizada e em secagem por aspersão em spray-dryer contendo maltodextrina, respectivamente. Afonso et al (2009) afirma que esse comportamento ocorre devido à quantidade de ar retido entre as partículas, mudanças no tamanho e contato entre as mesmas. Porém, Fazaeli et al. (2012), ao avaliar densidade aparente em suco de amora atomizado, encontrou justamente comportamento contrário a este estudo, ou seja, diminuição na densidade aparente com um aumento na concentração do agente carreador, e atribuiu esse fato ao menor conteúdo de umidade dos produtos ou ao aumento da quantidade de ar preso no interior das partículas, pois a maltodextrina é um material encapsulante. A maltodextrina é usada como agente encapsulante em processos de secagem de alimentos, por promover características favoráveis aos pós. O fato de ter aumentado a concentração deste adjuvante de secagem tornou os pós menos higroscópicos, logo absorveu menor quantidade de água do ambiente, o que tornou os pós menos pegajosos, o que acarretou a diminuição das interligações partícula-partícula, retendo assim, maior quantidade de ar entre as partículas.

O tipo de processo de secagem não influenciou no comportamento da densidade aparente dos pós avaliados, ou seja, aumento da densidade mediante o incremento de força aplicada e concentração de maltodextrina.

Assim sendo, as polpas de cajá-manga em pó avaliadas neste estudo, se armazenadas em grandes quantidades, pode ocasionar problemas de compactação nas regiões inferiores dos silos de armazenamento, pois estão sujeitas a maior ação da força peso.

6.3.4 Ângulo de atrito

Na Tabela 34 estão representados os valores médios dos ângulos de atrito interno e ângulos de atrito com a parede de inox (lisa) da polpa de cajá-manga em pó em diferentes concentrações de maltodextrina, obtidos em secagem por aspersão em spray-dryer, liofilização e leite fluidizado. O ângulo efetivo de atrito interno é uma medida de interações partícula-partículas (DE CAMPOS; FERREIRA, 2013) e são importantes ao caracterizar as propriedades de fluidez de um pó (PRESCOTT; BARNUM, 2000). Os ângulos efetivos de atrito interno (δ) reduziram com o aumento dos teores de maltodextrina nas polpas de cajá-manga em pó. Provavelmente, esse comportamento, foi ocasionado pelo fato da maltodextrina tornar os pós menos higroscópicos tornando os pós com menor teor de umidade, e também devido à maltodextrina recobrir as irregularidades das partículas de pó, tornando-as mais esféricas. Isto é, quanto mais esférica for uma partícula, menor é a quantidade de pontos de contato da mesma (CALISKAN; DIRIM, 2016), tornando-os mais suaves e maior, o que favorecem a fluidez (ABDULLAH; GELDART, 1999). Iqbal e Fitzpatrick (2008) e Fitzpatrick et al. (2007) afirmaram em seus estudos que a elevação da umidade dos pós aumentou a coesão entre as partículas em pó, resultando em uma reduzida capacidade de fluidez.

Tabela 34 - Ângulo efetivo de atrito interno δ (°) e ângulo de atrito com a parede de aço inox liso ϕ (°) para polpa de cajá-manga em pó pelos processos de spray-dryer, liofilização e leite fluidizado contendo 10, 20 e 30% de maltodextrina.

Método de secagem	Concentração de Maltodextrina (%)	Ângulo efetivo de interno fricção, δ (°)		Ângulo de atrito com parede de aço lisa ϕ (°)	
		Inferior	Superior	Inferior	Superior
Spray-Dryer	10	38,1	46,2	18,0	19,5
	20	35,3	42,8	17,7	18,0
	30	34,7	42,5	16,5	17,4
Liofilização	10	47,7	55,7	20,2	19,3
	20	43,0	49,8	16,3	15,5
	30	39,6	56,6	14,9	14,7
Leito Fluidizado	10	40,0	48,5	26,9	27,1
	20	32,2	48,4	26,2	25,2
	30	24,6	38,7	21,6	22,7

Fonte: Elaborada pelo autor.

A técnica de secagem para obtenção das polpas de cajá-manga não influenciou no comportamento inversamente proporcional do ângulo efetivo de atrito interno em relação à concentração do adjuvante de secagem. Os ângulos efetivos de atrito interno foram maiores nas amostras obtidas por liofilização. Portanto, as amostras liofilizadas apresentam, de modo geral, maiores chances em desenvolver coesão quando armazenados, resistência ao escoamento, quando comparados aos outros processos de secagem. Esse fato pode estar ligado aos maiores teores de umidade das amostras liofilizadas, conforme demonstrado no Capítulo 4. Segundo Silva et al. (2006) amostras mais úmidas apresentam maior força de coesão entre as partículas, o que ocasiona aumento da rugosidade da superfície, elevando assim a resistência ao deslizamento, resultando nos maiores valores dos ângulos de atrito interno. Comportamento similar foi encontrado em trabalho com polpa de manga liofilizada (AFONSO et al., 2019) que obtiveram valor do ângulo de atrito interno, 45,6 e 50,1° utilizando 10% de maltodextrina, valores esses próximos ao encontrado neste trabalho, 47,7 e 55,7°.

Os ângulos de atrito, das amostras de polpa de cajá-manga em pó, com a parede de aço inoxidável lisa (Tabela 34) apresentaram redução de acordo com o aumento da concentração de maltodextrina. A inclinação necessária para garantir a fluidez dos pós é menor quando apresentar um menor ângulo de atrito com a parede (AFONSO et al., 2019). Assim sendo, a utilização de maiores teores de maltodextrina facilita a fluidez de pós em silos de armazenamento e transporte.

Os maiores ângulos de atrito com a parede foram apresentados pelos pós obtidos em leito fluidizado, o que se pode observar da Figura 31c, onde as partículas obtidas por esse processo apresentam aspecto mais rugoso em relação as partículas obtidas nos outros processos de secagem. Esse fato induz a um ângulo maior de descarga do silo de armazenamento para facilitar o escoamento dos pós obtidos em leito fluidizado em relação aos outros processos de secagem. A característica de atrito da parede é importante, pois isto tem um papel fundamental na determinação da fluidez dos pós durante a descarga nos silos de armazenagem (FITZPATRICK et al., 2004a).

Fitzpatrick et al. (2004b), ao avaliar 13 diferentes tipos de pós alimentícios, e Fitzpatrick et al. (2004a), em seu estudo com pós lácteos, relataram variação do ângulo de parede entre 11 a 27°, resultados próximos aos encontrados neste estudo, e consideraram os ângulos de atrito com a parede de inox de baixo a médio. Fitzpatrick et al. (2004b), não conseguiram estabelecer relações significativas entre as propriedades físicas e de fluidez dos

pós e o atrito na parede, e afirmaram que isso ocorre devido à complexidade de ter que considerar a propriedade do material da parede e como ela interagem com os pós alimentícios.

6.4 Conclusões

Os pós obtidos por liofilização contem partículas irregulares e as partículas dos pós obtidos por spray-dryer e leito fluidizados são arredondadas e são menos segregadas. E o uso da maltodextrina evitou a formação de pontes entre as partículas dos pós avaliados.

O incremento da maltodextrina com agente adjuvante de secagem resultou na diminuição da resistência ao escoamento dos pós de cajá-manga.

Os ângulos de atrito interno e efetivo ângulo de atrito com a parede de inox lisa dos pós de cajá-manga decrescem com o incremento da concentração de maltodextrina. Os pós de cajá-manga liofilizados por possuírem maior umidade, apresentaram maiores ângulos de atrito interno. E os pós obtidos em leito fluidizado apresentaram ângulos de atrito com a parede mais elevados por apresentarem maior rugosidade em suas partículas.

REFERÊNCIAS

- ABDULLAH, E. C.; GELDART, D. The use of bulk density measurements as flowability indicators. **Powder Technology**, v.102, p.151-165, 1999.
- AFONSO, M. R.; RODRIGUES, B. K.; COSTA, J.; RYBKA, A. C.; WURLITZER, N. J. Microstructure and flow properties of lyophilized mango pulp with maltodextrin. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 2, p. 133-137, 2019.
- BERRY, R.; BRADLEY, M.; MCGREGOR, R. (2015). Brookfield powder flow tester—Results of round robin tests with CRM-116 limestone powder. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: **Journal of Process Mechanical Engineering**, 229(3), 215–230, 2015.
- BLANCO, D.; ANTIKAINEN, O.; RÄIKKÖNEN, H.; MAH, P. T.; HEALY, A. M.; JUPPO, A. M.; YLIRUUSI, J. Image-based Characterization of Powder Flow to Predict the Success of Pharmaceutical Minitablet Manufacturing. **International Journal of Pharmaceutics**, p. 119280, 2020.
- CALISKAN, G.; DIRIM, S. N. The effect of different drying processes and the amounts of maltodextrin addition on the powder properties of sumac extract powders. **Powder technology**, v. 287, p. 308-314, 2016.
- CAMPOS, M. M. de; FERREIRA, M. do C. A comparative analysis of the flow properties between two alumina-based dry powders. **Advances in Materials Science and Engineering**, v. 2013, 2013.
- EMERY, E.; OLIVER, J.; PUGSLEY, T.; SHARMA, J.; ZHOU, J. Flowability of moist pharmaceutical powders. **Powders Technol.** n.189, p.409–415, 2009.
- FAZAEI, M.; EMAM-DJOMEH, Z.; ASHTARI, A. K.; OMID, M. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. **Food and bioproducts processing**, v. 90, n. 4, p. 667-675, 2012.
- FITZPATRICK, J. J.; BARRINGER, S. A.; IQBAL, Tariq. Flow property measurement of food powders and sensitivity of Jenike’s hopper design methodology to the measured values. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 3, p. 399-405, 2004b.
- FITZPATRICK, J. J.; BARRY, K.; CERQUEIRA, P. S. M.; IQBAL, T.; O’NEILL, J.; ROOS, Y. H. Effect of composition and storage conditions on the flowability of dairy powders. **International Dairy Journal**, v. 17, n. 4, p. 383-392, 2007.
- FITZPATRICK, J. J.; IQBAL, T.; DELANEY, C.; TWOMEY, T.; KEOGH, M. K. Effect of powder properties and storage conditions on the flowability of milk powders with different fat contents. **Journal of food Engineering**, v. 64, n. 4, p. 435-444, 2004a.
- FREYSSINGEAS, E.; DALBE, M. J.; GÉMINARD, J. C. Flowers in flour: avalanches in cohesive granular matter. **Physical Review E**, v. 83, n. 5, p. 051307, 2011.

HAERTL, J.; OOI, J. Y.; ROTTER, J. M.; WÓJCIK, M.; DING, S. O. N. G. X. I. O. N. G.; ENSTAD, G. G. The influence of a cone-in-cone insert on flow pattern and wall pressure in a full-scale silo. **Chemical engineering research and design**, v. 86, n. 4, p. 370-378, 2008.

IQBAL, T.; FITZPATRICK, J. J. Effect of storage conditions on the wall friction characteristics of three food powders, **J. Food Eng.** V.72, 273–280, 2008.

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

KRANTZ, M.; ZHANG, H.; ZHU, J. Characterization of powder flow: static and dynamic testing. **Powder Technol.** 194 (3), 239–245, 2009.

LOPES NETO, J. P.; NASCIMENTO, J. W. B. DO; SILVA, V. R. da. Efeito do tempo de armazenagem de rações avícolas no dimensionamento de silos. **Engenharia Agrícola**, v.39, p.518- 527, 2009a.

LOPES NETO, J. P.; SILVA, V. R. da; NASCIMENTO, J. W. B. do. Propriedades de fluxo de produtos pulverulentos alimentícios. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 5, p. 639-644, 2009b.

LU, H.; GUO, X.; GONG, X.; BARLETTA, D.; POLETTI, M. Prediction of solid discharge rates of pulverized coal from an aerated hopper. **Powder Technology**, v. 286, p. 645-653, 2015.

LU, H.; ZHONG, J.; CAO, G. P.; LIU, H. F. Gravitational discharge of fine dry powders with asperities from a conical hopper. **AIChE Journal**, v. 64, n. 2, p. 427-436, 2018.

MACIEL, R. M. G.; DE LIMA, S. B.; DA COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A. Influence of maltodextrin on the flow properties of the cupuaçu pulp powder. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 2, p. 5829-5839, 2020.

MOHAMMED, S. A.; ABDULLAH, E. C.; GELDART, D.; RAMAN, A. A. A. Measuring powder flowability with a modified Warren Spring cohesion tester. **Particuology**, v.9, p.148-154, 2011.

PODCZECK, F.; SHARMA, M. The influence of particle size and shape of components of binary powder mixtures on the maximum volume reduction due to packing. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 137, n. 1, p. 41-47, 1996.

PRESCOTT, J. K.; BARNUM, R. A. On powder flowability. **Pharmaceutical technology**, v. 24, n. 10, p. 60-85, 2000.

RÄSÄNEN, E.; ANTIKAINEN, O.; YLIRUUSI, J. A new method to predict flowability using a microscale fluid bed. **AAPS PharmSciTech.** 4 (4), 418–424, 2003.

ROCHA, F. O.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C.; RYBKA, A. C. P.; WURLITZER, N. J. Influência da maltodextrina nas propriedades de escoamento do pó de manga. **Higiene Alimentar**, v.31, p.4372-4376, 2017.

SAIFULLAH, M.; YUSOF, Y. A.; CHIN, N. L.; AZIZ, M. G. Physicochemical and flow properties of fruit powder and their effect on the dissolution of fast dissolving fruit powder tablets. **Powder technology**, v. 301, p. 396-404, 2016.

SALEH, K.; GOLSHAN, S.; ZARGHAMI, R. A review on gravity flow of free-flowing granular solids in silos—Basics and practical aspects. **Chemical Engineering Science**, v. 192, p. 1011-1035, 2018.

SALEHI, H.; BARLETTA, D.; POLETTO, M. A comparison between powder flow property testers. **Particuology**, v. 32, p. 10-20, 2017.

SILVA, F. S.; CORRÊA, P. C.; CALIL-JÚNIOR, C.; GOMES, F. C. Ângulo de repouso, atrito interno e efetivo dos grãos de café com pergaminho. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 17-23, 2006.

SUN, D.; LU, H.; CAO, J.; WU, Y.; GUO, X.; GONG, X. Flow mechanisms and solid flow rate prediction of powders discharged from hoppers with an insert. **Powder Technology**, 2020.

TAY, J. Y. S.; LIEW, C. V.; HENG, P. W. S. Powder flow testing: judicious choice of test methods. **AAPS Pharm Sci Tech.** 18 (5), 1843–1854, 2017

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os efeitos dos parâmetros e com os equipamentos de secagem utilizados para realizar as secagens em spray-dryer, liofilização e leito fluidizado não foi possível determinar um ponto ótimo para os respectivos processos avaliados para polpa de cajá-manga, porém, apresentaram pós com características higroscópicas e de umidade compatíveis para a conservação da qualidade de alimentos desidratados.

O uso da maltodextrina como agente carreador nos processos de secagem em spray-dryer e leito fluidizado favoreceu o aumento do rendimento e a redução da higroscopicidade dos pós de cajá-manga.

A polpa de cajá-manga em pó apresentou características físico-químicas com qualidade aceitável, além de características higroscópicas como baixa umidade, dissolução em água e baixa higroscopicidade. A embalagem laminada apresentou melhor manutenção das qualidades físico-químicas durante o armazenamento da polpa de cajá-manga em pó.

O tipo de processo de secagem não influenciou no comportamento das isotermas de adsorção. É indicado o armazenamento dos pós de cajá-manga em ambientes com umidade relativa abaixo de 70%. A maltodextrina pode ser utilizada, como adjuvante de secagem, com a finalidade de redução da higroscopicidade do pó de cajá-manga nos processos em spray-dryer, liofilização e em leito fluidizado.

O uso da maltodextrina nos processos de secagem reduziu a resistência de fluxo dos pós de cajá-manga. As polpas de cajá-manga em pó, quando utilizado 30% de maltodextrina, apresentou fluxo coesivo nos processos por liofilização e leito fluidizado e de fácil fluxo no processo em spray-dryer.

A polpa de cajá-manga em pó obtida em spray-dryer e em leito fluidizado apresentaram partículas arredondadas e com pequenas aglomerações, enquanto que as liofilizadas identificou-se partículas segregadas, assimétricas e desordenadas.

REFERÊNCIAS

- ABDULLAH, E. C.; GELDART, D. The use of bulk density measurements as flowability indicators. **Powder Technology**, v.102, p.151-165, 1999.
- AFONSO, M. R.; RODRIGUES, B. K.; COSTA, J.; RYBKA, A. C.; WURLITZER, N. J. Microstructure and flow properties of lyophilized mango pulp with maltodextrin. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 2, p. 133-137, 2019.
- ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Moisture adsorption isotherms of red brazilian cherry powder. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, p. 11-20, 2007.
- 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.
- AL-MUHTASEB, A. H.; MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Water sorption isotherms of starch powders Part 1: Mathematical description of experimental data. **Journal of Food Engineering**, v.61, p.297-307, 2004.
- ALVES, T. P.; FÓZ, H. D.; NICOLETI, J. F. Isotermas de dessorção de pimentão verde e energia envolvida no processo. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 2, p. 137-145, 2015.
- ANDRADE, E. T. de; CORREA, P. C.; TEIXEIRA, L. P.; PEREIRA, R. G.; CALOMENI, J. de F. Cinética de secagem e qualidade de sementes de feijão. **Engevista**, v. 8, n. 2, p. 83-95, 2006.
- ANDRADE, R. D.; LUMES, R.; PÉREZ, C. E. Models of sorption isotherms for food: Uses and limitations. *Vitae*, **Revista de la Facultad de Química Farmaceutica** v.18, p.325-334, 2011.
- ANSELMO, G. C. S.; MATA, M. E. R. M. C.; ARRUDA, P.C. Determinação da higroscopicidade do cajá em pó por meio da secagem por atomização. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 2, p. 58-65, 2006.
- ASCHERI, D. P. R.; ANDRADE, C. T.; CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. R. Efeito da extrusão sobre a adsorção de água de farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz e bagaço de jabuticaba. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 2, p. 325-335, 2006.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 20^o. ed. Maryland: AOAC, 2016.
- 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 Dryer. **Higiene Alimentar**, v. 25, p. 488-489, 2011.

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.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R.E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**, 1. Ed. Editora da Unicamp, Campinas, 2010.

BARROSO, G. M. et al. **Sistemática das Angiospermas do Brasil**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2002. v. 1, 309p.

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. Tese de Doutorado, PPG-EQ/UFSCar, São Carlos, SP.

BARUFFALDI, R., OLIVEIRA, M. N. **Fundamentos de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1998. 317p.

BERRY, R.; BRADLEY, M.; MCGREGOR, R. (2015). Brookfield powder flow tester—Results of round robin tests with CRM-116 limestone powder. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: **Journal of Process Mechanical Engineering**, 229(3), 215–230, 2015.

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.

BIAPINA, A.; DE AGUIAR, A. O.; TORRES, E. A.; DA SILVA SOARES, C. M.; ZUNIGA, A. D. G. Obtenção de pó de polpa detox utilizando liofilização e spray drying como métodos de secagem. **Global Science and Technology**, v. 11, n. 3, 2018.

BLANCO, D.; ANTIKAINEN, O.; RÄIKKÖNEN, H.; MAH, P. T.; HEALY, A. M.; JUPPO, A. M.; YLIRUUSI, J. Image-based Characterization of Powder Flow to Predict the Success of Pharmaceutical Minitablet Manufacturing. **International Journal of Pharmaceutics**, p. 119280, 2020.

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

BOSCO, J.; SOARES, K. T.; AGUIAR FILHO, S. P.; BARROS, R. V. **A cultura da cajazeira**. João Pessoa: EMEPA-PB, 2000.

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: 11 de abril de 2020.

BREDA, C. A.; JUSTI, P. N.; SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J. Efeito da desidratação foam mat na retenção da vitamina C da polpa de cajá-manga. **Braz. J. Food Nutr**, v. 24, n. 2, p. 189-193, 2013.

BRUNAUER, S.; DEMING, L. S.; TELLER, E. On a theory of Van der Waals adsorption of gases. **Journal of the American Chemical Society**, v.62, p.1723-1732, 1940.

BUSANELLO, M. P. **Desenvolvimento de bebida láctea prebiótica com cajámanga (Spondias dulcis)**. 2014. 51f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnólogo de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2014. Disponível em endereço eletrônico: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3462/1/FB_COALM_2014_2_08.pdf. Acesso em 25, de março de 2021.

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.

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

CAMPOS, M. M. de; FERREIRA, M. do C. A comparative analysis of the flow properties between two alumina-based dry powders. **Advances in Materials Science and Engineering**, v. 2013, 2013.

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.

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

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.

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

CARVALHO, P. C. L.; RITZINGER, R.; SOARES FILHO, W. S.; LEDO, C. A. S. Características morfológicas, físicas e químicas de frutos de populações de umbu-cajazeira no Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 30, 140-147, 2008.

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.

CATELAM, K. T.; TRINDADE, C. S. F.; ROMERO, J. T. Water adsorption isotherms and isosteric sorption heat of spray-dried and freeze-dried dehydrated passion fruit pulp with additives and skimmed milk. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1196-1203, 2011.

- CAVALCANTE, C. E. B.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Avaliação dos parâmetros de secagem da polpa de graviola em pó obtida por secagem em spray dryer. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, 2017.
- CAVALCANTE, C. E. B.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Comportamento higroscópico da polpa de graviola em pó obtida por secagem em spray dryer. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, 2018.
- CAVALCANTE, L. F.; LIMA, E. M.; FREIRE, J. L. O.; PEREIRA, W. E.; COSTA, A. P. M.; CAVALCANTE, I. H. L. Componentes qualitativos do cajá em sete municípios do brejo Paraibano. **Acta Scientiarum**, v. 31, n. 4, p. 627-632, 2009.
- CEBALLOS, A. M.; GIRALDO, G. I.; ORREGO, C. E. Effect of freezing rate on quality parameters of freeze dried soursop fruit pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 111, p. 360-365, 2012.
- CHARM, S.E. **The Fundamentals of Food Engineering**. 2nd ed. Westport: Avi, 1971.
- 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.
- COMUNIAN, T. A.; MONTERREY-QUINTERO, E. S.; THOMAZINI, M.; BALIEIRO, J. C. C.; PICCONE, P.; PITTIA, P.; FAVARO-TRINDADE, C. S. Assessment of production efficiency, physicochemical properties and storage stability of spray-dried chlorophyllide, a natural food colourant, using gum Arabic, maltodextrin and soy protein isolate-based carrier systems. **International Journal of Food science and Technology**, Oxford, v.46, n.6, p.1259-1265, 2011.
- CONEGERO, J.; RIBEIRO, L. C.; MONTEIRO, A. R.; COSTA, J. Hygroscopic trend of lyophilized 'mangaba' pulp powder. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 5, p. 356-360, 2017.
- 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, C. M. L. **Caracterização e análise experimental do recobrimento de sementes de jambu (*Spilhanthes oleracea*) em leite fluidizado**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, 203p. 2010.
- 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.

DAMIANI, C.; SILVA, F. A. D.; AMORIM, C. C. D. M.; SILVA, S. T. P.; BASTOS, I. M.; ASQUIERI, E. R.; VERA, R. Néctar misto de cajá-manga com hortelã: caracterização química, microbiológica e sensorial. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.13, n.3, p.301-309, 2011

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

DE LIMA, K. P.; DE MEDEIROS, E. S.; FERNANDES, F. A.; DA SILVA, V. F.; DE MORAIS, A. R. Ajuste de modelos não lineares para descrição do fruto cajá-manga. **Sigmae**, v. 8, n. 2, p. 221-226, 2019.

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

de SOUSA PINTO, E. M.; DE FARIA, L. J. G.; COSTA, W. J. P.; NETO, C. A. D. S. A.; PEREIRA, R. R.; da SILVA, C. L. F. Estudo higroscópico da polpa em pó do fruto da pitaya (*Hylocereus costaricensis*) em diferentes concentrações de maltodextrina. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 118, n. 2, p. 13, 2019.

DIOSADY, L. L.; RIZVI, S. S.; CAI, W.; JAGDEO, D. J. Moisture sorption isotherms of canola meals, and applications to packaging. **Journal of Food Science**, v. 61, n. 1, p. 204-208, 1996.

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.

EMBRAPA. **Fruticultura de Sequeiro: uma janela para o desenvolvimento**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2006. Disponível em: <http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/public_electronica/downloads/INT73.pdf>. Acessado em 05 -12- 2018)

EMERY, E.; OLIVER, J.; PUGSLEY, T.; SHARMA, J.; ZHOU, J. Flowability of moist pharmaceutical powders. **Powders Technol.** n.189, p.409–415, 2009.

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

FABRA, M. J.; MÁRQUEZ, E.; CASTRO, D.; CHIRALT, A. Effect of maltodextrins in the water-content–water activity–glass transition relationships of noni (*Morinda citrifolia* L.) pulp powder. **Journal of food Engineering**, v. 103, p. 47–51, 2011.

FAZAEI, M.; EMAM-DJOMEH, Z.; ASHTARI, A. K.; OMID, M. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. **Food and bioproducts processing**, v. 90, n. 4, p. 667-675, 2012.

FEITOSA, R. M.; DE FIGUEIRÊDO, R. M. F.; DE MELO QUEIROZ, A. J.; DE OLIVEIRA, E. N. A. Comportamento reológico da polpa de murta com maltodextrina. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 26, n. 5, p. 391-398, 2018.

FEITOSA, R. M.; SILVA, R. C.; AMADEU, L. T. S.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; DE OLIVEIRA, E. N. A. Modelos matemáticos na predição do comportamento higroscópico para pó do mix de batata yacon e suco de lima. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, n. 2, p. 319-324, 2017.

FELLOEWS, P.J. **Food Processing Technology: Principles and Practice**. 2nd Edition. Woodhead Publishing, Limited, 2000.

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

FERNANDES, L. F.; MOURA FILHO, E. R.; ANDRADE, J. C.; MOREIRA, J. N.; VIEIRA, M. R. S.; MEDEIROS, D. C.; TOMAZ, H. V. Q.; LOPES, W. A. R. Influência de métodos combinados na preservação de polpa de cajarana em algumas características químicas. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS-COLHEITA DE FRUTOS TROPICAIS**, 1., 2005. Anais. João Pessoa, 2005.

FERRARI, C. C.; GERMER, S. P. M.; de AGUIRRE, J. M. Effects of spray-drying conditions on the physicochemical properties of blackberry powder. **Drying Technology**, v. 30, n. 2, p. 154-163, 2012.

FERREIRA, A. P. R.; SOUSA, S. L.; LIMA, D. M.; COSTA, J. M. C. D. **Caracterização de polpa de cajá em pó obtida pelo método de secagem em leito de jorro**. 2014.

FERREIRA, C. D.; PENA, R. S. Comportamento higroscópico da farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, p.251-255, 2003.
FERREIRA, L.; PINTO, L. S. R. C. Estruturados de cajá-manga (*Spondias dulcis*) com diferentes hidrocoloides. **Enciclopédia Biosfera**, v. 14, n. 25, p. 32-41, 2017.

FITZPATRICK, J. J.; BARRINGER, S. A.; IQBAL, Tariq. Flow property measurement of food powders and sensitivity of Jenike's hopper design methodology to the measured values. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 3, p. 399-405, 2004b.

FITZPATRICK, J. J.; BARRY, K.; CERQUEIRA, P. S. M.; IQBAL, T.; O'NEILL, J.; ROOS, Y. H. Effect of composition and storage conditions on the flowability of dairy powders. **International Dairy Journal**, v. 17, n. 4, p. 383-392, 2007.

FITZPATRICK, J. J.; IQBAL, T.; DELANEY, C.; TWOMEY, T.; KEOGH, M. K. Effect of powder properties and storage conditions on the flowability of milk powders with different fat contents. **Journal of food Engineering**, v. 64, n. 4, p. 435-444, 2004a.

FRANQUIN, S.; MARCELIN, O.; AURORE, G.; REYNES, M.; BRILLQUET, J.M. Physicochemical characterisation of the mature-green Golden apple (*Spondias cytherea* Sonnerat). **Fruits**, v.60, p.203-210, 2005.

FREITAS, E. D. F. M.; LOPES, L. D. L.; ALVES, S. M. D. F.; CAMPOS, A. J. D. Efeito da maltodextrina no sumo da polpa de abacaxi Pérola atomizado. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 271-280, 2019.

FREYSSINGEAS, E.; DALBE, M. J.; GÉMINARD, J. C. Flowers in flour: avalanches in cohesive granular matter. **Physical Review E**, v. 83, n. 5, p. 051307, 2011.

GABAS, A. L.; TELIS, V. R. N.; SOBRAL, P. J. A.; TELIS-ROMERO, J. Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. **Journal of Food Engineering**, v.82, p.246–252, 2007.

GALDINO, P. O.; DE FIGUEIRÊDO, R. M.; QUEIROZ, A. J. D. M.; GALDINO, P. O.; FERNANDES, T. K. D. S. Estabilidade do figo-da-índia em pó durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 2, p. 169-173, 2016.

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

GALLI, J. A. et al. Produção e qualidade de frutos de diferentes cultivares de mangueira adubadas com boro. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 3, p. 358 - 363, 2013.

GARCIA, L. P. **Liofilização aplicada a alimentos**. 2009. 45p. Trabalho Acadêmico (Graduação Bacharelado em Química de Alimentos) - Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, RS, 2009.

GAVA, A. J. **Tecnologia em Alimentos: princípios e aplicações**. São Paulo: Nobel, 2009.

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

GOGUS, F.; MASKAN, M.; KAYA, A. Sorption isotherms of turkish delight. **Journal of Food Protection**, v. 22, p. 345-357, 1998.

GOMES, P.M. DE A. Estudo da polpa de acerola (*Malpighia emarginata* D. C) desidratada em leite de jorro. Campina Grande, 2002. 86p. (Dissertação de Mestrado).

GOMES, R.P. **Fruticultura brasileira**. 13. ed. São Paulo: NOBEL, 2007. 446 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.; KARAPANTSIOS, T. D.; ACHILIAS, D. S.; ADAMOPOULOS, K. G. Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 85, n. 1, p. 73-83, 2008.

HAERTL, J.; OOI, J. Y.; ROTTER, J. M.; WÓJCIK, M.; DING, S. O. N. G. X. I. O. N. G.; ENSTAD, G. G. The influence of a cone-in-cone insert on flow pattern and wall pressure in a full-scale silo. **Chemical engineering research and design**, v. 86, n. 4, p. 370-378, 2008.

HAMANO, P. S.; MERCADANTE, A. Z. Composition of carotenoids from commercial products of Caja (*Spondias lutea*). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 14, n. 4, p. 335–343, 2001.

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 simplific Ed 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.

IQBAL, T.; FITZPATRICK, J. J. Effect of storage conditions on the wall friction characteristicsof three food powders, **J. Food Eng.** V.72, 273–280, 2008.

ISHWARYA, S. P.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. **Spray drying. Handbook of drying for dairy products**, p. 56, 2017.

IUPAC - International Union of Pure and Applied Chemistry. **Reporting Physisorption data for gas solid. systems with special reference to the determination of surface area and porosity. Pure & Applied Chemistry**, v.57, p.603-619, 1985

JANICK, J; PAULL, R. E. **The encyclopedia of fruit and nuts**. Ed. CABI, 2008.

JAYA, S.; DAS, H. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vaccum 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.

KHA, T. C.; NGUYEN, M. H.; ROACH P. D. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. **Journal of Food Engineering**. 98: 385-392, 2010.

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

KRANTZ, M.; ZHANG, H.; ZHU, J. Characterization of powder flow: static and dynamic testing. **Powder Technol.** 194 (3), 239–245, 2009.

LAGO-VANZELA, E. S.; RAMIN, P.; UMSZA-GUEZ, M. A.; SANTOS, G. V.; GOMES, E.; SILVA, R. Chemical and sensory characteristics of pulp and peel ‘cajá-manga’ (*Spondias*

cytherea Sonn.) jelly. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 31, n. 2, p. 398-405, 2011.

LAVOYER, F. C. G. **Estudo da secagem de polpa de coco verde em leite de jorro e viabilidade de sua utilização na indústria**. Dissertação (mestrado). -Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas. São José do Rio Preto: 2012. 74 f.

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.

LEME, A.C.; GROPPPO, V.D.; ROMERO, A.C.; SPOTO, M.H.F.; JACOMINO, A.P. **Influência do uso de películas comestíveis em laranja ‘Pera’ minimamente processada**. Boletim do CEPPA, Curitiba, v.25, n.1, p.15-24, 2007.

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.

LIAPIS, A. I.; PIKAL, M. J. & BRUTINI, R. “Research and development needs and opportunities in freeze drying”. **Drying Technology**, 14(6), pp. 1265-1300, 1996.

LIMA, F. S. **Caracterização físico-química e bromatológica da polpa de Spondias sp (Cajarana do Sertão)**. 2010. 65 p. (Doutorado). Universidade Federal de Campina Grande. Patos.

LIMA, P. M. **Análise da fluidodinâmica e transferência de calor em leite de jorro com alimentação contínua de sólidos pela base**. São Carlos, 2004.

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.

LOMBRAÑA, J. I. E.; IZKARA, J. “Experimental estimation of effective transports coefficients in freeze drying for simulation and optimization purposes”. **Drying Technology**, 14(3), pp. 743-763, 1996.

LOPES NETO, J. P.; NASCIMENTO, J. W. B. DO; SILVA, V. R. da. Efeito do tempo de armazenagem de rações avícolas no dimensionamento de silos. **Engenharia Agrícola**, v.39, p.518- 527, 2009a.

LOPES NETO, J. P.; SILVA, V. R. da; NASCIMENTO, J. W. B do. Propriedades de fluxo de produtos pulverulentos alimentícios. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 5, p. 639-644, 2009b.

LU, H.; GUO, X.; GONG, X.; BARLETTA, D.; POLETTO, M. Prediction of solid discharge rates of pulverized coal from an aerated hopper. **Powder Technology**, v. 286, p. 645-653, 2015.

LU, H.; ZHONG, J.; CAO, G. P.; LIU, H. F. Gravitational discharge of fine dry powders with asperities from a conical hopper. **AIChE Journal**, v. 64, n. 2, p. 427-436, 2018.

MACIEL, R. M. G.; DE LIMA, S. B.; DA COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A. Influência da maltodextrina nas propriedades de escoamento do pó da polpa de cupuaçu/Influence of maltodextrin on the flow properties of the cupuaçu pulp powder. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 2, p. 5829-5839, 2020.

MANOLOPOULOU, H.; LAMBRINOS, G.; XANTHOPOULOS, G. Active modified atmosphere packaging of fresh-cut bell peppers: effect on quality indices. **Journal of Food Research**, v. 1, n. 3, p. 148-158, 2012.

MARQUES, L. G. **Liofilização de frutas tropicais**. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos – SP, 2008.

MARRETO, R. N. **Estudo da técnica de leito de jorro convencional para secagem de microcápsulas de caseína e pectina**. Ribeirão Preto, 2006. 198 f. Tese (Doutorado em Medicamentos e Cosméticos) Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo – USP.

MARTINS, C. R.; LOPES, W. A.; ANDRADE, J. B. de. Solubilidade das substâncias orgânicas. **Química Nova**, v.36, p.1248-1255, 2013.

MATHLOUTHI, M.; ROGÉ, B. Water vapour sorption isotherms and the caking of food powders. **Food Chemistry**, v. 82, n. 1, p. 61-71, 2003.

MATHUR, K. B.; EPSTEIN, N. **Spouted beds**. New York: Academic Press, 1974. 304 p.

MATTIETO, R. A.; LOPES, A. S.; MENEZES, H. C. de. Caracterização física e físico-química dos frutos de cajazeira (*Spondia mombin* L.) e de suas polpas obtidas por dois tipos de extrator. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 13, n. 3, p. 156-164, 2010.

MATTIETTO, R. A.; LOPES, A. S.; MENEZES, H. C. Estabilidade do néctar misto de cajá e umbu. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 3, p. 156-463, 2007.

MATTIETTO, R.A.; LOPES, A.S.; MENEZES, H.C. Estabilidade do néctar misto de cajá e umbu. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 3, p. 156-463, 2007.

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.

MECENAS, A. S.; da MATTA, V. M.; SILVA, F. T.; PONTES, S. M.; GOMES, F. D. S. Caracterização físico-química de cajá-manga (*Spondias dulcis*) em dois estádios de maturação. In: **Embrapa Agroindústria de Alimentos-Resumo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 22., 2010, Salvador. Potencialidades, desafios e inovações. [SI]: SBCTA, 2010. 1 CD-ROM., 2010.

MEDEIROS, A. B. **Liofilização celular e sua aplicação na reprodução animal**. Monografia em medicina veterinária, Faculdade de agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, 2014.

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.

MILLER, A.; SCHAAL, B. Domestication of a mesoamerican cultivated fruit tree, *Spondias purpurea*. **Proceeding of the National Academy of Science of the United States of America**, v. 102, n. 1, p. 12.801-12.806, 2005.

MISHIRA, V. K.; ORAIKUL, B.; TEMELLI, F. Physical characterization and water sorption of freeze dried dulse *Palmariapalmata* powder. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.20, n.1, p.25-39, 1996.

MITCHELL, J.D. & DALY, D.C. Revisão das espécies neotropicais de *Spondias* (Anacardiaceae). In: **CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA**, 46, São Paulo, 1995. Anais. São Paulo: USP. p.207. 1995.

MOHAMMED, S. A.; ABDULLAH, E. C.; GELDART, D.; RAMAN, A. A. A. Measuring powder flowability with a modified Warren Spring cohesion tester. **Particuology**, v.9, p.148-154, 2011.

MOREIRA, T. B.; ROCHA, E. M. F. F.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Comportamento das isotermas de adsorção do pó da polpa de manga liofilizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1093-1098, 2013.

MOSQUERA, L. H.; MORAGA, G.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Effect of maltodextrin on the stability of freeze-dried borjón (*Borojoa patinoi* Cuatrec.) powder. **Journal of Food Engineering**, v.97, p.72-78, 2010.

MOURA, S. C. S. R.; BERBARI, S. A.; GERMER, S. P. M.; ALMEIDA, M. E. M.; FEFIM, D. A. Determinação da vida-de-prateleira de maçã-passa por testes acelerados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, p.141-148, 2007.

MOURA, S. M. **Estabilidade de acerola em pó oriunda de cultivo orgânico**. Dissertação (Mestrado) – Universidade federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Depto. de Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2010. 115 p.

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.

NARAIN, N.; ALMEIDA, J. D. N.; GALVÃO, M. D. S.; MADRUGA, M. S.; BRITO, E. S. D. Compostos voláteis dos frutos de maracujá (*Passiflora edulis* forma *Flavicarpa*) e de cajá

(Spondias mombin L.) obtidos pela técnica de headspace dinâmico. **Food Science and Technology**, v. 24, n. 2, p. 212-216, 2004.

NEPA-UNICAMP. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. 4ª edição. Campinas: NEPA-UNICAMP, 2011. 161p.

NETO, J. R. C.; SCHUNEMANN, A. P. P.; DANTAS, A. L.; DOS SANTOS, L. F.; DANTAS, R. L.; DE MELO SILVA, S. QUALIDADE DE FRUTOS DE ACESSOS DE CAJÁ-MANGUEIRA DURANTE A MATURAÇÃO. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 36, n. 1, 2019.

OLIVEIRA, A. D. S.; DE FIGUEIRÊDO, R. M.; QUEIROZ, A. J. D. M.; BRITO, J. G. D. 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, 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, D. M.; CLEMENTE, E.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Hygroscopic behavior of lyophilized powder of grugru palm (*Acrocomia aculeata*). **American Journal of Analytical Chemistry**, v. 4, n. 10, p. 1-7, 2013a.

OLIVEIRA, D. M.; CLEMENTE, E.; COSTA, J. M. C. Hygroscopic behavior and degree of caking of grugru palm (*Acrocomia aculeata*) powder. **Journal of Food Science and Technology**, v.1, p.1-7, 2012.

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

OLIVEIRA, J. R. S. de. **Caracterização de extratos de cajá-manga (*Spondias dulcis* Parkinson) potencialmente ativos e seguros para obtenção de fitocosmético antioxidante**. 2011. 212 p. (Doutorado). Ciências Farmacêuticas, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade Estadual de São Paulo. Araraquara.

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

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.

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

OSAKO, P. F. **Estudo e desenvolvimento de vitamina de iogurte e frutas liofilizadas**. 2012. 58f. Trabalho de conclusão de curso. Escola politécnica da universidade de São Paulo. Departamento de engenharia Química, USP.

PACE, G. W.; MISHRA, A. K.; SNOW, R. A.; PARIKH, I.; GUIVARC'H, P. H. W. **Spray drying process and compositions of fenofibrate**. U.S. Patent n. 6,696,084, 24 fev. 2004.

PAGANI, M. M. **Obtenção de suco de acerola (*Malpighia emarginata* d.c.) concentrado e pós estáveis através da integração dos processos de separação por membranas e microencapsulação por atomização**. Tese Doutorado. Rio de Janeiro, Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 183 p. 2010.

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

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, 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.

PAVAN, M. A.; SCHMIDT, S. J.; FENG, H. Water sorption behavior and thermal analysis of freeze-dried, refractance window dried and hot-air dried açai (*Euterpe oleracea* Martius) juice. **Lebensmittel-Wissenschaft Technologie**, v. 48, n. 1, p. 75-81, 2012.

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. **Food Science and Technology**, v. 30, n. 4, p. 993-1000, 2010.

PEIGHAMBARDOUST, 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.

PERDOMO, J. et al. Glass transition temperatures and water sorption isotherms of cassava starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 76, p. 305-313, 2009.

PEREIRA, I. E.; QUEIROZ, A. J. M. Q.; FIGUEIRÊDO, R. M. F Características físico-químicas do tomate em pó durante o armazenamento. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 06, n. 01, p. 83-90, 2006.

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.

PICELLI, R. M.; ARRIECHE, L. S.; SARTORI, D. J. M. Drying and characterization of pioneer arboreal seeds. **Proceedings of the 17th IDS, Magdeburg**, p. 883-889, 2010.

PITOMBO, R. N. M. “A liofilização como técnica de conservação de material de pesquisa”, In: **SBPC Ciência e Cultura**, pp. 427-431, 1989.

PODCZECK, F.; SHARMA, M. The influence of particle size and shape of components of binary powder mixtures on the maximum volume reduction due to packing. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 137, n. 1, p. 41-47, 1996.

PRESCOTT, J. K.; BARNUM, R. A. On powder flowability. **Pharmaceutical technology**, v. 24, n. 10, p. 60-85, 2000.

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.

QUEK, S. Y.; CHOK, N. K.; SWEDLUND, P. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powder. **Chemical Engineering and Processing**, v. 46, n. 5, p. 386-392, 2007.

RÄSÄNEN, E.; ANTIKAINEN, O.; YLIRUUSI, J. A new method to predict flowability using a microscale fluid bed. **AAPS PharmSciTech**. 4 (4), 418–424, 2003.

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**. Fortaleza, CE, 2014.

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

RIBEIRO, M. C. F.; LIMA, G. M. D. S.; MIZOBUTSI, G. P. Desverdecimento do cajá-manga com o uso do etileno. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 16, n. 2, p. 65-84, 2019.

RIBEIRO, P.F.F.A.C. **Processo de Liofilização alimentares perecíveis**. 2012. 117 F. Dissertação. (licenciatura em engenharia mecânica) Departamento de engenharia mecânica. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa – ISEL.

ROCHA, A. P. T. **Estudo do processo de recobrimento contínuo de extratos fitoterápicos secos em leito de jorro**. Campina Grande, 2006. 126f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia.

ROCHA, E. M. F. F.; SOUSA, S. L.; COSTA, J. P.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Obtenção de suco de caju atomizado através do controle das condições de secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 6, p. 646-651, 2014.

ROCHA, F. O.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C.; RYBKA, A. C. P.; WURLITZER, N. J. Influência da maltodextrina nas propriedades de escoamento do pó de manga. **Higiene Alimentar**, v.31, p.4372-4376, 2017.

RODRIGUES, M. I.; LEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**. 2ª ed. Campinas, SP: Casa do Espírito Amigo, Fraternidade, Fé e Amor, 358 p, 2009.

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.

RUFINO, M. S. M.; BRITO, E. S.; JIMÉNEZ, J. P.; CALIXTO, F. S.; MANCINI FILHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food chemistry**, v. 121, n. 4, p. 996-1002, 2010.

SAIFULLAH, M.; YUSOF, Y. A.; CHIN, N. L.; AZIZ, M. G. Physicochemical and flow properties of fruit powder and their effect on the dissolution of fast dissolving fruit powder tablets. **Powder technology**, v. 301, p. 396-404, 2016.

SALEH, K.; GOLSHAN, S.; ZARGHAMI, R. A review on gravity flow of free-flowing granular solids in silos—Basics and practical aspects. **Chemical Engineering Science**, v. 192, p. 1011-1035, 2018.

SALEHI, H.; BARLETTA, D.; POLETO, M. A comparison between powder flow property testers. **Particuology**, v. 32, p. 10-20, 2017.

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.

SEREJO, J. A. S. et al. **Fruticultura tropical: espécies regionais e exóticas**. Brasília (DF): Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

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.

SHAW, H. K.A.; FORMAN, L. L.: The genus *Spondias* L. (Anacardiaceae) in tropical Asia. **Kew Bull.**, v. 21, n. 1, p. 1-20, 1967.

SILVA, F. S.; CORRÊA, P. C.; CALIL-JÚNIOR, C.; GOMES, F. C. Ângulo de repouso, atrito interno e efetivo dos grãos de café com pergaminho. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 17-23, 2006.

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 Jaboticaba** (*Myrciaria jaboticaba*). 2011. 173 p. (Doutorado). Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa.

SILVA, R. N.; FIGUEIRÊDO, R. D.; QUEIROZ, A. D. M.; FEITOSA, R. M. Isotermas de adsorção de umidade do umbu-cajá em pó. **Revista Educação Agrícola Superior**, v. 30, p. 33-36, 2015.

SILVA, T. L. L. **Cajá-manga (*Spondias mombin* L.): desenvolvimento fisiológico e avaliação do padrão respiratório**. 2016. 115 p. (Dissertação). Mestrado em Ciências Florestais, Universidade Federal de Goiás. Goiânia.

SIQUEIRA, A. P. S.; VASCONCELOS, L. H. C.; VENDRUSCOLO, E. P.; CUSTÓDIO, B. S. S.; COSTA, D. P.; FARIA, T. C.; SELEGUINI, A. Climatization for scheduled ripening of caju-manga. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, p. 424-428, 2017.

SOARES, E.B.; GOMES, R.L.F.; CARNEIRO, J.G.M.; NASCIMENTO, F.N.; SILVA, I.C.V.; COSTA, J.C.L. Caracterização física e química de frutos de cajazeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 28, 518-519, 2006.

SOUSA, M. de B.; PEDROZA, J. P.; BELTRÃO, N. E. de M.; SEVERINO, L. S.; DANTAS, F. P. Cinética de secagem do farelo de mamona. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.8, n.2, p.139-146, 2006.

SOUSA, S. F. **Liofilização da polpa de tamarindo (*Tamarindus indica* L.) para obtenção de sucos reconstituídos**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Campina Grande. 2018.

SOUSA, S. L.; MORAIS, B. A. D.; RIBEIRO, L. C.; COSTA, J. Stability of cashew apple juice in powder dehydrated in spouted bed. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 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.

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

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

SUN, D.; LU, H.; CAO, J.; WU, Y.; GUO, X.; GONG, X. Flow mechanisms and solid flow rate prediction of powders discharged from hoppers with an insert. **Powder Technology**, 2020.

SYAMALADEVI, R. M.; SABLANI, S. S.; TANG, J.; POWERS, J.; SWANSON, B. G. State diagram and water adsorption isotherm of raspberry (*Rubusidæus*). **Journal of Food Engineering**, v. 91, n. 3, p. 460-467, 2009.

TAY, J. Y. S.; LIEW, C. V.; HENG, P. W. S. Powder flow testing: judicious choice of test methods. **AAPS Pharm Sci Tech.** 18 (5), 1843–1854, 2017.

TERRONI, H. C. et al. Liofilização. **Revista científica UNILAGO**, PP 271 – 284. UNILAGO, 2012.

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

TIBURSKI, J. H.; ROSENTHAL, A. DELIZA, R.; GODOY, R. O.; PACHECO, S. Nutritional properties of yellow mombin (*Spondias mombin* L.) pulp. **Food Research International**, v. 44, p. 2326–2331, 2011.

TIMMERMANN, E. O. Multilayer sorption parameters: BET or GAB values? *Colloids and surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v.220, p.235-260, 2003.

TONON, R. V.; BARONI, A. F.; BRABET, C.; GIBERT, O.; PALLET, D.; HUBINGER, M. D. Water sorption and glass transition temperature of spray-drier açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice. **Journal of Food Engineering**, v. 94, n. 3-4, p. 215-221, // 2010.

TONON, R. V.; BARONI, A. F.; BRABET, C.; GILBERT, O.; PALLET, D. HUBINGER, M. D. Water sorption and glass transition temperature of spray dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice. **Journal of Food Engineering**, vol. 94, n. 3-4, p. 215-221. 2009.

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.

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.

VASCONCELOS, L. H. C.; EVANGELISTA, Z. R.; de CAMPOS, A. J.; TEIXEIRA, I. R. Diferentes embalagens na conservação pós-colheita de Cajá-Manga. **Revista Espacios, Caracas**, v. 38, n. 16, p. 1-10, 2017.

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.

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.

ANEXO A – VALORES MÉDIOS PARA OS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA POLPA DE CAJÁ-MANGA EM PÓ EM SECAGEM POR ASPERSÃO EM SPRAY-DRYER ARMAZENADAS EM DIFERENTES EMBALAGENS

Parâmetro analisado		Tempo de armazenamento (dias)						
		0	15	30	45	60	75	90
Umidade (%)	L	1,50 ± 0,03 ^{Aa}	1,63 ± 0,13 ^{Aab}	1,82 ± 0,02 ^{Aab}	1,91 ± 0,12 ^{Ab}	1,90 ± 0,12 ^{Ab}	1,78 ± 0,15 ^{Aab}	1,93 ± 0,24 ^{Ab}
	P	1,50 ± 0,03 ^{Ae}	1,87 ± 0,15 ^{Ade}	2,19 ± 0,20 ^{Bcd}	2,54 ± 0,22 ^{Bc}	3,80 ± 0,09 ^{Bb}	3,97 ± 0,11 ^{Bb}	4,40 ± 0,23 ^{Ba}
a _w	L	0,17 ± 0,01 ^{Abd}	0,16 ± 0,01 ^{Ab}	0,19 ± 0,01 ^{Acd}	0,18 ± 0,00 ^{Abcd}	0,19 ± 0,01 ^{Acd}	0,20 ± 0,00 ^{Ac}	0,23 ± 0,00 ^{Aa}
	P	0,17 ± 0,01 ^{Ag}	0,23 ± 0,00 ^{Bf}	0,28 ± 0,00 ^{Bc}	0,32 ± 0,00 ^{Bd}	0,35 ± 0,00 ^{Bc}	0,36 ± 0,00 ^{Bb}	0,38 ± 0,00 ^{Ba}
pH	L	3,25 ± 0,00 ^{Ab}	3,29 ± 0,03 ^{Ab}	2,88 ± 0,01 ^{Aa}	3,29 ± 0,14 ^{Ab}	3,35 ± 0,01 ^{Ab}	3,21 ± 0,07 ^{Ab}	3,25 ± 0,00 ^{Ab}
	P	3,25 ± 0,00 ^{Ac}	3,28 ± 0,04 ^{Ac}	2,89 ± 0,01 ^{Aa}	3,35 ± 0,00 ^{Ab}	3,35 ± 0,00 ^{Ab}	3,26 ± 0,01 ^{Ac}	3,24 ± 0,01 ^{Ac}
ATT (% m/m)	L	2,31 ± 0,05 ^{Aa}	2,20 ± 0,03 ^{Abc}	2,16 ± 0,03 ^{Ac}	2,29 ± 0,05 ^{Aab}	2,22 ± 0,02 ^{Aabc}	2,25 ± 0,04 ^{Aabc}	2,24 ± 0,00 ^{Aabc}
	P	2,31 ± 0,05 ^{Ab}	2,19 ± 0,01 ^{Aa}	2,16 ± 0,04 ^{Aa}	2,21 ± 0,00 ^{Ab}	2,18 ± 0,05 ^{Ac}	2,14 ± 0,03 ^{Bc}	2,17 ± 0,03 ^{Aa}
Ácido ascórbico (mg.100 ⁻¹)	L	19,31 ± 0,12 ^{Aab}	19,29 ± 0,17 ^{Aab}	19,61 ± 0,19 ^{Aab}	19,68 ± 0,21 ^{Aab}	19,75 ± 0,02 ^{Ab}	19,74 ± 0,01 ^{Ab}	19,25 ± 0,26 ^{Aa}
	P	19,31 ± 0,12 ^{Aa}	19,53 ± 0,24 ^{Aa}	19,72 ± 0,05 ^{Aa}	21,18 ± 2,76 ^{Aa}	22,70 ± 5,84 ^{Aa}	19,51 ± 0,12 ^{Ba}	19,39 ± 0,17 ^{Aa}
Solubilidade (%)	L	93,38 ± 0,74 ^{Aa}	93,50 ± 1,94 ^{Aa}	94,62 ± 0,58 ^{Aa}	94,92 ± 0,36 ^{Aa}	93,33 ± 1,62 ^{Aa}	89,68 ± 1,75 ^{Aa}	91,14 ± 1,92 ^{Aa}
	P	93,38 ± 0,74 ^{Aa}	92,57 ± 0,96 ^{Aa}	97,55 ± 7,75 ^{Aa}	93,80 ± 0,61 ^{Aa}	91,22 ± 0,71 ^{Aa}	92,14 ± 0,91 ^{Aa}	93,49 ± 1,69 ^{Aa}
Higroscopicidade (%)	L	5,71 ± 1,30 ^{Aa}	4,60 ± 0,15 ^{Aa}	4,99 ± 0,52 ^{Aa}	5,08 ± 0,17 ^{Aa}	5,42 ± 0,62 ^{Aa}	5,51 ± 1,11 ^{Aa}	6,26 ± 0,56 ^{Aa}
	P	5,71 ± 1,30 ^{Aa}	5,02 ± 0,43 ^{Aa}	5,11 ± 0,30 ^{Aa}	5,13 ± 0,08 ^{Aa}	5,26 ± 0,23 ^{Aa}	5,67 ± 0,22 ^{Aa}	6,29 ± 0,80 ^{Aa}
L*	L	60,94 ± 0,50 ^{Aab}	60,84 ± 0,25 ^{Aab}	60,87 ± 0,20 ^{Aab}	61,23 ± 0,72 ^{Aab}	59,79 ± 0,52 ^{Ab}	60,53 ± 0,30 ^{Aab}	61,80 ± 0,86 ^{Aa}
	P	60,94 ± 0,50 ^{Aab}	61,09 ± 0,17 ^{Aab}	61,84 ± 0,57 ^{Bb}	60,93 ± 0,13 ^{Aab}	59,47 ± 1,34 ^{Aab}	60,47 ± 0,69 ^{Aab}	61,46 ± 0,23 ^{Aa}
b*	L	8,26 ± 0,17 ^{Ab}	8,09 ± 0,15 ^{Ab}	8,18 ± 0,13 ^{Ab}	8,20 ± 0,12 ^{Ab}	7,60 ± 0,16 ^{Aa}	7,96 ± 0,13 ^{Aab}	8,00 ± 0,26 ^{Aab}
	P	8,26 ± 0,17 ^{Aa}	8,12 ± 0,20 ^{Aa}	8,12 ± 0,10 ^{Aa}	8,31 ± 0,07 ^{Aa}	7,77 ± 0,39 ^{Aa}	7,94 ± 0,44 ^{Aa}	8,00 ± 0,26 ^{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: Elaborado pelo autor.

ANEXO B – VALORES MÉDIOS PARA OS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA POLPA DE CAJÁ-MANGA EM PÓ OBTIDA POR LIOFILIZAÇÃO ARMAZENADAS EM DIFERENTES EMBALAGENS

Parâmetro analisado		Tempo de armazenamento (dias)						
		0	15	30	45	60	75	90
Umidade (%)	L	5,12 ± 0,47 ^{Aa}	4,62 ± 0,12 ^{Aa}	4,97 ± 0,14 ^{Aa}	4,44 ± 0,25 ^{Aa}	4,74 ± 0,06 ^{Aa}	4,58 ± 0,19 ^{Aa}	4,65 ± 0,6 ^{Aa}
	P	5,12 ± 0,47 ^{Aab}	4,90 ± 0,14 ^{Ab}	5,83 ± 0,01 ^{Bad}	5,89 ± 0,28 ^{Bd}	6,29 ± 0,17 ^{Bcd}	6,74 ± 0,29 ^{Bc}	6,79 ± 0,20 ^{Bc}
a _w	L	0,21 ± 0,01 ^{Aa}	0,31 ± 0,00 ^{Abc}	0,31 ± 0,00 ^{Abc}	0,30 ± 0,01 ^{Ac}	0,30 ± 0,00 ^{Ac}	0,36 ± 0,00 ^{Ac}	0,33 ± 0,01 ^{Abd}
	P	0,21 ± 0,01 ^{Ag}	0,31 ± 0,00 ^{Ae}	0,35 ± 0,00 ^{Bd}	0,36 ± 0,00 ^{Bc}	0,30 ± 0,00 ^{Af}	0,41 ± 0,00 ^{Bb}	0,42 ± 0,00 ^{Ba}
pH	L	3,23 ± 0,02 ^{Ab}	3,48 ± 0,01 ^{Ab}	3,28 ± 0,01 ^{Ab}	3,37 ± 0,06 ^{Ab}	3,29 ± 0,00 ^{Ab}	3,22 ± 0,04 ^{Ab}	3,65 ± 0,56 ^{Aa}
	P	3,23 ± 0,02 ^{Abc}	3,43 ± 0,05 ^{Ab}	3,28 ± 0,01 ^{Abc}	3,26 ± 0,01 ^{Abc}	3,27 ± 0,01 ^{Bbc}	3,18 ± 0,01 ^{Ac}	3,79 ± 0,20 ^{Aa}
ATT (% m/m)	L	3,33 ± 0,04 ^{Ac}	3,20 ± 0,09 ^{Aa}	3,19 ± 0,01 ^{Aa}	3,32 ± 0,03 ^{Aa}	3,23 ± 0,05 ^{Ab}	3,16 ± 0,06 ^{Aa}	3,18 ± 0,06 ^{Aa}
	P	3,33 ± 0,04 ^{Aa}	3,16 ± 0,14 ^{Aabc}	3,22 ± 0,05 ^{Aab}	3,17 ± 0,02 ^{Babc}	3,11 ± 0,03 ^{Bbc}	3,09 ± 0,06 ^{Abc}	3,01 ± 0,03 ^{Aa}
Ácido ascórbico (mg.100 ⁻¹ g)	L	16,14 ± 2,95 ^{Aa}	19,67 ± 0,14 ^{Aa}	26,27 ± 2,94 ^{Aa}	26,08 ± 5,57 ^{Aa}	26,29 ± 5,70 ^{Aa}	26,27 ± 2,72 ^{Aa}	25,70 ± 5,40 ^{Aa}
	P	16,14 ± 2,95 ^{Ab}	19,75 ± 0,11 ^{Aab}	26,13 ± 2,74 ^{Aad}	29,01 ± 0,50 ^{Acd}	28,97 ± 0,46 ^{Acd}	28,94 ± 0,46 ^{Acd}	26,02 ± 5,64 ^{Ac}
Solubilidade (%)	L	93,78 ± 0,11 ^{Ac}	93,37 ± 1,07 ^{Ac}	89,45 ± 0,78 ^{Ab}	92,10 ± 0,34 ^{Aac}	90,57 ± 1,06 ^{Aab}	89,84 ± 0,46 ^{Ab}	92,29 ± 0,69 ^{Aac}
	P	93,78 ± 0,11 ^{Aa}	93,14 ± 0,53 ^{Aa}	93,79 ± 1,45 ^{Aa}	92,91 ± 0,52 ^{Aa}	89,79 ± 0,98 ^{Aa}	89,76 ± 1,40 ^{Aa}	89,87 ± 1,55 ^{Aa}
Higroscopicidade (%)	L	7,63 ± 0,65 ^{Aa}	7,50 ± 0,13 ^{Aa}	7,05 ± 0,18 ^{Aa}	7,10 ± 0,21 ^{Aa}	7,38 ± 0,23 ^{Aa}	7,16 ± 0,15 ^{Aa}	7,59 ± 0,61 ^{Aa}
	P	7,63 ± 0,65 ^{Aa}	7,52 ± 0,38 ^{Aa}	7,05 ± 0,99 ^{Aa}	7,38 ± 0,44 ^{Aa}	7,22 ± 0,31 ^{Aa}	7,63 ± 0,44 ^{Aa}	7,37 ± 0,43 ^{Aa}
L*	L	60,30 ± 0,17 ^{Ab}	59,62 ± 0,22 ^{Ab}	59,52 ± 0,69 ^{Ab}	59,50 ± 0,56 ^{Ab}	57,74 ± 0,50 ^{Aa}	59,85 ± 0,15 ^{Ab}	60,48 ± 0,03 ^{Ab}
	P	60,30 ± 0,17 ^{Ab}	60,46 ± 0,32 ^{Bb}	60,93 ± 0,20 ^{Bb}	60,43 ± 0,16 ^{Bb}	58,12 ± 0,98 ^{Aa}	60,02 ± 0,18 ^{Ab}	60,11 ± 0,08 ^{Bb}
b*	L	8,69 ± 0,10 ^{Ab}	8,62 ± 0,15 ^{Ab}	8,77 ± 0,33 ^{Ab}	8,33 ± 0,17 ^{Ab}	7,78 ± 0,20 ^{Aa}	8,44 ± 0,07 ^{Ab}	8,68 ± 0,02 ^{Ab}
	P	8,69 ± 0,10 ^{Abc}	8,38 ± 0,14 ^{Aac}	8,71 ± 0,06 ^{Abc}	8,49 ± 0,10 ^{Abc}	8,08 ± 0,29 ^{Aa}	8,58 ± 0,01 ^{Bbc}	8,81 ± 0,03 ^{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: Elaborado pelo autor.

ANEXO C – VALORES MÉDIOS PARA OS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA POLPA DE CAJÁ-MANGA EM PÓ OBTIDA EM LEITO FLUIDIZADO ARMAZENADAS EM DIFERENTES EMBALAGENS

Parâmetro analisado		Tempo de armazenamento (dias)			
		0	30	60	90
Umidade (%)	L	2,19 ± 0,12 ^{Ab}	2,44 ± 0,06 ^{Ab}	2,65 ± 0,09 ^{Ab}	3,15 ± 0,32 ^{Aa}
	P	2,19 ± 0,12 ^{Ad}	4,44 ± 0,05 ^{Bc}	5,00 ± 0,23 ^{Bb}	6,01 ± 0,21 ^{Ba}
a _w	L	0,26 ± 0,01 ^{Aa}	0,28 ± 0,00 ^{Aa}	0,29 ± 0,01 ^{Aa}	0,30 ± 0,03 ^{Ab}
	P	0,26 ± 0,01 ^{Aa}	0,34 ± 0,01 ^{Bc}	0,37 ± 0,00 ^{Bbc}	0,41 ± 0,00 ^{Bb}
pH	L	3,27 ± 0,05 ^{Aa}	3,81 ± 0,57 ^{Aa}	3,35 ± 0,01 ^{Aa}	3,16 ± 0,02 ^{Aa}
	P	3,27 ± 0,05 ^{Ac}	3,42 ± 0,02 ^{Aa}	3,35 ± 0,01 ^{Ab}	3,13 ± 0,01 ^{Ad}
ATT (% m/m)	L	3,34 ± 0,16 ^{Ab}	3,21 ± 0,00 ^{Ab}	3,17 ± 0,04 ^{Ab}	2,68 ± 0,03 ^{Aa}
	P	3,34 ± 0,16 ^{Ab}	3,17 ± 0,03 ^{Abc}	2,95 ± 0,04 ^{Bc}	2,39 ± 0,10 ^{Ba}
Ácido ascórbico (mg.100 ⁻¹ g)	L	44,64 ± 5,32 ^{Aa}	29,69 ± 0,00 ^{Ab}	29,60 ± 0,00 ^{Ab}	25,81 ± 5,61 ^{Ab}
	P	44,64 ± 5,32 ^{Aa}	26,39 ± 2,86 ^{Ab}	29,34 ± 0,19 ^{Ab}	26,33 ± 5,73 ^{Ab}
Solubilidade (%)	L	92,16 ± 0,12 ^{Ab}	87,59 ± 1,78 ^{Aa}	90,53 ± 0,21 ^{Aab}	93,10 ± 0,90 ^{Ab}
	P	92,16 ± 0,12 ^{Aa}	88,59 ± 1,66 ^{Aa}	92,73 ± 1,78 ^{Aa}	92,77 ± 0,27 ^{Aa}
Higroscopicidade (%)	L	5,53 ± 0,11 ^{Aa}	4,52 ± 0,89 ^{Aa}	5,42 ± 1,00 ^{Aa}	5,46 ± 0,77 ^{Aa}
	P	5,53 ± 0,11 ^{Aa}	5,19 ± 1,20 ^{Ab}	4,96 ± 0,63 ^{Ab}	4,83 ± 0,76 ^{Ab}
L*	L	61,65 ± 0,13 ^{Aa}	61,83 ± 0,04 ^{Aa}	60,36 ± 0,32 ^{Ab}	60,84 ± 0,35 ^{Ab}
	P	61,65 ± 0,13 ^{Aab}	62,18 ± 0,00 ^{Ba}	61,06 ± 0,94 ^{Aab}	60,90 ± 0,08 ^{Ab}
b*	L	7,69 ± 0,18 ^{Aa}	7,76 ± 0,01 ^{Aa}	7,47 ± 0,22 ^{Aa}	7,57 ± 0,07 ^{Aa}
	P	7,69 ± 0,18 ^{Ab}	7,84 ± 0,01 ^{Bb}	7,82 ± 0,05 ^{Ab}	8,11 ± 0,01 ^{Ba}

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

**ANEXO D – EQUAÇÕES DA RETA E COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA
POLPA DE CAJÁ-MANGA EM PÓ EM DIFERENTES PROCESSOS DE SECAGEM ARMAZENADAS EM DIFERENTES
EMBALAGENS**

Parâmetro	Embalagem	Spray-dryer		Liofilização		Leito fluidizado	
		Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
Umidade	Laminada	$y = 0,004x + 1,6021$	0,6187	$y = -0,004x + 4,912$	0,3080	$y = 0,0103x + 2,1413$	0,9607
	Plástica	$y = 0,0345x + 1,3432$	0,9570	$y = 0,0218x + 4,9574$	0,9198	$y = 0,0401x + 2,604$	0,9218
a _w	Laminada	$y = 0,0006x + 0,1588$	0,7263	$y = 0,0008x + 0,2581$	0,4217	$y = 0,0005x + 0,2625$	0,9330
	Plástica	$y = 0,0023x + 0,1962$	0,9452	$y = 0,002x + 0,2555$	0,8440	$y = 0,0017x + 0,2691$	0,9681
pH	Laminada	$y = 0,0007x + 3,1838$	0,0237	$y = 0,0018x + 3,2789$	0,1354	$y = -0,0027x + 3,5187$	0,1301
	Plástica	$y = 0,001x + 3,1892$	0,0384	$y = 0,0028x + 3,2212$	0,1943	$y = -0,0017x + 3,3687$	0,2696
ATT	Laminada	$y = -4^{-05}x + 2,2402$	0,0007	$y = -0,0012x + 3,283$	0,3094	$y = -0,0069x + 3,3975$	0,8730
	Plástica	$y = -0,0012x + 2,2459$	0,4840	$y = -0,0029x + 3,2875$	0,8443	$y = -0,0102x + 3,4213$	0,9176
Ácido ascórbico (mg.100 ⁻¹ g)	Laminada	$y = 0,0021x + 19,425$	0,0898	$y = 0,0997x + 19,286$	0,6090	$y = -0,1886x + 40,923$	0,7678
	Plástica	$y = 0,0076x + 19,848$	0,0374	$y = 0,121x + 19,547$	0,5930	$y = -0,1733x + 39,473$	0,5871
Solubilidade	Laminada	$y = -0,0373x + 94,617$	0,4119	$y = -0,0248x + 92,742$	0,2224	$y = 0,0192x + 89,978$	0,0952
	Plástica	$y = -0,0068x + 93,188$	0,0554	$y = -0,0535x + 94,269$	0,7911	$y = -0,0535x + 94,269$	0,7911
Higroscopicidade	Laminada	$y = 0,0093x + 4,9494$	0,3098	$y = -0,0012x + 7,3959$	0,0249	$y = 0,0024x + 5,127$	0,0370
	Plástica	$y = 0,0076x + 5,1138$	0,2893	$y = -0,0008x + 7,4384$	0,0164	$y = -0,0077x + 5,4733$	0,9605
L	Laminada	$y = 0,002x + 60,766$	0,0115	$y = -0,0019x + 59,658$	0,0047	$y = -0,013x + 61,755$	0,5311
	Plástica	$y = -0,0048x + 61,102$	0,0423	$y = -0,0102x + 60,51$	0,1339	$y = -0,0112x + 61,951$	0,5511
b*	Laminada	$y = -0,0038x + 8,2129$	0,3108	$y = -0,0032x + 8,6127$	0,0969	$y = -0,0022x + 7,7207$	0,4371
	Plástica	$y = -0,0035x + 8,2318$	0,3718	$y = 0,0003x + 8,523$	0,0012	$y = 0,0003x + 8,523$	0,0012

ANEXO E – PARÂMETROS DOS MODELOS MATEMÁTICOS PARA REPRESENTAÇÃO DAS ISOTERMAS DE SORÇÃO DA POLPA DE CAJÁ-MANGA EM PÓ FORMULADA COM 10, 20 E 30% DE MALTODEXTRINA E OBTIDA POR SECAGEM EM ASPERSÃO EM SPRAY-DRYER

Modelos	Parâmetros	10 % Maltodextrina			20 % Maltodextrina			30 % Maltodextrina		
		25 °C	35 °C	45 °C	25 °C	35 °C	45 °C	25 °C	35 °C	45 °C
GAB	X _m	7,8859	11,0721	11,3182	0,1176	0,0826	0,0849	0,1417	0,0796	0,0778
	C	0,0219	0,0173	0,0164	0,8439	1,6315	1,5106	0,5578	1,2557	1,3609
	K	0,6081	0,5937	0,6094	0,9115	0,9684	0,9823	0,8707	0,9539	0,9734
	R ²	0,9942	0,9970	0,9946	0,9991	0,9966	0,9998	0,9995	0,9977	0,9997
	E (%)	5,84	3,89	4,08	3,10	5,09	0,93	1,58	3,31	2,39
BET	X _m	0,0954	0,0924	0,0907	0,0630	0,0691	0,0773	0,0614	0,0625	0,0685
	C	1,2985	1,1470	1,5140	2,5523	2,3249	1,7714	1,9557	1,8418	1,6398
	n	13,0940	13,9247	17,6901	21,9151	31,3092	32,2794	19,0751	25,8526	27,2080
	R ²	0,9999	0,9999	0,9999	0,9980	0,9954	0,9997	0,9989	0,9968	0,9996
	E (%)	1,35	0,77	0,32	5,16	6,99	1,28	2,84	3,91	2,06
Henderson	a	0,8438	0,8512	0,8207	0,6757	0,6630	0,6295	0,6807	0,6608	0,6423
	b	4,4161	4,2838	3,9649	3,5952	3,4033	3,1351	4,0142	3,7681	3,5022
	R ²	0,9864	0,9918	0,9902	0,9991	0,9929	0,9946	0,9997	0,9955	0,9954
	E (%)	9,75	7,39	5,03	2,49	8,04	11,59	1,64	6,87	9,99
Oswin	a	0,1185	0,1225	0,1242	0,0972	0,0981	0,0992	0,0834	0,0835	0,0864
	b	0,6362	0,6500	0,6851	0,7820	0,8256	0,8776	0,7843	0,8318	0,8719
	R ²	96,1300	0,9718	0,9730	0,9951	0,9966	0,9998	0,9931	0,9971	0,9996
	E (%)	22,37	19,38	16,83	11,59	6,28	1,02	11,65	5,31	2,15

Onde: X_m - teor de umidade na monocamada (kg água/kg amostra seca); a, b, C, K, n - constantes nos modelos. R² – coeficiente de determinação; E – erro médio relativo.

Fonte: autor

ANEXO F – PARÂMETROS DOS MODELOS MATEMÁTICOS PARA REPRESENTAÇÃO DAS ISOTERMAS DE SORÇÃO DA POLPA DE CAJÁ-MANGA EM PÓ FORMULADA COM 10, 20 E 30% DE MALTODEXTRINA E OBTIDA POR SECAGEM EM LIOFILIZAÇÃO

Modelos	Parâmetros	10 % Maltodextrina			20 % Maltodextrina			30 % Maltodextrina		
		25 °C	35 °C	45 °C	25 °C	35 °C	45 °C	25 °C	35 °C	45 °C
GAB	X _m	0,1162	0,1157	0,1199	0,1220	0,1435	0,1475	0,0630	0,1066	0,1135
	C	1,3515	1,4598	1,4090	1,0782	0,9985	0,9641	3,7206	1,2673	1,1575
	K	0,9165	0,9271	0,9334	0,8960	0,8737	0,8857	0,9673	0,9044	0,9111
	R ²	0,9996	0,9999	0,9978	0,9986	0,9995	0,9990	0,9870	0,9988	0,9973
	E (%)	1,59	1,04	2,25	3,55	2,94	3,47	6,24	4,58	5,15
BET	X _m	0,0792	0,0834	0,0891	0,0754	0,0817	0,0880	0,0521	0,0704	0,0769
	C	2,4703	2,4548	2,1865	2,0867	2,0298	1,8016	8,5141	2,3088	1,9323
	n	21,3011	21,6515	21,5400	19,3964	17,5780	17,7367	35,9323	19,1261	18,9146
	R ²	0,9990	0,9997	0,9984	0,9979	0,9991	0,9994	0,9839	0,9991	0,9983
	E (%)	2,53	1,99	2,62	2,61	2,64	2,57	7,23	3,69	4,25
Henderson	a	0,7386	0,7343	0,7217	0,7431	0,7704	0,7453	0,7608	0,7571	0,7343
	b	3,5044	3,3489	3,1862	3,7769	3,7546	3,4782	4,3112	4,0137	3,7223
	R ²	0,9985	0,9980	0,9953	0,9982	0,9992	0,9983	0,9810	0,9976	0,9955
	E (%)	5,76	6,03	7,73	5,23	4,00	4,75	9,38	5,95	6,42
Oswin	a	0,1207	0,1248	0,1279	0,1100	0,1179	0,1203	0,0949	0,1039	0,1064
	b	0,7263	0,7477	0,7734	0,7264	0,7139	0,7550	0,7261	0,7308	0,7692
	R ²	0,9968	0,9980	0,9962	0,9944	0,9939	0,9947	0,9879	0,9957	0,9948
	E (%)	7,03	5,13	4,89	8,02	8,58	6,68	6,76	5,47	4,67

Onde: X_m - teor de umidade na monocamada (kg água/kg amostra seca); a, b, C, K, n - constantes nos modelos. R² – coeficiente de determinação; E – erro médio relativo.

Fonte: autor

ANEXO G – PARÂMETROS DOS MODELOS MATEMÁTICOS PARA REPRESENTAÇÃO DAS ISOTERMAS DE SORÇÃO DA POLPA DE CAJÁ-MANGA EM PÓ FORMULADA COM 10, 20 E 30% DE MALTODEXTRINA E OBTIDA POR SECAGEM EM LEITO FLUIDIZADO

Modelos	Parâmetros	10 % Maltodextrina			20 % Maltodextrina			30 % Maltodextrina		
		25 °C	35 °C	45 °C	25 °C	35 °C	45 °C	25 °C	35 °C	45 °C
GAB	X_m	0,0884	0,0898	0,1085	0,0890	0,0899	0,1526	0,1092	0,1399	0,4172
	C	1,7065	1,6689	1,5831	1,3741	1,3633	0,6498	0,7121	0,5525	0,2017
	K	0,9643	0,9641	0,9602	0,9646	0,9338	0,9159	0,9174	0,9006	0,8061
	R^2	0,9994	0,9990	0,9979	0,9986	0,9987	0,9960	0,9989	0,9982	0,9986
	E (%)	3,63	4,94	5,14	6,94	5,85	5,24	6,44	5,69	3,64
BET	X_m	0,0737	0,0782	0,0908	0,0681	0,0745	0,0955	0,0677	0,0768	0,0883
	C	2,4511	2,5297	2,0719	1,9319	1,7543	1,0778	1,2662	1,0574	0,8970
	n	29,0693	30,9623	24,9531	29,9211	30,4609	20,2191	22,2428	20,3475	17,1942
	R^2	0,9993	0,9989	0,9981	0,9980	0,9985	0,9965	0,9982	0,9983	0,9989
	E (%)	4,45	5,50	5,69	8,22	6,39	5,87	7,83	6,41	4,17
Henderson	a	0,6604	0,6647	0,6842	0,6394	0,6328	0,6359	0,6430	0,6350	0,6457
	b	3,2568	3,1270	2,9944	3,4004	3,2206	3,0414	3,6950	3,4939	3,4077
	R^2	0,9948	0,9926	0,9935	0,9955	0,9945	0,9949	0,9989	0,9978	0,9982
	E (%)	9,40	10,37	9,07	6,47	8,29	6,67	4,92	3,83	3,58
Oswin	a	0,1083	0,1134	0,1257	0,0925	0,0966	0,1059	0,0817	0,0855	0,0915
	b	0,7948	0,8149	0,8141	0,8355	0,8645	0,8737	0,8396	0,8653	0,8634
	R^2	0,9990	0,9990	0,9975	0,9982	0,9985	0,9934	0,9956	0,9945	0,9933
	E (%)	4,34	5,05	5,86	7,76	6,75	8,64	11,37	10,16	10,42

Onde: X_m - teor de umidade na monocamada (kg água/kg amostra seca); a, b, C, K, n - constantes nos modelos. R^2 – coeficiente de determinação; E – erro médio relativo.

Fonte: autor