



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

JOÃO HAMILTON PINHEIRO DE SOUZA

LIOFILIZAÇÃO DE POLPA DE MANGA (*Mangifera Indica*, L.) CV. KENT E KEITT

FORTALEZA

2018

JOÃO HAMILTON PINHEIRO DE SOUZA

LIOFILIZAÇÃO DE POLPA DE MANGA (*Mangifera Indica*, L.) CV. KENT E KEITT

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

Orientador: Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso

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

FORTALEZA

2018

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)

S2381 Souza, João Hamilton Pinheiro de.
Liofilização de polpa de manga (*Mangifera Indica*, L.) cv. kent e keitt / João Hamilton Pinheiro de Souza.
–2018.
134 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso.

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

1. Manga. 2. Liofilização. 3. Alimentos em pó. 4. Isotermas. 5. Estabilidade. I. Título.

CDD 664

JOÃO HAMILTON PINHEIRO DE SOUZA

LIOFILIZAÇÃO DE POLPA DE MANGA (*Mangifera Indica* L.) CV. KENT E KEITT

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

Orientador: Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso

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

Aprovado em: ___/___/_____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. José Maria Correia da Costa (Co-orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dra. Kaliana Sitonio Eça
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dra. Andrea Cardoso de Aquino
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dra. Klicia Araújo Sampaio
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Ceará por oferecer a estrutura física e humana (docentes e funcionários) ao longo desses dois anos vividos dentro da instituição.

A Embrapa Agroindústria Tropical pelo apoio no fornecimento das polpas que serviram como matéria-prima para este trabalho.

Ao Professor Marcos Rodrigues Amorim Afonso não só pela orientação, mas também, pela paciência e persistência nos muitos momentos em que precisei na construção e finalização deste trabalho.

Ao Professor José Maria Correia da Costa pela co-orientação, amizade e por disponibilizar de forma irrestrita a estrutura do Laboratório de Controle de Qualidade e Secagem.

As amigas Janaína e Luciana por todo apoio na condução deste trabalho, apoio físico na realização dos ensaios, análises e ajuda na escrita, como também, o apoio moral nos momentos que foi preciso. Vocês foram meus braços esquerdo e direito.

Aos amigos do LACONSA: Djaco, Ana Paula, Carla, Priscila, Andressa, Jovan pelos momentos de descontração que ajudaram a relaxar nas situações mais tensas e a Brenna e Francisca pela ajuda e compartilhamento de todo o conhecimento adquirido no desenvolvimento de suas respectivas dissertações e que ajudaram, e muito, a execução desta.

A Universidade do Estado do Pará pela oportunidade de afastamento de minhas atividades docentes para que pudesse me qualificar e principalmente pelo apoio financeiro.

A Direção do Centro de Ciências Naturais e Tecnologia representada pela professora Eliane Coutinho na ajuda para a celeridade no processo de liberação, assim como ao Departamento de Tecnologia de Alimentos – Professora Silvana Melo e Coordenação do curso de Tecnologia de Alimento – Professor Darly Pompeu, pela mesma ajuda nos trâmites iniciais.

Aos amigos Márcio Franck, Tonye Waughon e Adriano Calandrine pelo apoio em todos os aspectos nesses dois anos longe.

A minha família que soube entender a oportunidade que surgiu e me apoiou desde o início.

Por fim e o mais importante agradecimento a minha esposa Kelly, que foi a pessoa que mais sofreu e dispensou esforços no cuidado com a Sara durante minha ausência. Serei eternamente grato.

“A visão do microscópio é o ópio do trivial”

Humberto Gessinger

RESUMO

As indústrias procuram cada vez mais tecnologias que atendam a demanda dos consumidores por alimentos com atributos sensoriais, nutricionais e que satisfaçam suas conveniências em termos de praticidade e inocuidade. O objetivo desta pesquisa foi a obtenção do pó de duas variedades de manga: Kent e Keitt através de desidratação por liofilização. O planejamento experimental fatorial completo do tipo 2^2 foi utilizado visando determinar a melhor condição de secagem, utilizou-se como variáveis independentes o tempo de liofilização e a concentração de maltodextrina e como variáveis dependentes a umidade, higroscopicidade, concentração de ácido ascórbico, rendimento, cor e atividade de água. Analisou-se a morfologia e as propriedades reológicas dos pós. Caracterizou-se as polpas e os pós definidos na melhor condição de tempo e concentração de maltodextrina. A partir dos resultados do planejamento, foi escolhido como a melhor condição de secagem o uso de 10% de maltodextrina e 24 horas de liofilização. A morfologia revelou a diminuição na porosidade dos pós com 10 e 15% de adjuvante de secagem. Para as propriedades reológicas, os pós com 5% de adjuvante foram classificados como muito coesivos e os pós com 10 e 15% classificados como de fácil fluxo e comportamentos semelhantes quanto à densidade aparente e ao ângulo de atrito. Na caracterização dos pós observou-se a diminuição da umidade, atividade de água, ácido ascórbico e carotenoides em comparação às polpas. Na cor, a luminosidade L^* aumentou e o parâmetro b^* (amarelo/azul), apesar da diminuição, permaneceu com valores que caracterizam a polpa de manga. Valores de higroscopicidade de 6,81 g/100g do pó Kent e 6,19g/100g do pó Keitt mostraram o efetivo efeito da maltodextrina. O modelo BET para o pó Kent e o modelo GAB para o pó Keitt foram os que melhor se ajustaram as isotermas de sorção, sendo que o aumento da maltodextrina influenciou quanto à menor adsorção de umidade. O estudo da estabilidade mostrou uma manutenção da umidade e ácido ascórbico, diminuição do parâmetro colorimétrico b^* e aumento do grau de *caking* em todas as embalagens ao término do armazenamento. Em síntese, a secagem das polpas de manga evidenciou a influência significativa do uso de maltodextrina na obtenção de um pó com melhores características morfológicas, de escoamento e de estabilidade.

Palavras-chave: Manga. Liofilização. Alimentos em pó. Isotermas de sorção. Estabilidade

ABSTRACT

Industries are increasingly looking for technologies that attend consumers' demand for foods with positive sensory and nutritional attributes and that meet their convenience by practicality and safety. This research aims to obtain the powder of two mango varieties, Kent and Keitt by freeze drying dehydration. The complete experimental design of type 2^2 was used in order to determine the best drying condition. The lyophilization time and the maltodextrin concentration were used as independent variables and as dependent variables the humidity, hygroscopicity, concentration of ascorbic acid, yield, color and water activity. The morphology and rheological properties of the powders were analyzed. The pulps and powders defined in the best condition of time and concentration of maltodextrin. From the results, pulps with 10% of maltodextrin and 24 hours of freeze drying was chosen as the best drying condition. The morphology revealed the decrease in porosity of the powders with 10 and 15% of maltodextrin. The powders with 5% of adjuvant were classified as very cohesive and the powders with 10 and 15% as easy flow. Similar behaviors regarding the apparent density and the angle of friction. In the powder characterization, the reduction of moisture, water activity, ascorbic acid and carotenoids was noticed compared to pulps. The luminosity (L^*) increased and the parameter b^* (yellow/blue), despite the decrease, remained with values that characterize the mango pulp. Hygroscopicity values, 6,81 g/100g (cv. Kent) and 6,19g / 100g (cv. Keitt) showed the effective effect of maltodextrin. The model BET for the Kent powder and the GAB model for the Keitt powder were the ones that best adjusted the sorption isotherms, and the increase of maltodextrin influenced as to the smallest adsorption of moisture. The study of stability showed a maintenance of moisture and ascorbic acid, decreased parameter colorimetric b^* and increase of the degree of barking in all packaging at the end of storage. In summary the drying of the mango pulp showed the significant influence of the use of maltodextrin in obtaining a powder with better morphological characteristics, of flow and stability.

Keywords: Mango. Freeze-drying. Powdered foods. Sorption isotherms. Stability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Manga Keitt.....	19
Figura 2	– Manga Kent.....	20
Gráfico 1	– Países importadores de frutas do Ceará.....	21
Gráfico 2	– Frutas exportadas do Ceará.....	22
Figura 3	– Diagrama dos diferentes estados da água, mostrando o ponto triplo.....	25
Figura 4	– Esquema liofilizador utilizado na secagem das polpas de manga.....	26
Figura 5	– Distribuição de umidade de um material liofilizado.....	26
Figura 6	– Função de fluxo.....	31
Figura 7	– Isotermas de sorção.....	33
Figura 8	– Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) da variável umidade do pó da polpa de manga Kent obtido por secagem em liofilizador.....	50
Figura 9	– Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) da variável umidade do pó da polpa de manga Keitt obtido por secagem em liofilizador.....	52
Figura 10	– Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) da variável higroscopicidade do pó da polpa de manga Kent obtido por secagem em liofilizador.....	56
Figura 11	– Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) da variável higroscopicidade do pó da polpa de manga Keitt obtido por secagem em liofilizador.....	58
Figura 12	– Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) da variável a^* do pó da polpa de manga Kent obtido por secagem em liofilizador.....	64
Figura 13	– Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) da variável a^* do pó da polpa de manga Keitt obtido por secagem em liofilizador.....	65
Figura 14	– Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) da variável b^* do pó da polpa de manga Keitt obtido por secagem em liofilizador.....	68
Figura 15	– Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) da variável L^* do pó da polpa de manga Kent obtido por secagem em liofilizador.....	71
Figura 16	– Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) da variável L^* do pó da polpa de manga Keitt obtido por secagem em liofilizador.....	72
Figura 17	– Micrografias da polpa de manga em pó Kent adicionada de maltodextrina a 5% (a), 10% (b), 15% (c), da polpa de manga em pó Keitt adicionada de	

	maltodextrina a 5% (d), 10% (e), 15% (f) e maltodextrina pura (g) com 75 aproximação de 1000x.....	
Figura 18	– Avaliação do escoamento dos pós de polpa de manga Kent com 5%, 10% e 15% de maltodextrina.....	78
Figura 19	– Avaliação do escoamento dos pós de polpa de manga Keitt com 5%, 10% e 15% de maltodextrina.....	79
Figura 20	– Densidade Aparente para os pós de polpa de manga Kent com diferentes concentrações de maltodextrina.....	80
Figura 21	– Densidade Aparente para os pós de polpa de manga Keitt com diferentes concentrações de maltodextrina.....	80
Figura 22	– Ângulo de atrito interno com a parede (ϕ_w) para os pós de polpa de manga Kent com diferentes concentrações de maltodextrina.....	82
Figura 23	– Ângulo de atrito interno com a parede (ϕ_w) para os pós de polpa de manga Keitt com diferentes concentrações de maltodextrina.....	82
Figura 24	– Isotermas de adsorção segundo modelo de BET para polpa de manga Kent (a) e o modelo de GAB para polpa de manga Keitt (b) a 25 e 40°C com adição de 5% de maltodextrina.....	95
Figura 25	– Isotermas de adsorção segundo modelo de BET para polpa de manga Kent (a) e o modelo de GAB para polpa de manga Keitt (b) a 25 e 40°C com adição de 10% de maltodextrina.....	96
Figura 26	– Isotermas de adsorção segundo modelo de BET para polpa de manga Kent (a) e o modelo e GAB para polpa de manga Keitt (b) a 25 e 40°C com adição de 15% de maltodextrina.....	96
Figura 27	– Isotermas de adsorção segundo modelo de BET para polpa de manga Kent (a) e o modelo de GAB para polpa de manga Keitt (b) a 25 °C com adição de 5, 10 e 15% de maltodextrina.....	98
Figura 28	– Isotermas de adsorção segundo modelo de BET para polpa de manga Kent (a) e o modelo de GAB para polpa de manga Keitt (b) a 40 °C com adição de 5, 10 e 15% de maltodextrina.....	98
Figura 29	– Umidade (%) das polpas de manga Kent e Keitt em pó desidratadas em liofilizador, armazenadas em diferentes condições.....	99
Figura 30	– Sólidos solúveis (°Brix) das polpas de manga Kent e Keitt em pó desidratadas em liofilizador, armazenadas em diferentes condições.....	100

Figura 31 – Atividade de água das polpas de manga Kent e Keitt em pó desidratadas em liofilizador, armazenadas em diferentes condições.....	101
Figura 32 – pH das polpas de manga Kent e Keitt em pó desidratadas em liofilizador, armazenadas em diferentes condições.....	103
Figura 33 – Acidez (%) das polpas de manga Kent e Keitt em pó desidratadas em liofilizador, armazenadas em diferentes condições.....	104
Figura 34 – Acido ascórbico (mg/100g) das polpas de manga Kent e Keitt em pó desidratadas em liofilizador, armazenadas em diferentes condições.....	105
Figura 35 – Cor L* das polpas de manga Kent e Keitt em pó desidratadas em liofilizador, armazenadas em diferentes condições.....	106
Figura 36 – Cor a* das polpas de manga Kent e Keitt em pó desidratadas em liofilizador, armazenadas em diferentes condições.....	107
Figura 37 – Cor b* das polpas de manga Kent e Keitt em pó desidratadas em liofilizador, armazenadas em diferentes condições.....	108
Figura 38 – Higroscopicidade das polpas de manga Kent e Keitt em pó desidratadas em liofilizador, armazenadas em diferentes condições.....	109
Figura 39 – Grau de Caking das polpas de manga Kent e Keitt em pó desidratadas em liofilizador, armazenadas em diferentes condições.....	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Composição química da manga em 100g de polpa.....	18
Tabela 2	– Classificação do tipo de fluxo de sólidos armazenáveis.....	31
Tabela 3	– Planejamento fatorial completo do tipo 2 ²	41
Tabela 4	– Planejamento experimental para a liofilização das polpas de manga Kent e Keitt.....	41
Tabela 5	– Resultados do planejamento experimental para as variáveis dependentes: umidade, higroscopicidade, ácido ascórbico e rendimento após liofilização da polpa de manga Kent.....	47
Tabela 6	– Resultados do planejamento experimental para as variáveis dependentes: umidade, higroscopicidade, ácido ascórbico e rendimento após liofilização da polpa de manga Keitt.....	48
Tabela 7	– Efeito estimado e grau de significância para umidade dos pós de manga Kent e Keitt obtidos por liofilização.....	49
Tabela 8	– Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para a variável umidade dos pós de manga Kent e Keitt.....	49
Tabela 9	– Efeito estimado e grau de significância para atividade de água dos pós de manga Kent e Keitt obtidos por liofilização.....	53
Tabela 10	– Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para a variável atividade de água dos pós de manga Kent e Keitt.....	54
Tabela 11	– Efeito estimado e grau de significância para higroscopicidade dos pós de manga Kent e Keitt obtidos por liofilização.....	55
Tabela 12	– Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para a variável higroscopicidade dos pós de manga Kent e Keitt.....	55
Tabela 13	– Efeito estimado e grau de significância para ácido ascórbico dos pós de manga Kent e Keitt obtidos por liofilização.....	59
Tabela 14	– Resultados do planejamento experimental para as variáveis dependentes: cor e atividade de água após liofilização da polpa de manga Kent.....	61
Tabela 15	– Resultados do planejamento experimental para as variáveis dependentes: cor e atividade de água após liofilização da polpa de manga Keitt.....	62
Tabela 16	– Efeito estimado e grau de significância para a* dos pós de manga Kent e Keitt obtidos por liofilização.....	63

Tabela 17 – Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para a variável a* dos pós de manga Kent e Keitt.....	63
Tabela 18 – Efeito estimado e grau de significância para b* dos pós de manga Kent e Keitt obtidos por liofilização.....	67
Tabela 19 – Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para a variável b* dos pós de manga Kent e Keitt.....	67
Tabela 20 – Efeito estimado e grau de significância para L* dos pós de manga Kent e Keitt obtidos por liofilização.....	69
Tabela 21 – Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para a variável L* dos pós de manga Kent e Keitt.....	70
Tabela 22 – Efeito estimado e grau de significância para rendimento do pós de manga Kent e Keitt obtidos por liofilização.....	73
Tabela 23 – Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para a variável rendimento dos pós de manga Kent e Keitt.....	74
Tabela 24 – Valores da tensão aplicada aos pós da polpa de manga Kent adicionados de 5, 10 e 15% de maltodextrina.....	77
Tabela 25 – Valores da tensão aplicada aos pós da polpa de manga Keitt adicionados de 5, 10 e 15% de maltodextrina.....	77
Tabela 26 – Valores dos índices de fluxo (ffc) dos pós de polpa de manga Kent e Keitt.....	78
Tabela 27 – Valores máximo e mínimo do ângulo de atrito interno com a parede dos pós de polpa de manga Kent e Keitt.....	81
Tabela 28 – Caracterização físico-química da polpa integral e do pó de manga Kent e Keitt.....	85
Tabela 29 – Resultados dos ajustes matemáticos para as isotermas de adsorção dos pós de manga Kent.....	92
Tabela 30 – Resultados dos ajustes matemáticos para as isotermas de adsorção dos pós de manga Keitt.....	93
Tabela 31 – Avaliação da umidade (%) dos pós de polpa de manga cv. kent e keitt durante 80 dias acondicionados em diferentes condições.....	130
Tabela 32 – Avaliação de sólidos solúveis (°Brix) dos pós de polpa de manga cv. kent e keitt durante 80 dias acondicionados em diferentes condições.....	130
Tabela 33 – Avaliação de atividade de água dos pós de polpa de manga cv. kent e keitt	

	durante 80 dias acondicionados em diferentes condições.....	131
Tabela 34	– Avaliação de pH dos pós de polpa de manga cv. kent e keitt durante 80 dias acondicionados em diferentes condições.....	131
Tabela 35	– Avaliação de acidez (%) dos pós de polpa de manga cv. kent e keitt durante 80 dias acondicionados em diferentes condições.....	131
Tabela 36	– Avaliação de ácido ascórbico (mg/100g) dos pós de polpa de manga cv. kent e keitt durante 80 dias acondicionados em diferentes condições.....	132
Tabela 37	– Avaliação da Cor L* dos pós de polpa de manga cv. kent e keitt durante 80 dias acondicionados em diferentes condições.....	132
Tabela 38	– Avaliação da Cor a* dos pós de polpa de manga cv. kent e keitt durante 80 dias acondicionados em diferentes condições.....	132
Tabela 39	– Avaliação da Cor b* dos pós de polpa de manga cv. kent e keitt durante 80 dias acondicionados em diferentes condições.....	133
Tabela 40	– Avaliação da Higroscopicidade (g/100g) dos pós de polpa de manga cv. kent e keitt durante 80 dias acondicionados em diferentes condições.....	133
Tabela 41	– Avaliação do Grau de <i>Caking</i> (%) dos pós de polpa de manga cv. kent e keitt durante 80 dias acondicionados em diferentes condições.....	133

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	Geral.....	16
2.2	Específicos.....	16
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
3.1	Manga.....	17
3.1.1	<i>Variedades.....</i>	18
3.1.2	<i>Produção de Manga.....</i>	20
3.2	Secagem de alimentos.....	22
3.2.1	<i>Liofilização.....</i>	24
3.2.2	<i>Adjuvantes em processos de secagem.....</i>	28
3.2.3	<i>Alimentos em Pó.....</i>	29
3.2.4	<i>Propriedades reológicas dos pós.....</i>	30
3.2.5	<i>Atividade de água e Isotermas de Sorção.....</i>	32
3.2.6	<i>Modelos matemáticos na predição de isotermas.....</i>	34
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	37
4.1	Obtenção da matéria-prima.....	37
4.2	Caracterização das polpas de manga cv. Kent e Keitt.....	37
4.3	Secagem das polpas.....	40
4.4	Rendimento do processo.....	40
4.5	Delineamento experimental.....	40
4.6	Caracterização de polpa de manga em pó.....	42
4.7	Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	42
4.8	Comportamento reológico do pó.....	43
4.9	Determinação das isotermas de sorção dos pós.....	43
4.10	Avaliação da estabilidade dos pós de polpa de manga cv. Kent e cv. Keitt.....	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
5.1	Resultados do planejamento experimental das variáveis: umidade, atividade de água, higroscopicidade e ácido ascórbico.....	46
5.1.1	<i>Análise Variável dependente umidade.....</i>	46
5.1.2	<i>Análise variável dependente atividade de água.....</i>	52

5.1.3	<i>Análise variável dependente higroscopicidade</i>	54
5.1.4	<i>Análise variável dependente concentração de ácido ascórbico</i>	58
5.2	Resultados do planejamento experimental das variáveis: cor e rendimento ...	60
5.2.1	<i>Análise variável dependente a*</i>	60
5.2.2	<i>Análise variável dependente b*</i>	66
5.2.3	<i>Análise variável dependente L*</i>	69
5.2.4	<i>Análise variável dependente rendimento</i>	73
5.3	Morfologia dos pós de manga cv. Kent e Keitt	74
5.4	Propriedades reológicas dos pós de polpa de manga cv. Kent e Keitt	76
5.5	Melhor condição do produto em pó obtido por liofilização a partir da polpa de manga cv. Kent e Keitt	83
5.6	Caracterização físico-química da polpa e do pó de manga cv. Kent e Keitt	84
5.7	Resultados das isotermas de adsorção dos pós de polpa de manga cv. Kent e Keitt	91
5.8	Resultados da estabilidade dos pós de polpa de manga cv. Kent e Keitt obtidos por liofilização	99
6	CONCLUSÃO	112
	REFERÊNCIAS	114
	APÊNDICE A – TABELAS DOS RESULTADOS DO ESTUDO DA ESTABILIDADE DOS PÓS DE MANGA C.V. KENT E KEITT OBTIDOS POR LIOFILIZAÇÃO	130

1 INTRODUÇÃO

A manga é um fruto bastante consumido em todo mundo, seu sabor, aroma e cor fazem com que o consumo e o comércio desse fruto seja um dos mais importantes no segmento de frutas in natura e industrializadas.

Apesar de boa parte da produção brasileira estar concentrada na variedade Tommy Atkins, por apresentar características superiores quanto a resistência ao transporte e à deterioração, observa-se atualmente, entre os principais exportadores, uma preocupação com a diversificação das variedades que forem exportadas prioritariamente ao mercado europeu.

As variedades Kent e Keitt ganham destaque nesse contexto, pois possuem características similares quanto ao tamanho, boa quantidade de polpa e baixa quantidade de fibras em relação a outras variedades de manga. Sendo apreciadas no mercado externo quanto ao seu sabor, entretanto, apresentam alta perecibilidade.

Processamentos como a secagem ou desidratação visam diminuir problemas como a perecibilidade em alimentos. É um processo unitário importante na produção de alimentos industrializados, pois atua na conservação através da redução da quantidade de umidade na matriz alimentar para níveis capazes de inibir atividades microbianas e enzimáticas.

Dentre as alternativas de secagem ou desidratação em alimentos a liofilização se destaca, pois é um tipo de secagem realizada a partir do alimento congelado seguido da diminuição da pressão em torno deste, onde a sublimação do gelo é alcançada.

Como a liofilização trabalha a temperaturas muito baixas, minimizando perdas de constituintes termossensíveis e conseqüentemente a manutenção de aspectos nutricionais desejáveis nos alimentos e produzindo pós com elevada qualidade em comparação a outros métodos de secagem.

Produtos em pó, além de satisfazerem os critérios de estabilidade e, no caso de pós obtidos por liofilização, manterem componentes característicos do fruto in natura, tem como outros atributos positivos a conveniência em vários aspectos, entre eles, a praticidade para o consumo e facilidades na distribuição e armazenamento. Em face disso, os setores alimentares, cada vez mais se aliam a diferentes alternativas em busca de suprir a demanda dos consumidores, bem como as suas no aspecto logístico.

O pó de manga é utilizado de forma diversa na indústria de alimentos e bebidas. Entre as utilizações estão: adição a suplementos alimentares, base para bebidas, energéticos e chás, além da utilização por parte das indústrias farmacêutica e cosmética.

Diante do exposto pretendeu-se neste trabalho obter um alimento em pó por liofilização a partir da polpa de manga, variedades Kent e Keitt, e avaliar as características físico-químicas, de estabilidade, morfológicas e de escoamento deste produto.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Obtenção e caracterização de um produto em pó a partir da polpa de manga, das variedades Kent e Keitt utilizando a liofilização como processo de desidratação.

2.2 Específicos

- Caracterização físico-química das polpas de manga, utilizadas para a desidratação;
- A partir do delineamento experimental determinar a melhor condição de secagem levando em consideração as variáveis tempo de liofilização e concentração do adjuvante de secagem (maltodextrina);
- Analisar as características físico, químicas e físico-químicas do material em pó obtido determinando;
- Analisar a morfologia dos pós por microscopia eletrônica de varredura.
- Avaliar as propriedades de escoamento do pó de polpa de manga adicionado de maltodextrina.
- Avaliar o melhor ajuste em relação aos modelos matemáticos de GAB, BET, Henderson e Oswin para as isotermas dos pós de manga cv. Kent e cv. Keitt com 5%, 10% e 15% de maltodextrina nas temperaturas 25°C e 40°C.
- Avaliar a estabilidade dos pós cv. Kent e cv. Keitt escolhidos a partir da melhor condição de secagem por um período de 80 dias de armazenamento.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Manga

A mangueira é originária do sul da Ásia, mais especificamente da Índia, onde existem mais de mil variedades e tem sido cultivada por mais de 4 mil anos, e do Arquipélago Malaio, de onde se espalhou para outras partes do mundo, inclusive para as Américas (GENU; PINTO, 2002).

A mangueira é uma árvore frondosa com porte variando de médio a grande, podendo atingir cerca de 40 metros ou mais, com copa simétrica de forma arredondada baixa à forma piramidal alta, podendo ser densa ou aberta (LOPES, 2015).

O fruto da mangueira é uma drupa bastante variável em termos de tamanho, peso, forma e cor. Em geral a cor do fruto está associada à cor da raque (segmento que prende o fruto). A casca é coriácea e macia; envolve a polpa, de cor amarela, mais ou menos fibrosa e de sabor variado. No interior da polpa encontra-se o caroço ou semente, que é fibroso e apresenta formas similares mas tamanhos diferentes nas variedades cultivadas (MATOS, 2000).

A polpa do fruto difere de variedade para variedade. Em algumas é excessivamente fibrosa, com fibras longas e duras ou longas e macias; em outras é curta; e há ainda algumas sem fibras. Quanto à coloração, no geral, é amarelada ou amarelo rosada (SIMÃO, 1998).

A manga madura possui, em média, 73% de polpa, 14% de semente e 13% de casca. Seu teor vitamínico muda conforme a variedade. Os frutos menores concentram maior quantidade de nutrientes que os maiores, e os frutos maduros possuem mais caroteno e açúcar em relação aos frutos verdes (VETUCCI; CALDERAN; BERALDO, 2016).

Na Tabela 1, observa-se a composição química da manga encontrada em 100 gramas de polpa em base úmida (ROCHA, 2013). Mangas são fonte de Vitamina C e seu conteúdo diminui durante o amadurecimento, variando de 13 a 178 mg por 100 g de polpa do fruto, de acordo com a cultivar avaliada. Vitamina B1, ácido fólico e carotenóides precursores da vitamina A também estão presentes nos frutos.

Tabela 1 – Composição química da manga em 100g de polpa.

Nutrientes	Valores em 100g de polpa
Umidade (g)	83,46
Proteínas (g)	0,82
Cinzas (g)	0,36
Fibra total (g)	1,60
Açúcar total (g)	13,66
Cálcio (mg)	11,00
Ferro (mg)	0,16
Magnésio (mg)	10,00
Fósforo (mg)	14,00
Potássio (mg)	168,00
Vitamina C (mg)	66,40

Fonte: ROCHA, 2013.

Carotenóides, tais como β -caroteno, zeaxantina, violaxantina e neoxantina, já foram observados e são pigmentos responsáveis pela coloração amarelo-alaranjada do exocarpo e do mesocarpo (NASSUR, 2013).

3.1.1 Variedades

No Brasil, desde o século XVI, a dispersão da manga, provocada pelos índios e bandeirantes pelo interior do país, fez as mangueiras cruzarem-se naturalmente, gerando alta heterozigose, que passou a ser, portanto, a grande responsável pela variabilidade genética da espécie, dando origem a mais de 120 variedades dispersas no território nacional (FAVERO, 2010).

As primeiras variedades de manga introduzidas no Brasil foram da variedade filipínica na época da colonização. Sendo produzida em pomares domésticos sem expressão econômica até meados de 1960, quando foram introduzidas variedades indianas melhoradas, impulsionando o cultivo planejado da manga, produzindo frutos com pouca fibra, casca colorida quando maduras e com certa resistência a antracnose. A partir desse momento a mangicultura passou a ter importância econômica (GENU; PINTO, 2002).

No país, são encontrados grandes plantios com mangueiras multiplicadas sexualmente e extensivamente cultivadas, mostrando uma intensa variabilidade genética resultante de cruzamentos, intra e interespecíficos (CRISÓSTOMO; NANOY, 2009).

Segundo Simão (1998), dentre as variedades de valor comercial para consumo in natura, destacam-se as seguintes: Bourbon, Brasil, Carlota, Cingapura, Extrema, Família, Haden, Imperial, Itamaracá, Monte d'Este, Non-plus-ultra e Oliveira-Neto. Já para a indústria, as mais processadas são: Haden, Extrema, Santa Alexandrina, Carlota e Itamaracá, e dentre elas as variedades americanas: Tommy Atkins, Zill, Van Dyke, Keitt, Kent, Palmer e Ruby.

Comercialmente, a manga se distingue em duas categorias: a de coloração vermelha e as oblongas (com formato oval). As mangas vermelhas como Tommy Atkins, Keitt, Kent e Palmer são responsáveis pela maior parte do comércio internacional (VETUCCI; CALDERAN; BERALDO, 2016).

Matos (2000) descreveu as variedades Keitt e Kent da seguinte forma:

✓ Keitt

Seus frutos são grandes (até 15cm de comprimento, 600g a 800 g), ovalados, de casca amarelo-esverdeada, geralmente com laivos leves cor-de-rosa, polpa de tom amarelo-intenso, sem fibras, firme, sucosa e doce. A semente é pequena (7% a 8,5% do peso do fruto) e monoembriônica. A Figura 1 mostra a manga Keitt inteira e sua parte interna. A planta é muito produtiva, medianamente resistente à antracnose, possuindo hábito de crescimento típico, representado por ramos abertos e arcados, e folhas voltadas para a base dos ramos, o que resulta num formato irregular da copa. Tem maturação tardia e os frutos mantêm-se na planta por longo período. Apresenta boa resistência ao transporte.

Figura 1 – Manga Keitt



Fonte: MOUCO, 2010.

✓ Kent

A árvore é vigorosa, produtiva, de porte médio e copa compacta e arredondada. O fruto é grande (13 cm de comprimento, 600 g a 750 g) e ovalado, de casca entre verde-claro e amarelo, laivos carmesim, adquirindo tom avermelhado com o amadurecimento. A polpa é amarelo-alaranjada, doce, sem fibra, aromática e sucosa. A Figura 2 mostra a manga Kent inteira e sua parte interna. A maturação é tardia, produz semente pequena (em torno de 9% do peso do fruto) e monoembriônica. É suscetível às principais doenças.

Figura 2 – Manga Kent



Fonte: MOUCO, 2010

3.1.2 Produção de Manga

A fruticultura é um dos setores de maior destaque do agronegócio brasileiro. Através de uma grande variedade de culturas, produzidas em todo o país e em diversos climas, a fruticultura conquista resultados expressivos e gera oportunidades para os pequenos negócios brasileiros. O Brasil é o terceiro maior produtor de frutas no mundo, ficando atrás apenas de China e Índia, o que mostra a relevância do setor para a economia do país (SEBRAE, 2015). A fruticultura está presente em todos os 26 estados brasileiros e no Distrito Federal, variando em quantidade e espécies cultivadas (TREICHEL et al, 2016).

Segundo a OECD-FAO (2016), boa parte desta produção é absorvida pelo mercado interno e dentre as principais frutas produzidas estão bananas, maçãs, uvas, melões e frutas tropicais, especialmente, manga, abacate e abacaxi.

Por outro lado, o total de frutas frescas, secas e processadas destinadas aos consumidores estrangeiros são bastante variadas, mas algumas delas continuam se destacando na lista das mais exportadas como o melão, limão e lima, uva, mamão, maçã e manga. No

Brasil em 2015, a maior receita, de US\$ 184,342 milhões, foi obtida com o embarque de 156,337 mil toneladas de manga. O resultado obteve alta de 17,52% em toneladas e de 12,59% em valor em relação ao verificado no ano de 2014 (TREICHEL et al, 2016).

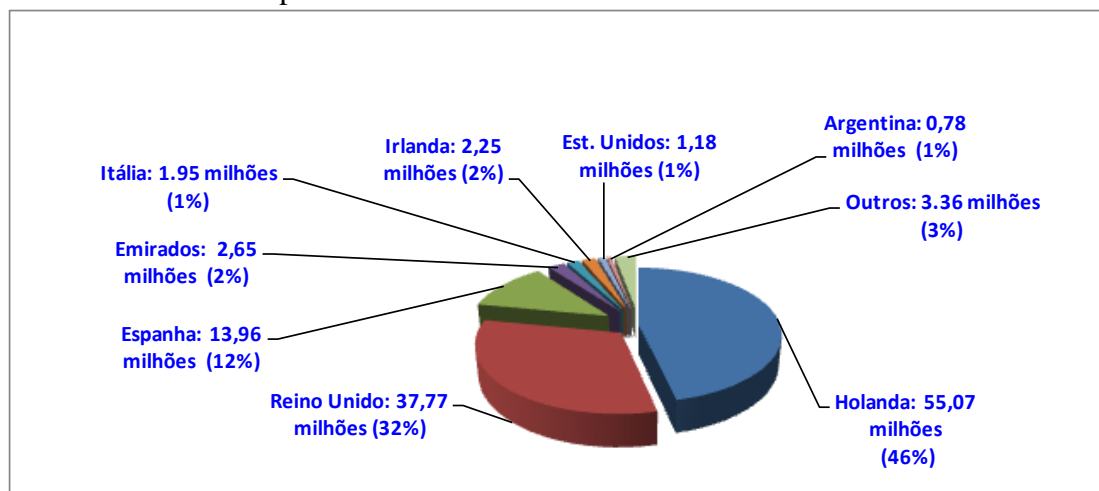
O Brasil foi um grande destaque no mercado internacional de manga em 2015. Além da atratividade do câmbio, o mercado europeu, principal comprador da fruta, esteve desabastecido devido à quebra de safra em países que competem com o Brasil (HORTIFRUTI BRASIL, 2016).

No ano de 2015, a região de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA) concentraram a maior produção de manga do País, com 25.750 hectares. O Vale do São Francisco produz Tommy Palmer, Keitt, Kent e Haden. A safra de Livramento da Nossa Senhora, na Bahia, vem em segundo lugar com 10.035 hectares (VETUCCI; CALDERAN; BERALDO, 2016).

No caso da produção, dados afirmam que, o Brasil produziu em 2014, 1.132.449 toneladas do fruto e o estado do Ceará teve a quinta maior produção dentre as 27 federações com 4,35% desse montante. Mesorregiões Norte Cearense e Sul Cearense se sobressairam como as maiores produtoras de manga, ficando com Mauriti, cidade ao sul do estado do Ceará, o município com maior produção do fruto (IBGE, 2014).

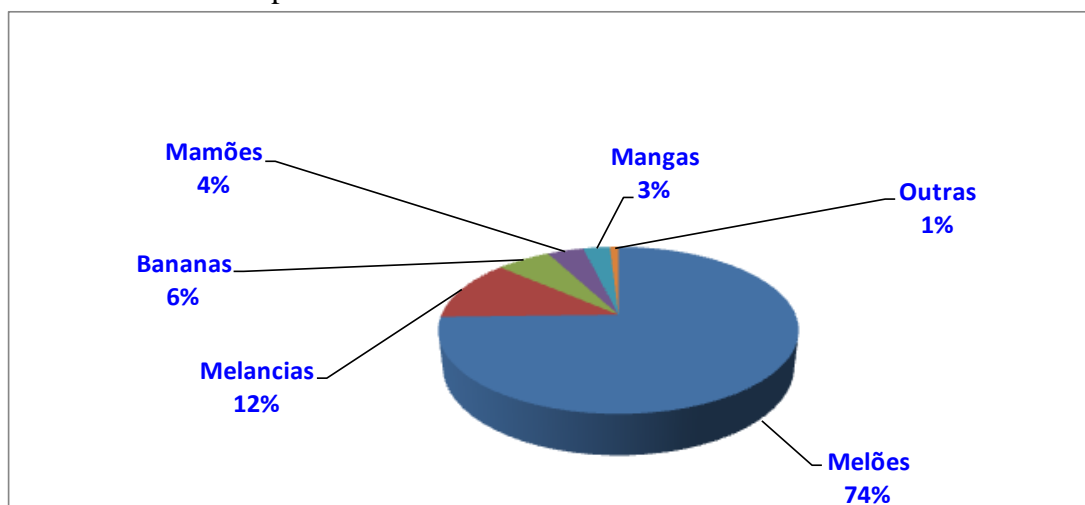
Dentre os estados brasileiros, o Ceará desponta como o principal exportador de frutas frescas e processadas (exceto sucos), contribuindo com 23,4% da receita total, com embarques de US\$ 207,967 milhões e de 181,908 mil toneladas (TREICHEL et al, 2016). Os gráficos 1 e 2 apresentam a distribuição dos países e os frutos envolvidos nas exportações do estado do Ceará, e que ratificam o mercado europeu como maior comprador e a manga entre os cinco frutos mais exportados pelo estado.

Gráfico 1 – Países importadores de frutas do Ceará



Fonte: ADECE, 2016

Gráfico 2 – Frutas exportadas do Ceará.



Fonte: ADECE, 2016

3.2 Secagem de alimentos

A secagem é definida como aplicação do calor sob condições controladas para remover, por evaporação (ou, no caso da liofilização, por sublimação) a maior parte da água presente em um alimento (FELLOWS, 2006).

Segundo Ordóñez (2005), os principais objetivos pelos quais as indústrias alimentícias recorrem à secagem podem ser resumidos nos seguintes pontos:

- Aumentar o período de conservação de alimentos. Trata-se do método de conservação que inibem o crescimento dos microrganismos, a atividade de algumas enzimas e determinadas reações químicas através da redução da atividade de água.
- Reduzir o peso e o volume dos alimentos para facilitar e baratear os custos de transporte e armazenamento. A eliminação da água, componente majoritário dos alimentos, causa a redução do peso e, algumas vezes, do volume.
- Facilitar o uso e diversificar a oferta de produtos. Em algumas situações, a desidratação permite a obtenção de produtos de fácil utilização e com características organolépticas distintas.

Os processos de secagem podem ser amplamente classificados com base no método aplicado para a remoção de água, como a secagem térmica, a desidratação osmótica e a desidratação mecânica. Na secagem térmica, um meio gasoso ou inerte é usado para

remover a água do material, podendo ser dividida em três tipos: secagem do ar, ambiente reduzido de ar de secagem e secagem por atmosfera modificada (RAHMAN, 2007).

O ar é o meio de secagem mais utilizado por sua abundância, conveniência e porque seu controle no aquecimento do alimento não apresenta maiores problemas, além de não ser necessário nenhum sistema de recuperação de umidade como nos outros gases (GAVA, 2008).

Deve-se considerar muitos fatores antes de escolher um processo de secagem. Entre eles estão: o tipo de produto a ser seco, propriedades desejadas do produto final, tolerância de temperatura permitida, susceptibilidade do produto ao calor, pré-tratamentos necessários, de capital, custos de processamento e fatores ambientais. Não existe uma melhor técnica de secagem que seja aplicável à todos os alimentos (RAHMAN, 2007).

Segundo Berk (2009), as questões mais importantes nos aspectos da engenharia e tecnologia na desidratação de alimentos são as seguintes:

- ✓ A cinética de secagem: com algumas exceções como secagem por pulverização, a secagem é um processo relativamente lento. O conhecimento dos fatores que afetam a velocidade de secagem é essencial para a concepção ótima e operação dos sistemas de secagem.
- ✓ A qualidade do produto: a remoção de água não é a única consequência da maior parte das operações de secagem, outras mudanças importantes relacionadas com a qualidade em relação ao sabor, aroma, aparência, textura e valor nutritivo podem ocorrer no decurso da secagem. As consequências de tais mudanças dependem das condições do processo.
- ✓ Consumo de energia: processos de secagem mais comuns usam grandes quantidades de energia com uma eficiência relativamente baixa.

Os problemas relacionados à secagem são diversos, uma vez que vários alimentos com propriedades físicas/químicas muito diversas precisam ser secos em diferentes escalas de produção e com especificações de qualidade de produto muito diferentes (MUJUMDAR; WU, 2010).

O aumento da concorrência em virtude da globalização, juntamente com a crescente demanda dos consumidores por produtos de melhor qualidade, aliada à necessidade de processos ecológicos e sustentáveis para manter a competitividade com o mínimo impacto no meio ambiente, continuará buscando inovações no processo de secagem. Isto irá

impulsionar ainda mais os esforços para melhorar o desempenho das tecnologias de secagem existentes e o desenvolvimento de novos conceitos desse processo (SABAREZ, 2016).

Zotarelli (2014) avaliou as características da manga em pó por diferentes processos de secagem tais como: *refractance window* (RW), *spray drying* e liofilização com o intuito de determinar o melhor processo de secagem, entre os descritos, para esse fruto.

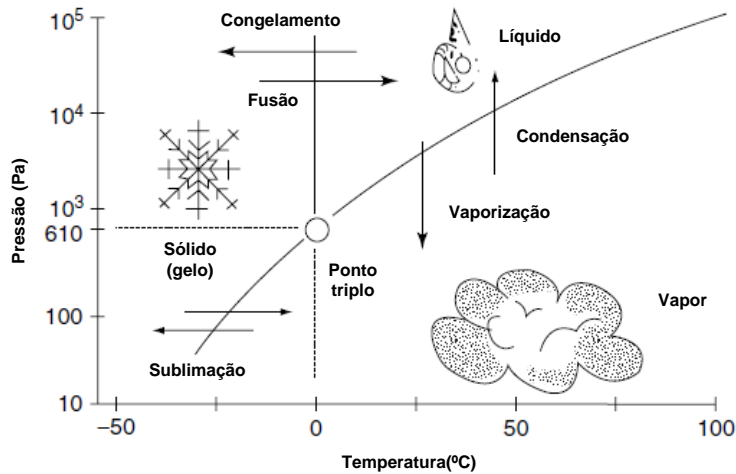
3.2.1 Liofilização

A liofilização ou criosecagem (*freeze-drying*) é um processo de desidratação de produtos em condições de pressão e temperatura tais que a água, previamente congelada, passa do estado sólido diretamente para o estado gasoso (sublimação) (GAVA, 2008). A sublimação evita o efeito de contração (colapso), que ocorre durante a secagem convencional. Ao contrário, ocorre a formação de poros e o formato do produto é mantido, o que facilita e acelera a reidratação, além de manter a aparência do produto desidratado mais semelhante à do material original (AZEREDO, 2012). Como esse processo é realizado à temperatura baixa e na ausência de ar atmosférico, as propriedades químicas e sensoriais são pouco alteradas (GAVA, 2008).

Na liofilização o material congelado é submetido a uma pressão abaixo do ponto triplo (0,01 °C, pressão: 611,23 Pa) e aquecimento para provocar a sublimação. É um método habitualmente utilizado para os produtos secos de alta qualidade, que contêm componentes sensíveis ao calor. No entanto, a liofilização é um processo lento e dispendioso, que requer tempo de processamento longo e energia adicional para o funcionamento do compressor e da unidade de refrigeração, o que torna o processo muito caro. O diagrama esquemático dos diferentes estados da água com o ponto triplo é mostrado na Figura 3 (RAHMAN, 2007).

A processo de liofilização envolve as etapas de congelamento do produto, sublimação do gelo e remoção de vapor de água. A remoção de vapor de água da câmara é o mais caro desses processos, e a viabilidade da liofilização, freqüentemente depende desta etapa (HELDMAN; LUND, 2007).

Figura 3 – Diagrama dos diferentes estados da água, mostrando o ponto triplo.



Fonte: RAHMAN, 2007

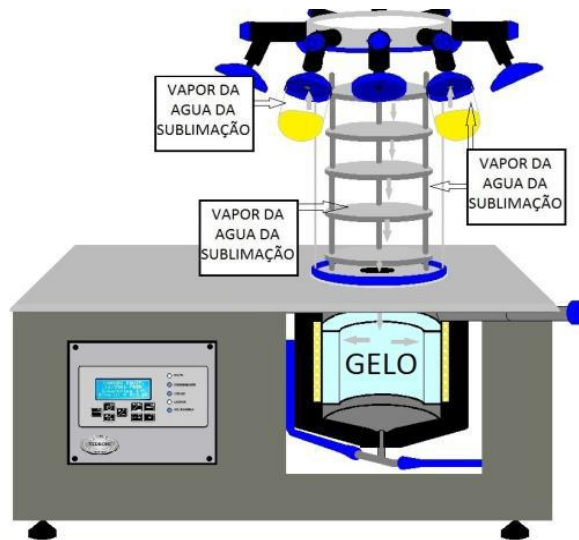
Ordóñez, 2005 descreve as etapas da liofilização da seguinte forma:

1º *Desidratação Primária*: após congelar o alimento a pressão reduz-se abaixo de 600 Pa. Essa operação deve ser cuidadosamente regulada, pois ela precisa proporcionar a força condutora para a sublimação, porém a temperatura deve ser mantida abaixo do ponto triplo para evitar que o gelo se funda.

2º *Desidratação Secundária ou Dessorção*: depois de eliminado todo gelo do alimento, ele continua retendo certa quantidade de água líquida. Para obter um produto estável, o conteúdo de umidade deve ser reduzido à percentagem de 2 a 8%, correspondente à água fortemente ligada, por evaporação ou dessorção. Isso pode ser conseguido se o alimento, parcialmente seco, permanecer no liofilizador e for aquecido até que sua temperatura atinja de 20°C a 60°C, mantendo o vácuo. Dessa forma, ocorre a evaporação de grande parte da água mais fortemente ligada.

Um coletor de vapor é colocado entre a câmara de secagem e a bomba de vácuo (Figura 4). A eficiência do coletor de vapor é dependente da diferença de pressão entre a câmara de liofilização e a área do coletor, da temperatura do coletor, da espessura do gelo acumulado nele e da diferença de temperatura entre a superfície do coletor e o refrigerante em evaporação (HELDMAN; LUND, 2007).

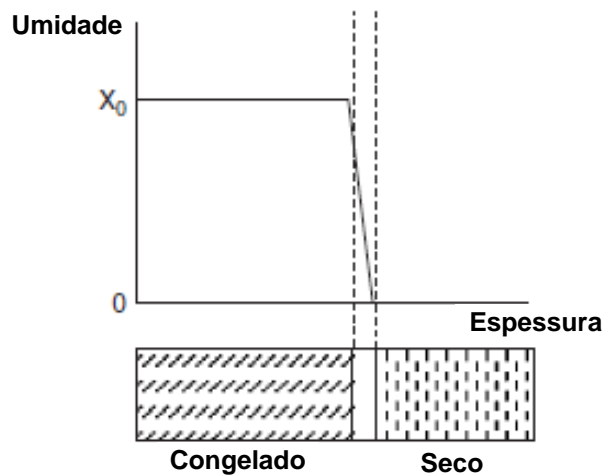
Figura 4 – Esquema liofilizador utilizado na secagem das polpas de manga.



Fonte: TERRONI, 2017.

Como qualquer outro processo de desidratação, a liofilização envolve a transferência simultânea de calor e massa. A distribuição de conteúdo de umidade através do material submetido à liofilização é diferente do observado em outros processos de desidratação. Geralmente, duas zonas distintas, separadas por uma interface bastante nítida são observadas: uma zona congelada e uma “zona seca” como mostra a Figura 5 (BERK, 2009).

Figura 5 – Distribuição de umidade de um material liofilizado



Fonte: BERK, 2009

Os perfis de temperatura e umidade dentro do alimento durante a liofilização dependem dos coeficientes de transmissão de calor e massa. O calor é transferido até à frente de sublimação (fronteira entre produto seco e produto congelado). Dependendo da fonte de calor, a transferência de calor pode ocorrer através da camada congelada, através da camada desidratada ou em ambas. Quando ocorre a sublimação, o vapor d'água se desloca para a superfície por um mecanismo de transferência de massa que depende da estrutura do material liofilizado (VANACLOCHA; REQUENA, 2003).

No caso das células que compõem as frutas e hortaliças, elas são constituídas de proteínas, soluções aquosas e componentes celulares como o composto pectico. A estrutura das plantas é de tal forma que a sua orientação durante a secagem por congelamento não é importante. O importante é que a estrutura não esteja danificada e que produza um produto firme e crocante. Frutos para serem liofilizados devem ter um elevado teor de sólidos e uma boa cor e sabor (HELDMAN; LUND, 2007).

Entre vantagens e desvantagens do processo de liofilização, Vanaclocha e Requena (2003) citam.

Vantagens:

- Temperaturas de trabalho muito baixas provocando, poucas alterações em alimentos termosensíveis;
- Não há perigo de oxidação durante o processo;
- Não existe água livre, portanto, não há perigo de hidrólise ou crescimento microbiano;
- Na sublimação do gelo há formação de poros que permitem rápida reidratação e reconstituição;
- Umidade residual baixa;
- Elevada conservação do produto;
- Alta retenção de aromas.

Desvantagens:

- Processo lento;
- Alto investimento em equipamentos;
- Custos elevados com energia;
- Possíveis danos ao produto devido à variação de pH, que acontece devido à concentração de solutos.

Estudos para avaliar a melhor característica do produto seco a partir do fruto jujuba (*Ziziphus jujuba* Mill.) e em diferentes processos de secagem, como, secagem por convecção, secagem por vácuo-microondas, secagem combinada por convecção e vácuo-microondas e liofilização, avaliando os parâmetros: compostos bioativos, capacidade antioxidante e atributos sensoriais, encontraram melhores resultados, no que tange a manutenção desses parâmetros, no processo de liofilização (WOJDYŁO, 2016).

Argyropoulos; Heindl; Müller, 2011, relatam que os produtos liofilizados produziram uma deterioração de cor mínima e maior luminosidade, bem como os menores valores de amarelamento. Outros autores citam um aumento nas concentrações totais de fenólicos e antocianinas, o nível de aumento primário depende do tipo de material analisado, como o tomate (CHANG et al, 2006), gengibre (CHAN et al, 2009), framboesas (convencionais e orgânicas) e mirtilo (SABLANI et al, 2011).

3.2.2 Adjuvantes em processos de secagem

Diversos aditivos podem ser utilizados na secagem para melhorar o rendimento, alguns inclusive promovem modificações nas propriedades do pó seco, tornando-o mais estável ou protegendo-o contra a degradação dos componentes bioativos presentes. A utilização dos adjuvantes também melhora o manuseio do produto final, tornando-o menos higroscópico, conferindo maior proteção contra a adsorção de umidade do ambiente (TONON, 2009).

Vários são os tipos de adjuvantes que podem ser utilizados em secagens, entre eles, carboidratos (amidos, maltodextrinas, dextranas, sacarose, celulose e derivados), gomas (goma arábica, Agar, carragena, etc.), lipídeos (ceras, parafina, diglicerídeos, etc.) e proteínas (glúten, caseínas, gelatinas, albuminas, hemoglobinas e peptídeos) (ALMEIDA, 2012).

A aceitabilidade de produtos alimentícios é determinada por muitos fatores, incluindo aroma, sabor, cor e textura. Em polpa de frutas desidratadas o tipo de processo de desidratação, bem como a utilização de adjuvantes de secagem, tais como carboidratos, pode ter grande influência sobre esses atributos (GALMARINI et al., 2009).

Um adjuvante muito utilizado em processos de secagem, incluindo a liofilização, é a maltodextrina devido sua eficácia como adjuvante aliado ao seu baixo custo. Maltodextrinas são produtos obtidos pela hidrólise do amido, constituídos de unidades β -D-glicose e são, geralmente, classificados de acordo com sua dextrose-equivalente. São usados, principalmente, em materiais de difícil secagem, como sucos de frutas, para reduzir a

viscosidade e os problemas de aglomeração durante o armazenamento, bem como melhorar a estabilidade do produto (CANUTO, 2011).

Utilizada na liofilização da polpa de cajá, a maltodextrina foi efetiva para a diminuição da higroscopicidade, do grau de *caking* e o aumento do conteúdo de água na monocamada, gerando um pó mais estável (OLIVEIRA; COSTA; AFONSO, 2014).

Canuto (2011) em seu estudo de obtenção de mamão em pó por liofilização cita que o aumento da concentração de maltodextrina propiciou uma melhor retenção de vitamina C durante o armazenamento do produto, além de reduzir a higroscopicidade nos pós de mamão liofilizado, resultando em maior estabilidade da atividade de água e manutenção dos níveis de umidade.

Além da liofilização outros métodos de secagem utilizam adjuvantes com o objetivo de melhorar o processo. Zotarelli *et al* (2017) na produção de manga em pó obtida em *spray drying* é conclusiva em avaliar que a secagem deve ser feita com o adjuvante no intuito de minimizar a aderência do pó na parede do secador.

Caparino *et al.* (2012) na obtenção de manga em pó por *spray drying* justifica o uso do adjuvante na melhora da pulverização da amostra rica em açúcar no secador.

3.2.3 Alimentos em Pó

A indústria de alimentos em pó tem se expandido notavelmente devido às vantagens que a utilização e o manejo dos pós oferecem, principalmente no que diz respeito ao seu emprego como matéria-prima ou aditivo, sua facilidade de conservação em longo prazo e o baixo custo de transporte e armazenamento. Estes alimentos são classificados de acordo com seu uso, maior quantidade de componente químico, tamanho, padrão de absorção de umidade e, finalmente, pela facilidade de escoamento (SOUZA, 2009).

O conhecimento das propriedades dos alimentos é essencial para otimizar processos, funcionalidades e para reduzir custos. As propriedades químicas e físicas têm recebido bastante atenção no caso dos pós produzidos ou utilizados nas indústrias farmacêutica, alimentícia, cerâmica, metalúrgica, entre outras. As propriedades físicas incluem forma, densidade, porosidade, pegajosidade (*stickiness*), tamanho e diâmetro médio das partículas, enquanto as propriedades químicas estão relacionadas à composição do alimento e suas interações com outras substâncias, como solventes ou outros componentes dentro de sua própria estrutura (BARBOSA-CÁNOVAS *et al*, 2007).

Fenômenos de transferência de calor e massa podem ter efeitos profundos sobre a qualidade dos alimentos desidratados, podendo causar alterações nos atributos de textura, aparência, cor, aroma, sabor e valor nutricional (BERK, 2009).

Os alimentos liofilizados apresentam alta retenção das características sensoriais e qualidade nutricionais, apresentando uma vida útil maior que 12 meses quando corretamente embalados, mesmo que não refrigerados (FELLOWS, 2006).

Segundo Santos *et al* (2003), os produtos em pó liofilizados apresentam alguns pontos negativos, tais como: facilidade de hidratar e fragilidade, havendo a necessidade de ser cuidadosamente embalados e armazenados; são porosos, portanto, são mais suscetíveis as reações de oxidação (lipídeos, pigmentos, vitaminas e substâncias aromáticas) o que limita sua conservação, sendo aconselhável o acondicionamento à vácuo, em atmosferas inertes, embalagens impermeáveis ao oxigênio e opacas; a porosidade, a solubilidade e o grau de secagem fazem com que o material seja muito higroscópico.

Além disso, danos térmicos excessivos causados pelo congelamento, pode reduzir a capacidade de retenção de água do produto reconstituído, que resulta em uma aparência e textura pobre (BRENNAN; BUTTERS; COWELL, 1998).

Ordóñez, 2005 cita que nos produtos em pó, a reconstituição depende de várias propriedades, entre as quais encontram-se:

- a) Umectabilidade: capacidade das partículas em pó de adsorver água em sua superfície, iniciando-se assim sua reidratação.
- b) Submergibilidade: capacidade das partículas de pó em afundar rapidamente em água, dependendo, principalmente, do tamanho e da densidade da partícula.
- c) Dispersibilidade: facilidade com que as partículas em pó se distribuem como entidades individuais na superfície e dentro da água de reconstituição.
- d) Solubilidade: refere-se à velocidade e ao grau com que os componentes das partículas de pó se dissolvem na água.

3.2.4 Propriedades reológicas dos pós

Xu, Pegg e Kerr (2016) citam que a fluidez é um atributo chave e que determina como o consumidor interage com o produto em pó, sendo que pós que não fluem bem podem ser vistos como defeituosos pelos consumidores, além de que pós excessivamente coesos pode causar problemas na formulação de alimento por exemplo.

O conhecimento das propriedades reológicas do pó ou sua fluidez é crucial para prevenir sérios problemas como aglomeração e aderência durante a produção, armazenamento e transporte. A fluidez de alimentos em pó pode ser avaliada por diferentes indicadores como índice de fluxo (ffc), densidade aparente e ângulo de atrito interno com a parede (ϕ_w) (GHODKI; GOSWANMI, 2016).

A fluidez pode ser classificada de acordo com o índice de fluxo (ffc) e obtida através da razão entre a média da tensão principal de consolidação (σ_1) e da tensão não confinada de deslizamento (σ_c) (JULIANO; BARBOSA-CÁNOVAS, 2010). Na Tabela 2 é apresentada a classificação dos pós quanto ao seu escoamento levando em consideração os valores obtidos para o índice de fluxo.

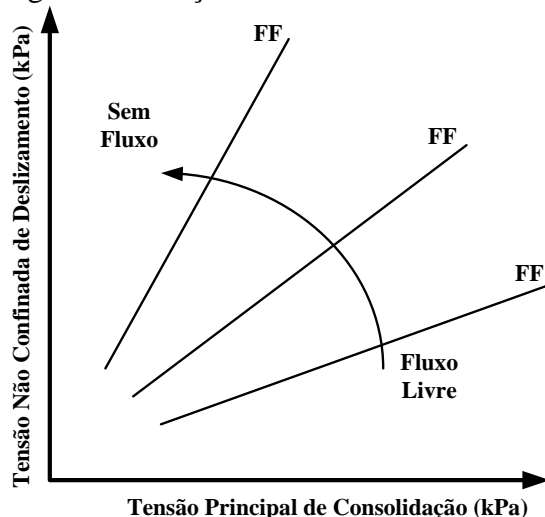
Tabela 2 – Classificação do tipo de fluxo de sólidos armazenáveis

Tipo de fluxo	Índice de fluxo (ffc)
Sem fluxo	$ffc < 1$
Muito coesivo	$1 < ffc < 2$
Coesivo	$2 < ffc < 4$
Fácil	$4 < ffc < 5$
Livre	$Ffc > 10$

Fonte: Jenike (1964)

A função de fluxo pode ser representada por um gráfico no qual relaciona valores da tensão principal de consolidação (σ_1) e tensão não confinada de deslizamento (σ_c). A Figura 6 apresenta a função de fluxo de um produto.

Figura 6 – Função de fluxo



Fonte: Adaptado de Lopes Neto et al. (2007)

Uma função de fluxo deitado na parte inferior do gráfico representa fácil fluxo e fluxo mais difícil é representado como o a função de fluxo movendo-se para cima no sentido anti-horário (FITZPATRICK; BARRINGER; IQBAL, 2004).

A densidade aparente, segundo Marques *et al.* (2014), é um indicador de facilidade de reconstituição, embalagem, transporte e armazenamento de alimentos em pó. Shishir *et al.* (2014) afirmam que, de acordo com a metodologia utilizada, a densidade aparente é uma aferição de baixo custo para prever a qualidade das partículas.

O ângulo de atrito interno com a parede (ϕ_w) é uma medida do atrito entre o pó e as paredes do sistema de confinamento. O ângulo descreve o atrito e a força adesiva entre o pó e o material onde o pó está confinado e pode ser utilizado como informação complementar para caracterizar a capacidade do pó em escoar. (JULIANO; BARBOSA-CÁNOVAS, 2010; THOMSON, 1997).

3.2.5 Atividade de água e Isotermas de Sorção

A água é um dos componentes mais importantes nos alimentos. Em alimentos desidratados, com destaque para os pós, sua relação deve ser bem compreendida, pois é um dos principais fatores que podem prejudicar a qualidade e a vida útil do produto final (ZOTARELLI, 2014).

A presença e o estado da água em um material são descritas pelo equilíbrio entre o teor de água no interior do alimento e a atividade da água do alimento. Esta é a situação de alimentos higroscópicos. Para materiais não higroscópicos, a pressão de vapor acima da superfície (P) é igual à pressão de vapor da água à mesma temperatura (P_0). Para um material higroscópico, a pressão de vapor acima da superfície é menor e a relação P/P_0 é chamada de atividade de água (HELDMAN; LUND, 2007).

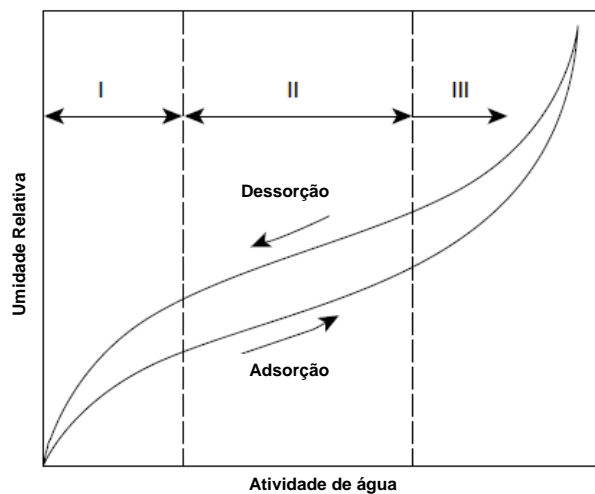
Segundo Tonon (2009), o nível de umidade que o produto alcança, quando deixado em contato com uma determinada condição atmosférica por um longo período de tempo, é definido como umidade de equilíbrio. No equilíbrio, a atividade de água (a_w) está relacionada com a umidade relativa (UR) do ambiente, através da Equação 1:

$$a_w = \frac{P}{P_0} = \frac{UR}{100} \quad (\text{Equação 1})$$

As isotermas de sorção são funções da a_w ou da umidade relativa de equilíbrio (UR.e) à temperatura constante. O fenômeno de sorção depende de muitos fatores, como composição química, estado físico-químico dos ingredientes e estrutura física. A relação entre o conteúdo total de umidade e a atividade de água no alimento, sobre faixas de valores à temperaturas constantes, produz isotermas de sorção que podem ser expressas graficamente (Figura 7) (SOUZA, 2015).

A diferença do teor de umidade de equilíbrio entre as curvas de adsorção e dessorção é chamada histerese (Figura 6). A região I, representa a monocamada, que é muito estável, não congelável e não removível por secagem. A região II representa a água adsorvida nas múltiplas camadas dentro do alimento e soluções de componentes solúveis. A região III é representada pela “água livre” condensada dentro da estrutura capilar ou nas células do alimento. Ela está mecanicamente presa dentro do alimento e é mantida apenas por forças fracas, sendo facilmente removida por secagem (FELLOWS, 2007).

Figura 7 – Isotermas de sorção.



Fonte: SOUZA, 2015; RAHMAN, 2007

Segundo Souza (2015), as curvas de isotermas podem ser obtidas em duas formas:

- Isotermas de adsorção: são obtidas no material quando este está completamente seco, assim o incremento do conteúdo de umidade de equilíbrio à várias a_w , a uma temperatura constante, faz com que este material ganhe peso devido à entrada de água em sua estrutura.

- Isotermas de dessorção: são obtidas no material quando este está completamente úmido e, dependendo da a_w do sistema, a umidade de equilíbrio do material diminui na medida em que este cede água para o sistema.

A base do conhecimento das curvas de adsorção e dessorção são úteis para o processo de secagem, a seleção de um equipamento adequado para secagem, o material da embalagem e a previsão de estabilidade durante a vida útil de armazenamento e transporte do produto (SAMAPUNDO *et al.*, 2007; PAGLARINI *et al.*, 2013).

3.2.6 Modelos matemáticos na predição de isotermas

As isotermas de sorção normalmente são representadas por modelos matemáticos empíricos e teóricos. A literatura apresenta uma longa lista de modelos disponíveis, que podem ser baseados em teorias sobre os mecanismos de sorção, ou ainda, serem puramente empíricos ou semi-empíricos. A escolha do modelo mais apropriado geralmente é baseada no grau de ajuste dos dados experimentais e no significado físico do modelo (TONON, 2009).

Para a predição do conteúdo de umidade de sorção, encontram-se cerca de 270 modelos matemáticos em uso, com dois ou mais parâmetros como constantes. Os modelos são propostos para avaliar o conteúdo de umidade nas isotermas de sorção e classificam-se em teóricos, semi-empíricos e empíricos (BARBOSA-CÁNOVAS *et al.*, 2007).

Modelos baseados na cinética da monocamada, multicamada e a camada condensada são agrupados nos modelos teóricos. As constantes destes modelos, ao contrário dos modelos empíricos ou semi-empíricos, são propriedades físicas da matéria. Dependendo do modelo baseado na análise das isotermas, existe um segmento onde as constantes podem não ser satisfatórias, ou seja, que para cada tipo de alimento (dependendo de sua composição) a a_w influencia na determinação dos cálculos destas constantes (SOUZA, 2015).

A seguir são apresentados alguns dos modelos mais utilizados na modelagem matemática de isotermas de sorção em alimentos:

Modelo de Brunauer, Emmet e Teller (BET):

$$X_e = \frac{X_m C_{BET} a_w [1 - (n+1)(a_w)^n + n(a_w)^{n+1}]}{(1 - a_w) [1 - (1 - C_{BET})a_w - C_{BET}(a_w)^{n+1}]} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

X_e = umidade de equilíbrio (g água/g sólidos secos);

X_m = umidade na monocamada molecular (g água/g sólidos secos);

a_w = atividade de água;

n = número de camadas moleculares;

C_{BET} = parâmetro de ajuste.

Modelo de Guggenheim, Anderson e de Boer (GAB):

$$X_e = \frac{X_m C_{GAB} K_{gab} a_w}{[(1 - K_{gab} a_w)(1 - K_{gab} a_w + C_{GAB} K_{gab} a_w)]} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

X_e = umidade de equilíbrio (g água/g sólidos secos);

X_m = umidade na monocamada molecular (g água/g sólidos secos);

a_w = atividade de água;

C_{GAB}, K_{gab} = constantes de sorção relacionadas com as interações energéticas entre as moléculas da monocamada e as subsequentes em um sítio de sorção.

Modelo de Halsey:

$$a_w = \exp \left[\frac{-A}{X_e^B} \right] \quad (\text{Equação 4})$$

Modelo de Oswin:

$$X_e = C \left(\frac{a_w}{1 - a_w} \right)^D \quad (\text{Equação 5})$$

Modelo de Henderson:

$$1 - a_w = \exp(-k_H X_e^{n_H}) \quad (\text{Equação 6})$$

Modelo de Peleg:

$$X_e = K_A a_w^{n_A} + K_B a_w^{n_B} \quad (\text{Equação 7})$$

Onde nas equações 4, 5, 6 e 7:

X_e = umidade de equilíbrio (g água/g sólidos secos);

a_w = atividade de água;

$A, B, C, D, K_H, n_H, K_A, K_B, n_A$ e n_B = constantes

Os modelos de BET e GAB costumam ser os mais utilizados, uma vez que apresentam certo significado físico relacionado ao processo de sorção de água, quando comparados aos modelos empíricos. A equação de BET é uma das equações mais utilizadas em alimentos e baseia-se no conceito de adsorção de água na monocamada molecular. Já a equação de GAB constitui uma extensão do modelo de BET, tendo sido introduzida para padronizar a descrição e comparação do material biológico. Ambos os modelos calculam o valor de X_m , que representa a quantidade de água que está fortemente adsorvida aos sítios específicos na superfície do alimento e é considerado como o valor ótimo para assegurar sua estabilidade. A equação de Halsey representa um modelo semi-empírico que considera a condensação da multicamada a uma distância relativamente grande da superfície. Já as equações de Oswin, Henderson e Peleg representam modelos puramente empíricos, com alguns parâmetros a serem calculados (TONON, 2009).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Obtenção da matéria-prima

Na realização deste trabalho foram utilizadas polpas de manga dos cultivares Kent e Keitt, fornecidas pela Embrapa Agroindústria Tropical Fortaleza – Ceará. As polpas Kent e Keitt foram acondicionadas separadamente em sacos plásticos de polietileno e armazenadas a -18 °C em local apropriado no Laboratório de Refrigeração da Universidade Federal do Ceará a uma temperatura de -18 °C até a realização dos procedimentos laboratoriais.

4.2 Caracterização das polpas de manga Kent e Keitt

As determinações analíticas foram executadas no Laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem e no Laboratório de Refrigeração da Universidade Federal do Ceará. As análises foram feitas em triplicata e os dados obtidos foram avaliados utilizando-se análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey a 5% de significância.

- Umidade

A análise de determinação do teor de umidade foi realizada com aproximadamente 1 grama de amostra em balança de infravermelho série ID-V1.8 modelo ID50 na temperatura de 105 °C com significância de 0,05 %.

- Atividade de água (a_w)

A determinação da atividade de água foi medida através de um equipamento medidor de atividade de água, modelo AQUALab 4TEV, conforme instruções do fabricante.

- pH

Para a determinação do pH das polpas, a leitura foi realizada diretamente na amostra em potenciômetro, previamente calibrado, com soluções tampão de pH 4,0 e pH 7,0 conforme o método do Instituto Adolfo Lutz – 017/IV (2008). Na determinação do pH do material em pó, foi realizada diluição 1:10 (pó:água destilada) para posterior leitura.

- Acidez total titulável

Utilizando metodologia do Instituto Adolfo Lutz – 016/IV (2008), a acidez foi determinada por titulometria, no qual dilui-se 1 g da amostra à 50 mL de água destilada e 2 a 3 gotas de solução fenolftaleína em erlenmeyer de 100 mL, seguindo para titulação com NaOH 0,1 N até coloração levemente rósea. O cálculo para obtenção da acidez foi efetuado por meio da Equação 8:

$$A = \frac{F_{AC} \times F_{NaOH} \times V_{NaOH} \times 10}{M} \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

A = acidez (%);

F_{AC} = fator do ácido;

F_{NaOH} = fator do hidróxido de sódio;

V_{NaOH} = volume de hidróxido de sódio gasto (ml);

M = massa da amostra.

- Açúcares redutores, não-redutores e totais

Os açúcares totais e redutores foram determinados pelo princípio da redução do DNS (ácido dinitrosalicílico) seguindo a metodologia de Miller (1959).

- Sólidos solúveis

Seguindo as normas do Instituto Adolfo Lutz (2008) os sólidos solúveis nas polpas foram determinados por refratometria. Nos produtos em pó haverá diluição de 1g da amostra para 100 mL de água destilada com homogeneização das partículas em suspensão e posterior leitura.

- Ácido ascórbico

Realizado pelo método titulométrico seguindo a metodologia de Strohecker e Henning (1967) com a utilização da solução de DFI (2,6 dicloro-fenol-indofenol, 0,02%).

- Cor

A análise de cor das amostras foi obtida através do sistema de leitura dos parâmetros L^* , a^* e b^* utilizando equipamento colorímetro Konica Minolta Spectrophotometer modelo CR410, sendo L^* uma medida da luminosidade de um objeto e varia do 0 (para o preto)

até o 100 (para o branco), a^* uma medida do vermelho (a^* positivo) ou do verde (a^* negativo); b^* uma medida do amarelo (b^* positivo) ou do azul (b^* negativo).

- Carotenóides totais

Para a análise dos carotenóides, foi utilizada a metodologia de Higby (1962), onde 10 g da amostra foi diluída em 30 mL de álcool isopropílico e 10 mL de hexano. Após homogeneização, o conteúdo foi transferido para um funil de separação de 125 mL e completado com água destilada e levada para repouso por 30 minutos. Realizou-se a lavagem da fase aquosa deixando somente a fase da cor amarela. Após 3 descansos de 30 minutos, o conteúdo foi filtrado em algodão pulverizado com sulfato de sódio anidro (p.a. para um balão de cor âmbar de 50 mL). Em seguida, todo o resíduo amarelo do algodão foi filtrado com hexano e adicionado 5 mL de acetona com posterior aferição do balão com hexano. O branco (padrão) foi feito com 45 mL de hexano e 5 mL de acetona, seguido de leitura em espectrômetro sob o comprimento de onda de 450 nm. Para o cálculo utilizou-se da Equação 9.

$$C = \frac{(A_{450} \times 50 \text{ml})}{125 \text{ml} \times \frac{M}{V}} \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

C = carotenóides (mg/100g);

A_{450} = absorvância;

M = massa da amostra (g);

V = volume do balão utilizado (mL).

- Compostos Fenólicos

Os compostos fenólicos foram determinados pela metodologia de Bucic-Kojic *et al.* (2007), utilizando solvente etanol a 50% e o reagente de Folin-Ciocalteu. A leitura foi realizada em espectrômetro a 756 nm. O branco foi preparado com água destilada em substituição ao etanol. A calibração da curva foi realizada com ácido gálico variando de 0 a 50 µg/ml.

4.3 Secagem das polpas

Para a secagem, as polpas de manga foram descongeladas e formuladas com adição de adjuvante de secagem maltodextrina com dextrose equivalente (DE 20), o adjuvante foi adquirido em comércio local na cidade de Fortaleza – CE.

As amostras foram congeladas à -38 °C em bandejas utilizando equipamento marca Terroni modelo CL90 – 40V e, posteriormente, liofilizadas em liofilizador de bancada da marca Terroni, modelo LS3000B, composto basicamente por painel de controle, câmara de secagem, bandejas de aquecimento, câmara de condensação de vapor, compressor, sistema de vácuo, trocador de calor e saída do dreno.

4.4 Rendimento do processo

O rendimento foi calculado por meio da razão entre a massa dos sólidos presentes no pó coletado ao final da secagem e a massa de sólidos presentes na polpa destinada a secagem. Para o cálculo do rendimento será utilizada a Equação 10:

$$R = \frac{X}{X_a} \times 100 \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

R = rendimento (%);

X = massa de sólidos do pó obtido (g);

X_a = massa dos sólidos da amostra (g).

4.5 Delineamento experimental

O delineamento experimental empregado foi fatorial completo de dois níveis 2^2 sendo as variáveis independentes o tempo de liofilização e a concentração de maltodextrina apresentando pontos centrais (nível 0) e pontos axiais (níveis $\pm \alpha$), sendo esses pontos escolhidos, baseados nos resultados dos trabalhos desenvolvidos por Costa (2017) e Rodrigues (2017) apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Planejamento fatorial completo do tipo 2²

Variáveis	Níveis				
	axial (α)	fatorial	Central	fatorial	axial (α)
	-1,41	-1	0	+1	+1,41
Tempo de Secagem (h) – X ₁	16,9	19	24	29	31,1
Concentração de maltodextrina (m/m) – X ₂	2,9	5	10	15	17,1

As variáveis respostas que foram avaliadas para a escolha do melhor tratamento a ser escolhido foram: umidade, higroscopicidade, ácido ascórbico, rendimento, vitamina C, cor (L*,a*,b*) e atividade de água.

Pelo planejamento foram realizados 11 ensaios, sendo quatro ensaios fatoriais (combinações entre os níveis ± 1), três centrais (duas variáveis independentes no nível 0) e quatro axiais (uma variável independente no nível $\pm \alpha$ e outra em 0) de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 – Planejamento experimental para a liofilização das polpas de manga Kent e Keitt.

Ensaio	Valores codificados		Valores Reais	
	Tempo de secagem (h) X ₁	Concentração Adjuvante de secagem (%) X ₂	Tempo de liofilização (h)	Maltodextrina (%)
1	+1	+1	29	15
2	-1	+1	19	15
3	+1	-1	29	5
4	-1	-1	19	5
5	0	0	24	10
6	0	0	24	10
7	0	0	24	10
8	-1,41	0	16,9	10
9	1,41	0	31,1	10
10	0	-1,41	24	2,9
11	0	1,41	24	17,1

4.6 Caracterização de polpa de manga em pó

Após definição da melhor condição de secagem o produto gerado foi armazenado em embalagem laminada à vácuo, temperatura ambiente e ao abrigo de luz para posteriormente serem realizadas as análises físico-químicas do material em triplicata. Além das análises descritas no item 4.2 foram realizadas as seguintes análises nos pós.

- Higroscopicidade

Na determinação da higroscopicidade utilizou-se metodologia de Goula e Adamopoulos (2010), que consiste em espalhar cerca de 1 g do produto em pó uniformemente sobre uma placa de Petri, e posteriormente, colocada em um dessecador com uma solução de NaCl e umidade relativa do ar (UR) de 79,5%, sendo verificado o aumento de peso a cada 10 minutos, até que um peso constante seja atingido.

- Grau de *caking*

Seguindo a metodologia de Goula e Adamopoulos (2010) o grau de *caking* foi determinado levando a amostra à estufa por 5 horas a uma temperatura de 105 °C. Após resfriamento em secador a amostra foi pesada novamente e classificada granulometricamente com malha (mesh) de 500 µm de abertura. O material retido na peneira foi pesado e o grau de *caking* calculado conforme a Equação 11:

$$GC = \frac{100 \times a}{b} \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:

GC = grau de *caking* (%) da amostra;

a = massa do material retido na peneira (g);

b = massa inicial do material utilizado (g).

4.7 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Foram realizadas no Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará – UFC, por meio de microscópio eletrônico de varredura (MEV) – INSPECT S50, equipado com litografia de feixe de elétrons, que opera em condições de vácuo e realiza imageamento e

análise elementar utilizando espectroscopia de raios-x com dispersão de energia (EDS) e difração de elétrons retroespalhados (EBSD), para avaliar a superfície e a morfologia dos pós das polpas de manga. Os pós de manga foram depositados sobre fita adesiva dupla face, e então fixados em suporte metálico. A placa metálica com os pós foi recoberta com platina em metalizadora e operada a 5m e 10 kV, fornecendo uma cobertura de aproximadamente 25 μm com aproximação de 500 vezes. Foram capturadas com imagens para posterior análise.

4.8 Comportamento reológico do pó

O escoamento do pó foi avaliado, bem como, foram feitas análises de tensão de cisalhamento, densidade de compactação e ângulo de atrito de parede para os pós de polpa de manga. Seguindo as recomendações do fabricante do equipamento powder flow test (PFT), as amostras foram colocadas separadamente no equipamento, que é conectado a um computador de bancada, e à medida que as análises físicas do pó foram sendo realizadas, o equipamento gerou o relatório com os dados.

4.9 Determinação das isotermas de sorção dos pós

A construção das isotermas de sorção dos pós de polpa de manga cv. Kent e cv. Keitt obtidos por liofilização foi baseada em método gravimétrico estático, onde se pesou 0,7 g das amostras com 5%, 10% e 15% de maltodextrina em cadinhos de alumínio, previamente tarados, pesados e inseridos em triplicata em células de vidro contendo soluções saturadas de sais (CH_3COOK – 21 %, K_2CO_3 – 44 %, NaBr – 58 %, SnCl_2 – 76 %, KCl – 84 %, BaCl_2 – 90 %).

As células foram colocadas em estufas com temperaturas de $25^\circ\text{C}\pm 0,5$ e $40^\circ\text{C}\pm 0,5$ e permaneceram até que cada amostra alcançasse o equilíbrio com as células (variação de massa <1%). As amostras foram pesadas para determinação da umidade de equilíbrio descrita pela equação 12.

$$X_0 = \frac{M_0 - M_S}{M_S} \quad (\text{Equação 12})$$

Onde:

X_0 = umidade de equilíbrio (g/g);

M_0 = massa da amostra no equilíbrio (g);

M_S = massa seca da amostra (g).

Foi obtido o valor da atividade de água de cada amostra após o equilíbrio e conjuntamente com os dados da umidade de equilíbrio foi possível ajustar um modelo matemático que melhor descrevesse as isotermas dos pós de manga cv. Kent e cv. Keitt.

Os modelos matemáticos que foram testados e ajustados pelo *software* Statistica versão 7.0 foram: GAB, BET, Henderson e Oswin com suas equações descritas no item 3.2.6 deste trabalho.

Na avaliação dos ajustes dos modelos testados, foram usados como critérios o coeficiente de determinação (R^2) entre as respostas observadas e as previstas pelos modelos e o erro médio relativo (E), definido como a média da porcentagem de diferença relativa entre valores experimentais e preditos conforme Equação 13.

$$E = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|(M_i - M_{pi})|}{M_i} \quad (\text{Equação 13})$$

Onde:

E = erro médio relativo (%);

M_i = valores obtidos experimentalmente;

M_{pi} = valores preditos pelo modelo;

n = número de dados experimentais.

4.10 Avaliação da estabilidade dos pós de polpa de manga cv. Kent e cv. Keitt

Definida a melhor condição de secagem, através da análise do planejamento (item 4.4), para cada uma das variedades de manga foi realizada uma desidratação para obtenção dos pós Kent e Keitt para avaliar sua estabilidade. Os pós foram acondicionados com e sem vácuo em embalagem laminada (modelo ESA 038, confeccionada por uma combinação de material PET, alumínio e poliamida, e de gramatura 122 g/m²) em ambiente seco à temperatura de 25°C.

As determinações analíticas foram feitas a cada 20 dias, durante o tempo máximo de armazenamento de 80 dias. A periodicidade de análise (20 dias), bem como o tempo final de armazenamento (80 dias) foi em decorrência da obtenção do quantitativo de pó de uma batelada de processo (liofilização) suficiente para averiguação dos parâmetros de umidade, sólidos solúveis, atividade de água, pH, acidez, ácido ascórbico, cor (L^* , a^* , b^*), higroscopicidade e grau de *caking*, sendo essas metodologias já descritas nos itens 4.2 e 4.5 deste trabalho. Os resultados foram avaliados através da análise de variância (ANOVA) e teste de diferença de *Tukey* a 5 % de significância.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Resultados do planejamento experimental das variáveis: umidade, atividade de água, higroscopicidade e ácido ascórbico

Os resultados das variáveis dependentes: umidade, higroscopicidade ácidos ascórbico e rendimento, obtidos através dos 11 ensaios realizados no planejamento experimental para a variedade Kent e Keitt, estão apresentados nas Tabelas 5 e 6 respectivamente.

5.1.1 Análise Variável dependente umidade

Para a umidade os valores variaram entre 3,12 a 8,32% para a manga Kent e 3,14 e 7,53% para manga Keitt. O valor de umidade mais alto em ambos foi encontrado no mesmo ensaio de 16,9 horas de liofilização e uso de 10% de maltodextrina como adjuvante na polpa. Entretanto os menores valores encontrados para umidade foram determinados em ensaios diferentes, para Kent o ensaio com 29 horas e 15% de maltodextrina e para Keitt o ensaio com 24 horas e 2,9% de maltodextrina.

Oberoi e Sogi (2015) identificaram em trabalho desenvolvido com suco de melancia um decréscimo da umidade com o aumento da concentração de maltodextrina, embora as concentrações utilizadas sejam bem inferiores que as deste trabalho (3% a 10% de maltodextrina).

Rodrigues (2017) observou o mesmo comportamento, quanto à remoção de umidade utilizando maiores concentrações de maltodextrina em planejamento experimental utilizado para obtenção de pó de manga Tommy Atkins obtidos por liofilização, que os obtidos na variedade Keitt neste trabalho.

Oliveira (2012) na obtenção de cajá em pó verificou que utilizando 4,95% de maltodextrina apresentou resultados menores para umidade do que os ensaios com 12% de maltodextrina, para o mesmo tempo de processo.

O comportamento variável da umidade com a adição da maltodextrina pode estar relacionado à interação do adjuvante com a água presente nas polpas dificultando a remoção de umidade.

Tabela 5 – Resultados do planejamento experimental para as variáveis dependentes: umidade, higroscopicidade, ácido ascórbico e rendimento após liofilização da polpa de manga Kent.

Ensaio	Variáveis Independentes		Variáveis Dependentes			
	Tempo de Liofilização (h)	Concentração de Maltodextrina (%)	Umidade (%)	Atividade de água	Higroscopicidade (g/100g)	Ácido Ascórbico (mg/100g)
1	29	15	3,12 ±0,20	0,12 ±4,50x10 ⁻³	7,42 ±0,46	22,65 ±2,81
2	19	15	4,87 ±0,16	0,30 ±3,82 x10 ⁻³	6,37 ±0,59	21,76 ±2,68
3	29	5	3,38 ±0,08	0,15 ±1,75 x10 ⁻³	8,91 ±0,39	24,16 ±5,03
4	19	5	5,49 ±0,04	0,29 ±4,21 x10 ⁻³	7,24 ±0,13	27,55 ±3,06
5	24	10	3,46 ±0,57	0,23 ±9,14 x10 ⁻³	7,58 ±0,70	25,04 ±2,62
6	24	10	3,78 ±0,27	0,25 ±3,06 x10 ⁻³	8,13 ±0,60	24,95 ±2,80
7	24	10	4,74 ±0,14	0,26 ±4,19 x10 ⁻³	7,15 ±0,11	21,04 ±2,45
8	16,9	10	8,32 ±0,20	0,43 ±1,04 x10 ⁻³	4,87 ±0,37	20,53 ±2,12
9	31,1	10	3,68 ±0,05	0,20 ±5,67 x10 ⁻³	8,56 ±0,38	26,05 ±2,78
10	24	2,9	3,66 ±0,16	0,22 ±3,27 x10 ⁻³	8,02 ±0,37	24,20 ±4,61
11	24	17,1	3,32 ±0,05	0,12 ±4,05 x10 ⁻³	7,16 ±0,25	21,69 ±5,64

Tabela 6 – Resultados do planejamento experimental para as variáveis dependentes: umidade, higroscopicidade, ácido ascórbico e rendimento após liofilização da polpa de manga Keitt

Ensaio	Variáveis Independentes		Variáveis Dependentes			
	Tempo de Liofilização (h)	Concentração de Maltodextrina (%)	Umidade (%)	Atividade de água	Higroscopicidade (g/100g)	Ácido Ascórbico (mg/100g)
1	29	15	3,17 ±0,12	0,13 ±2,01x10 ⁻³	8,12 ±0,44	22,66 ±2,89
2	19	15	4,62 ±0,24	0,31 ±3,58 x10 ⁻³	5,79 ±0,21	21,70 ±2,51
3	29	5	3,18 ±0,08	0,16 ±5,20 x10 ⁻³	9,02 ±0,26	25,93 ±3,01
4	19	5	4,99 ±0,12	0,26 ±6,93 x10 ⁻⁴	8,11 ±0,68	28,94 ±0,26
5	24	10	3,56 ±0,45	0,25 ±5,01 x10 ⁻³	7,59 ±0,93	20,04 ±2,49
6	24	10	3,68 ±0,11	0,24 ±1,74 x10 ⁻³	7,53 ±0,42	26,24 ±2,62
7	24	10	4,15 ±0,16	0,23 ±6,07 x10 ⁻³	7,95 ±0,25	20,27 ±1,44
8	16,9	10	7,53 ±0,16	0,41 ±1,31 x10 ⁻³	5,29 ±0,26	19,16 ±3,06
9	31,1	10	3,58 ±0,07	0,22 ±1,66 x10 ⁻³	8,39 ±0,66	21,15 ±2,95
10	24	2,9	3,14 ±0,02	0,18 ±3,32 x10 ⁻³	8,32 ±0,26	24,23 ±0,32
11	24	17,1	3,45 ±0,23	0,14 ±1,37 x10 ⁻³	7,65 ±0,36	21,71 ±2,59

Observa-se na Tabela 7 que os efeitos gerados para tempo (L) e o tempo (Q) da liofilização foram significativos ao nível de confiança de 10% sobre a variável umidade do pó do cultivar Kent, seu efeito negativo para o tempo (L) evidencia que o aumento do tempo de liofilização produziu um pó com menor umidade sem que a dependa da interação com a maltodextrina. Para os efeitos sobre a variável umidade do pó da manga Keitt, o tempo (L) e o tempo (Q) foram significativos ($p < 0,10$). Para o tempo (L) o efeito estimado foi negativo que indica uma diminuição da umidade com o aumento do tempo de liofilização, comportamento este similar ao da variedade Kent.

Tabela 7 – Efeito estimado e grau de significância para umidade do pós de manga Kent e Keitt obtidos por liofilização

Fator	Kent		Keitt	
	Efeito Estimado	Valor p	Efeito Estimado	Valor p
Tempo (L)	-2,60	$2,99 \times 10^{-3}$ *	-2,20	$1,74 \times 10^{-3}$ *
Tempo (Q)	1,73	0,02*	1,53	0,01*
Maltodextrina (L)	-0,33	0,51	0,01	0,97
Maltodextrina (Q)	-0,75	0,24	-0,70	0,16
Interação T x M	0,17	0,80	0,17	0,74

*Significativo a 10% ($p < 0,10$)

A Tabela 8 apresenta a análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão gerado para umidade dos pós da manga Kent e Keitt.

Tabela 8 – Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para a variável umidade dos pós de manga Kent e Keitt

	SQ		GL		QM		F _{cal}	
	Kent	Keitt	Kent	Keitt	Kent	Keitt	Kent	Keitt
Regressão	17,90	13,15	2	2	8,95	6,57	13,87*	15,15*
Resíduo	5,16	3,47	8	8	0,64	0,43		
Falta de ajuste	4,28	3,27	6	6	0,71	0,54	1,62	5,62
Erro puro	0,87	0,19	2	2	0,43	0,09		
Total	23,06	16,63	10	10	2,30	1,66		

SQ=Soma Quadrática; GL=Grau de Liberdade; QM=Média Quadrática; F_{calc}=Fcalculado.

* Significativo a 10% ($p < 0,10$).

Observou-se na Tabela 8 que o modelo de regressão gerado para a variedade Kent, apresentou um valor de $F_{\text{calculado}}$ (13,87) maior que o F_{tabelado} (3,11) com um coeficiente de determinação elevado no valor de 0,77 e na falta de ajuste um F_{calc} (1,62) menor que o F_{tabelado} (9,32) denotando um bom ajuste do modelo aos dados experimentais. O modelo de regressão gerado para o pó Keitt apresentou na Tabela 8 evidenciou um valor de F_{calc} (15,15) maior do que o F_{tabelado} (3,11) com um coeficiente de determinação de 0,79. Para a falta de ajuste o F_{calc} (5,62) foi menor que o F_{tabelado} (9,32).

O modelo matemático ajustado aos dados experimentais para variável dependente umidade do pó da polpa de manga Kent está representado pela Equação 14.

$$U = 32,40 - 2,14T + 0,03T^2 \quad (\text{Equação 14})$$

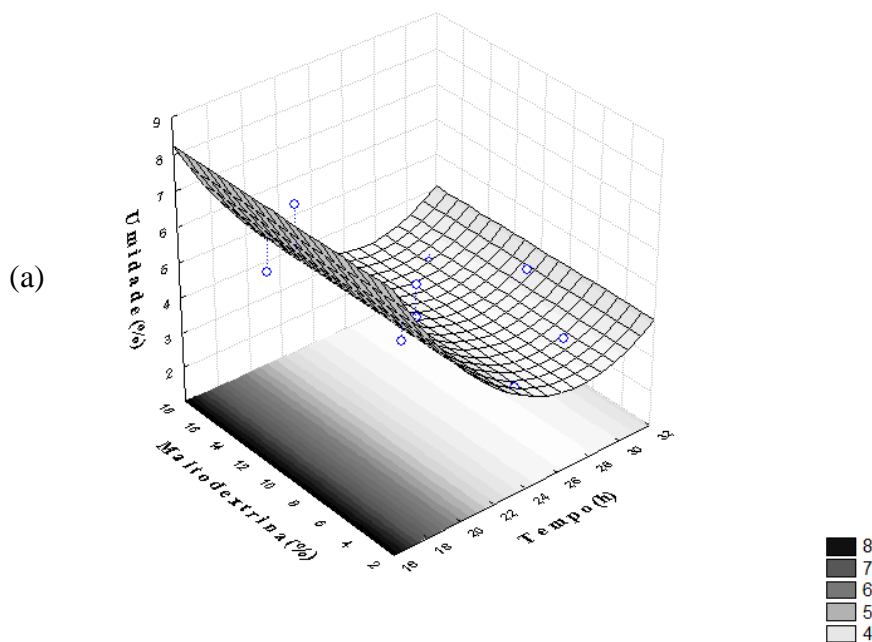
Onde:

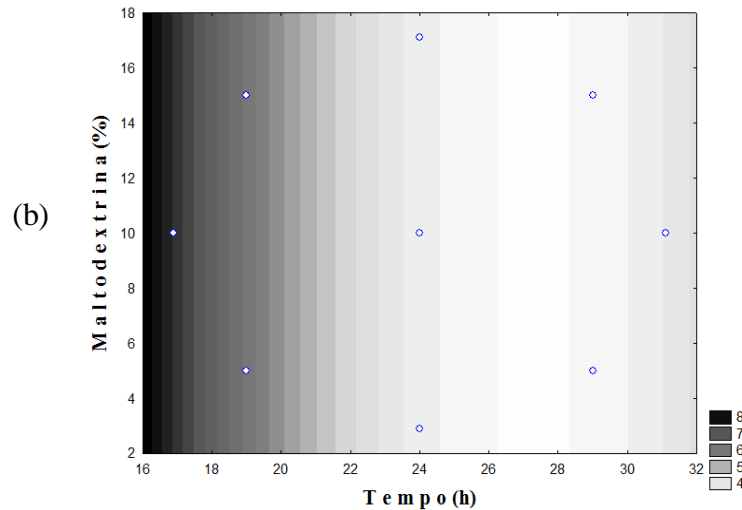
U: umidade (%);

T: tempo de liofilização (h).

A partir dos dados foram gerados a superfície de resposta e a curva de contorno para a variável umidade (Figura 8).

Figura 8 – Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) da variável umidade do pó da polpa de manga Kent obtido por secagem em liofilizador





A superfície de resposta e a superfície de contorno indicam a influência do tempo no conteúdo de umidade do pó de manga Kent. O que era previsto, pois na liofilização o processo contínuo de exposição do produto à baixa pressão e temperatura, provoca a sublimação do gelo (KUANG-CHENG; CHIEN-CHENG; PEI-CHENG, 2011).

O modelo estatístico ajustado aos dados experimentais para a variável umidade do pó de manga Keitt é demonstrado na Equação 15.

$$U = 28,89 - 1,89T + 0,03T^2 \quad (\text{Equação 15})$$

Onde:

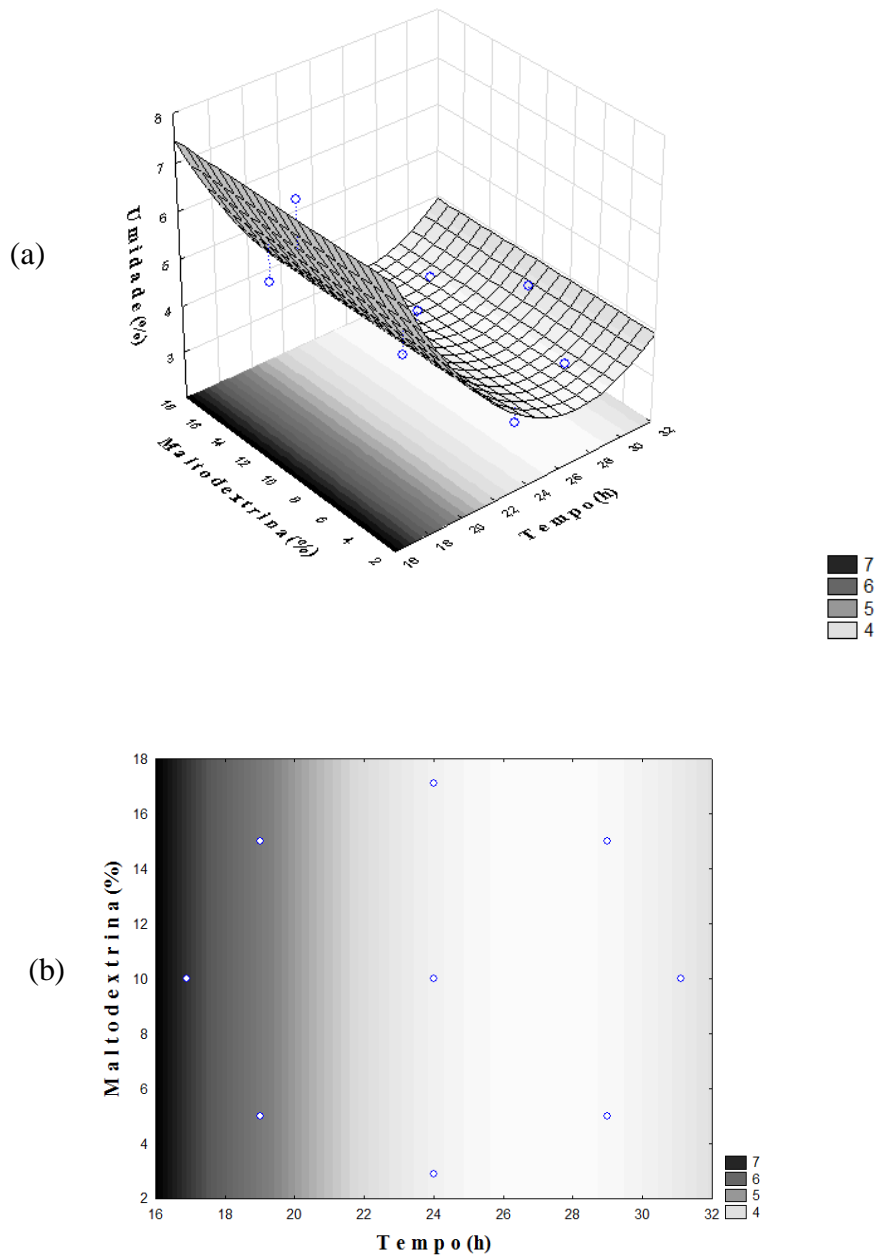
U: umidade (%);

T: tempo de liofilização (h).

A partir do modelo (Equação 15) foram gerados a superfície de resposta e curva de contorno para a variável resposta umidade do respectivo pó (Figura 9).

Na Figura 9 (a) e (b) observa-se uma diminuição da umidade com o aumento do tempo de liofilização. Este comportamento também foi encontrado por Vieira, Nicoleti e Telis (2012) ao avaliarem a cinética de secagem em fatias de abacaxi liofilizada. Estes, citam, que o desempenho do processo é fortemente dependente da escolha adequada das condições operacionais e, portanto, há necessidade de uma extensiva análise de seus efeitos no tempo de processamento e na qualidade do produto obtido.

Figura 9 – Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) da variável umidade do pó da polpa de manga Keitt obtido por secagem em liofilizador



5.1.2 Análise variável dependente atividade de água

Os menores valores de atividade de água foram encontrados nos ensaios com 29 horas de liofilização e 15% de maltodextrina (ensaio 1) tanto para a amostra Kent quanto para a Keitt. Prosapio e Norton (2017) averiguaram que liofilizações mais duradouras alcançam valores menores de atividade de água. Mesmo valor, 0,12, de atividade de água foi verificado

no ensaio 11 para a amostra Kent (24 horas de liofilização e 17,1% de maltodextrina), tal resultado pode ser devido a maior proporção de maltodextrina na polpa. Comportamento semelhante, com relação à diminuição da atividade de água com o aumento de maltodextrina, foi encontrado por Caliskan e Dirim (2016) liofilizando sumac.

Observou-se na Tabela 9 que o tempo de liofilização (L) e (Q) e a concentração de maltodextrina (Q) foram significativos ao nível de confiança de 10% sobre a variável atividade de água do pó do cultivar Kent.

Tabela 9 – Efeito estimado e grau de significância para atividade de água dos pós de manga Kent e Keitt obtidos por liofilização

Fator	Kent		Keitt	
	Efeito Estimado	Valor p	Efeito Estimado	Valor p
Tempo (L)	-0,15	5,00x10 ^{-4*}	-0,13	2,38x10 ^{-4*}
Tempo (Q)	0,05	0,06*	0,06	0,01*
Maltodextrina (L)	-0,03	0,11	-0,01	0,44
Maltodextrina (Q)	-0,09	0,01*	-0,08	3,98x10 ^{-3*}
Interação T x M	-0,01	0,54	-0,04	0,11

*Significativo a 10% ($p < 0,10$)

Os resultados dos efeitos sobre a variável atividade de água do pó de manga Keitt, também denotaram que o tempo de liofilização (L) e (Q) e a concentração de maltodextrina(Q) foram significativos ($p < 0,10$) para a variável analisada. Os resultados mostraram uma tendência negativa da atividade de água em relação às variáveis independentes, ou seja, quanto maior estas forem menor será a atividade de água do produto.

O teste F mostrou-se significativo na regressão analisada para o pó Kent, pois o F_{cal} (11,56) foi maior que $F_{tabelado}$ (3,07). O coeficiente de determinação foi de 0,83 e a falta de ajuste foi significativa para o modelo gerado já que o F_{cal} (16,00) foi maior que o $F_{tabelado}$ (9,29). A análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão gerado para atividade de água do pó da manga Keitt, F_{cal} (11,74) foi significativo na regressão, pois foi maior que $F_{tabelado}$ (3,07), o coeficiente de determinação apresentou-se alto com valor de 0,83 e a falta de ajuste se mostrou significativa em virtude de F_{cal} (19,89) ter sido maior que o $F_{tabelado}$ (9,29).

Os dados da análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão gerado para a variável atividade de água dos pós de polpa de manga Kent e Keitt estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para a variável atividade de água dos pós de manga Kent e Keitt

	SQ		GL		QM		F _{cal}	
	Kent	Keitt	Kent	Keitt	Kent	Keitt	Kent	Keitt
Regressão	6,60x10 ⁻²	5,64 x10 ⁻²	3	3	2,20 x10 ⁻²	1,88 x10 ⁻²	11,56*	11,74*
Resíduo	1,33 x10 ⁻²	1,12 x10 ⁻²	7	7	1,90 x10 ⁻³	1,60 x10 ⁻³		
Falta de ajuste	1,30 x10 ⁻²	1,09 x10 ⁻²	5	5	2,60 x10 ⁻³	2,19 x10 ⁻³	16,00*	19,89*
Erro puro	3,25 x10 ⁻⁴	2,21 x10 ⁻⁴	2	2	1,62 x10 ⁻⁴	1,10 x10 ⁻⁴		
Total	7,93 x10 ⁻²	6,76 x10 ⁻²	10	10	7,93x10 ⁻³	6,76 x10 ⁻³		

SQ=Soma Quadrática; GL=Grau de Liberdade; QM=Média Quadrática; F_{cal}=Fcalculado.

* Significativo a 10% (p < 0,10).

Devido a falta de ajuste ser elevada e significativa nos pós dos dois cultivares estudados, o modelo matemático e os gráficos não foram gerados.

5.1.3 Análise variável dependente higroscopicidade

A higroscopicidade apresentou valores máximos de 8,91 g/100g para a variedade Kent e 9,02 g/100g para a variedade Keitt e 4,87 e 5,29 g/100g como valores mínimos para os cultivares Kent e Keitt respectivamente, tais valores, foram menores dos que os determinados por Caparino *et al.* (2012), que achou valores máximos e mínimos entre 20,1 g/100g e 16,5 g/100g respectivamente nos pós de manga obtidos por diferentes métodos de secagem.

Fongin *et al* (2017) verificaram que o aumento de maltodextrina foi inversamente proporcional à higroscopicidade apresentada pela polpa de manga em pó obtida por liofilização.

Tonon, Brabet e Hubinger (2008) citam também comportamento semelhante em seu estudo com pó de açaí, entretanto, ressaltam que a umidade final do produto também tem efeito sobre a higroscopicidade o que pode explicar os valores mais baixos encontrados no oitavo ensaio para os dois cultivares.

O tempo (L) de liofilização e a concentração de maltodextrina (L) foram significativos (p < 0,10) para a variável resposta higroscopicidade do pó de manga Kent como observou-se na Tabela 11. O efeito negativo na maltodextrina indicou que quanto maior a incorporação desta menor foi a higroscopicidade no produto obtido. Com relação aos efeitos

sobre a variável higroscopicidade do pó de manga Keitt, o tempo de liofilização (L) e a concentração de maltodextrina (L) foram significativos para a variável analisada.

Tabela 11 – Efeito estimado e grau de significância para higroscopicidade do pós de manga Kent e Keitt obtidos por liofilização.

Fator	Kent		Keitt	
	Efeito Estimado	Valor p	Efeito Estimado	Valor p
Tempo (L)	1,98	4,44x10 ⁻³ *	1,90	2,5x10 ⁻³ *
Tempo (Q)	-0,73	0,18	-0,67	0,15
Maltodextrina (L)	-0,88	0,07*	-1,03	0,02*
Maltodextrina (Q)	0,13	0,79	0,46	0,30
Interação T x M	-0,30	0,61	0,71	0,19

*Significativo a 10% ($p < 0,10$)

A Tabela 12 apresenta a análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão gerado para higroscopicidade dos pós da manga Kent e Keitt.

Tabela 12 – Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para a variável higroscopicidade dos pós de manga Kent e Keitt

	SQ		GL		QM		F _{cal}	
	Kent	Keitt	Kent	Keitt	Kent	Keitt	Kent	Keitt
Regressão	9,49	9,42	2	2	4,74	4,71	14,03*	12,59*
Resíduo	2,70	2,99	8	8	0,33	0,37		
Falta de ajuste	2,22	2,88	6	6	0,37	0,48	1,52	9,41*
Erro puro	0,48	0,10	2	2	0,24	0,05		
Total	12,19	12,41	10	10	1,21	1,24		

SQ=Soma Quadrática; GL=Grau de Liberdade; QM=Média Quadrática; F_{calc}=Fcalculado.

* Significativo a 10% ($p < 0,10$).

O modelo de regressão para a variável higroscopicidade do pó Kent resultou em um F_{cal} (14,03) maior que o F_{tabelado} (3,11), sendo esta variável significativa para o modelo de regressão gerando um coeficiente de determinação com valor de 0,77. Para a falta de ajuste o F_{cal} (1,52) foi menor que o F_{tabelado} (9,32), ou seja, não significativo. O valor descrito para F_{cal} (12,59) no modelo de regressão para higroscopicidade do pó Keitt foi maior que F_{tabelado} (3,11). Para falta de ajuste o F_{cal} (9,41) foi ligeiramente maior que o F_{tab} (9,32) sendo

significativa para o modelo gerado, entretanto, o coeficiente de determinação obteve um valor de 0,75, portanto, optou-se pela geração do modelo matemático e gráficos.

O modelo matemático ajustado aos dados experimentais para variável dependente higroscopicidade do pó da polpa de manga Kent está representado pela Equação 16.

$$H = 3,52 + 0,19T - 0,08M \quad (\text{Equação 16})$$

Onde:

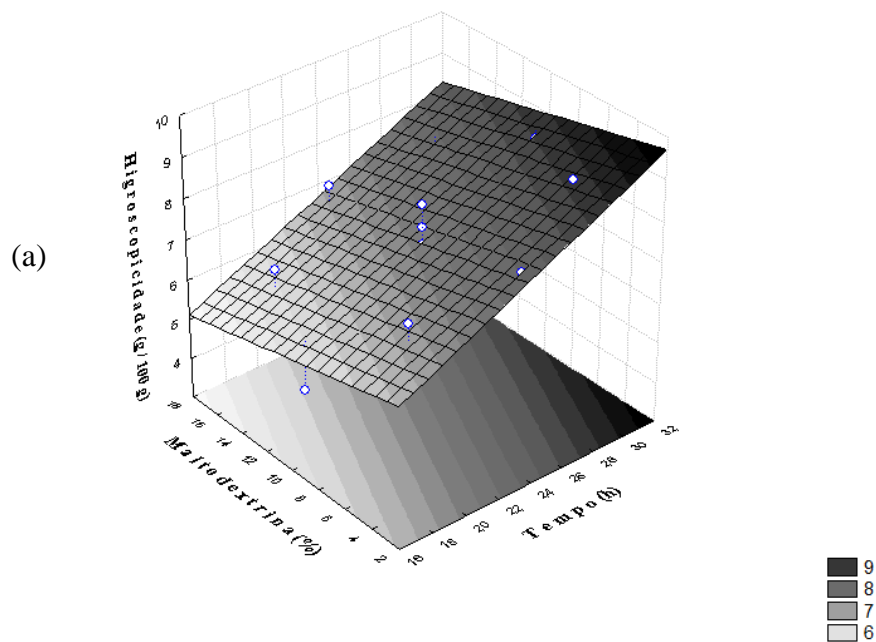
H: higroscopicidade (g/100g);

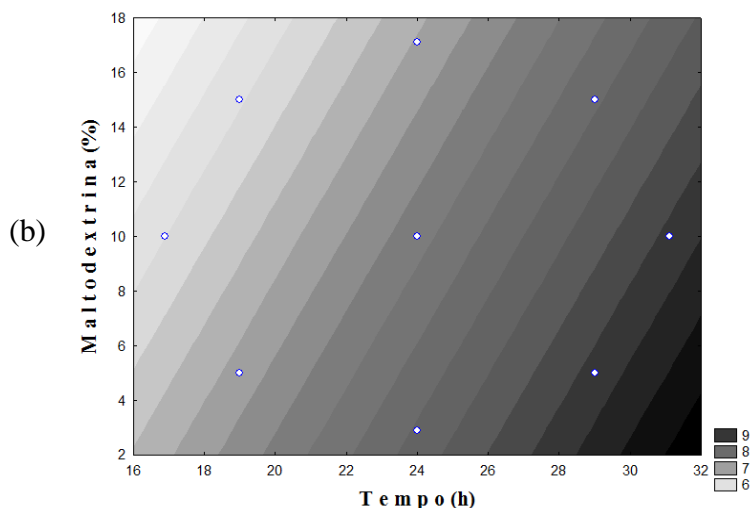
T: tempo de liofilização (h);

M: concentração de maltodextrina (%).

Foram gerados a superfície de resposta e curva de contorno para a variável resposta higroscopicidade do pó de manga Kent (Figura 10). A Figura 10 (a) e (b) denotam um comportamento entre a concentração de maltodextrina e a higroscopicidade, quanto maior a concentração do adjuvante menor será a higroscopicidade dos pós obtidos. Goula e Adamopoulos (2010) afirmam que o aumento da concentração de maltodextrina elevam a temperatura de transição vítrea do pó e como resultado se obtém uma menor higroscopicidade.

Figura 10 – Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) da variável higroscopicidade do pó da polpa de manga Kent obtido por secagem em liofilizador





Percebeu-se também que o tempo de liofilização exerceu influência sobre a higroscopicidade, aumentando seu valor com o aumento do tempo de processo. Esta influência pode estar relacionada à baixa umidade com que os pós são obtidos a partir de maior tempo de liofilização já que estes pós, devido à umidade reduzida, apresentam maiores quantidades de sítios de ligação disponíveis para interação com as moléculas de água. (TONON *et al.*, 2008).

O modelo matemático ajustado aos dados experimentais para variável dependente higroscopicidade do pó da polpa de manga Keitt está representado pela Equação 17.

$$H = 4,09 + 0,19T - 0,10M \quad (\text{Equação 17})$$

Onde:

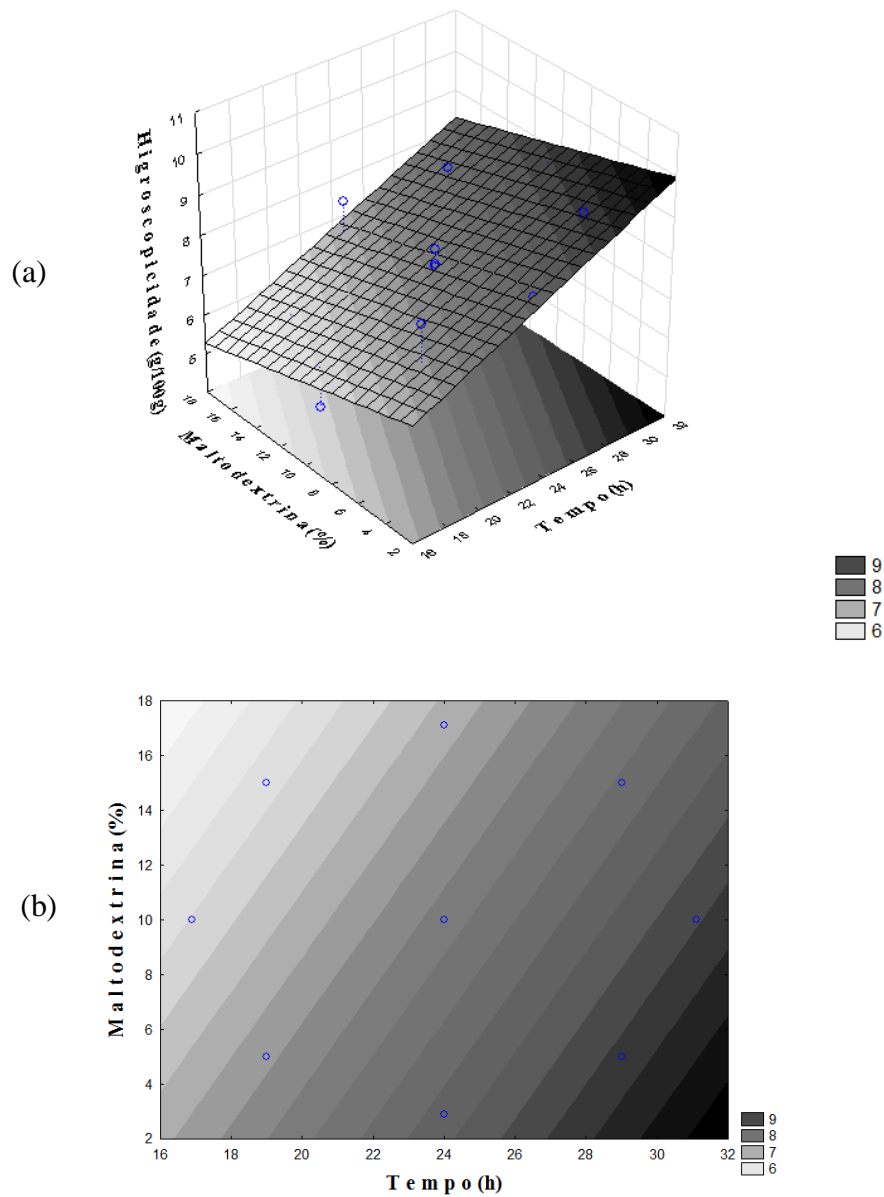
H: higroscopicidade (g/100g);

T: tempo de liofilização (h);

M: concentração de maltodextrina (%).

Foram gerados a superfície de resposta e curva de contorno para a variável resposta higroscopicidade do pó de manga Keitt (Figura 11). Observou-se na superfície de resposta e curva de contorno do pó obtido da polpa de manga Keitt uma diminuição da higroscopicidade com o aumento de maltodextrina. O uso do adjuvante maltodextrina pode diminuir significativamente a higroscopicidade de produtos secos (WANG; ZHOU, 2012).

Figura 11 – Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) da variável higroscopicidade do pó da polpa de manga Keitt obtido por secagem em liofilizador



Mosquera; Moranga; Martínez-Navarrete (2010) também observaram este comportamento na diminuição da higroscopicidade com o aumento da concentração de maltodextrina na liofilização de borojó.

5.1.4 Análise variável dependente concentração de ácido ascórbico

As maiores quantidades de ácido ascórbico foram determinados nos pós advindos dos ensaios de número 4 para ambos cultivares. Essa maior quantidade pode estar relacionada

à menor exposição do produto à secagem não sofrendo aquecimento na etapa final da liofilização como ocorreu nos outros ensaios.

Shofian *et al* (2011) citam que a liofilização é um método de secagem que retém a quantidade máxima de ácido ascórbico em seu produto, embora, Santos e Silva (2008) consideram que resultados da retenção de ácido ascórbico em secagem por liofilização são bastante variáveis entre os materiais aos quais vão ser submetidos à secagem devido a estrutura e composição química de cada material.

Segundo Sagar e Suresh (2010) a preservação da vitamina C durante a liofilização é maior se comparada a outros métodos de secagem que utilizam temperaturas mais elevadas. Entretanto, citam que a redução nos valores de ácido ascórbico nos produtos liofilizados pode estar relacionada à alta porosidade promovida por esse tipo de secagem, expondo o produto ao oxigênio e posterior degradação oxidativa.

Os resultados dos efeitos sobre a variável ácido ascórbico dos pós de manga Kent e Keitt estão descritos na Tabela 13, visualiza-se que não foram obtidos efeitos significativos ($p < 0,10$) para as variáveis independentes tempo de liofilização e concentração de maltodextrina.

Tabela 13 – Efeito estimado e grau de significância para ácido ascórbico dos pós de manga Kent e Keitt obtidos por liofilização

Fator	Kent		Keitt	
	Efeito Estimado	Valor p	Efeito Estimado	Valor p
Tempo (L)	1,32	0,45	0,19	0,93
Tempo (Q)	0,06	0,97	0,42	0,88
Maltodextrina (L)	-2,70	0,16	-3,51	0,19
Maltodextrina (Q)	-0,27	0,89	2,36	0,43
Interação T x M	2,13	0,40	1,98	0,57

*Significativo a 10% ($p < 0,10$)

Dessa forma a análise de regressão mostrou que a variável ácido ascórbico tanto para o pó Kent quanto para o pó Keitt não apresentou diferença significativa nos efeitos em nenhum dos fatores analisados para o intervalo estudado. Face esse comportamento não foi realizada a análise de variância (ANOVA) e, por conseguinte, o modelo e os gráficos não foram gerados.

5.2 Resultados do planejamento experimental das variáveis: cor e rendimento

Os resultados das variáveis dependentes: cor (parâmetros: a^* , b^* e L^*) e rendimento, obtidos através dos 11 ensaios realizados no planejamento experimental para os pós de polpa de manga das variedades Kent e Keitt estão apresentados nas Tabelas 14 e 15 respectivamente.

5.2.1 Análise variável dependente a^*

Observou-se valores negativos apresentados pelo parâmetro a^* em todos os ensaios, tanto para a variedade Kent como para a Keitt. O valor negativo foi mais acentuado nos pós das polpas que continham a maior concentração de maltodextrina, provavelmente sua coloração branca foi o que provocou valores cada vez menores de a^* . A diminuição do valor de a^* em função da adição de maltodextrina à matéria-prima que irá ser seca foi descrita por Caliskan e Dirim (2016) em seu processo.

O tempo de liofilização (L) e a concentração de maltodextrina (L) e (Q) foram significativos a um intervalo de 90% de confiança para a variável resposta a^* do pó de manga Kent. O efeito estimado negativo nos três fatores significativos indicou que, quanto maior seu valor, menor será o valor da variável dependente.

Com relação aos efeitos para a variável resposta a^* do pó de manga Keitt denotaram que o tempo de liofilização (Q) e a concentração de maltodextrina (L) foram significativos ($p < 0,10$).

Os resultados da análise de variância (ANOVA) para o pó Kent demonstraram que o F_{calc} (14,91) no modelo de regressão foi maior que F_{tabelado} (3,07), o coeficiente de determinação foi de 0,86 e a falta de ajuste apresentou F_{cal} (2,71) menor que o F_{tabelado} (9,29) obtendo um bom ajuste do modelo aos dados experimentais.

No pó Keitt, para regressão, o F_{calc} (6,57) foi maior que F_{tabelado} (3,11), sendo, portanto, significativo. A falta de ajuste apresentou F_{cal} (2,43) menor que o F_{tabelado} (9,33) e o coeficiente de determinação apresentou um valor de 0,62.

Tabela 14 – Resultados do planejamento experimental para as variáveis dependentes: cor e atividade de água após liofilização da polpa de manga Kent.

Ensaio	Variáveis Independentes		Variáveis Dependentes			Rendimento (%)
	Tempo de Liofilização (h)	Concentração de Maltodextrina (%)	Cor			
			a*	b*	L*	
1	29	15	-1,37 ±0,00	18,83 ±0,10	59,27 ±0,23	92,46
2	19	15	-0,95 ±0,02	19,31 ±0,05	59,46 ±0,07	88,51
3	29	5	-0,82 ±0,01	20,50 ±0,05	59,35 ±0,12	93,24
4	19	5	-0,36 ±0,01	19,45 ±0,07	57,86 ±0,11	92,76
5	24	10	-0,79 ±0,09	21,09 ±0,05	60,35 ±0,24	86,62
6	24	10	-0,75 ±0,07	20,87 ±0,10	60,31 ±0,12	89,87
7	24	10	-0,55 ±0,02	19,68 ±0,04	58,78 ±0,08	90,18
8	16,9	10	-0,49 ±0,01	19,66 ±0,03	57,94 ±0,05	70,23
9	31,1	10	-0,67 ±0,01	19,22 ±0,21	58,44 ±0,1	92,71
10	24	2,9	-0,33 ±0,01	19,60 ±0,02	57,91 ±0,07	90,25
11	24	17,1	-1,79 ±0,05	20,04 ±0,07	61,73 ±0,08	88,58

Tabela 15 – Resultados do planejamento experimental para as variáveis dependentes: cor e atividade de água após liofilização da polpa de manga Keitt.

Ensaio	Variáveis Independentes		Variáveis Dependentes			Rendimento (%)
	Tempo de Liofilização (h)	Concentração de Maltodextrina (%)	Cor			
			a*	b*	L*	
1	29	15	-1,76 ±0,07	20,24 ±0,14	61,23 ±0,07	91,76
2	19	15	-1,15 ±0,05	20,34 ±0,07	60,15 ±0,42	90,92
3	29	5	-0,75 ±0,03	21,78 ±0,10	59,69 ±0,11	93,85
4	19	5	-0,74 ±0,01	21,77 ±0,02	59,49 ±0,08	93,94
5	24	10	-0,84 ±0,04	21,77 ±0,05	60,04 ±0,09	90,87
6	24	10	-1,24 ±0,02	21,11 ±0,06	61,15 ±0,04	91,08
7	24	10	-1,14 ±0,06	21,34 ±0,02	60,65 ±0,08	91,68
8	16,9	10	-0,31 ±0,02	21,22 ±0,06	58,75 ±0,04	65,19
9	31,1	10	-0,58 ±0,02	20,83 ±0,12	59,01 ±0,06	98,48
10	24	2,9	-0,75 ±0,03	21,62 ±0,04	59,91 ±0,14	94,17
11	24	17,1	-1,59 ±0,02	20,66 ±0,26	61,23 ±0,31	91,03

Os resultados dos efeitos da variável resposta a^* para os pós de manga Kent e Keitt estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Efeito estimado e grau de significância para a^* dos pós de manga Kent e Keitt obtidos por liofilização

Fator	Kent		Keitt	
	Efeito Estimado	Valor p	Efeito Estimado	Valor p
Tempo (L)	-0,28	0,09*	-0,24	0,18
Tempo (Q)	0,08	0,61	0,47	0,05*
Maltodextrina (L)	-0,79	$2,24 \times 10^{-3}$ *	-0,64	0,01*
Maltodextrina (Q)	-0,38	0,06*	-0,23	0,27
Interação T x M	0,01	0,92	-0,30	0,25

*Significativo a 10% ($p < 0,10$)

Na Tabela 17 estão apresentados os dados da análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão gerado para a^* dos pós da manga Kent e Keitt.

Tabela 17 – Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para a variável a^* dos pós de manga Kent e Keitt

	SQ		GL		QM		F _{cal}	
	Kent	Keitt	Kent	Keitt	Kent	Keitt	Kent	Keitt
Regressão	1,66	1,16	3	2	0,55	0,58	14,91*	6,57*
Resíduo	0,26	0,71	7	8	0,03	0,08		
Falta de ajuste	0,22	0,62	5	6	0,04	0,10	2,71	2,43
Erro puro	0,03	0,08	2	2	0,01	0,04		
Total	1,92	1,87	10	10	0,19	0,18		

SQ=Soma Quadrática; GL=Grau de Liberdade; QM=Média Quadrática; F_{calc}=Fcalculado.

* Significativo a 10% ($p < 0,10$).

O modelo matemático ajustado aos dados experimentais para variável dependente a^* do pó da polpa de manga Kent está representado pela Equação 18.

$$a^* = 3,07 \times 10^{-3} - 0,02T - 0,08M - 8,31 \times 10^{-3}M^2 \quad (\text{Equação 18})$$

Onde:

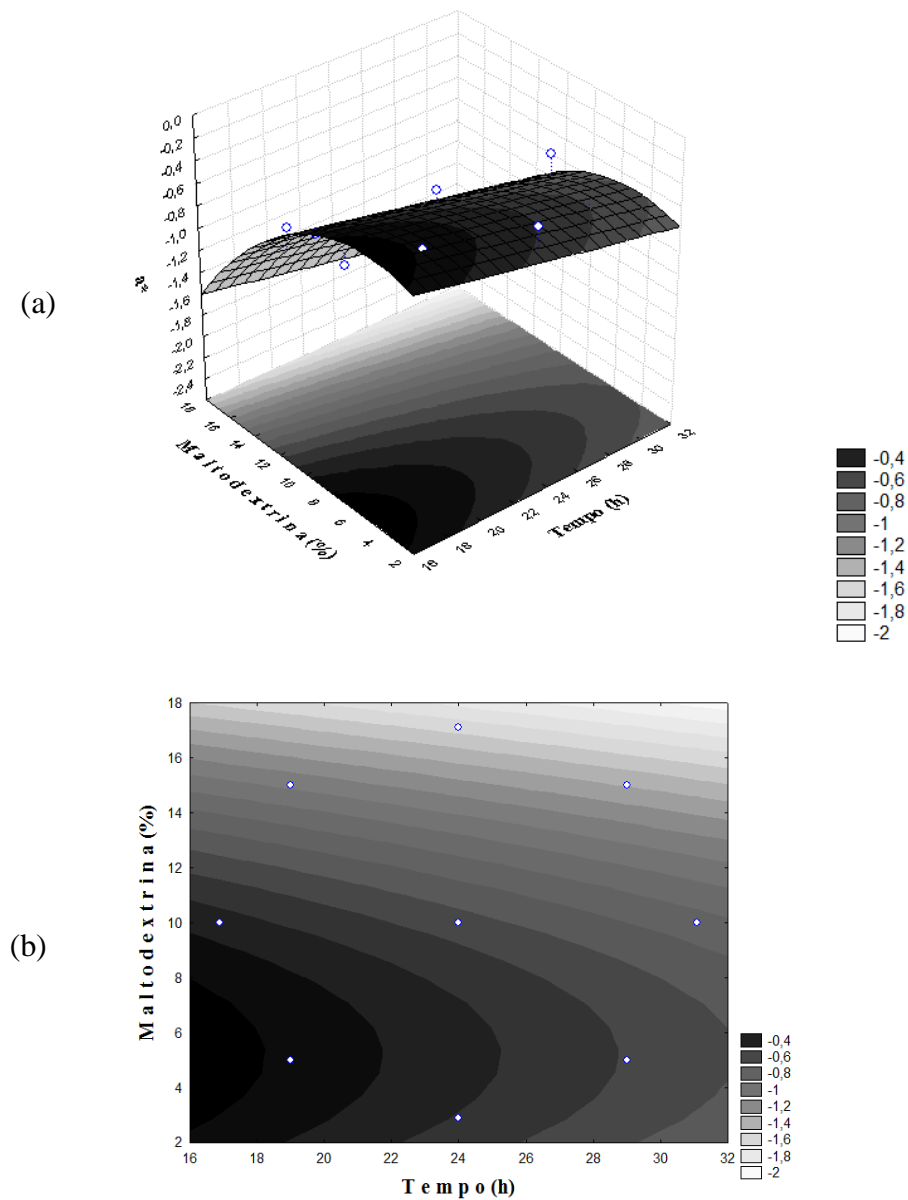
a^* : coordenada vermelho/verde;

T: tempo de liofilização (h);

M: concentração de maltodextrina (%).

Foram gerados a superfície de resposta e curva de contorno para a variável resposta a^* do pó de manga Kent (Figura 12).

Figura 12 – Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) da variável a^* do pó da polpa de manga Kent obtido por secagem em liofilizador



A Figura 12 gerada mostra que, valores com baixas concentrações de maltodextrina juntamente com um menor tempo de liofilização, o parâmetro a^* tende a permanecer neutro, próximo à zero. Com aumento das duas variáveis independentes percebe-se a perda da tonalidade vermelha (a^* positivo), essa condição pode estar atrelada ao tempo de exposição maior do produto na fase final da liofilização onde ocorre aquecimento para a retirada de umidade residual, condição essa citada por Ferreira *et al.* (2015) que descreve o aquecimento como um fator que influencia a redução do parâmetro a^* .

O modelo matemático ajustado para variável dependente a^* do pó da polpa de manga Keitt está apresentado na Equação 19.

$$a^* = -0,08 - 4,24 \times 10^{-4}T^2 - 0,06M \quad (\text{Equação 19})$$

Onde:

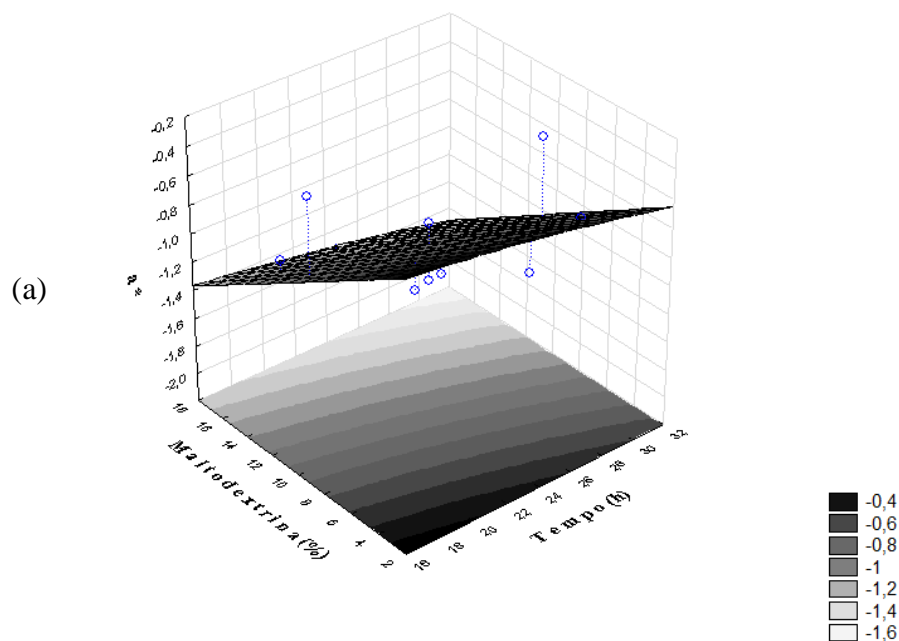
a^* : coordenada vermelho/verde;

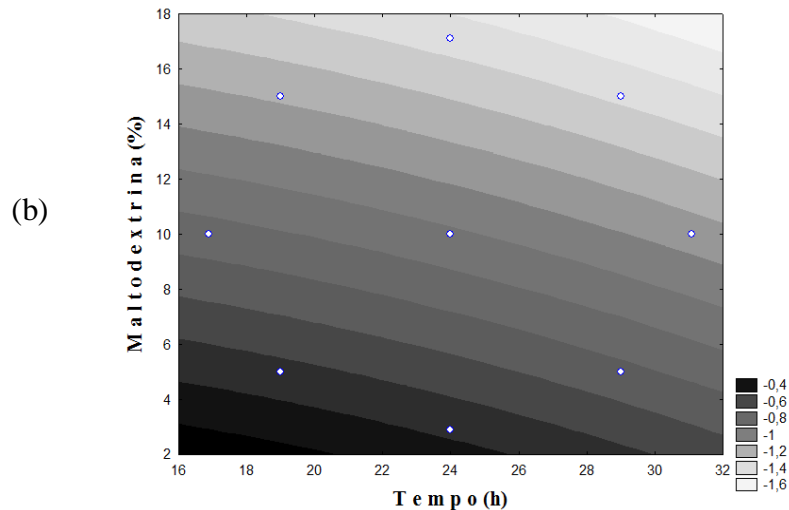
T: tempo de liofilização (h);

M: concentração de maltodextrina (%).

A superfície de resposta e a curva de contorno gerada para a variável resposta do parâmetro cor a^* do pó de polpa de manga Keitt estão apresentadas na Figura 13.

Figura 13 – Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) da variável a^* do pó da polpa de manga Keitt obtido por secagem em liofilizador





Os gráficos da superfície de resposta e da curva de contorno indicaram a influência da concentração de maltodextrina e do tempo de liofilização de maneira tal que o aumento das variáveis independentes provocam a alteração do parâmetro de cor a^* no sentido negativo, ou seja, tendendo para a cor verde.

Tendência que pode ser explicada pela coloração branca da maltodextrina e aumento do tempo ao qual o alimento é submetido ao aquecimento no final da liofilização, provocando assim a perda de pigmentos. Farahnahky *et al.* (2016) verificaram na produção de seu pó a diminuição do parâmetro cor a^* pela incorporação de maior concentração de maltodextrina.

5.2.2 Análise variável dependente b^*

Os resultados para o parâmetro de cor b^* em ambos cultivares ratificam a característica da polpa de manga definida por Caparino *et al.* (2012) em que menciona sua coloração amarela, evidenciada pelos valores positivos do parâmetro b^* , em todos os ensaios.

Observou-se que apenas o tempo de liofilização (Q) foi significativo ($p < 0,10$) para a variável resposta b^* do pó de manga Kent. Para os efeitos na variável b^* do pó de manga Keitt, apenas a maltodextrina (L) foi significativa ao nível de 10%, para a variável dependente b^* , apresentando um efeito negativo, ou seja, o aumento da concentração de maltodextrina provoca uma diminuição na variável b^* .

Na Tabela 18 estão descritos os efeitos para b^* dos pós de polpa de manga Kent e Keitt.

Tabela 18 – Efeito estimado e grau de significância para b* dos pós de manga Kent e Keitt obtidos por liofilização

Fator	Kent		Keitt	
	Efeito Estimado	Valor p	Efeito Estimado	Valor p
Tempo (L)	$-7,10 \times 10^{-4}$	0,99	-0,15	0,53
Tempo (Q)	-1,14	0,08*	-0,40	0,21
Maltodextrina (L)	-0,28	0,56	-1,07	$6,52 \times 10^{-3}$ *
Maltodextrina (Q)	-0,77	0,21	-0,29	0,35
Interação T x M	-0,74	0,30	-0,05	0,87

*Significativo a 10% ($p < 0,10$)

A análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão gerado para b* do pó da manga Kent e Keitt estão apresentadas na Tabela 19.

Tabela 19 – Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para a variável b* dos pós de manga Kent e Keitt

	SQ		GL		QM		F _{cal}	
	Kent	Keitt	Kent	Keitt	Kent	Keitt	Kent	Keitt
Regressão	1,88	2,33	1	1	1,88	2,33	5,50*	23,01*
Resíduo	3,07	0,91	9	9	0,34	0,10		
Falta de ajuste	1,93	0,69	7	7	0,27	0,09	0,48	0,89
Erro puro	1,14	0,22	2	2	0,57	0,11		
Total	4,96	3,25	10	10	0,49	0,32		

SQ=Soma Quadrática; GL=Grau de Liberdade; QM=Média Quadrática; F_{cal}=Fcalculado.

* Significativo a 10% ($p < 0,10$).

Constatou-se um F_{cal} (5,50) maior que o F_{tabelado} (3,36) na regressão para esta variável com relação ao pó Kent. Na falta de ajuste o F_{cal} (0,48) foi menor que o F_{tabelado} (9,34), sendo, portanto, não significativo, entretanto o coeficiente de determinação apresentou um valor baixo de 0,37, diante deste valor não foi apresentado o modelo matemático e não foram gerados os gráficos. A análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão gerado para b* do pó da manga Keitt expõe na falta de ajuste um F_{cal} (0,89) menor que o F_{tabelado} (9,34), constatou-se um F_{cal} (23,01) maior que o F_{tabelado} (3,36) na regressão e um valor de coeficiente de determinação de 0,71, denotando um bom ajuste do modelo aos dados obtidos.

O modelo matemático ajustado aos dados experimentais para variável dependente b* do pó da polpa de manga Keitt está representado pela Equação 20.

$$b^* = 22,23 - 0,10M$$

(Equação 20)

Onde:

b*: coordenada amarelo/azul;

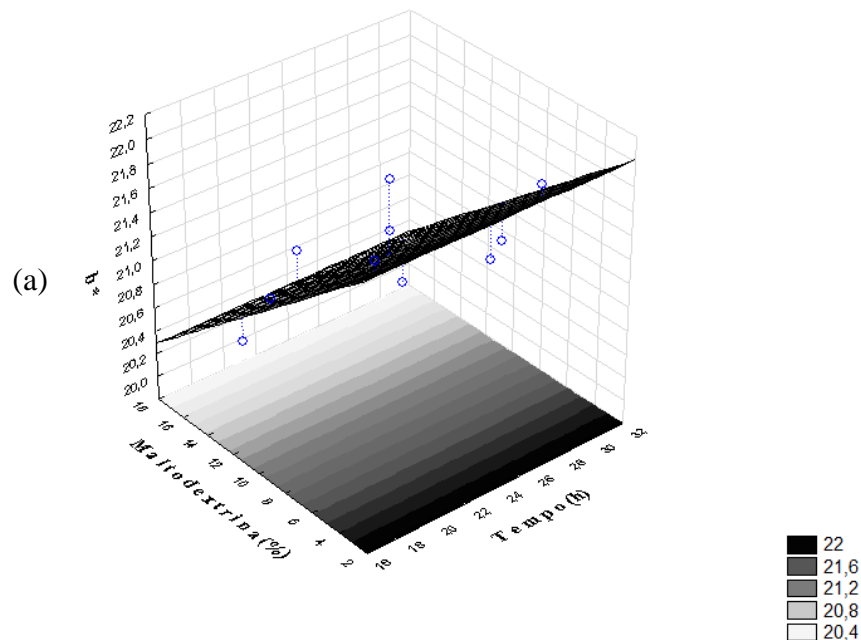
M: concentração de maltodextrina (%).

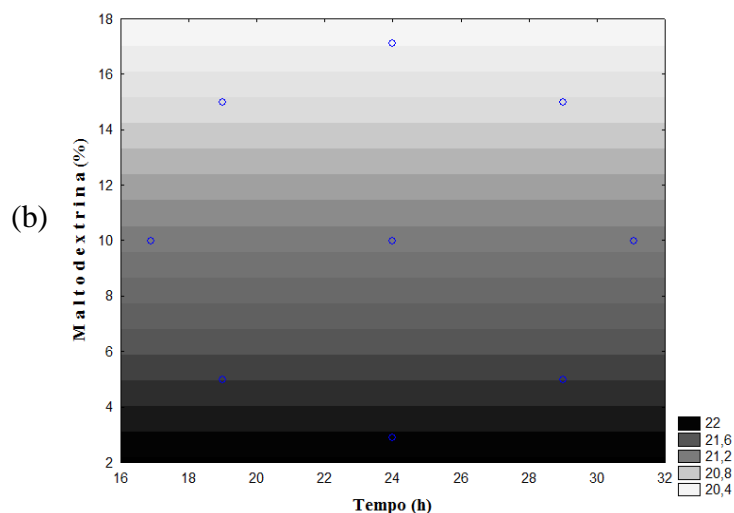
Foram gerados a superfície de resposta e curva de contorno para a variável resposta b* do pó de manga Keitt (Figura 14).

Na superfície de resposta e curva de contorno para o parâmetro de cor b* ficou evidenciado a influência da concentração de maltodextrina no valor da variável dependente.

Por apresentar a cor branca, a maltodextrina adicionada, alterou a cor natural da polpa. Yamashita *et al.* (2017) na liofilização de amora constatou a diminuição de b* com o aumento do adjuvante maltodextrina. Oliveira *et al.* (2014) observaram também a perda no valor do parâmetro b* no pó de polpa de cajá com a adição de maltodextrina, relacionando essa perda com a diluição da cor, provocada pela presença do adjuvante utilizado (maltodextrina).

Figura 14 – Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) da variável b* do pó da polpa de manga Keitt obtido por secagem em liofilizador





5.2.3 Análise variável dependente L^*

Todos os valores de L^* nos ensaios apresentaram valores positivos compreendidos entre 57,86 a 61,73 para a variedade Kent e 58,75 a 61,23 para a variedade Keitt mostrando boa luminosidade dos pós obtidos. Como a maltodextrina tem coloração branca, a quantidade crescente presente nas polpas aumentou o valor de L^* dos pós (CALISKAN; DIRIM, 2016). A influência da maltodextrina na luminosidade foi constatada na avaliação de cor do pó obtido por Oberoi e Sogi (2015).

Os efeitos para a variável dependente L^* dos pós de manga Kent e Keitt estão descritos na Tabela 20.

Tabela 20 – Efeito estimado e grau de significância para L^* dos pós de manga Kent e Keitt obtidos por liofilização

Fator	Kent		Keitt	
	Efeito Estimado	Valor p	Efeito Estimado	Valor p
Tempo (L)	0,49	0,43	0,41	0,26
Tempo (Q)	-1,62	0,06*	-1,52	0,01*
Maltodextrina (L)	1,73	0,03*	1,01	0,02*
Maltodextrina (Q)	0,00	0,99	0,15	0,70
Interação T x M	-0,83	0,36	0,44	0,38

*Significativo a 10% ($p < 0,10$)

Constatou-se para os pós de manga Kent que o tempo de liofilização (Q) e a concentração de maltodextrina (L) apresentaram significância ao nível de 10% em relação a

variável analisada. Observaram-se, também, os efeitos sobre a variável L^* do pó de manga Keitt. O tempo de liofilização (Q) e a concentração de maltodextrina (L) foram significativos para a variável analisada.

Na Tabela 21 é apresentado a análise de variância (ANOVA) da variável L^* dos pós de manga Kent e Keitt.

Tabela 21 – Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para a variável L^* dos pós de manga Kent e Keitt

	SQ		GL		QM		F _{cal}	
	Kent	Keitt	Kent	Keitt	Kent	Keitt	Kent	Keitt
Regressão	9,78	5,37	2	2	4,89	2,68	7,71*	9,81*
Resíduo	5,07	2,19	8	8	0,63	0,27		
Falta de ajuste	3,47	1,57	6	6	0,57	0,26	0,72	0,84
Erro puro	1,59	0,61	2	2	0,79	0,30		
Total	14,85	7,56	10	10	1,48	0,75		

SQ=Soma Quadrática; GL=Grau de Liberdade; QM=Média Quadrática; F_{calc}=Fcalculado.

* Significativo a 10% ($p < 0,10$).

Para a análise de regressão do pó Kent, o F_{cal} (7,71) foi maior que $F_{tabelado}$ (3,11), para a falta de ajuste o F_{cal} (0,72) foi menor que o $F_{tabelado}$ (9,32) e o coeficiente de determinação apresentou um valor de 0,65. Na análise de variância (ANOVA) da variável L^* do pó de manga Keitt, o F_{cal} (9,81) foi maior que $F_{tabelado}$ (3,11) para a análise de regressão, para a falta de ajuste o F_{cal} (0,84) foi menor que o $F_{tabelado}$ (9,32) não sendo significativo e para o coeficiente de determinação o valor foi de 0,71.

O modelo matemático ajustado aos dados experimentais para variável dependente L^* do pó da polpa de manga Kent está representado pela Equação 21.

$$L^* = 57,04 + 7,6 \times 10^{-4}T^2 + 0,17M \quad (\text{Equação 21})$$

Onde:

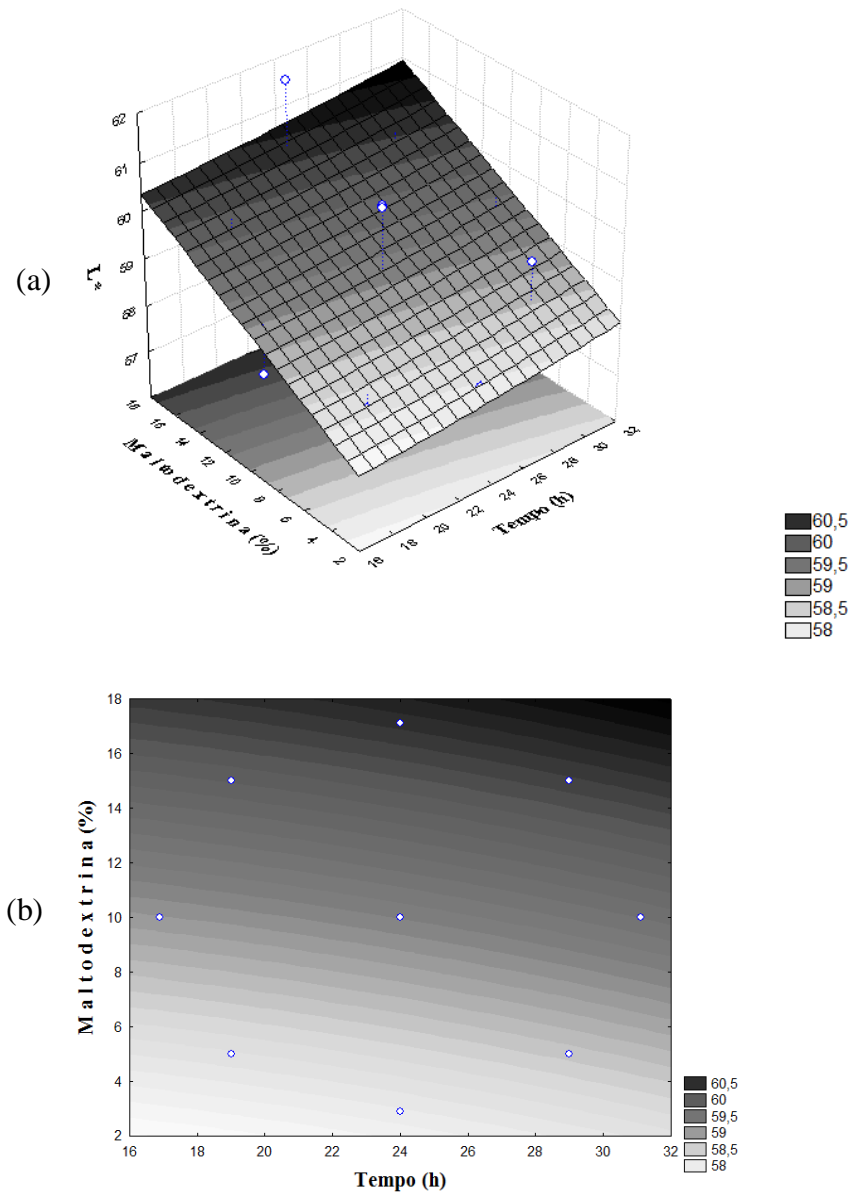
L^* : Luminosidade;

T: Tempo de liofilização (h);

M: concentração de maltodextrina (%).

Foram gerados a superfície de resposta e curva de contorno para a variável resposta L^* do pó de manga Kent (Figura 15).

Figura 15 – Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) da variável L^* do pó da polpa de manga Kent obtido por secagem em liofilizador



Pelos gráficos de superfície de resposta e curva de contorno da variável L^* para o pó de manga Kent a concentração de maltodextrina e o tempo de liofilização, este em menor intensidade, exerceram influência na luminosidade (L^*) final do pó. O efeito em L^* pode ter justificativa, assim como para o parâmetro de cor a^* , na concentração maior de maltodextrina à polpa e na temperatura aumentada no final da liofilização.

O modelo matemático ajustado aos dados experimentais para variável dependente L^* do pó da polpa de manga Keitt está representado pela equação 22.

$$L^* = 58,76 + 5,8 \times 10^{-4}T^2 + 0,10M \quad (\text{Equação 22})$$

Onde:

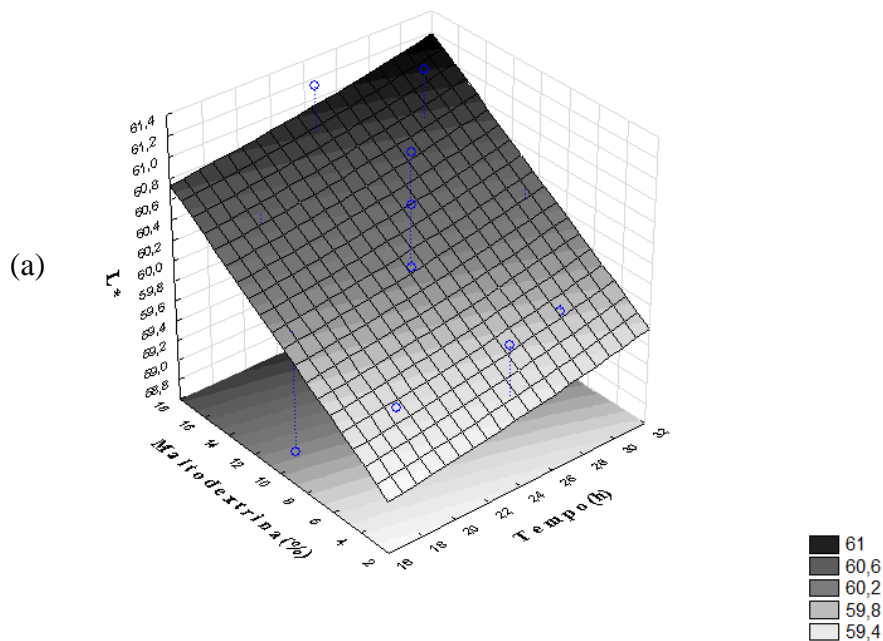
L*: Luminosidade;

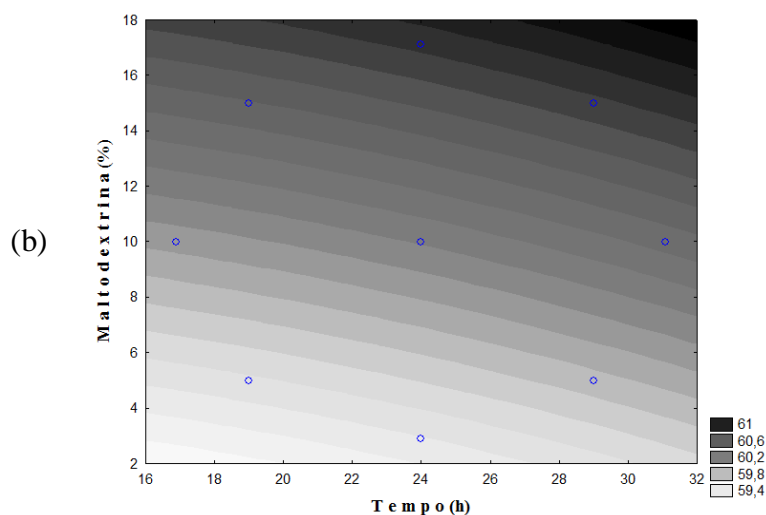
T: Tempo de liofilização (h);

M: concentração de maltodextrina (%).

Foram gerados a superfície de resposta e curva de contorno para a variável resposta L* do pó de manga Keitt (Figura 16). A superfície de resposta e a curva de contorno da variável L* para os pós da manga Keitt, assim como da manga Kent, apresentaram características semelhantes quanto à influência da concentração de maltodextrina e do tempo de liofilização, esta, também, com menor influência em relação à maltodextrina. Marques *et al.* (2014) afirma que a maior concentração de maltodextrina em pós favorece a luminosidade.

Figura 16 – Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) da variável L* do pó da polpa de manga Keitt obtido por secagem em liofilizador





5.2.4 Análise variável dependente rendimento

Valores máximos de 93,24% e 98,48% e mínimos 70,23% e 65,19% de rendimento foram calculados para os pós das variedades Kent e Keitt respectivamente. A incorporação de materiais poliméricos, como adjuvante de secagem, minimiza problema de manipulação de produtos açucarados além de aumentar o rendimento do processo (OLIVEIRA *et al*, 2013).

Observou-se que o menor rendimento ocorreu no ensaio de menor tempo de liofilização. O tempo reduzido de processo, além de produzir um pó com alta umidade, parte do material ficou aderido à bandeja, refletindo na diminuição do rendimento.

Os resultados dos efeitos para a variável rendimento dos pós de manga Kent e Keitt estão apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 – Efeito estimado e grau de significância para rendimento do pós de manga Kent e Keitt obtidos por liofilização

Fator	Kent		Keitt	
	Efeito Estimado	Valor p	Efeito Estimado	Valor p
Tempo (L)	9,05	0,08*	11,95	0,08*
Tempo (Q)	-4,28	0,43	-6,66	0,36
Maltodextrina (L)	-1,83	0,68	-2,37	0,69
Maltodextrina (Q)	3,60	0,50	4,01	0,57
Interação T x M	1,73	0,78	0,45	0,95

*Significativo a 10% ($p < 0,10$)

Observou-se que o tempo de liofilização (L) foi significativo ao nível de confiança de 10% sobre a variável estudada para o pó Kent. Como o efeito estimado foi positivo, isso indica que quanto maior o tempo de liofilização maior será o rendimento. Os resultados dos efeitos para a variável rendimento para o pó de manga Keitt notou-se que o tempo de liofilização (L) foi significativo ($p < 0,10$).

Na análise de variância (ANOVA), o $F_{\text{cal}} (5,82)$ foi maior que $F_{\text{tabelado}} (3,36)$ para a análise de regressão do pó Kent e para a falta de ajuste o $F_{\text{cal}} (9,04)$ foi ligeiramente menor que o $F_{\text{tabelado}} (9,34)$. Para o pó Keitt, verificou-se no modelo de regressão que $F_{\text{cal}} (5,65)$ foi maior que $F_{\text{tabelado}} (3,36)$, sendo portanto, significativo, assim, como também, observado na falta de ajuste, que foi significativa, com $F_{\text{cal}} (371,08)$ maior que $F_{\text{tabelado}} (9,34)$.

O coeficiente de determinação foi baixo em ambas variedades com Kent apresentando valor de 0,39 e Keitt 0,38, sendo que os modelos matemáticos não representaram bem a variação dos resultados, conseqüentemente os gráficos não foram apresentados.

Na Tabela 23 estão apresentados os dados da análise de variância da variável rendimento do pós de manga Kent e Keitt.

Tabela 23 – Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para a variável rendimento dos pós de manga Kent e Keitt

	SQ		GL		QM		F _{cal}	
	Kent	Keitt	Kent	Keitt	Kent	Keitt	Kent	Keitt
Regressão	164,53	287,18	1	1	164,53	287,18	5,82*	5,65*
Resíduo	254,41	457,14	9	9	28,26	50,79		
Falta de ajuste	246,62	456,79	7	7	35,23	65,25	9,04	371,08*
Erro puro	7,78	0,35	2	2	3,89	0,17		
Total	418,94	744,33	10	10	41,89	74,43		

SQ=Soma Quadrática; GL=Grau de Liberdade; QM=Média Quadrática; F_{calc}=Fcalculado.

* Significativo a 10% ($p < 0,10$).

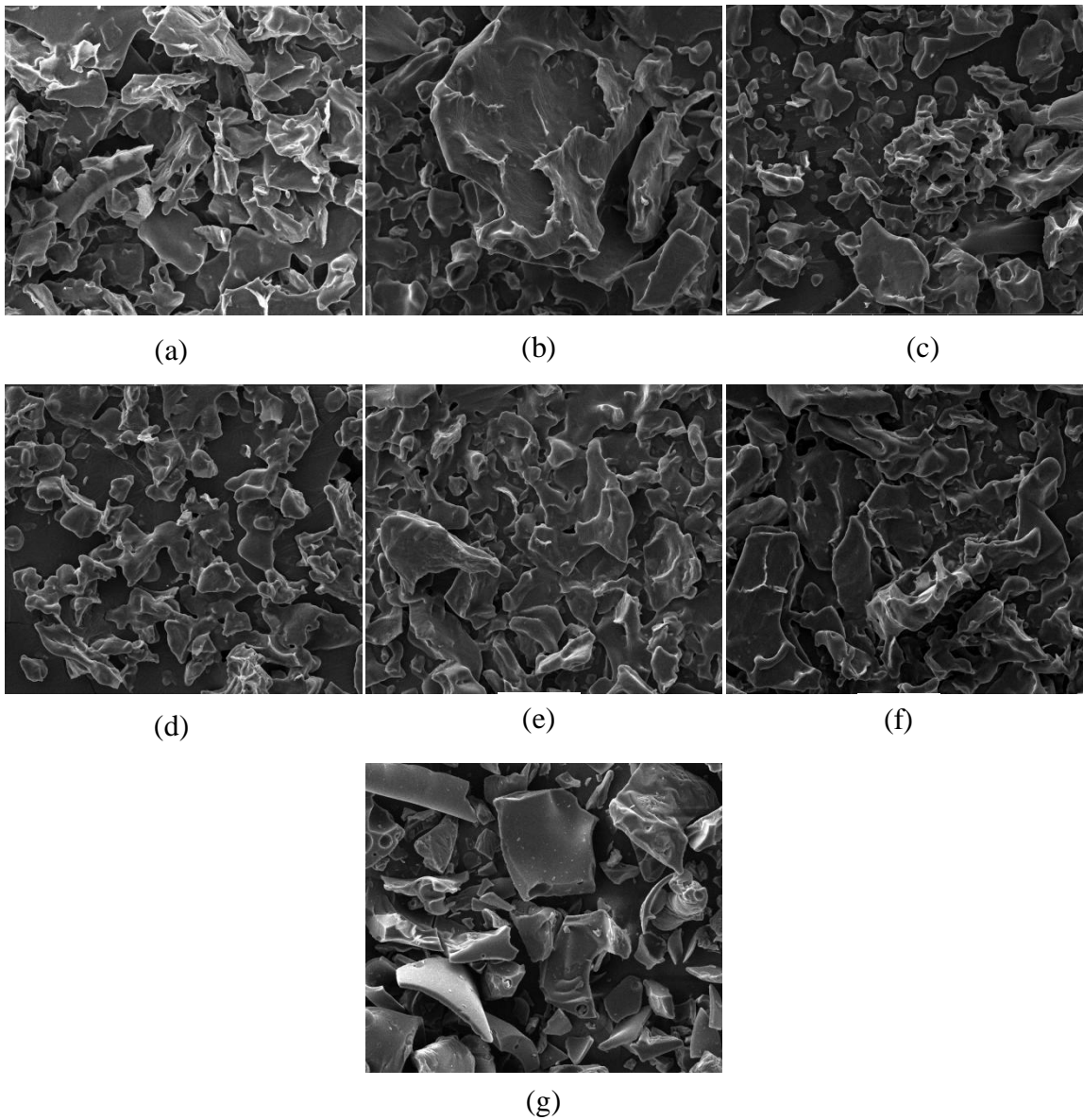
5.3 Morfologia dos pós de manga Kent e Keitt

Conceição; Fernandes e Resende (2016) afirmam que os pós obtidos por liofilização apresentam uma estrutura porosa esse comportamento se deve ao estado sólido da água durante a liofilização que protege a estrutura primária do alimento. Caparino *et al.*

(2012) também reforça esta afirmação na observação de seu pó de manga “Carabao” cuja porosidade foi maior que os pós obtidos em outros tipos de secagem.

A Figura 17 apresenta a micrografia da estrutura dos pós de manga Kent e Keitt adicionados de 5, 10 e 15% de maltodextrina e da maltodextrina DE20 utilizada como adjuvante na condução da liofilização com duração de 24 horas.

Figura 17 - Micrografias da polpa de manga em pó Kent adicionada de maltodextrina a 5% (a), 10% (b), 15% (c), da polpa de manga em pó Keitt adicionada de maltodextrina a 5% (d), 10% (e), 15% (f) e maltodextrina pura (g) com aproximação de 1000x



A porosidade é advinda de determinadas condições favoráveis de liofilização, onde os materiais mantêm o seu volume de estado congelado e uma estrutura altamente

porosa resulta da sublimação do gelo, essas mesmas condições, no entanto, aumentam o fluxo viscoso de sólidos concentrados e causam colapso estrutural e perda de porosidade (HARNKARNSUJARIT; CHAROENREIN; ROOS, 2012).

Outra característica do material poroso está relacionada à sua granulometria, partículas menores apresentam maior área de superfície por volume, para uma mesma massa, apresentando maior quantidade de ar intersticial, o que interfere na densidade aparente e na porosidade dos pós (JULIANO; BARBOSA-CÁNOVAS, 2010).

Observou-se a presença de partículas menores nas micrografias dos pós das mangas Kent e Keitt que foram adicionados a quantidade de 5% de maltodextrina (Figura 19 (a) e (d)). Zotarelli (2014) evidenciou essa característica na visualização da micrografia da manga liofilizada sem adição de qualquer adjuvante. Este, ainda, constata uma estrutura totalmente irregular e sem a presença de partículas com superfície lisa. Para minimizar o efeito da presença de partículas menores utiliza-se maltodextrina como adjuvante de secagem, cuja característica de alto peso molecular que, incorporada ao produto, aumenta a temperatura de transição vítrea, reduz a viscosidade e produz um pó de fluxo mais livre e melhor manuseio (FARAHNAKY *et al.*, 2016).

Superfícies mais lisas são observadas na micrografia da maltodextrina (Figura 19 (g)) que ao ser incorporada às polpas Kent e Keitt possivelmente transfere essa característica ao pó obtido. Observa-se além das superfícies mais lisas, que as superfícies tiveram seu tamanho aumentado de acordo com a maior adição de maltodextrina às polpas. Caparino *et al.* (2012) explica que a formação de partículas de superfície mais lisa diminui a porosidade e melhora a estabilidade do produto, uma vez que a área disponível para a oxidação é menor. Sousdaleff *et al.* (2013) na liofilização de curcumina descrevem que os pós liofilizados também apresentaram uma superfície mais lisa com a adição da maltodextrina.

5.4 Propriedades reológicas dos pós de polpa de manga Kent e Keitt

Na Tabela 24 e 25 estão descritos os resultados da tensão principal de consolidação (σ_1) e da tensão não confinada de cisalhamento (σ_c) dos pós de polpa de manga Kent e Keitt obtidos por liofilização (24 h) adicionados de 5, 10 e 15% de maltodextrina respectivamente. Os resultados mostraram que os valores da tensão não confinada de cisalhamento diminuíram em função da adição de maltodextrina. Tal resultado indicou que com o aumento da concentração de adjuvante à polpa ocorreu uma diminuição da tensão de deslizamento do pó, o que caracteriza o maior escoamento do produto.

Tabela 24 – Valores da tensão aplicada aos pós da polpa de manga Kent adicionados de 5, 10 e 15% de maltodextrina

5% maltodextrina		10% maltodextrina		15% maltodextrina	
σ_1 (kPa)	σ_c (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_c (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_c (kPa)
1,959	1,720	2,299	0,828	1,976	0,695
3,631	3,046	4,763	1,107	4,440	1,213
6,689	5,170	9,517	2,159	9,324	2,283
12,701	9,057	17,688	3,604	18,875	4,066
24,493	17,701	36,700	7,924	36,281	7,757

σ_1 – tensão principal de consolidação(kPa); σ_c - tensão não confinada de cisalhamento (kPa)

Tabela 25 – Valores da tensão aplicada aos pós da polpa de manga Keitt adicionados de 5, 10 e 15% de maltodextrina

5% maltodextrina		10% maltodextrina		15% maltodextrina	
σ_1 (kPa)	σ_c (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_c (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_c (kPa)
1,659	1,447	2,413	1,038	2,148	0,805
3,191	2,340	5,002	1,481	4,372	1,224
5,375	4,004	9,776	2,636	9,103	2,138
10,770	7,790	19,839	4,599	17,373	3,546
21,720	17,100	40,208	8,697	35,538	8,251

σ_1 – tensão principal de consolidação(kPa); σ_c - tensão não confinada de cisalhamento (kPa)

A ação da maltodextrina incorporada à polpa, facilitando o escoamento dos pós, pode ser justificada na alteração das características, como tamanho e porosidade das partículas, esta alteração pode ser observada nas micrografias obtidas e apresentadas no item 5.3 deste trabalho.

Com os dados obtidos das Tabelas 24 e 25 e segundo Thomson (1997) pôde-se obter os resultados para os índices de fluxo (ffc) através da razão entre a média da tensão principal de consolidação (σ_1) e da tensão não confinada de cisalhamento (σ_c).

A partir dos valores obtidos do índice de fluxo (ffc) para os pós das duas variedades de manga uma classificação definida por Jenike (1964), a qual cita que quanto mais facilmente um pó flui maior a tensão principal de consolidação (σ_1) em relação à tensão não confinada de cisalhamento (σ_c), define os pós com 10 e 15% de maltodextrina como pós

de fácil escoamento, enquanto que o pó com 5% de maltodextrina foi classificado como muito coeso.

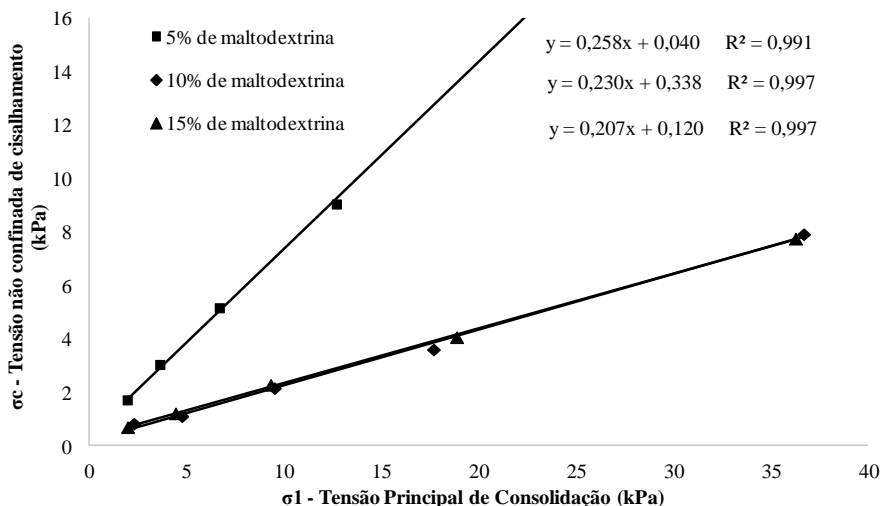
Na Tabela 26 estão apresentados os valores obtidos para os índices de fluxo (ffc) para os pós de polpa Kent e Keitt nas diferentes concentrações de maltodextrina adicionadas.

Tabela 26 – Valores dos índices de fluxo (ffc) dos pós de polpa de manga Kent e Keitt

Pós (% maltodextrina)	Índice de fluxo Pó Kent	Índice de fluxo Pó Keitt
5	1,348	1,307
10	4,542	4,186
15	4,427	4,293

A avaliação do escoamento do pó pode ser obtida graficamente a partir dos valores da tensão principal de consolidação (σ_1) e tensão não confinada de cisalhamento (σ_c) (JULIANO; BARBOSA-CÁNOVAS, 2010). Através das figuras 20 e 21 pode-se avaliar os comportamentos dos escoamentos dos pós das polpas de manga Kent e Keitt obtidos por liofilização nas diferentes concentrações do adjuvante.

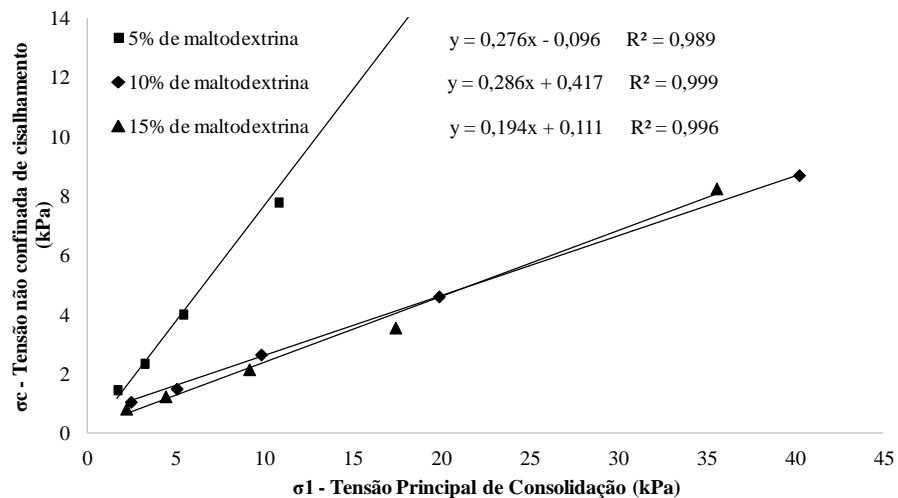
Figura 18 – Avaliação do escoamento dos pós de polpa de manga Kent com 5%, 10% e 15% de maltodextrina



De acordo com Jenike (1964) quanto mais próxima a curva do eixo horizontal mais fácil o escoamento. Observou-se nos dois gráficos, o que os índices de fluxo já indicavam (Tabelas 26 e 27), os pós com maior quantidade de adjuvante tiveram um melhor escoamento, provocado, provavelmente, pela maior proporção do próprio adjuvante.

Importante frisar o comportamento das curvas dos pós com 10 e 15% de maltodextrina apresentaram inclinação muito similar denotando pouca diferença, quanto ao escoamento, entre eles. O escoamento é uma característica complexa, que não depende apenas das propriedades do material mas também do histórico de stress que o material experimentou e do equipamento de processamento utilizado para obtenção do mesmo (KOYNOV; GLASSER; MUZZIO, 2015).

Figura 19 – Avaliação do escoamento dos pós de polpa de manga Keitt com 5%, 10% e 15% de maltodextrina



Dentro das propriedades do material, Seerangurayar *et al.* (2017) afirmam que o escoamento é controlado pela distribuição do tamanho das partículas e teor de umidade do pó. Essas informações ratificam a influência da maltodextrina no comportamento dos pós, em virtude do adjuvante ter alterado as características do material obtido e observado na microscopia eletrônica de varredura.

Rodrigues (2017) relata comportamento semelhante quanto à inclinação da curva nos pós de polpa de manga cv. Tommy Atkins liofilizada com 10 e 15% de maltodextrina.

Segundo Thomson (1997) a densidade aparente de um sólido é uma função da tensão principal de consolidação (σ_1), que durante o escoamento, muda à medida que as tensões mudam.

Podem ser observadas nas Figuras 22 e 23 a densidade aparente dos pós de polpa manga Kent e Keitt nas diferentes concentrações de adjuvante. Observou-se, ainda, que a menor densidade foram para os pós obtidos com a menor proporção de adjuvante (5%). A

densidade aparente está relacionada com a porosidade do material, quanto mais poroso menor a densidade aparente. (SEERANGURAYAR *et al.*, 2017; FRANCO *et al.*, 2016).

Pela microscopia eletrônica de varredura os pós com menor quantidade de adjuvante apresentaram maior porosidade, porosidade esta como já citada, é característica do produto obtido por liofilização.

Figura 20 – Densidade Aparente para os pós de polpa de manga Kent com diferentes concentrações de maltodextrina

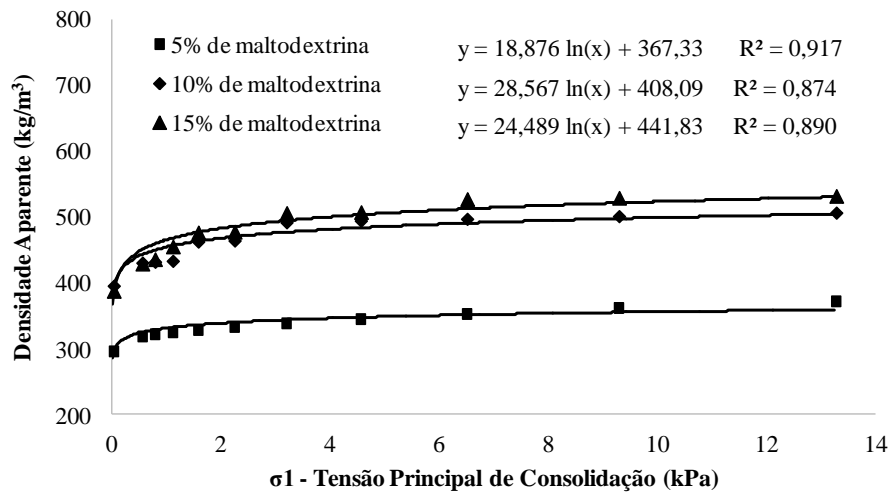
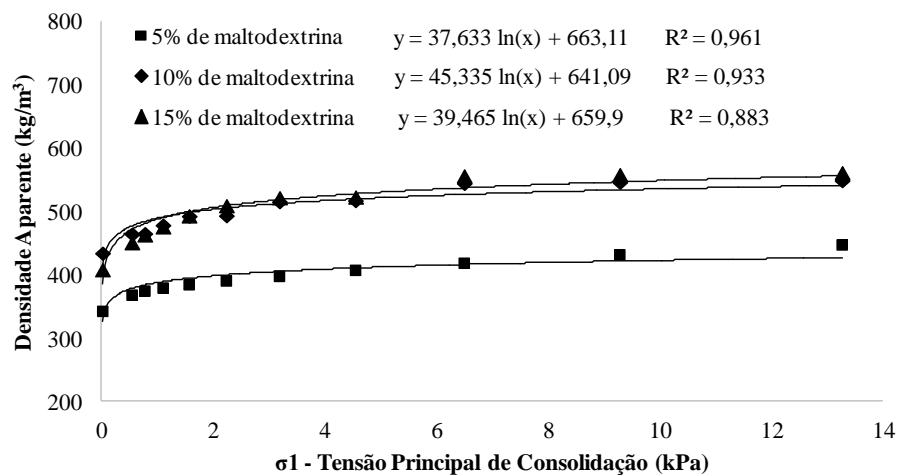


Figura 21 – Densidade Aparente para os pós de polpa de manga Keitt com diferentes concentrações de maltodextrina



Foi observado pelas micrografias que com o aumento da maltodextrina houve uma diminuição da porosidade dos pós obtidos e isso pode justificar o aumento da densidade aparente nos pós com maior quantidade de adjuvante. Sogi; Siddiq e Dolan (2015)

encontraram valores de 390 kg/m^3 para a densidade aparente dos pós de manga Tommy Atkins obtidos por liofilização sem adição de maltodextrina.

Na Tabela 27 é apresentado os valores médios dos ângulos de atrito interno máximo e mínimo com a parede da polpa de manga em pó Kent e Keitt obtidos por liofilização em diferentes concentrações de maltodextrina.

Tabela 27 – Valores máximo e mínimo do ângulo de atrito interno com a parede dos pós de polpa de manga Kent e Keitt

Pós (% maltodextrina)	φ_w (°) máximo Pó Kent	φ_w (°) máximo Pó Keitt	φ_w (°) mínimo Pó Kent	φ_w (°) mínimo Pó Keitt
5	42,4	59,9	27,2	36,2
10	26,8	23,7	21,5	18,0
15	29,3	28,8	20,4	20,3

φ_w (°) – ângulo de atrito interno com a parede

Observou-se que os menores valores do ângulo de atrito com a parede foi para os pós com maior porcentagem de maltodextrina para os dois cultivares analisados. Fitzpatrick, Barringer, e Iqbal (2004) citam que os pós com maior ângulo de atrito interno com a parede apresentam um menor escoamento. No presente trabalho, os pós com menor porcentagem de maltodextrina apresentaram um maior atrito com a parede analisada, cujo material foi aço inoxidável. Iqbal e Fitzpatrick (2006) afirmam que o ângulo de atrito interno com a parede é maior para partículas menores o que ratifica os resultados apresentados, principalmente, pela característica dos pós obtidos com 5% de maltodextrina, onde pela microscopia eletrônica pôde-se observar pós com de tamanhos menores.

Bian *et al.* (2015) analisando dois tipos de farinha de trigo determinou valores de $13,1^\circ$ e $14,1^\circ$, portanto, menores do que os encontrados neste trabalho, valor mínimo de $20,4^\circ$ para o pó Kent com 15% de maltodextrina e valor mínimo de $18,0^\circ$ para o pó Keitt com 10% de maltodextrina. Tais valores devem provavelmente estar relacionados com o tamanho da partícula. Mohd Salleh *et al.* (2014) analisando o comportamento de três excipientes fármacos encontrou valores de 25° , 22° e $30,8^\circ$ para o acdisol, avisel e deltoidea respectivamente, valores estes mais próximos aos encontrados para os pós obtidos neste trabalho, possivelmente explicado pela similaridade com o tamanhos das partículas. Lopes Neto; Nascimento e Lopes (2012) ao estudarem os modelos de previsão do fluxo e vazão de descarga de quatro produtos agrícolas: Milho e feijão (grãos), milho triturado e farelo de soja (pós). Relataram ângulos inferiores de $13,2^\circ$; $14,9^\circ$; $23,0^\circ$ e $23,4^\circ$ e ângulos superiores de

15,8°; 15,6°; 23,9° e 25,0° para os grãos de milho e feijão e os farelos de milho e soja, respectivamente.

As Figuras 24 e 25 apresentam o comportamento do ângulo de atrito interno com a parede (φ_w) em função da tensão aplicada nos pós de polpa de manga Kent e Keitt adicionados com diferentes proporções de maltodextrina.

Figura 22 – Ângulo de atrito interno com a parede (φ_w) para os pós de polpa de manga Kent com diferentes concentrações de maltodextrina

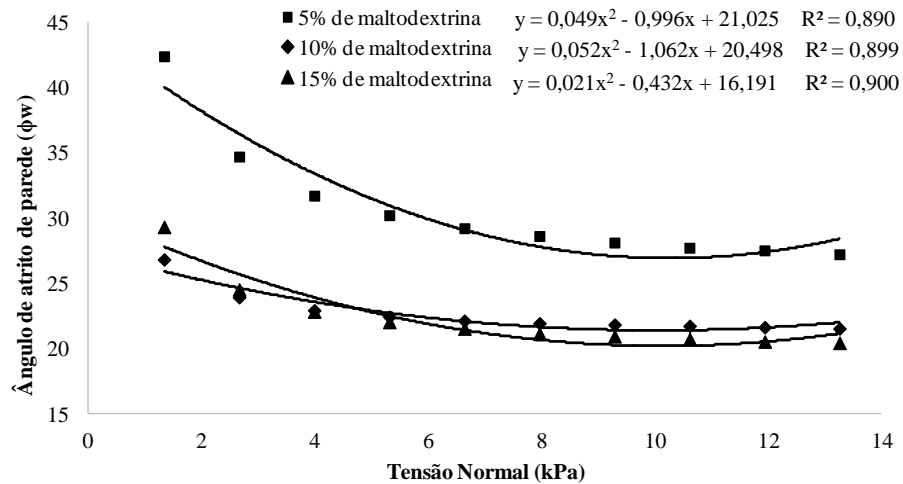
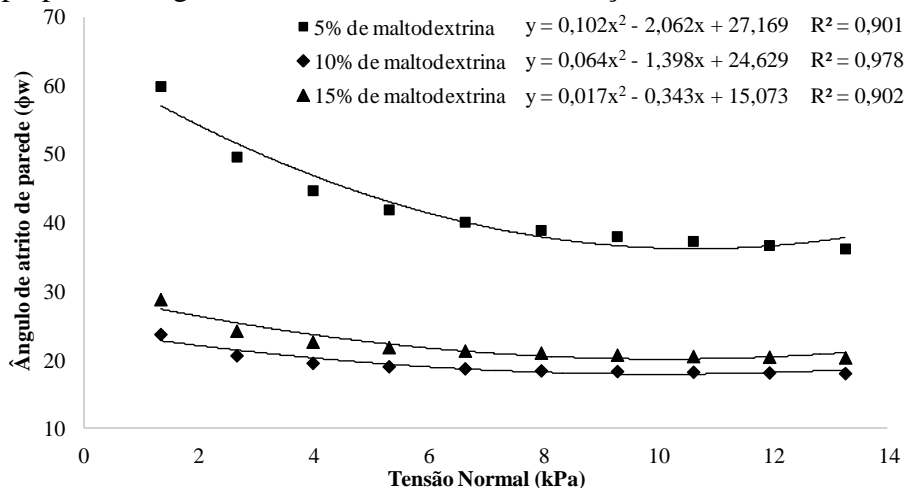


Figura 23 – Ângulo de atrito interno com a parede (φ_w) para os pós de polpa de manga Keitt com diferentes concentrações de maltodextrina



Os dados ajustados à equação da curva mostraram coeficientes de determinação (R^2) altos, menor de 0,890 e maior 0,978, evidenciando um bom ajuste dos resultados. Pode-se notar que houve pouca diferença no comportamento do ângulo de atrito para os pós com 10 e 15% de adjuvante em ambos os cultivares, o que leva a crer que a utilização de

concentrações acima de 10% de maltodextrina não acarretam benefícios em termos de escoamento que justifique a utilização de uma maior quantidade do adjuvante.

5.5 Melhor condição do produto em pó obtido por liofilização a partir da polpa de manga Kent e Keitt

A partir de análise do planejamento experimental feito para as duas variedades e considerando todas as variáveis respostas estudadas elegeu-se o ponto central (10% maltodextrina; 24 horas de liofilização) como a melhor condição de secagem para as duas variedades.

Observou-se pelos resultados do planejamento experimental que a variável umidade, excetuando-se para as secagens com o menor tempo de liofilização, obtiveram valores que caracterizaram um bom pó quanto aos aspectos de estabilidade. Ressalta-se que, apesar dos menores valores desta variável serem conseguidos em processos mais longos, a liofilização tem um custo elevado o que não refletiria em um pó com uma umidade muito inferior em relação à umidade obtida no ponto central. Tais observações feitas para a variável umidade aplicam-se também à atividade de água, que indicaram boa característica quanto à estabilidade microbiológica do produto.

Outra variável analisada e importante por indicar parâmetros de maior estabilidade do pó foi a higroscopicidade. Os valores observados nos pontos centrais não diferiram muito em relação aos ensaios com maior tempo e a concentração de maltodextrina.

O alto rendimento é fator característico da liofilização, excluindo o processo com 16,9 horas todos os rendimentos para os ensaios tanto da polpa Kent quanto a Keitt foram satisfatórios. Observação a ser feita foi que o rendimento apresentado no ensaio 9 para a variedade Keitt, apesar do maior rendimento obtido, 98,48%, o tempo de liofilização também foi maior, conseqüentemente gerando ao fim do processo alto custo de operação.

Para os parâmetros colorimétricos observou-se o valor positivo para b^* , preservando a cor amarela, característico da polpa de manga e pós com alta luminosidade refletidos no valor de L^* em todos os ensaios.

A escolha do ponto central se assemelhou aos escolhidos por Rodrigues (2017) e Costa (2017) trabalhando com polpa de manga liofilizada cultivares Tommy Atkins e Palmer respectivamente.

Faz-se necessário destacar também, além dos dados obtidos pelo planejamento experimental, as características obtidas a partir das análises de escoamento dos pós com 5, 10

e 15% de maltodextrina. O comportamento em relação ao escoamento dos pós com 10 e 15% de adjuvante foram semelhantes, como observada nas análises reológicas. Tal semelhança induz ao descarte de uso de concentrações mais altas de adjuvante adicionado à polpa reduzindo assim custos em relação ao gasto com esse material.

5.6 Caracterização físico-química da polpa e do pó de manga CV. Kent e Keitt

Pela Instrução Normativa N° 01, de 07 de janeiro de 2000 (BRASIL, 2000) que define os padrões de identidade e qualidade de polpa de frutas, entre elas a manga, os valores para sólidos solúveis, tendo como 11 °Brix o valor mínimo para polpa de manga, estão dentro dos padrões tanto para a polpa Kent quanto para Keitt. Para o parâmetro açúcar total, a polpa Kent apresentou-se dentro do padrão definido pela normativa que é de no máximo 17%. O açúcar total para polpa Keitt, bem como os valores para pH e acidez para as duas variedades apresentaram-se com valores fora do regulamentado, que é de 4,4 para pH (limite máximo) e 3,2% para acidez (limite mínimo). Tais características, fora dos padrões de identidade para polpa de manga podem ser em virtude do despulpamento tardio dos frutos observado durante esse processo. O despulpamento tardio, com a maturidade da fruta em estágio avançado, acaba propiciando mudanças moleculares que afetam as características de qualidade do fruto (OSÓRIO; FERNIE, 2013; IBARRA-GARZA *et al.*, 2015). Chitarra e Chitarra (2005) afirmam que o amadurecimento de frutas, em geral, conduz a um aumento de açúcares simples e decréscimo da acidez.

Manthey e Perkins-Veazie (2009) avaliando a influência da pós-colheita nas características físico-químicas de manga, entre elas Kent e Keitt, trabalhou com frutos com valores de pH entre 3,8 a 4,3, valores abaixo dos que encontrados neste trabalho para as duas variedades. Cissé *et al.* (2015) em trabalho sobre a preservação da qualidade da manga Kent, utilizando revestimentos funcionais, observou no pH, durante o armazenamento sem revestimento, valores menores do que a variedade aqui analisada que foi de 4,88. Estudos avaliando físico-quimicamente e os antioxidantes em quatro cultivares de manga na China obtiveram valor de pH para a variedade Keitt de 5,58 (LIU *et al.*, 2013), valor acima do que encontrado no presente trabalho. Nos pós das polpas os valores encontrados para pH foram 4,47 para Kent e 4,73 para a Kent, Sogi, Siddiq e Dolan (2015) em seu pó de manga Tommy Atkins encontraram valor de 3,65. Tal diferença entres os valores de pH podem estar relacionados com a variedade dos frutos, período de colheita ou processos pós-colheita. Os resultados da caracterização das polpas e dos pós de manga estão apresentados na Tabela 28.

Tabela 28 – Caracterização físico-química da polpa integral e do pó de manga Kent e Keitt

Parâmetros	Polpa Kent	Polpa Keitt	Pó Kent	Pó Keitt
pH	5,32±0,01 ^a	5,17±0,04 ^a	4,47±0,08 ^b	4,73±0,25 ^b
Acidez Total Titulável (% ácido cítrico)	0,24±3,42x10 ^{-3a}	0,29±0,01 ^a	0,54±0,03 ^b	0,60±0,02 ^a
Sólidos Solúveis Totais (°Brix)	15,73±0,25 ^b	17,90±0,17 ^b	92,66±1,52 ^a	90,33±2,08 ^a
Umidade (%)	83,52±0,24 ^a	81,47±0,15 ^b	4,47±0,07 ^c	4,17±0,19 ^c
Atividade de Água	0,97±1,62x10 ^{-3a}	0,97±1,68x10 ^{-3a}	0,29±8,96x10 ^{-3b}	0,23±5,34x10 ^{-3c}
Higroscopicidade (g/100g)	-	-	7,13±0,29 ^a	6,46±0,45 ^a
Grau de <i>Caking</i> (%)	-	-	40,26±6,37 ^a	46,48±7,50 ^a
Açúcar Redutor (%)	3,68±0,14 ^c	4,15±0,43 ^c	36,76±0,33 ^a	33,51±0,72 ^b
Açúcar Total (%)	15,07±0,32 ^b	17,33±0,38 ^b	64,84±1,14 ^a	63,81±1,94 ^a
a*	12,29±0,09 ^a	12,37±0,23 ^a	-0,46±0,03 ^b	-0,99±0,05 ^c
Cor				
b*	52,18±0,70 ^a	49,31±0,50 ^b	20,50±0,09 ^c	20,74±0,19 ^c
L*	56,07±0,36 ^c	54,24±0,40 ^d	59,22±0,04 ^b	60,33±0,10 ^a
Ácido Ascórbico (mg/100g)	22,15±5,10 ^a	19,02±0,10 ^a	19,78±0,08 ^a	26,35±2,78 ^a
Ácido Ascórbico (mg/100g) ¹	134,45±30,94 ^a	102,64±0,54 ^a	20,70±0,08 ^b	27,65±2,90 ^b
Carotenoides Totais (mg/100g)	3,79±0,56 ^b	3,48±0,27 ^b	11,42±0,46 ^a	10,15±1,22 ^a
Carotenoides Totais (mg/100g) ¹	23,04±3,42 ^a	18,79±1,50 ^a	11,96±0,48 ^b	10,60±1,28 ^b
Compostos Fenólicos (mg/100g)	61,68±1,82 ^b	61,35±1,58 ^b	151,70±8,50 ^a	156,48±4,93 ^a
Compostos Fenólicos (mg/100g) ¹	374,44±11,07 ^a	331,10±8,56 ^b	158,80±8,90 ^c	163,29±5,14 ^c

Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem entre si ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

¹Valores expressos em base seca.

O valor para acidez titulável encontrado para a variedade Kent neste trabalho foi inferior ao encontrado por Ngamchuachit *et al.* (2015), cujo valores ficaram entre 0,29 a 0,35% para a variedade Kent analisando a influência da maturação do fruto e suas características no momento do processamento. Mattiuz *et al.* (2015) determinou valores de acidez mais elevados do que nos frutos deste trabalho, obtendo valores entre 0,49 e 0,42% em amostras controle de mangas Kent na avaliação do uso de própolis no controle de antracnose. Candelario-Rodríguez *et al.* (2014) em seu estudo de pós-colheita de mangas maduras, variedade Keitt, observaram valores de 0,12% na amostra controle. Padda *et al.* (2011) em pesquisa acompanhando as mudanças físico-químicas na manga Keitt encontraram, em estágio final de amadurecimento, um valor de 0,2% de acidez titulável, ambos, valores inferiores aos encontrados para esta variedade neste estudo. As variações de acidez em frutos de mesma variedade podem estar ligadas a diversos fatores, entre eles, clima, solo, estágio de colheita e processamento. Os valores para acidez nos pós foram de 0,54 e 0,6% para os cultivares Kent e Keitt, respectivamente. O valor mais alto comparado as polpas pode estar na explicação dada por Moreira *et al.* (2013) em que afirma que o valor elevado da acidez é devido a concentração de ácidos orgânicos após a secagem. Sogi, Siddiq e Dolan (2015) encontraram valor para a acidez de 0,7% em pó de manga.

Danalache *et al.* (2016) na otimização de um revestimento comestível para mangas trabalhou com frutos que possuíam valores médios para sólidos solúveis de 18 °Brix, assim como Kirtil *et al.* (2014) analisando o efeito da pectina metil esterase e infusão de CaCl_2 em mangas trabalhou com frutos cujos sólidos solúveis estavam entre 16 e 19 °Brix, ou seja, autores citados observaram valores de sólidos solúveis semelhantes do que os encontrados neste trabalho. Para a variedade Keitt, Ibarra-Garza *et al.* (2015) e Candelario-Rodríguez *et al.* (2014), em seus trabalhos com esta variedade determinaram valores de sólidos solúveis entre 6 a 17 °Brix, essas diferenças, segundo os próprios autores, são oriundas do amadurecimento e do tempo de armazenamento ao qual os frutos são submetidos. Dorta *et al.* (2014) analisou cultivares de manga, entre elas, a Keitt, encontrando nesses frutos, valores médios de sólidos solúveis 20 °Brix. Os sólidos solúveis para os pós obtiveram valores de 92,66 °Brix para o pó de manga Kent e 90,33 °Brix para o pó de manga Keitt, tais valores, bem mais elevados comparados aos da polpa está relacionado à adição de maltodextrina e, também, a característica do material seco, onde a baixa umidade obtida após secagem reflete nos maiores valores de sólidos solúveis. Moreira *et al.* (2013) obteve valores de 76,30 °Brix

em pó de manga obtido por liofilização. Oliveira *et al.* (2017) em polpa de manga liofilizada determinou o valor de 34 °Brix.

Butz; Hofmann; Tauscher (2005) citam que o frescor das frutas é determinado, além de outros componentes, pelo conteúdo de água, e que esta, muda frequentemente durante o período de pós-colheita. Djantou *et al.* (2011) obtiveram valores de umidade de 78,85% em seu trabalho analisando a eficácia de métodos de secagem e moagem para obtenção do pó de manga Kent. Analisando o impacto da textura da fruta na liberação de compostos aromáticos, Bonneau *et al.* (2018), encontrou valores para umidade de 79,4%, valores menores que os encontrados neste trabalho para a variedade Kent (83,52%). Para a variedade Keitt, Zhao *et al.* (2015) analisando propriedades da manga liofilizada trabalhou com frutos com 86% de umidade, já Ibarra-Garza *et al.* (2015) analisando estágio de maturação dessa variedade encontrou valores entre 78,9 a 85,1% de umidade. Tais valores de umidade apresentam variações em seus valores devido as condições de platío, colheita e processamento, entretanto, os valores foram próximos aos encontrados para esta variedade no presente estudo. A liofilização proporcionou um pó de polpa de manga Kent com 4,47% de umidade e 4,17% para o pó de polpa de manga Keitt, valores que se enquadram dentro do valor (umidade < 5%) estabelecido em resolução determinada pela agência nacional de vigilância sanitária (BRASIL, 1978). Ong *et al.* (2014) em liofilização de mangas verdes e maduras encontrou, respectivamente, 4,26 e 4,31% para umidade.

Quanto à atividade de água, Welte-Chanes *et al.* (2007), afirmam que é uma medida qualitativa importante no desenvolvimento e na estabilidade dos alimentos. Valores de 0,98 descritos por Bonneau *et al.* (2018) e 0,99 descritos por Giraldo *et al.* (2003) em estudo com desidratação osmótica, foram encontrados para manga Kent. Outros autores relataram valores próximos aos valores encontrados neste estudo, como as mangas utilizadas por Jiménez-Hernández *et al.* (2017) que tinham atividade de água de 0,97 em seu trabalho de desidratação osmótica utilizando revestimento, e também, na avaliação de vida de prateleira, de mangas variedade Palmer, submetidas a tratamento térmico e alta pressão por Danalache *et al.* (2017) que utilizou frutos com atividade de água entre 0,96 a 0,98. Ratificando a característica do processo de liofilização quanto à produção de produtos estáveis com relação à sua deterioração a atividade de água para o pó de manga Kent foi de 0,29 e para o pó de manga Keitt de 0,23. Fongin *et al.* (2017) na polpa de manga liofilizada determinou valores de 0,095 e 0,115 de atividade de água para seu pó de manga com 0 e 20% de maltodextrina respectivamente.

A higroscopicidade apresentada pelo pó de manga Kent foi de 6,81 g/100g e para o pó de manga Keitt 6,19 g/100g. Valores de 7,7 g/100g para higroscopicidade foram verificados em pó de manga com 20% de maltodextrina por Fongin *et al.* (2017). Sousa *et al.* (2015) para a bebida mista de polpa de manga e soro lácteo obtida por spray-dryer determinou valores para a higroscopicidade dos pós de 5,58g/100g, 7,27g/100g e 7,47g/100g a diferentes temperaturas de operação (115°C, 116°C e 186°C) e com adição de 20% de maltodextrina. Zotarelli *et al.* (2017) argumentam que na produção de pó de fruta de alta qualidade precisasse resolver alguns problemas característicos desses produtos, entre eles, a alta higroscopicidade, esse comportamento é proveniente dos teores de açúcares contidos nas matérias primas, pois apresentam baixo peso molecular, cuja característica é também a baixa temperatura de transição vítrea. A incorporação de adjuvantes com alto peso molecular, como a maltodextrina, minimizam esse problema.

Jaya; Das e Mani (2006) em planejamento experimental para a obtenção de pós com variações no percentual de maltodextrina incorporada à polpa de manga que iam de 35 a 55% obtiveram valores para o grau de *caking* entre 5,9 a 17,1%, ou seja valores menores comparados aos obtidos para os pós de manga Kent e Keitt neste trabalho (40,26 e 46,48 respectivamente), tal resultado pode estar relacionado a porcentagem menor de maltodextrina utilizada neste estudo, já que a maltodextrina, por ser um adjuvante com alto peso molecular, aumenta a temperatura de transição vítrea reduzindo os problemas de aglomeração. Zafar *et al.* (2017) definem que a aglomeração ou *caking* pode ser visto como a agregação prejudicial de partículas, que transforma um pó de fluxo livre em um sólido coesivo. Pós que contém grande quantidade de substâncias amorfas, solúveis em água, como as polpas de frutas com a presença dos açúcares são mais sensíveis a se aglomerar (HARTMANN; PALZER, 2009).

Um dos traços mais importantes da qualidade das frutas, o seu sabor, é regido pelos níveis de ácidos orgânicos e açúcares (CHEN, 2012). Djantou *et al.* (2011) determinou em suas polpas valores de açúcares totais e redutores de 16,39% e 11,56% respectivamente para a variedade Kent. Para a variedade Keitt, Liu *et al.* (2013) determinou valores de açúcares totais 15,35%, valor menor do que o deste trabalho (17,33%). De acordo com Sivakumar, Jiang e Yahia (2011) o teor de açúcares total pode variar de 11,5 a 25% dependendo da variedade e estágio de amadurecimento do fruto. Assim como nos sólidos solúveis, por serem parâmetros semelhantes, os açúcares também tiveram aumento em seu percentual no pó produzido, para os açúcares totais o pó de manga Kent apresentou 64,84% e a Keitt 63,81. Para os açúcares redutores os valores obtidos foram 36,76% para a Kent e 33,51 para a Keitt. Bezerra *et al.* (2010) avaliando o comportamento higroscópico dos pós de manga

das variedades Coité e Espada verificou o valor de açúcares totais 38,83% para a Coité e 39,04% para a espada e verificou os valores para açúcares redutores 32,12% para a Coité e 33,43% para a Espada, essa diferença nos percentuais de açúcares redutores e totais em relação a este trabalho tem relação com fatores intrínsecos (cultivar, variedade, estágio de maturação) e extrínsecos (condições climáticas) apresentam, em termos quantitativos e qualitativos, composição variada desses constituintes.

A cor é um indicador importante da qualidade e do frescor das frutas, além de também, estimar seu estágio de maturação. Vários fatores influenciam na resposta de sua análise, tais como, carotenoides e antocianinas, incidência de luz, temperatura, minerais, nutrição da planta, entre outros (MUENGGAEW; CHAI PRASART; WARRINGTON, 2016). Na escala $L^*a^*b^*$, o L^* corresponde a luminosidade, o eixo a^* verde/vermelho (+) = vermelho e (-) = verde, o eixo b^* azul/amarelo (+) = amarelo (-) = azul (SENSING, 2017). Os valores para b^* em ambas as polpas demonstram valores positivos, evidenciando a cor amarelo, característico da polpa da fruta. Gonzalez-Aguilar *et al.* (2008) analisando alterações fisiológicas e bioquímicas em mangas Kent e Keitt encontraram valores de L^* 66 e 64 respectivamente. Ngamchuachit *et al.* (2015) para mangas Kent encontraram valores de 72,08 a 75,89 de L^* em diferentes tempos de armazenamento e firmeza das frutas. Candelario-Rodríguez *et al.* (2014), em suas amostras controle de manga Keitt, determinou valores de 75,88 e 75,69 para dois e quatro dias de armazenamento. Apesar de liofilização exercer um papel de preservação em características intrínsecas dos alimentos, para os pós, todos os parâmetros do espaço de cor reduziram em relação à polpa integral, tal comportamento deve-se à maltodextrina incorporada à polpa. Caparino *et al.* (2012) relata este mesmo comportamento em suas secagens de manga. Moreira *et al.* (2013) observa redução com os valores para o espaço de cor de 52,20 para L^* , -2,01 para a^* e 19,20 para b^* comparados à polpa que foram de 65,80 para L^* , 9,16 para a^* e 40,20 para b^* sem citar o uso de adjuvante.

O ácido ascórbico, também chamado de vitamina C, além de ser um nutriente essencial devido estar associado a uma série de funções fisiológicas é também um indicador da qualidade da fruta em qualquer ponto da rota de comercialização do produto até o consumidor final, já que ele apresenta alta sensibilidade às várias alterações submetidas ao alimento durante este processo (TURMANIDZE *et al.*, 2017; AGUILAR *et al.*, 2017; FANG *et al.* 2017). Gonzalez-Aguilar *et al.* (2008) determinaram valores próximos a 15 mg/100g de ácido ascórbico para as duas variedades, ou seja, valores menores do que deste trabalho (22,15 mg/100g para a Kent e 19,02 mg/100g para a Keitt). Cissé *et al.* (2015) em amostras de manga Kent obtiveram valores médios para ácido ascórbico de 29,36 mg/100ml. Appiah;

Kumah e Idun (2011) avaliando o amadurecimento de frutos Keitt constataram valores de ácido ascórbico 29,08, 19,54 e 3,47 mg/100g para amostras “verdes”, “meio maduro” e “maduro” respectivamente. Nos pós os valores encontrados em base seca foram bem menores no que os determinados nas polpas integrais, 27,70 mg/100g para a Kent e 27,65 mg/100g para a Keitt. Observou-se a redução nos pós das duas polpas mesmo a liofilização sendo um processo de secagem a baixas temperaturas. Sagar e Suresh (2010) afirmam que a degradação da vitamina C, além de acontecer a temperaturas elevadas ocorre também por degradação oxidativa. Caparino *et al.* (2012) complementa essa informação esclarecendo que produtos liofilizados, devido à sua característica porosa, a superfície de contato com o ar é maior propiciando maior oxidação. Sogi, Siddiq e Dolan (2015) para manga cv Tommy Atkins liofilizada encontrou valores de 225,38 mg/100g em base seca, valores maiores dos que os encontrados neste trabalho (134,45 mg/100g para a Kent e 102,64 mg para a Keitt), diferença esta que pode estar relacionada ao tipo de cultivar.

Em relação ao conteúdo de carotenoides, Silva *et al.* (2009) caracterizando vários cultivares de manga determinou média de 2,59 mg/100g para a variedade Kent. Ibarra-Garza *et al.* (2015) para variedade Keitt determinou valores médios de 4,48 mg/100g em estágio inicial de amadurecimento. Medeiros *et al.* (2016) avaliando parâmetros da variedade Tommy Atkins encontraram valores médios de 4,14 mg/100g para carotenoides em seus frutos frescos, Zotarelli *et al.* (2017) trabalhando com a mesma variedade na obtenção de manga em pó observaram valores de 4,43 mg/100g. O conteúdo de carotenoides nos pós das polpas Kent e Keitt diminuiu (52,9% para Kent e 56,4% para Keitt). Essa diminuição já havia sido predita nos valores encontrados nos parâmetros de cor, já que os carotenoides são pigmentos responsáveis pela cor amarela, característica da polpa de manga. Shofian *et al.* (2011) em seu trabalho com frutas tropicais, entre elas a manga, constataram a diminuição de carotenoides entre o produto in natura e o liofilizado. Chen, Tai e Chen (2007) em liofilização de manga com aplicação de pré-tratamentos diferentes determinou valores de carotenoides entre 49,67 a 83,91 mg/100g, valores estes, maiores do que nos pós das polpas deste trabalho. Sogi, Siddiq e Dolan (2015) obteve valores de 5,17 mg/100g em base seca para manga liofilizada, diferença esta que pode estar relacionada, assim como outros componentes, ao tipo de cultivar.

Compostos fenólicos são encontrados, principalmente, em frutas e vegetais como metabólito secundário das plantas. Segundo Sai-ut *et al.* (2015), os compostos fenólicos presentes em maior quantidade na manga são a mangiferina, a catequina, a quercetina, o kampferol, o ácido cinâmico, os taninos e a vanilina. A presença destes compostos podem

melhorar a qualidade e o valor nutricional do alimento devido à sua atividade antioxidante e antibacteriana (CHENG, 2017). Robles-Sánchez *et al.* (2009) avaliando o efeito do processamento mínimo em compostos bioativos e atividade antioxidante de mangas Kent determinaram 28 mg/100g de compostos fenólicos. Noratto *et al.* (2010) avaliando o efeito anticancerígeno de polifenóis contidos em manga da variedade Kent observou valores de 16,4 mg/100g. Liu *et al.* (2013) em frutos Keitt determinaram para compostos fenólicos valores de 32,06 mg/100g. Abassi *et al.* (2015) na comparação de conteúdo fenólico de cultivares de manga, a variedade Keitt apresentou 28,14 mg/100g. Nos pós obtidos a partir das polpas da manga o conteúdo de compostos fenólicos foi de 158,70 mg/100g para Kent e 156,48 para a Keitt. Yi *et al.* (2017) obtiveram o valor de 352,8 mg/100g em chips de manga desidratada por liofilização. Izli, Izli e Taskin (2017) quantificaram em manga liofilizada valor de compostos fenólicos entre 150 e 200 mg/100g em base seca.

5.7 Resultados das isotermas de adsorção dos pós de polpa de manga Kent e Keitt

Os resultados dos ajustes dos modelos matemáticos de GAB, BET, Henderson e Oswin para as isotermas a temperaturas de 25°C e 40°C dos pós de manga Kent e Keitt obtidos por liofilização durante 24 horas adicionados de 5%, 10% e 15% de maltodextrina são apresentados nas Tabelas 29 e 30.

Observou-se que os valores do coeficiente de regressão (R^2) para os modelos matemáticos iguais ou acima de 0,99, excetuando-se o modelo de Henderson nas três concentrações de maltodextrina (5,10 e 15%) e temperatura de 40°C para o pó Kent. O mesmo aconteceu no modelo de Henderson para a concentração de 5% de maltodextrina e temperatura de 25°C para o pó de manga Keitt.

Oliveira *et al.* (2014) citam que modelos que apresentem erros relativos abaixo de 10% podem ser considerados adequados. As médias obtidas nas três concentrações e duas temperaturas avaliadas foram: 3,31% para BET, 3,44% para GAB, 3,57% para Oswin e 10,88% para Henderson para o pó Kent e 2,22% para GAB, 2,63% para BET, 3,20% para Oswin e 7,49% para Henderson para o pó Keitt.

O conteúdo de água em monocamada (X_m) é uma informação valiosa que pode ser obtida a partir dos modelos de BET e GAB, X_m fornece informações sobre o teor mínimo de água que confere maior estabilidade ao alimento (FARAHNAKY *et al.*, 2016). Comunian *et al.* (2011) citam que a umidade da monocamada corresponde a quantidade de água fortemente adsorvida em sítios específicos na superfície do alimento e é considerado um valor

crítico pois acima dele a taxa de algumas reações de degradação aumentam e a estabilidade do alimento diminui. Notou-se um aumento no conteúdo de umidade na monocamada (X_m) com o aumento da temperatura nas mesmas concentrações de maltodextrina em todos os modelos, exceto no modelo GAB para o pó Kent.

Ribeiro; Costa; Afonso (2016) citam que o aumento da temperatura pode causar modificações na estrutura física do produto, disponibilizando um maior número de sítios ativos com afinidade às moléculas de água, bem como, podem também aumentar a solubilidade de solutos intrínsecos ao produto, fazendo com que um maior número de moléculas de água permaneça retido na monocamada.

Tabela 28 - Resultados dos ajustes matemáticos para as isotermas de adsorção dos pós de manga Kent

Modelos	Parâmetros	Temperatura de 25 °C			Temperatura de 40°C		
		Maltodextrina (%)			Maltodextrina (%)		
		5	10	15	5	10	15
GAB	X_m	0,08826	0,08230	0,07342	0,08123	0,07537	0,07082
	C	2,316	2,129	2,306	3,139	2,630	2,348
	K	0,9973	0,9961	1,000	1,025	1,019	1,007
	R^2	0,9994	0,9990	0,9991	0,9977	0,9982	0,9982
	E (%)	2,31	3,92	3,77	2,86	3,62	4,20
BET	X_m	0,08703	0,08015	0,07365	0,09500	0,08466	0,07426
	C	2,388	2,275	2,287	2,084	1,981	2,101
	n	45,26	190,2	186,3	162,4	160,6	164,9
	R^2	0,9994	0,9988	0,9991	0,9966	0,9977	0,9981
	E (%)	2,40	4,12	3,76	2,80	2,89	3,89
Henderson	a	0,6723	0,6671	0,6693	0,6792	0,6743	0,6847
	b	2,960	3,115	3,312	2,865	3,097	3,404
	R^2	0,9905	0,9912	0,9900	0,9837	0,9867	0,9889
	E (%)	10,64	9,66	10,31	13,27	10,96	10,45
Oswin	a	0,1210	0,1100	0,1010	0,125736	0,110664	0,099520
	b	0,8552	0,8623	0,8627	0,879488	0,884090	0,870784
	R^2	0,9990	0,9987	0,9986	0,9953	0,9968	0,9975
	E (%)	1,99	3,36	3,55	5,23	3,83	3,49

Tabela 29 – Resultados dos ajustes matemáticos para as isotermas de adsorção dos pós de manga Keitt

Modelos	Parâmetros	Temperatura de 25 °C			Temperatura de 40°C		
		Maltodextrina (%)			Maltodextrina (%)		
		5	10	15	5	10	15
GAB	X _m	0,08682	0,1019	0,1009	0,0995	0,1088	0,1150
	C	2,812	1,592	1,438	2,269	1,622	1,213
	K	1,000	0,9566	0,9421	0,9962	0,9615	0,9363
	R ²	0,9984	0,9990	0,9993	0,9999	0,9996	0,9996
	E (%)	3,61	3,97	2,7	0,74	1,44	0,88
BET	X _m	0,08845	0,08321	0,07785	0,09798	0,09299	0,08759
	C	2,664	2,225	2,124	2,326	2,016	1,693
	n	189,1	24,45	21,90	36,09	21,99	19,47
	R ²	0,9983	0,9982	0,9985	0,9999	0,9997	0,9997
	E (%)	3,43	5,31	4,11	0,62	0,98	1,38
Henderson	a	0,6735	0,7088	0,7196	0,7094	0,7292	0,7186
	b	2,888	3,254	3,511	2,871	3,155	3,356
	R ²	0,9882	0,9962	0,9973	0,9924	0,9958	0,9976
	E (%)	11,24	5,56	4,82	10,11	7,46	5,76
Oswin	a	0,1263	0,1172	0,1090	0,1364	0,1261	0,1129
	b	0,8472	0,8124	0,7990	0,8470	0,8278	0,8310
	R ²	0,9975	0,9987	0,9985	0,9997	0,9994	0,9987
	E (%)	2,59	4,78	4,81	2,10	1,47	3,48

No modelo GAB para o pó Kent foi observado o contrário, com o aumento da temperatura houve a diminuição de umidade na monocamada. Este fato tem sido atribuído na literatura a uma redução dos sítios ativos na matriz alimentar devido às mudanças químicas e físicas que ocorrem à medida que a temperatura aumenta. A extensão desse fenômeno dependerá da natureza do alimento (PERDOMO *et al.*, 2009; BAPTESTINI *et al.*, 2017).

Observando a variação do conteúdo de umidade na monocamada (X_m) com relação ao aumento da concentração do adjuvante de secagem em uma mesma temperatura verifica-se um decréscimo no valor de X_m em todos os modelos, exceto nos modelos de GAB para o pó Keitt nas duas temperaturas avaliadas (25°C e 40°C).

Farahnaky *et al.* (2016) observaram mesmo comportamento justificando que o maior peso molecular da maltodextrina desempenha um papel fundamental na diminuição do nível de umidade na monocamada devido à redução do total de interações por unidade de massa do produto contendo o adjuvante.

O valor parâmetro C está associado às diferenças de potenciais químicos entre a monocamada e as camadas superiores (BAPTESTINI *et al.*, 2017). Os valores do parâmetro C dos modelos GAB e BET para o pó Keitt para as duas temperaturas avaliadas e do modelo de GAB para o pó Kent à 40 °C apresentaram uma diminuição com o aumento da concentração do adjuvante, comportamento semelhante foi encontrado por Oliveira; Costa e Afonso (2014) no pó de polpa de cajá. Entretanto o parâmetro C nos modelos de GAB à 25°C e BET nas duas temperaturas para o pó Kent não apresentou comportamento regular com relação à adição do adjuvante, Fongin *et al.* (2017) observaram o mesmo comportamento não regular em trabalho com manga liofilizada.

O comportamento do parâmetro C em relação à temperatura apresentou diminuição do valor com o aumento da temperatura no modelo de BET para o pó Kent e Keitt, tendência esta semelhante à encontrada por Ribeiro *et al.* (2016), sendo que este comportamento era esperado, pois, baixas temperaturas favorecem a força de interação entre adsorbato-adsorvente adicionando um incremento nos valores da constante C.

Para o modelo de GAB para o pó Kent houve o aumento do parâmetro com relação ao aumento da temperatura e o mesmo modelo para o pó Kent não apresentou comportamento regular, ou seja, aumento ou diminuição do parâmetro C com relação ao aumento ou diminuição da temperatura.

O parâmetro K representa uma medida das interações entre as moléculas na monocamada e o adsorvente (CATELAM; TRINDADE; ROMERO, 2011). Observou-se uma diminuição neste parâmetro no modelo de GAB para o pó Keitt à medida que houve o aumento de adjuvante, além de valores menores que 1,0. Valores de K inferiores a 1,0 são característicos de gêneros alimentícios o que indica que a isoterma tende a uma assíntota com valor máximo de atividade de água, ou seja, K diminui com o aumento da maltodextrina (QUEIROZ; FIGUEIRÊDO; VIEIRA, 2007; MOLINA *et al.*, 2014). Oliveira *et al.* (2014) citam que valores de K não devem ser superiores a 1,0, pois tal comportamento é fisicamente inadequado. Valores maiores que 1,0 para K são observados no modelo de GAB para o pó Kent em todas às concentrações e temperatura 40°C.

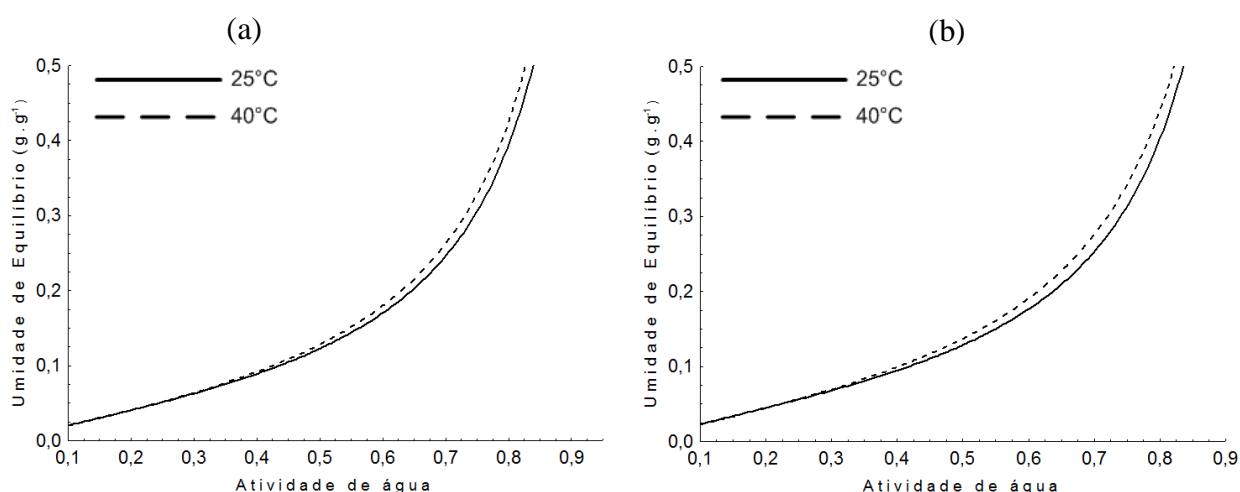
Para os modelos de Henderson e Oswin, diversos autores (BLAHOVEC, 2004; ALCÂNTARA *et al.*, 2009; NETO *et al.*, 2015) citam que os parâmetros ajustados desses

modelos devem apresentar valores que sejam consistentes física e matematicamente. Assim, no modelo de Henderson os parâmetros devem apresentar $a > 0$; $b \geq 1$ e, no modelo de Oswin, $a > 0$ e $1 \geq b > 0$. Os resultados apresentados neste trabalho os valores de a e b para ambos os modelos estão dentro dos valores citados para todos os pós de manga analisados.

Neste trabalho a escolha do modelo matemático levou em consideração os coeficientes de regressão (R^2) e a menor média do valor dos erros médios de cada modelo analisando as três concentrações e as duas temperaturas estudadas. Desta forma, o modelo escolhido para o pó de manga Kent foi o de BET, mesmo modelo escolhido por Oliveira, Costa e Afonso (2014) para representar as isotermas do pó de polpa de cajá liofilizada. Para o pó de manga Keitt o modelo escolhido foi o GAB, sendo, também, este o modelo escolhido por Caballero-Cerón *et al.* (2018) para o pó de manga cv Kent.

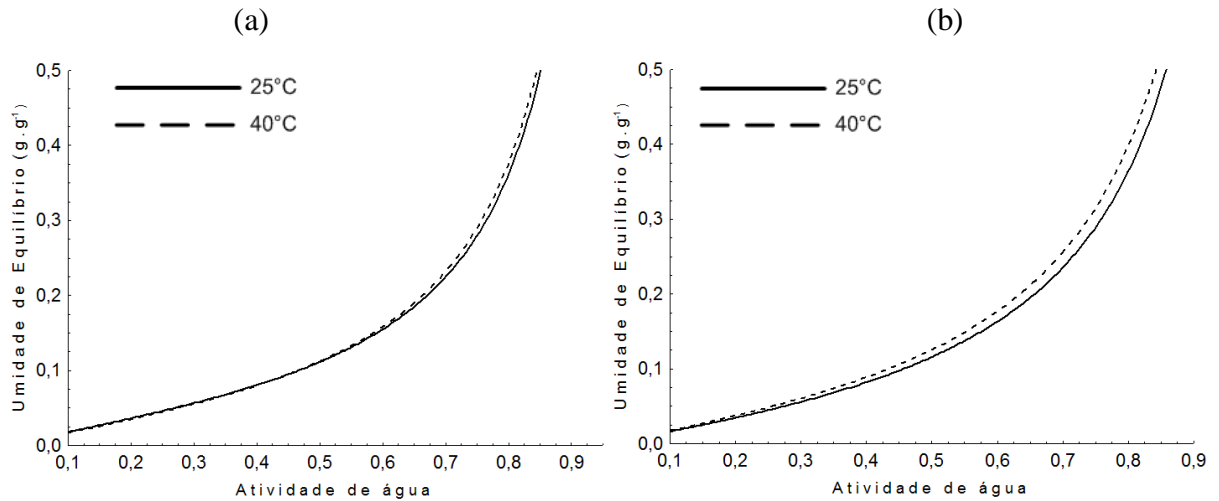
As Figuras 26 a 30 apresentam as isotermas de adsorção das polpas de manga Kent e Keitt em pó obtidas por liofilização adicionadas de 5%, 10% e 15% de maltodextrina sob as temperaturas de 25°C e 40°C. Observou-se nestas figuras que houve o aumento da umidade de equilíbrio com o aumento da atividade de água a uma temperatura constante para todas as concentrações analisadas e nos pós das duas variedades, Kent e Keitt.

Figura 24 – Isotermas de adsorção segundo modelo de BET para polpa de manga Kent (a) e o modelo de GAB para polpa de manga Keitt (b) a 25 e 40°C com adição de 5% de maltodextrina



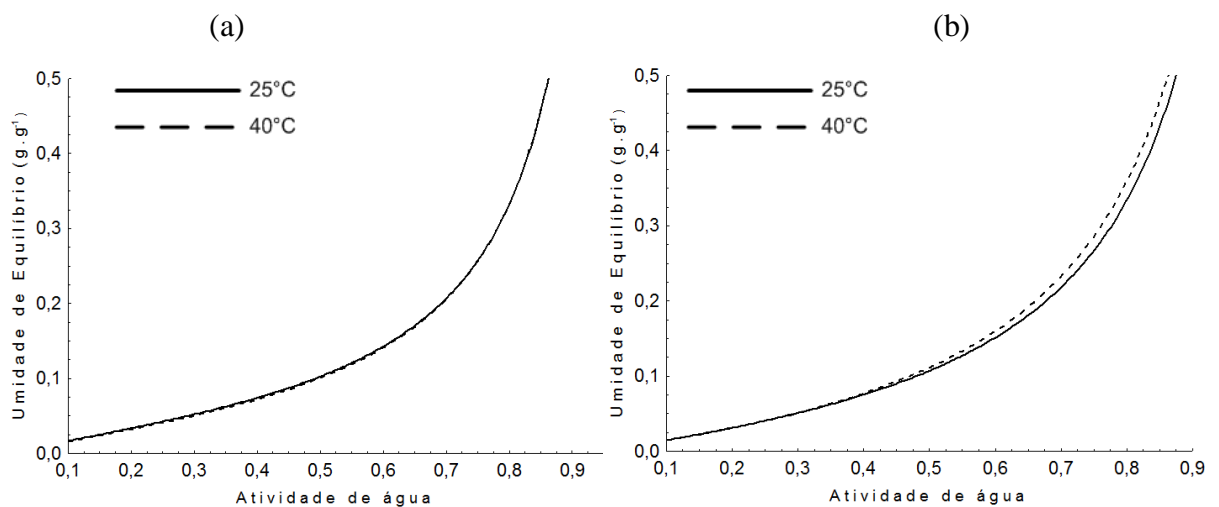
O comportamento descrito para essas isotermas (Figuras 26 a 30) é típico para maioria de produtos de frutas, e corresponde, segundo a classificação de Brunauer *et al.* (1940), ao Tipo III, conhecida como isoterma de Flory-Huggins e ocorre pela adsorção de um solvente abaixo da temperatura de transição vítrea.

Figura 25 – Isotermas de adsorção segundo modelo de BET para polpa de manga Kent (a) e o modelo de GAB para polpa de manga Keitt (b) a 25 e 40°C com adição de 10% de maltodextrina



Isotermas com comportamento semelhante a pós de frutas tropicais foram determinadas por Moreira *et al.* (2013) em polpa de manga liofilizada. Oliveira *et al.* (2014) e Moura Neto *et al.* (2015) em polpa de cajá em pó obtida por liofilização e *spray dryer* respectivamente também determinaram comportamento semelhante nas isotermas obtidas.

Figura 26 – Isotermas de adsorção segundo modelo de BET para polpa de manga Kent (a) e o modelo e GAB para polpa de manga Keitt (b) a 25 e 40°C com adição de 15% de maltodextrina



Conceição *et al.* (2016) citam que as formas dessas isotermas são típicas de produtos com alto teor de açúcar e que adsorvem quantidades de água relativamente baixas em baixa atividade de água e, ainda, apresentam um acentuado aumento na água adsorvida em atividades de água mais elevadas. Zapata; Rojano; Cortés (2015) afirmam que determinados componentes, particularmente os açúcares, formam primeiro uma estrutura cristalina compacta, mas sofrem lixiviação e se transformam em um estado amorfo expandido, o que provoca um aumento no número de locais de adsorção, permitindo que eles continuem a atrair água, mesmo em alta condição de umidade.

Com relação ao efeito das temperaturas (25°C e 40°C) sobre as isotermas verificou-se pequena alteração na redução de umidade de equilíbrio com a redução de temperatura, excetuando-se a isoterma obtida a partir do modelo BET para o pó de polpa de manga Kent com adição de 15% de maltodextrina (Figura 28a), em que praticamente não se observou diferença das curvas nas duas temperaturas. Neto *et al.* (2015) afirmam que o comportamento das isotermas de adsorção de alimentos na mudança de temperatura é importante, pois, durante o armazenamento, essas mudanças causarão variações na atividade da água. Os autores citam ainda que as alterações de temperatura afetam a mobilidade da água e o equilíbrio entre as fases de vapor e adsorvido e, em geral, as mudanças de temperatura reduzem a umidade. Esse comportamento é causado por uma redução no número de sítios ativos disponíveis para a ligação com moléculas de água, devido a mudanças físicas e/ou químicas (GOULA *et al.*, 2008).

O comportamento verificado neste trabalho em todas as isotermas foi inverso ao comportamento físico citado anteriormente por Neto *et al.* (2015), as isotermas sofreram uma redução na umidade de equilíbrio com a diminuição da temperatura. Goula *et al.* (2008) justifica esse comportamento inverso à presença de grandes quantidades de açúcar presentes no alimento.

Nas Figuras 29 e 30 verificou-se o comportamento das isotermas dos pós contendo diferentes concentrações de maltodextrina nas temperaturas de 25°C e 40°C. Notou-se a influência da maltodextrina nas isotermas à temperatura constante. O aumento do adjuvante provocou o deslocamento da isoterma para a direita provocando uma umidade de equilíbrio ligeiramente menor e, por conseguinte, favorecendo a estabilidade dos pós de manga Kent e Keitt nas temperaturas estudadas.

A diferença no comportamento das isotermas em diferentes concentrações pode ser justificada nas afirmações de Rodriguez-Bernal *et al.* (2015) a qual relatam que quantidade de água adsorvida depende principalmente da estrutura química e a composição do

substrato, que condiciona o número e a disponibilidade de grupos hidrofílicos capazes de se ligar a água através da formação de ligações de hidrogênio.

Figura 27 – Isotermas de adsorção segundo modelo de BET para polpa de manga Kent (a) e o modelo de GAB para polpa de manga Keitt (b) a 25 °C com adição de 5, 10 e 15% de maltodextrina

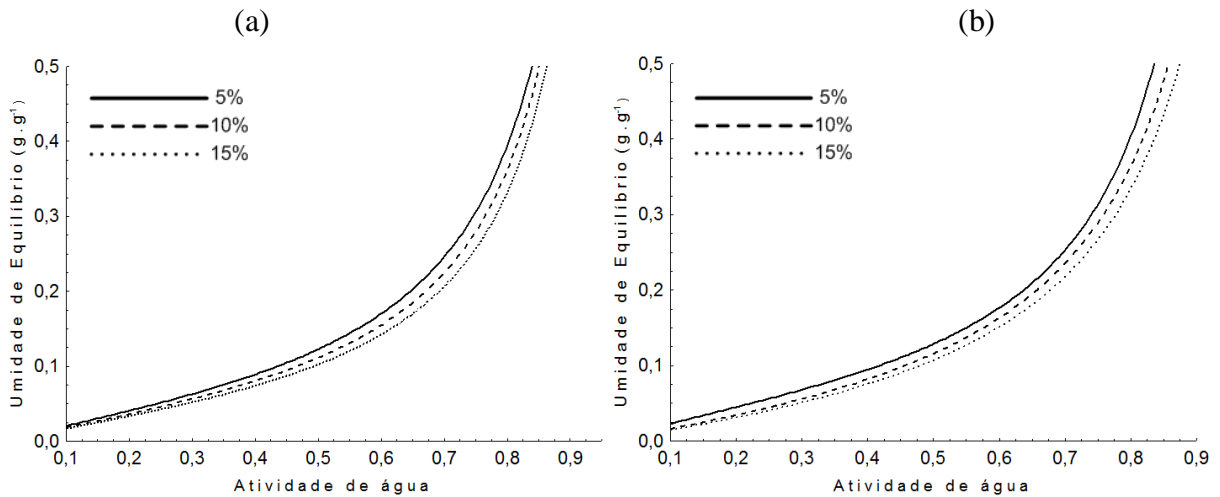
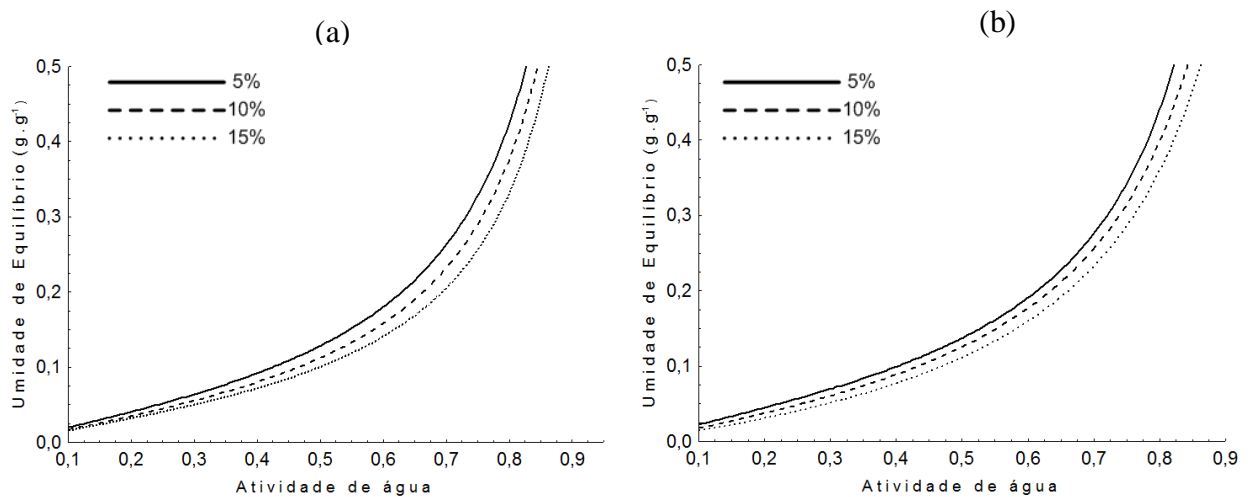


Figura 28 – Isotermas de adsorção segundo modelo de BET para polpa de manga Kent (a) e o modelo de GAB para polpa de manga Keitt (b) a 40 °C com adição de 5, 10 e 15% de maltodextrina



Outros autores relatam comportamento semelhante quanto à redução de umidade de equilíbrio com a incorporação de maltodextrina em pós de manga obtido por spray dryer (CANO-HIGUITA *et al.*, 2015) e por liofilização (ZOTARELLI *et al.*, 2017).

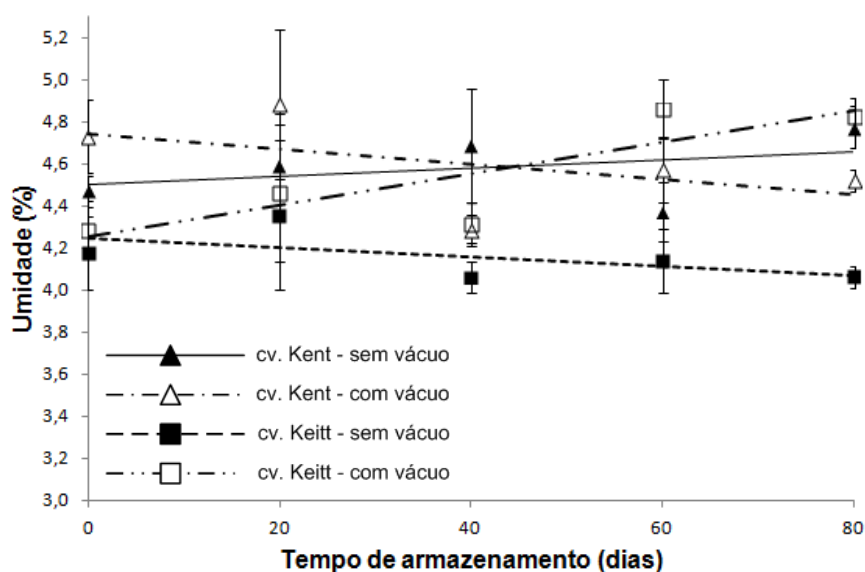
5.8 Resultados da estabilidade dos pós de polpa de manga Kent e Keitt obtidos por liofilização

A partir da escolha da melhor condição de secagem, 10% de maltodextrina (m/m) adicionada à polpa e tempo de liofilização em 24 horas, os pós de polpa de manga cv. Kent e Keitt foram acondicionados em embalagens laminadas sob das condições: com e sem vácuo. Durante o período de 80 dias, a cada 20 dias as amostras foram analisadas, os resultados apresentados no Apêndice A e discutidos a seguir.

Umidade

O comportamento das umidades dos pós durante o período avaliado (80 dias) pode ser visto na Figura 29.

Figura 29 – Umidade (%) das polpas de manga Kent e Keitt em pó desidratadas em liofilizador, armazenadas em diferentes condições



De acordo com a Figura 29, observaram-se tendências de aumento ou diminuição da umidade dos pós durante o período avaliado. Porém, de acordo com a Tabela 31 (Apêndice), não foi observada diferença significativa ($p < 0,05$) entre a umidade inicial e final desses pós, exceto para o pó cv. Keitt embalado sob vácuo. Nesse pó, observa-se uma elevação da umidade em 12,85% após 80 dias. Loureiro *et al.* (2013) na avaliação da estabilidade de buriti em pó armazenado em embalagens laminadas não detecta variação

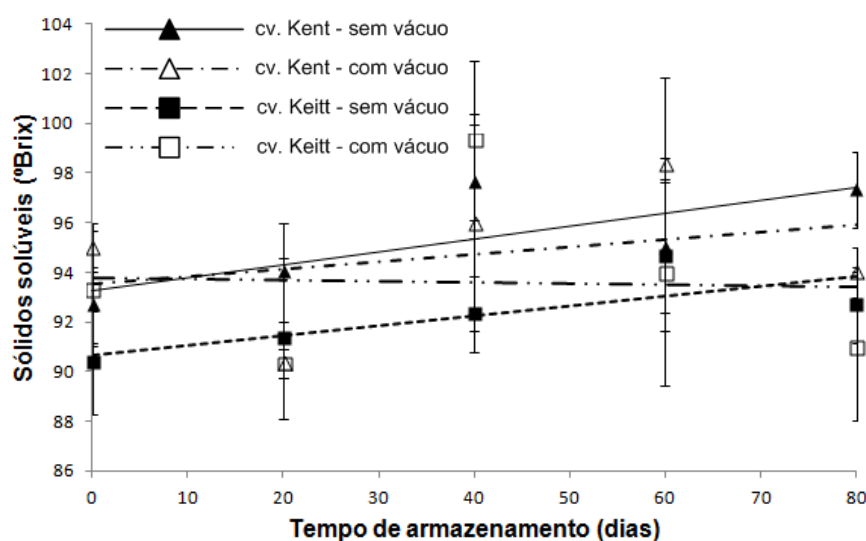
significativa da umidade após 75 dias de armazenamento. Costa *et al.* (2013) não verificaram ganho de umidade do maracujá em pó ao final de 90 dias de armazenamento utilizando embalagens laminadas como no presente estudo.

Verificou-se que em todas as condições de armazenamento as umidades dos pós não ultrapassaram valores superiores à 4,88%. Segundo Lavelli e Vantaggi (2009); Henriquez *et al.* (2013) níveis abaixo de 5% de umidade são utilizados como parâmetros de referência para comercialização de alimentos desidratados, pois inibem o crescimento da maioria dos microrganismos.

Sólidos solúveis

Na Figura 30 pode ser visto o comportamento da estabilidade para o parâmetro sólidos solúveis no decorrer de 80 dias de armazenamento.

Figura 30 – Sólidos solúveis (°Brix) das polpas de manga Kent e Keitt em pó desidratadas em liofilizador, armazenadas em diferentes condições.



Observou-se na Figura 30 uma tendência de aumento de sólidos solúveis com o aumento do tempo de armazenamento dos pós, exceto a linha de tendência do pó Keitt armazenado sob vácuo, onde notou-se um pequeno declive na linha descrevendo possível perda de sólidos solúveis para este pó.

Em todos os pós armazenados pode-se verificar pela Tabela 32 (Apêndice) variações dos valores de sólidos solúveis com o tempo, entretanto, excetuando-se o pó de

polpa de manga Keitt embalada à vácuo, em que a variação entre o primeiro dia e o último dia de armazenamento apresentou diferença significativa, os outros pós armazenados não apresentaram diferença estatística mostrando um comportamento estável para a este parâmetro.

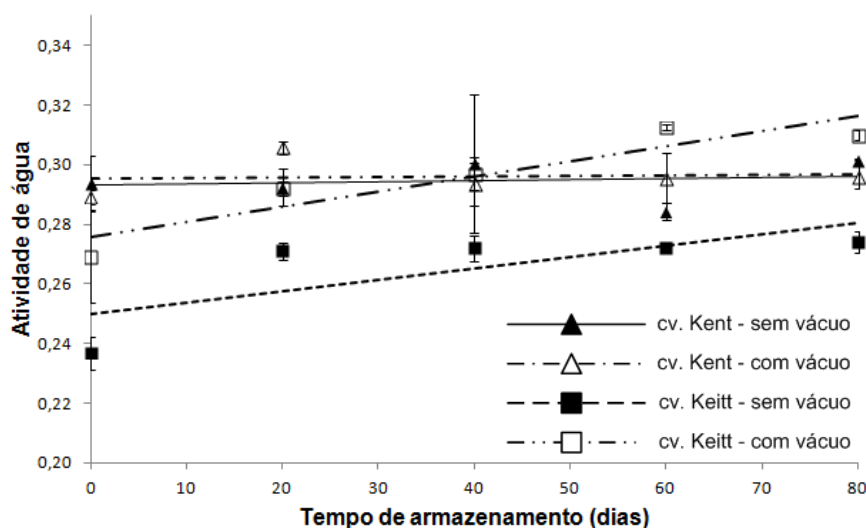
A perda de sólidos solúveis com o tempo de armazenamento, como observado na embalagem sob vácuo do pó Keitt, foi descrita por Loureiro *et al.* (2013) no armazenamento de buriti em pó em embalagens laminadas justificando que essa perda é decorrente do aumento do teor de água durante o armazenamento, alterando a proporção de sólidos na massa total.

Costa *et al.* (2013) verificaram comportamento estável na análise de estabilidade do maracujá em pó em embalagens metálicas para o parâmetro sólidos solúveis.

Atividade de água

O comportamento das atividades de água dos pós durante o período avaliado (80 dias) pode ser visto na Figura 31.

Figura 31 – Atividade de água das polpas de manga Kent e Keitt em pó desidratadas em liofilizador, armazenadas em diferentes condições



Observou-se na Figura 31 uma tendência positiva para o ganho de atividade dos pós Keitt para as duas condições de armazenamento. Esse comportamento semelhante, nas duas condições de armazenamento do pó Keitt, corrobora com os valores obtidos e significativos em relação ao aumento da atividade descritos no Apêndice 33 (Apêndice).

Nos pós Kent as linhas de tendência denotam comportamento estável do parâmetro atividade de água ao longo do tempo, apesar de que somente o pó embalado sem vácuo não apresentou diferença estatística durante o tempo inicial e final de armazenamento como apresentado na Tabela 33 (Apêndice).

Os resultados obtidos para análise de estabilidade com relação à atividade de água mostram que os pós Keitt embalados à vácuo e sem vácuo e o pó Kent embalado com vácuo apresentaram diferenças estatísticas para o aumento deste parâmetro ao final de seu armazenamento.

Shishir *et al.* (2017) em trabalho avaliando o efeito do armazenamento de goiabada em pó em embalagens laminadas à vácuo também verificaram aumento na atividade de água com o aumento dos dias de armazenamento.

Santos *et al.* (2016) também verificou incremento na atividade de água durante o armazenamento de umbu-cajá em pó.

Apesar das variações, os pós, no tempo final de armazenamento, apresentaram valores de atividade de água compreendidos entre 0,27 e 0,30. Lavelli e Vantaggi (2009); Henriquez *et al.* (2013) citam como referência o valor de 0,3 para atividade de água na comercialização de produtos em pó podendo ser classificado como um produto estável.

pH

Nos resultados apresentados na Tabela 34 (Apêndice) verificou-se um aumento com diferença significativa do parâmetro pH para os pós de manga Kent e Keitt embalados sem vácuo.

Alexandre *et al.* (2014) em armazenamento de pitanga em pó constataram aumento significativo do pH do produto ao final do tempo de estocagem de 60 dias citando que o acréscimo deste parâmetro pode ser atribuído à processos de decomposição por hidrólise ou oxidação.

Esses resultados divergem com dos encontrados por Ceylan Sahin, Erbay e Koca (2018) que detectaram diminuição de pH em pó de queijo armazenado em diferentes tipos de embalagem entre elas a laminada.

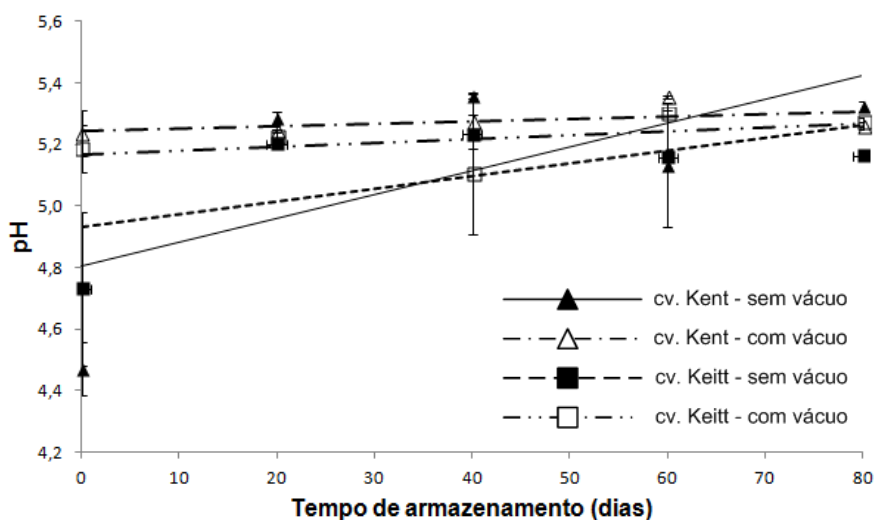
Para os pós embalados à vácuo não verificou-se diferença significativa para valores de pH ao final do tempo total de armazenamento, o que pode estar atribuído à eficácia na retirada de ar da embalagem e conseqüentemente a estabilidade quanto ao pH.

Loureiro *et al.* (2013) não obtiveram diferença significativa nos valores de pH dos pós de buriti armazenados em embalagem laminada ao final de 90 dias de armazenamento.

Santos *et al.* (2016) verificou estabilidade, ou seja, sem alterações do pH dos pós de umbu-cajá armazenados em embalagem laminada ao final de 180 dias de armazenamento.

O comportamento dos valores de pH para os pós de polpa de manga durante o armazenamento pode ser visto na Figura 32.

Figura 32 – pH das polpas de manga Kent e Keitt em pó desidratadas em liofilizador, armazenadas em diferentes condições



O comportamento das linhas de tendência ratificam os valores encontrados e descritos na Tabela 34 (Apêndice). Denotam o crescimento do pH ao longo do armazenamento para os pós embalados sem vácuo e para os pós embalados à vácuo as linhas demonstram um comportamento estável para este parâmetro.

Acidez

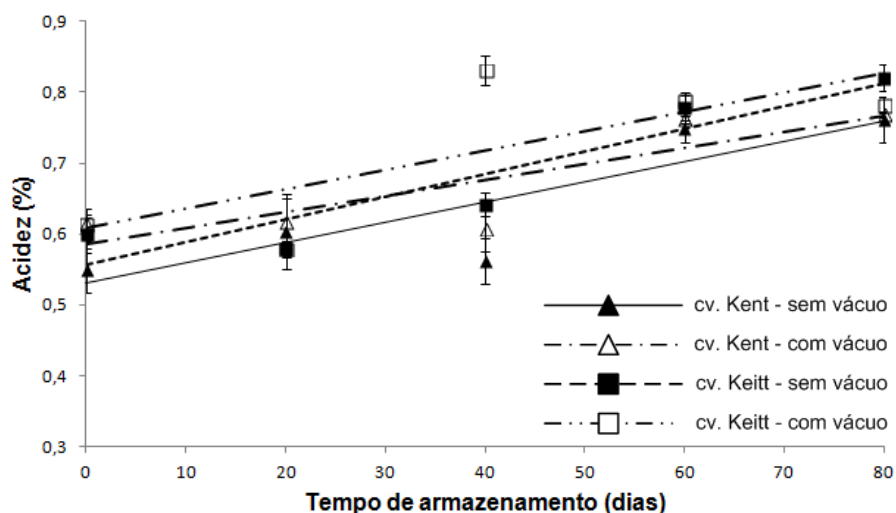
No acompanhamento da acidez, todos os pós apresentaram um aumento do parâmetro ao término do tempo de armazenamento. Todas as condições de embalagem apresentaram aumento foi significativo no valor da acidez como pode ser constatado no Apêndice 35 (Apêndice).

Muzaffar e Kumar (2016) estudando pó de tamarindo em embalagem laminada observaram o mesmo comportamento de aumento da acidez nos pós armazenados e justifica tal comportamento à degradação de açúcares em ácidos durante a reação de Maillard.

Chauhan e Patil (2013) também obtiveram incremento nos resultados de acidez, independente do tipo de embalagem que utilizou para armazenar leite de manga em pó.

Na Figura 33 pode ser visto o comportamento da estabilidade para o parâmetro acidez no decorrer de 80 dias de armazenamento.

Figura 33 – Acidez (%) das polpas de manga Kent e Keitt em pó desidratadas em liofilizador, armazenadas em diferentes condições



As inclinações de todas as retas mostram tendência de aumento do parâmetro acidez com o tempo de armazenamento, corroborando com os resultados obtidos e apresentados no Apêndice A, ou seja, o aumento significativo do pH em todas as condições ao término do período de armazenamento.

Ácido ascórbico

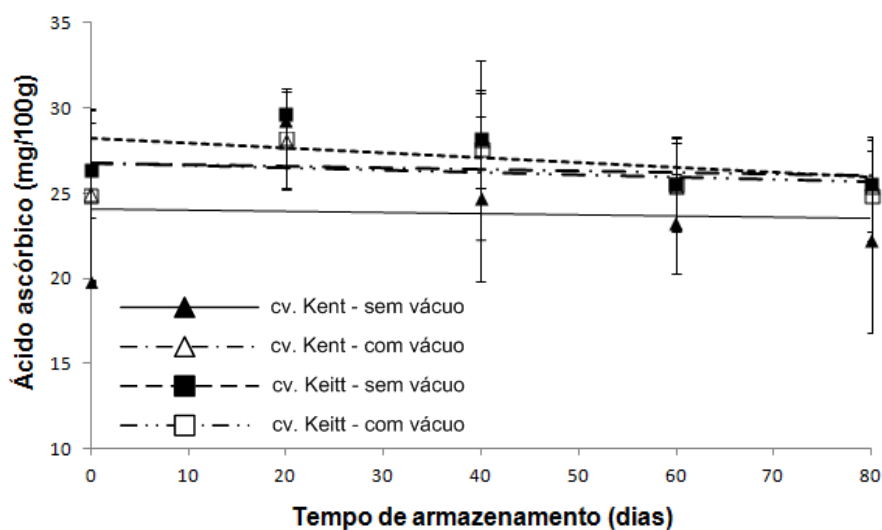
Os resultados do parâmetro ácido ascórbico são apresentados na Tabela 36 (Apêndice) e demonstram estabilidade deste componente quando embalado com o material utilizado (embalagem laminada) neste trabalho.

Nas duas condições de embalagem, com vácuo e sem vácuo, os pós de polpa de manga Kent e Keitt não apresentaram diferença significativa nos valores do parâmetro ácido ascórbico ao término do armazenamento de 80 dias.

Udomkun *et al.* (2016) verificou degradação do ácido ascórbico com o tempo de armazenamento de mamão seco em embalagens laminadas, entretanto, esta, apresentou uma menor perda do componente em relação à embalagem de polietileno.

Costa *et al.* (2013) nos primeiros 90 dias de armazenamento de pó de maracujá não verificaram diminuição no conteúdo de ácido ascórbico, ressalta-se que o material de embalagem e a condição de armazenagem utilizada se assemelha com as utilizadas no presente estudo. As retas que descrevem o comportamento do conteúdo de ácido ascórbico ao longo de 80 dias de armazenamento podem ser visualizadas na Figura 34.

Figura 34 – Ácido ascórbico (mg/100g) das polpas de manga Kent e Keitt em pó desidratadas em liofilizador, armazenadas em diferentes condições



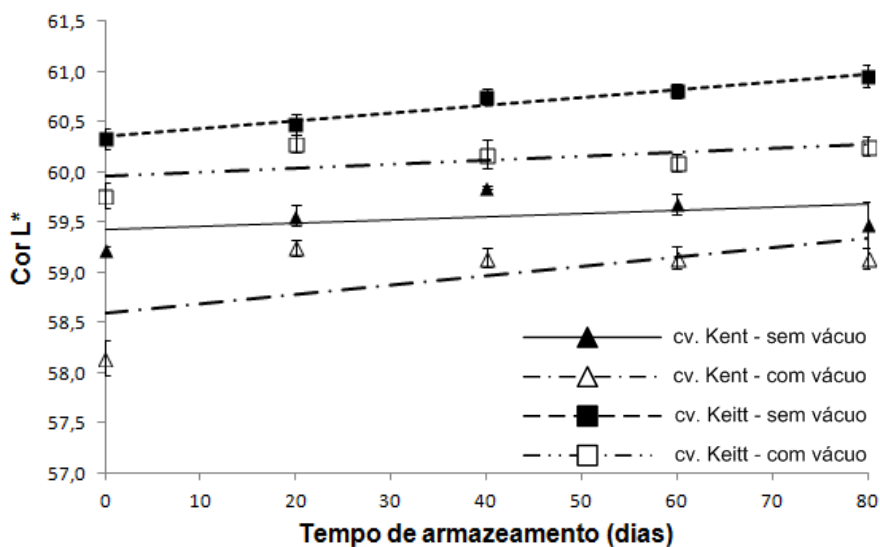
Observou-se na Figura 34 uma pequena propensão de inclinação negativa na reta que descreve o comportamento do pó de manga Keitt embalada sem vácuo. As outras condições apresentam constantes indicando estabilidade do componente analisado durante o armazenamento.

Parâmetro colorimétrico L^*

O comportamento do parâmetro colorimétrico L^* dos pós durante o período avaliado (80 dias) pode ser visto na Figura 35. Os coeficientes positivos são observados em todas as retas com uma inclinação maior para os pós Kent embalado à vácuo e para o pó Keitt embalado sem vácuo.

Os resultados apresentados na Tabela 37 (Apêndice) confirmam a tendência de coeficientes positivos das retas através dos valores obtidos para esse parâmetro ao longo do período de análise, pois todas as condições de armazenamento apresentaram aumento significativo em seus valores no tempo final da avaliação de estabilidade.

Figura 35 – Cor L* das polpas de manga Kent e Keitt em pó desidratadas em liofilizador, armazenadas em diferentes condições



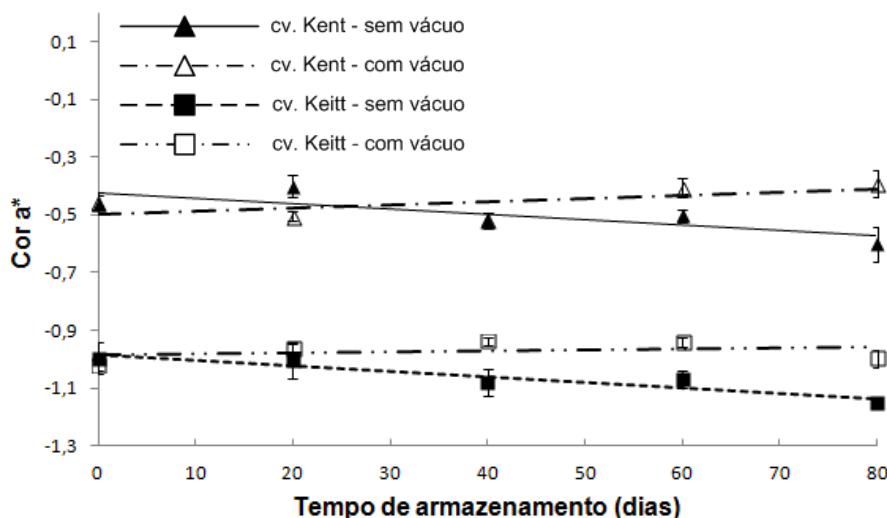
Costa *et al.* (2013) observaram também aumento do parâmetro colorimétrico L* ao longo do armazenamento de maracujá em pó, cita, ainda, que este aumento pode estar relacionado com as reações químicas resultando na degradação do carotenoide, responsável pela cor do pó, e que pode ser facilmente degradado pela ação de temperatura, ácidos, oxigênio e enzimas e pela interação com outros componentes, tais como ácido ascórbico, íons metálicos e açúcares.

Galdino *et al.* (2016) não verificaram alteração no comportamento do parâmetro L* ao longo do armazenamento por 40 dias a 20°C em embalagem laminada para o figo da índia em pó, entretanto, ao analisarem o mesmo produto a 40°C identificaram um aumento deste parâmetro, podendo indicar que a temperatura de armazenamento pode ser um fator de alteração para a cor.

Parâmetro colorimétrico a*

O comportamento do parâmetro colorimétrico a* dos pós durante o período avaliado (80 dias) pode ser visto na Figura 36.

Figura 36 – Cor a^* das polpas de manga Kent e Keitt em pó desidratadas em liofilizador, armazenadas em diferentes condições



Observou-se na Figura 36 que há retas com coeficiente positivo, no caso os pós Kent e Keitt embalados com vácuo, e retas com coeficiente negativo, no caso os pós embalados sem vácuo para as duas variedades de manga.

No Apêndice 38 (Apêndice) os resultados obtidos para a cor a^* mostram diferenças significativas tanto no acréscimo do valor de a^* nos pós embalados à vácuo, como no decréscimo no valor deste parâmetro encontrados para os pós embalados sem vácuo.

Oliveira *et al.* (2015) verificaram tanto de perda, quanto ganho para o parâmetro colorimétrico a^* ao final da avaliação da estabilidade de mandacaru em pó armazenado em embalagem laminada.

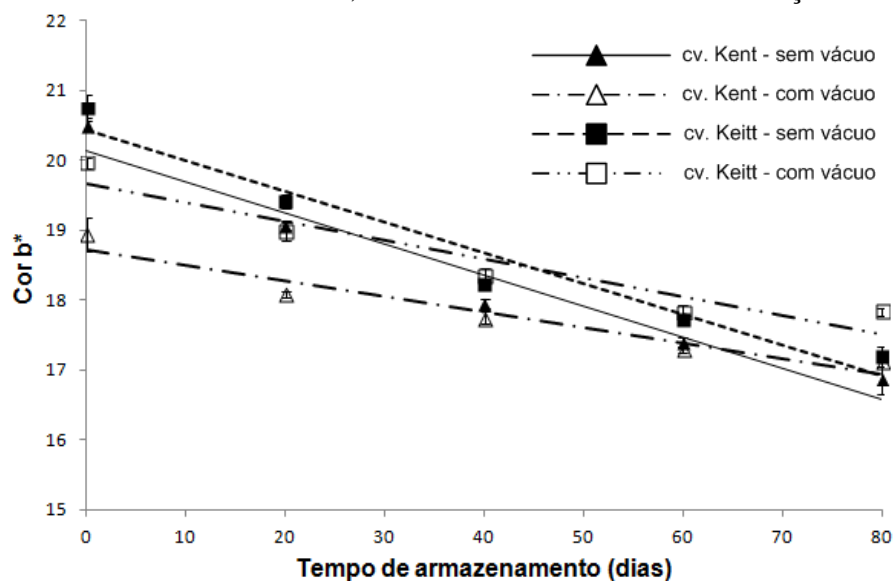
Santos *et al.* (2016) também verificaram variações quanto ao ganho e perda significativo para valores de a^* no estudo de armazenamento de umbu-cajá em pó armazenados em embalagens laminadas. Citam, ainda, que reduções de a^* podem ser devido à oxidação de componentes que tem influência na proteção dos pigmentos vermelhos, vale ressaltar que o comportamento de perda do parâmetro analisado ocorre exatamente nas embalagens sem vácuo no presente estudo.

Oliveira *et al.* (2015) observaram aumento de a^* de mandacaru em pó durante o armazenamento e a hipótese de tal comportamento pode estar relacionada à taxa de escurecimento aumentada devido à fatores como atividade de água, temperatura de estocagem e teores de água acima de 4%.

Parâmetro colorimétrico b^*

As retas que descrevem o comportamento do parâmetro colorimétrico ao longo de 80 dias de armazenamento podem ser visualizadas na Figura 37.

Figura 36 – Cor b^* das polpas de manga Kent e Keitt em pó desidratadas em liofilizador, armazenadas em diferentes condições



Verificou-se no comportamento de todas as linhas de tendência um coeficiente negativo que pode indicar inclinação à perda do componente analisado durante o armazenamento.

Na Tabela 39 (Apêndice) estão descritos os valores obtidos para o parâmetro colorimétrico b^* e pode-se observar que em todas as condições de armazenamento houve redução significativa para esse parâmetro ao longo tempo de estocagem ratificando o que foi visualizado graficamente.

As perdas mais significativas foram para os pós embalados sem vácuo, diminuição em torno de 17%, evidenciado que a ausência de ar nas embalagens pode trazer menor perda do parâmetro analisado.

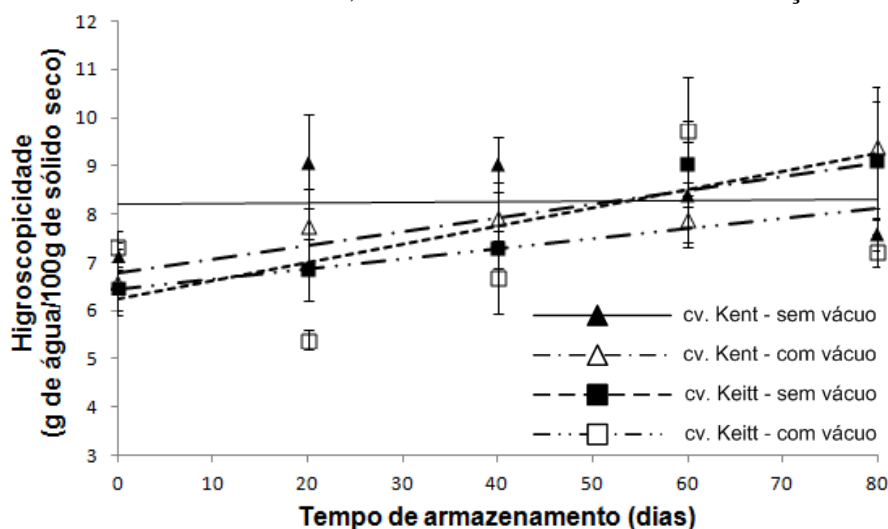
O decréscimo do parâmetro b^* também foi verificado por Mendoza-Corvis; Arteaga-Márquez e Pérez_Sierra (2017) em um produto em pó de manga e soro de leite em duas temperaturas de armazenamento avaliadas (4°C e 28°C) e condicionadas em embalagens laminadas. Citam que essas as perdas decorrem de possível degradação de carotenoides com o tempo.

Conegero *et al.* (2017) relatam comportamento divergente do encontrado no presente estudo. Os pós de manga contidos em embalagens laminadas sem vácuo não diferiram estatisticamente em relação à perda do parâmetro analisado. Entretanto, sob vácuo, apresentaram perda significativa no parâmetro b^* ao final de 90 dias de armazenamento.

Higroscopicidade

As retas que descrevem o comportamento do parâmetro higroscopicidade ao longo de 80 dias de armazenamento podem ser visualizadas na Figura 38.

Figura 37 – Higroscopicidade das polpas de manga Kent e Keitt em pó desidratadas em liofilizador, armazenadas em diferentes condições



Verificou-se na Figura 38 tendência positiva nas retas que descrevem o comportamento da higroscopicidade dos pós Keitt armazenados com vácuo e sem vácuo e do pó Kent armazenado com vácuo.

Os valores da higroscopicidade para os pós de polpa de manga armazenados em diferentes condições estão apresentados na Tabela 40 (Apêndice). Foi possível notar o ganho significativo deste parâmetro ao longo do tempo de armazenamento nos pós de manga Kent embalados à vácuo e nos pós Keitt embalado sem vácuo.

Molina *et al.* (2014) verificou aumento da higroscopicidade de pitáia liofilizada armazenada durante 75 dias em embalagem laminada.

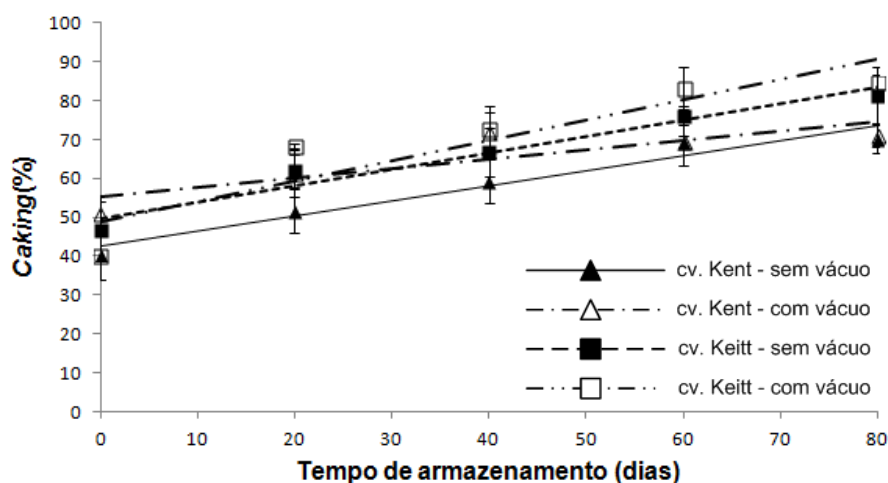
Costa *et al.* (2013) no estudo da estabilidade do pó de maracujá verifica um aumento deste parâmetro com 90 dias de armazenamento, tempo este próximo ao tempo total de avaliação da estabilidade dos pós de manga deste estudo (80 dias).

Não detectou-se ganho ou perda significativa quanto ao parâmetro estudado para os pós de manga Kent embalados sem vácuo e pós de manga Keitt embalados à vácuo sugerindo uma certa estabilidade quanto a estabilidade destes pós.

Grau de Caking

O comportamento do parâmetro grau de *caking* dos pós durante o período avaliado (80 dias) pode ser visto na Figura 39.

Figura 38 – Grau de *Caking* das polpas de manga Kent e Keitt em pó desidratadas em liofilizador, armazenadas em diferentes condições



O coeficiente positivo das retas denotam uma tendência de incremento do parâmetro estudado. Na Tabela 41 (Apêndice) são apresentados os resultados para o parâmetro grau de *caking* dos pós avaliados durante 80 dias de armazenamento. Todas as condições apresentaram aumento significativo ao final do tempo de armazenamento em comparação com o tempo inicial.

Shishir *et al.* (2017) verificaram aumento do grau de *caking* nos pós de goiabada armazenado em vários tipos de embalagem, entre elas, a embalagem laminada justificando esse aumento na absorção de água na superfície das partículas que acabam formando uma solução saturada com pontes líquidas tornando as partículas pegajosas e resultando em fenômenos de aglomeração.

Molina *et al.* (2014) também observaram aumento do grau de *caking* na pitaia em pó armazenada em embalagem laminada, e cita ainda que, o aumento do grau de *caking* é algo esperado porque durante o armazenamento o pó adsorve água do meio e, com este aumento na umidade, há um conseqüente aumento no grau de aglutinação do material armazenado.

6 CONCLUSÃO

O planejamento experimental realizado para obtenção do pós de polpa de manga Kent e Keitt não foi conclusivo em determinar um ponto ótimo para secagem. Contudo analisando individualmente os resultados das variáveis dependentes, bem como as características morfológicas e reológicas dos pós, a melhor condição foi definida em: um tempo de liofilização de 24 horas em polpas com 10% do adjuvante maltodextrina.

A análise morfológica indicou a influência da maltodextrina nas características dos pós obtidos por liofilização, atuando, principalmente, na redução da porosidade. A redução se deu mais intensamente para os pós com 10 e 15% de maltodextrina.

A maltodextrina foi determinante no comportamento das propriedades reológicas dos pós, pois favoreceu o escoamento, principalmente nas concentrações mais altas adicionadas. Os pós com 10 e 15% apresentaram características semelhantes quanto ao índice de fluxo, avaliação do escoamento, densidade aparente e ângulo de atrito interno com a parede, além de obterem a mesma classificação quanto ao seu escoamento considerado de fácil fluxo, enquanto que os pós com 5% de adjuvante caracterizou-se por ser muito coesivo.

Nas análises físico-químicas das polpas somente os sólidos solúveis em ambos os cultivares e o teor de açúcares totais para a variedade Kent estavam dentro do padrão estabelecido pelo Regulamento Técnico para Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para Polpa de Manga. Valores similares de carotenoides foram encontrados nas duas variedades e a polpa Keitt apresentou um conteúdo maior de ácido ascórbico em relação à polpa Kent.

As análises físico-químicas nos pós obtidos a partir da melhor condição escolhida retrataram nível de umidade dentro do padrão estabelecido para produtos desidratados. Apresentaram boa característica de higroscopicidade em virtude da adição da maltodextrina e mantiveram em seu conteúdo a presença de ácido ascórbico e carotenoides.

Os modelos escolhidos que melhor se ajustaram às isotermas de sorção dos pós foram: BET para o pó Kent e GAB para o pó Keitt. Verificou-se a influência da maltodextrina nos valores de umidade de equilíbrio dos pós estudados, sendo esta reduzida com a maior concentração do adjuvante.

Os parâmetros umidade e ácido ascórbico apresentaram-se constante ao término da avaliação de estabilidade tanto nas embalagens com vácuo como nas sem vácuo nas duas variedades estudadas. O parâmetro colorimétrico b^* decresce ao longo do tempo, entretanto ainda mantém valores positivos característicos da polpa de manga. Para a avaliação da

higroscopicidade e grau de *caking* o comportamento apresentou o aumento desses parâmetros ao longo do término do tempo de armazenamento provocando uma descaracterização do produto inicial obtido.

A obtenção de pó de polpa de manga das variedades Kent e Keitt a partir do processo de liofilização se apresentou como uma boa alternativa de obtenção de um produto desidratado levando em consideração aspectos como a manutenção de componentes nutricionais da polpa in natura, propriedades de escoamento adquiridos pelo pó e condições de conservação quando embalados adequadamente.

REFERÊNCIAS

- A.O.A.C. Official Methods of Analysis. 18th ed. **Association of Official Analytical Chemists**, Gaithersburg, Maryland, 2006.
- ABBASI, A. M.; GUO, X.; FU, X.; ZHOU, L.; CHEN, Y.; ZHU, Y.; YAN, H.; LIU, R. H. Comparative Assessment of Phenolic Content and in Vitro Antioxidant Capacity in the Pulp and Peel of Mango Cultivars. **International Journal of Molecular Sciences**. Basel, Switzerland. v. 16, n. 6, p. 13507–13527, 12 jun. 2015.
- ADECE. **Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará S.A.** Disponível em: <http://www.adece.ce.gov.br/index.php/downloads/category/2-balanco-de-exportacoes>. Acesso em 13 set. 2016.
- AGUILAR, K. et al. Ascorbic acid stability in fruit juices during thermosonication. **Ultrasonics Sonochemistry**. Melbourne. v. 37, p. 375–381, 1 jul. 2017.
- ALCÂNTARA, S. R.; ALMEIDA, F. de A. C. SILVA, F. L. H. da, GOMES, J. P. Isotermas de adsorção do pedúnculo seco do caju. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande. v. 13, n. 1, p. 81–87, fev. 2009.
- ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; OLIVEIRA, E. N. A. Storage of surinam cherry powder. **Comunicata Scientiae**. Bom Jesus. v. 5, n. 1, p. 83–91, 30 mar. 2014.
- ALMEIDA, F. D. L. **Desidratação de suco de abacaxi probiótico por spray-dryer**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2012.
- APPIAH, F.; KUMAH, P.; IDUN, I. Effect of ripening stage on composition, sensory qualities and acceptability of Keitt mango (*Mangifera indica* L.) chips. **African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development**. Nairob. v. 11, n. 5, p. 5096–5109, 2011.
- ARGYROPOULOS, D.; HEINDL, A.; MÜLLER, J. Assessment of convection, hot-air combined with microwave-vacuum and freeze-drying methods for mushrooms with regard to product quality. **International Journal of Food Science & Technology**. Oxford. v. 46, n. 2, p. 333–342, 1 fev. 2011.
- AZEREDO, H. M. C. **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. Editora técnica. – 2 ed. rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2012.
- BAPTESTINI, F. M.; CORRÊA, P.C.; VANEGAS, J. D. B., LEITE, R.; BOTELHO, F. M.; CAMPOS, R. C. Water sorption kinetics of damaged beans: GAB model. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande. v. 21, n. 8, p. 550–555, ago. 2017.
- BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; FONTANA, J. A.; SCHMIDT, S. J.; LABUZA, T. P. **Water activity in foods: fundamentals and applications**. Hoboken. Ames: Blackwell Publishing Profesional, 2007.

BERK, Z. **Food Process Engineering and Technology**. Academic Press. 1ª ed. San Diego. 2009. 622 p.

BEZERRA, T. S.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A.; MAIA, G. A.; ROCHA, E. M. F. F. Hygroscopic behavior of mango powder of coité and espada cultivar and evaluation of physicochemical characteristics. **Ciência Rural**. Santa Maria. v. 40, n. 10, p. 2186–2192, out. 2010.

BIAN, Q.; SITTIPOD, S.; GARG, A.; AMBROSE, R. P. K. Bulk flow properties of hard and soft wheat flours. **Journal of Cereal Science**. Londres. v. 63, p. 88–94, 1 maio 2015.

BLAHOVEC, J. Sorption isotherms in materials of biological origin mathematical and physical approach. **Journal of Food Engineering**. Londres. v. 65, n. 4, p. 489–495, 1 dez. 2004.

BONNEAU, A.; BOULANGER, R.; LEBRUN, M.; MARAVAL, I.; VALETTE, J.; GUICHARD, É.; GUNATA, Z. Impact of fruit texture on the release and perception of aroma compounds during in vivo consumption using fresh and processed mango fruits. **Food Chemistry**. Barking. v. 239, p. 806–815, 15 jan. 2018.

BRASIL, ANVISA. Agência Nacional da Vigilância Sanitária. Resolução – CNNPA nº 12, de 1978. Diário Oficial da União.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento: **SISLEGIS**. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=7777>. Acesso em: 11 ago. 2017.

BRENNAN, J. G.; BUTTERS, J. R.; COWELL, N. D.; **Las operaciones de la ingeniería de los alimentos**. Zaragoza, España: Acribia, 1998. 715 p.

BRUNAUER, S.; DEMING, L. S.; DEMING, D. E.; TELLER, E. On a Theory of the van der Waals Adsorption of Gases. **Journal of the American Chemical Society**. Washington. v. 62, n. 7, p. 1723–1732, 6 jul. 1940.

BUCIC-KOJIC, A.; PLANINIC, M.; TOMAS, S.; BILIC, M.; VALIC, D. Study of solid-liquid extraction kinetics of total polyphenols from grape seeds. **Journal of Food Engineering**. Londres. v. 81, p. 236–242, 2007.

BUTZ, P.; HOFMANN, C.; TAUSCHER, B. Recent Developments in Noninvasive Techniques for Fresh Fruit and Vegetable Internal Quality Analysis. **Journal of Food Science**. Chicago. v. 70, n. 9, p. R131–R141, 1 nov. 2005.

CABALLERO-CERÓN, C.; SERMENT-MORENO, V.; VELAZQUEZ, G.; TORRES, J. A.; WELTI-CHANES, J. Hygroscopic properties and glass transition of dehydrated mango, apple and banana. **Journal of Food Science and Technology**, Nova Deli. v. 55, n. 2, p. 540–549, 1 fev. 2018.

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**. [s.l.]. v. 287, p. 308–314, 1 jan. 2016.

CANDELARIO-RODRÍGUEZ, H. E.; ZAVALA-GARCÍA, F.; RAMÍREZ-DE LEÓN, J. A.; ARANDA-RUIZ, J. MONTES DA OCA, M. M.; VELAZQUEZ, G. Effect of high pressure processing on postharvest physiology of ‘Keitt’ mango. **Postharvest Biology and Technology**. [s.l.]. v. 94, p. 35–40, Agosto 2014.

CANO-CHAUCA, M.; STRINGUETA, P. C.; RAMOS, A.M.; CAL-VIDAL, J. Effect of the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovate Food Science & Emerging Technologies**. [s.l.]. v. 6, p. 420-428, 2005.

CANO-HIGUITA, D. M.; VILLA-VÉLEZ, H. A.; TELIS-ROMERO, J.; VÁQUIRO, H. A.; TELIS, V. R. N. Influence of alternative drying aids on water sorption of spray dried mango mix powders: A thermodynamic approach. **Food and Bioproducts Processing**. [s.l.]. v. 93, p. 19–28, 1 jan. 2015.

CANUTO, H. M. P. **Mamão (*Carica papaya L.*) liofilizado em pó: avaliação das características físicas, físico-químicas e higroscópicas**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2011.

CAPARINO, O. A.; TANG, J.; NINDO, C.I.; SABLANI, S.S.; POWERS, J.R.; FELLMAN, J.K. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine ‘Carabao’ var.) powder. **Journal of Food Engineering**. Londres. v. 111, n. 1, p. 135–148, 1 jul. 2012.

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**. Lavras. v. 35, n. 6, p. 1196–1203, 2011.

CEYLAN SAHIN, C.; ERBAY, Z.; KOCA, N. The physical, microstructural, chemical and sensorial properties of spray dried full-fat white cheese powders stored in different multilayer packages. **Journal of Food Engineering**. Londres. Food Structure Design: Innovation in Food Structure-Properties Relationships. v. 229, p. 57–64, 1 jul. 2018.

CHAN, E.W.C.; LIM, Y.Y.; WONG, S.K.; LIM, K.K.; TAN, S.P.; LIANTO, F.S.; YONG, M.Y.. Effects of different drying methods on the antioxidant properties of leaves and tea of ginger species. **Food Chemistry**. Barking. v. 113 (1), p. 166-172. 2009.

CHANG, C.-H.; LIN, H.-Y.; CHANG, C.-Y.; LIU, Y.-C. Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes. **Journal of Food Engineering**. Londres. Special Section: CHISA 2004 (pp. 379-471) CHISA 2004 Congress. v. 77, n. 3, p. 478–485, dez. 2006.

CHAUHAN, A. K.; PATIL, V. Effect of packaging material on storage ability of mango milk powder and the quality of reconstituted mango milk drink. **Powder Technology**. [s.l.] v. 239, p. 86–93, 1 maio 2013.

CHEN, J. P.; TAI, C. Y.; CHEN, B. H. Effects of different drying treatments on the stability of carotenoids in Taiwanese mango (*Mangifera indica* L.). **Food Chemistry**. Barking. v. 100, n. 3, p. 1005–1010, jan. 2007.

CHEN, M.; JIANG, Q.; YIN, X-R.; LIN, Q.; CHEN, J-Y.; ALLAN, A. C.; XU, C-J.; CHEN, K-S. Effect of hot air treatment on organic acid- and sugar-metabolism in Ponkan (*Citrus reticulata*) fruit. **Scientia Horticulturae**. Amsterdã. v. 147, p. 118–125, 12 nov. 2012.

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

CISSÉ, M.; POLIDORI, J.; MONTET, D.; LOISEAU, G.; DUCAMP-COLLIN, M. N. Preservation of mango quality by using functional chitosan-lactoperoxidase systems coatings. **Postharvest Biology and Technology**. [s.l.]. v. 101, p. 10–14, 1 mar. 2015.

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: Production of spray-dried chlorophyllide. **International Journal of Food Science & Technology**. Oxford. v. 46, n. 6, p. 1259–1265, jun. 2011.

CONCEIÇÃO, M. C.; FERNANDES, T. N.; RESENDE, J. V. DE. Stability and microstructure of freeze-dried guava pulp (*Psidium guajava* L.) with added sucrose and pectin. **Journal of Food Science and Technology**. Nova Deli. v. 53, n. 6, p. 2654–2663, 1 jun. 2016.

CONEGERO, J.; RIBEIRO, L. C.; COSTA, J. M. C.; MONTEIRO, A. R. G. Stability of ‘mangaba’ pulp powder obtained by freeze drying. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande. v. 21, n. 9, p. 645–650, set. 2017.

COSTA, J. N.; FIGUEIREDO, R.; SOUSA, P.; GONZAGA, M. L. C.; CONSTANT, P.; SOARES, J. D. Study of the stability of passion fruit powder (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) from organic farming. **Semina: Ciências Agrárias**. Londrina. v. 34, p. 705–716, 17 maio 2013.

COSTA, L. O. **Obtenção de polpa de manga em pó pelo processo de liofilização**. 2017. 119 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos)- Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

CRISÓSTOMO, L. A.; NAUMOY, A. (Org.). **Adubando para alta produtividade e qualidade: fruteiras tropicais do Brasil**. Fortaleza. Embrapa Agroindústria Tropical, 2009. 238p.

DANALACHE, F.; CARVALHO, C. Y.; ALVES, V. D.; MOLDÃO-MARTINS, M.; MATA, P. Optimisation of gellan gum edible coating for ready-to-eat mango (*Mangifera indica* L.) bars. **International Journal of Biological Macromolecules**. Guildford. v. 84, p. 43–53, 1 mar. 2016.

- DANALACHE, F.; CARVALHO, C. Y.; BRITO, L.; MATA, P.; MOLDÃO-MARTINS, M. ALVES, V. D. Effect of thermal and high hydrostatic pressure treatments on mango bars shelf-life under refrigeration. **Journal of Food Engineering**. Londres. v. 212, p. 113–120, 1 nov. 2017.
- DJANTOU, E. B.; MBOFUNG, C. M. F.; SCHER, J.; PHAMBU, N.; MORAE, J. D. Alternation drying and grinding (ADG) technique: A novel approach for producing ripe mango powder. **LWT - Food Science and Technology**. Londres. v. 44, n. 7, p. 1585–1590, 1 set. 2011.
- DORTA, E.; GONZÁLEZ, M.; LOBO, M. G.; SÁNCHEZ-MORENO, C.; ANCOS, B. Screening of phenolic compounds in by-product extracts from mangoes (*Mangifera indica* L.) by HPLC-ESI-QTOF-MS and multivariate analysis for use as a food ingredient. **Food Research International**. Essex. v. 57, p. 51–60, 1 mar. 2014.
- FANG, T.; ZHEN, Q.; LIAO, L.; OWITI, A. ZHAO, L. KORBAN, S. S.; HAN, Y. Variation of ascorbic acid concentration in fruits of cultivated and wild apples. **Food Chemistry**. Barking. v. 225, p. 132–137, 15 jun. 2017.
- FARAHNAKY, A.; MANSOORI, N.; MAJZOBI, M.; BADI, F. Physicochemical and sorption isotherm properties of date syrup powder: Antiplasticizing effect of maltodextrin. **Food and Bioprocess Technology**. [s.l.]. v. 98, p. 133–141, 1 abr. 2016.
- FÁVERO, Luiz Andrea (Coord.). **Limites, oportunidades e posicionamento estratégico para a cultura da manga em áreas emergentes**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2011. 282 p.
- FELLOWS, P. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.
- FERREIRA, A.; SOUSA, S.; LIMA, D.; COSTA, J. CARACTERIZAÇÃO DE POLPA DE CAJÁ EM PÓ OBTIDA PELO MÉTODO DE SECAGEM EM LEITO DE JORRO. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**. São Paulo. v. 1, n. 2, p. 3997–4004, 2015.
- FITZPATRICK, J. J.; BARRINGER, S. A.; IQBAL, T. Flow property measurement of food powders and sensitivity of Jenike's hopper design methodology to the measured values. **Journal of Food Engineering**. Londres. v. 61, n. 3, p. 399–405, 1 fev. 2004.
- FONGIN, S.; KAWAI, K.; HARNKARNSUJARIT, N.; HAGURA, Y. Effects of water and maltodextrin on the glass transition temperature of freeze-dried mango pulp and an empirical model to predict plasticizing effect of water on dried fruits. **Journal of Food Engineering**. Londres. v. 210, n. Supplement C, p. 91–97, 1 out. 2017.
- FRANCO, T. S.; PERUSSELLO, C. A.; ELLENDERSEN, L. N.; MASSON, M. L. Effects of foam mat drying on physicochemical and microstructural properties of yacon juice powder. **LWT - Food Science and Technology**. Londres. v. 66, p. 503–513, 1 mar. 2016.
- GALDINO, P. O.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; GALDINO, P. O.; FERNANDES, T. K. S. Stability of cactus-pear powder during storage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande. v. 20, n. 2, p. 169–173, fev. 2016.

GALMARINI, M. V.; SCHEBOR, C.; ZAMORA, M. C.; CHIRIFE, J. The effect of trehalose, sucrose and maltodextrin addition on physicochemical and sensory aspects of freeze-dried strawberry puree. **International Journal of Food Science & Technology**. Oxford. v. 44, 2009.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B.; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações**. São Paulo: Nobel, c2008. 511 p.

GENU, P. J. C.; PINTO, A. C. Q. **A cultura da mangueira**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 452 p.

GHODKI, B. M.; GOSWAMI, T. K. Effect of grinding temperatures on particle and physicochemical characteristics of black pepper powder. **Powder Technology**. [s.l.] v. 299, p. 168–177, 1 out. 2016.

GIRALDO, G.; TALENS, P.; FITO, P.; CHIRALT, A. Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. **Journal of Food Engineering**. Londres. v. 58, n. 1, p. 33–43, 1 jun. 2003.

GONZALEZ-AGUILAR, G. A.; CELIS, J.; SOTELO-MUNDO, R. R.; DE LA ROSA, L. A.; RODRIGO-GARCIA, J.; ALVAREZ-PARRILLA, E. Physiological and biochemical changes of different fresh-cut mango cultivars stored at 5 °C. **International Journal of Food Science & Technology**. Oxford. v. 43, n. 1, p. 91–101, 1 jan. 2008.

GOULA, A. M; ADAMOPOULOS, K. G. A new technique for spray drying orange juice concentrate. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. [s.l.] v. 11, p. 342-351, 2010.

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

GREENSPAN, L. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. **Journal of Research of the National of Standards A. Physics and Chemistry**. [s.l.] v.81, n.1, p.89-96, 1977.

HARNKARNSUJARIT, N.; CHAROENREIN, S.; ROOS, Y. H. Microstructure formation of maltodextrin and sugar matrices in freeze-dried systems. **Carbohydrate Polymers**. [s.l.] v. 88, n. 2, p. 734–742, 2 abr. 2012.

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

HELDMAN, D. R.; LUND, D. B. **Handbook of food engineering**. 2nd ed. Boca Raton, Florida: CRC Press/Taylor & Francis, 2007. 1023 p.

HENRÍQUEZ, C.; CÓRDOVA, A.; LUTZ, M.; SAAVEDRA, J. Storage stability test of apple peel powder using two packaging materials: High-density polyethylene and metalized films of high barrier. **Industrial Crops and Products**. [s.l.] v. 45, p. 121–127, 1 fev. 2013.

HIGBY, W. K. A simplified method for determination of some aspects of the carotenoid distribution in natural and carotene fortified orange juice. **Journal of Food Science**. Chicago. v. 27, n. 1, p. 42-49, 1962.

HORTIFRUTI BRASIL. **Anuário 2015-2016**. CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - ESALQ/USP. Piracicaba. Nº152. Ano 14. Janeiro/2016.

IBARRA-GARZA, I. P.; RAMOS-PARRA, P. A.; HERNÁNDEZ-BRENES, C.; JACOBO-VELÁZQUEZ, D. A. Effects of postharvest ripening on the nutraceutical and physicochemical properties of mango (*Mangifera indica* L. cv Keitt). **Postharvest Biology and Technology**. [s.l.]. v. 103, p. 45–54, Maio 2015

IGLESIAS, H.; CHIRIFE, J. Prediction of the effect of temperature on water sorption isotherms of food material. **International Journal of Food Science & Technology**. Oxford. v.11, p.109-116, 1976

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 4^a ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Sistema IBGE de recuperação automática (SIDRA): banco de dados agregados. **Produção Agrícola Municipal 2014**. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=1613&z=p&o=30&i=P>. Acesso em 19/09/2016.

IQBAL, T.; FITZPATRICK, J. J. Effect of storage conditions on the wall friction characteristics of three food powders. **Journal of Food Engineering**. Londres. v. 72, n. 3, p. 273–280, 1 fev. 2006.

IZLI, N.; IZLI, G.; TASKIN, O. Influence of different drying techniques on drying parameters of mango. **Food Science and Technology**. Londres. v. 37, n. 4, p. 604–612, dez. 2017.

JAYA, S.; DAS, H.; MANI, S. Optimization of maltodextrin and tricalcium phosphate for producing vacuum dried mango powder. **International journal of food properties**. [s.l.]. v. 9. 2006.

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

JIMÉNEZ-HERNÁNDEZ, J.; ESTRADA-BAHENA, E. B.; MALDONADO-ASTUDILLO, Y. I.; TALAVERA-MENDOZA, Ó.; ARÁMBULA-VILLA, G.; AZUARA, E.; ÁLVAREZ-FITZ, P.; RAMÍREZ, M.; SALAZAR, R. Osmotic dehydration of mango with impregnation of inulin and piquin-pepper oleoresin. **LWT - Food Science and Technology**. Londres. v. 79, p. 609–615, 1 jun. 2017.

JULIANO, P.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Food Powders Flowability Characterization: Theory, Methods, and Applications. **Annual Review of Food Science and Technology**. [s.l.]. v. 1, n. 1, p. 211–239, 4 mar. 2010.

KIRTIL, E.; OZTOP, H. M.; SIRIJARIYAWAT, A.; NGAMCHUACHIT, P.; BARRET, D. M.; MCCARTHY, M. J. Effect of pectin methyl esterase (PME) and CaCl₂ infusion on the cell integrity of fresh-cut and frozen-thawed mangoes: An NMR relaxometry study. **Food Research International**. Essex. v. 66, p. 409–416, 1 dez. 2014.

KOYNOV, S.; GLASSER, B.; MUZZIO, F. Comparison of three rotational shear cell testers: Powder flowability and bulk density. **Powder Technology**. [s.l.]. v. 283, p. 103–112, 1 out. 2015.

KUANG-CHENG, Y.; CHIEN-CHENG, C.; PEI-CHENG, W. Research on Application and Rehydration Rate of Vacuum Freeze Drying of Rice. **Journal of Applied Sciences**. [s.l.].v. 11, 1 mar. 2011.

KUROZAWA, L. E.; EL-AOUAR, A. A.; MURR, F. E. X. Obtenção de isotermas de dessorção de cogumelo in natura e desidratado osmoticamente. **Ciência Tecnologia de Alimentos**. Campinas. v. 25,n. 4, p. 828–834, 2005.

LAVELLI, V.; VANTAGGI, C. Rate of Antioxidant Degradation and Color Variations in Dehydrated Apples as Related to Water Activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. Washington. v. 57, n. 11, p. 4733–4738, 10 jun. 2009.

LICHTENTHALER, H. K.; BUSCHMANN, C. Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. [s.l.]. **Current protocols in food analytical chemistry**, 2001.

LIMA NETO, F. P. **A sustentabilidade na horticultura irrigada do Vale do São Francisco: cenários, desafios e perspectivas**. FEIRA NACIONAL DA AGRICULTURA IRRIGADA - FENAGRI, SIMPÓSIO DA MANGA. Prefeitura Municipal de Juazeiro: ACIAJ: UNEB, 2009.

LIU, F.-X.; FU, S.-F.; BI, X.-F.; CHEN, F.; LIAO, X.-J.; HU, X.-S.; WU, J.-H. Physico-chemical and antioxidant properties of four mango (*Mangifera indica* L.) cultivars in China. **Food Chemistry**. Barking. v. 138, n. 1, p. 396–405, 1 maio 2013.

LOPES NETO, J. P.; NASCIMENTO, J. W. B.; LOPES, F. F. M.. Modelos de previsão do fluxo e vazão de descarga de produtos agrícolas. **Revista Educação Agrícola Superior**. [s.l.]. v. 27, n. 1, p. 54 - 58, 2012.

LOPES NETO, J. P.; NASCIMENTO, J. W. B.; SILVA, V. R.; LOPES, F. F. M. Propriedade de fluxo e característica de escoabilidade de rações avícolas para dimensionamento de silos. **Rev. Ciênc. e Agrotec**. Lavars. v. 31, n. 3, p. 851-859, 2007.

LOPES, M. M. A. **Efeitos da luz pulsada no metabolismo e nas características físico-químicas de frutos de manga “Tommy Atkins” durante o armazenamento**. Tese (doutorado). Universidade Federal do Ceará, 2015.

LOUREIRO, M. DAS N.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; OLIVEIRA, E. N. A. Storage buriti powder: effect of packaging on the characteristics physical and chemical. **Bioscience Journal**. Uberlândia. v. 29, n. 5, 8 ago. 2013.

MANTHEY, J. A.; PERKINS-VEAZIE, P. Influences of harvest date and location on the levels of beta-carotene, ascorbic acid, total phenols, the in vitro antioxidant capacity, and phenolic profiles of five commercial varieties of mango (*Mangifera indica* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. Washington. v. 57, n. 22, p. 10825–10830, 25 nov. 2009.

MARQUES, E. C.; COSTA, S. R. R. DA. Estudo da liofilização pela engenharia de produto no processamento industrial de alimentos. **Acta Tecnológica**. São Luís. v. 10, n. 1, p. 44–52. 2015.

MARQUES, G. R.; BORGES, S. V.; MENDONÇA, K. S.; FERNANDES, R. V.; MENEZES, E. G. T. Application of maltodextrin in green corn extract powder production. **Powder Technology**. [s.l.]. v. 263, p. 89–95, 1 set. 2014.

MARQUES, L. G. **Liofilização de frutas tropicais**. Tese (doutorado) – Universidade Federal de São Carlos. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2008.

MATOS, A. P. DE; EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA. **Manga: produção : aspectos técnicos**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000.

MATTIUZ, B.-H.; DUCAMP-COLLIN, M.-N.; MATTIUZ, C. F. M.; VIGNEAULT, C.; MARQUES, K. M.; SAGOUA, W.; MONTET, D. Effect of propolis on postharvest control of anthracnose and quality parameters of ‘Kent’ mango. **Scientia Horticulturae**. Amsterdã. v. 184, p. 160–168, 5 mar. 2015.

MEDEIROS, R. A. B.; BARROS, Z. M. P.; CARVALHO, C. B. O.; FRAGA NETA, E. G.; MACIEL, M. I. S.; AZOUBEL, P. M. Influence of dual-stage sugar substitution pretreatment on drying kinetics and quality parameters of mango. **LWT - Food Science and Technology**. Londres. v. 67, p. 167–173, 1 abr. 2016.

MENDOZA-CORVIS, F. A.; ARTEAGA-MÁRQUEZ, M. R.; PÉREZ-SIERRA, O. A. Degradation of vitamin C in a product made from mango (*Mangifera indica* L.) and whey protein. **Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria**. [s.l.]. v. 18, n. 1, p. 125–137, jan. 2017.

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

MOHD SALLEH, F. S.; YUSOF, Y. A.; ANUAR, M. S.; CHIN, N. L. Flow Properties of Ficus Deltoidea Extract Powder and the Binders, Acdisol and Avicel. **Journal of Food Process Engineering**. [s.l.]. v. 37, n. 1, p. 63–74, 1 fev. 2014.

MOLINA, R.; CLEMENTE, E.; SCAPIM, M. R. da S.; VAGULA, J. M. Physical Evaluation and Hygroscopic Behavior of Dragon Fruit (*Hylocereus undatus*) Lyophilized Pulp Powder. **Drying Technology**. [s.l.]. v. 32, n. 16, p. 2005–2011, dez. 2014.

MOREIRA, T. B.; ROCHA, É. M. F. F.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Behavior of adsorption isotherms of freeze-dried mango pulp powder. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande. v. 17, n. 10, p. 1093–1098, out. 2013.

MOUCO, M. A. DO C. **Cultivo da mangueira**. Sistema de Produção (INFOTECA-E). Petrolina: Embrapa Semiárido – Pe. 2010.

MUENKAEW, R.; CHAIPRASART, P.; WARRINGTON, I. Changing of physiochemical properties and color development of mango fruit sprayed methyl Jasmonate. **Scientia Horticulturae**. Amsterdã. v. 198, p. 70–77, 26 jan. 2016.

MUJUMDAR, A. S.; WU, Z. H. **Thermal drying technologies: New developments and future R&D potential**. In: JANGAM, S.V.; THORAT, B.N. (Eds.), R&D Needs, Challenges and Opportunities for Innovation in Drying Technology. 2010. e-Book.

MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Moisture sorption isotherms and storage study of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**. [s.l.]. v. 291, p. 322–327, 1 abr. 2016.

NAMITHA, K. K.; NEGI, P. S. Chemistry and Biotechnology of Carotenoids. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. Boca Raton. v. 50, n. 8, p. 728–760, 2 set. 2010.

NASSUR, R. C. M. R. **Indicadores de qualidade em mangas durante o amadurecimento**. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras. Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos. Lavras – MG. 2013.

NETO, L. G. DE M.; ROCHA, É. M. de F. F.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. da. Adsorption isotherms of hog plum (*Spondias mombin* L.) pulp powder obtained by spray dryer. **Acta Scientiarum. Technology**. Maringá. v. 37, n. 2, p. 273–277, 29 maio 2015.

NGAMCHUACHIT, P.; SIVERTSEN, H. K.; MITCHAM, E. J.; BARRET, D. M. Influence of cultivar and ripeness stage at the time of fresh-cut processing on instrumental and sensory qualities of fresh-cut mangos. **Postharvest Biology and Technology**. [s.l.] v. 106, p. 11–20, 1 ago. 2015.

NORATTO, G. D.; KRENEK, K.; TALCOTT, S. T.; STRINGHETA, P. C.; MERTENS-TALCOTT, S. U. Anticarcinogenic effects of polyphenolics from mango (*Mangifera indica*) varieties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. Washington. v. 58, n. 7, p. 4104–4112, 14 abr. 2010.

OBEROI, D. P. S.; SOGI, D. S. Effect of drying methods and maltodextrin concentration on pigment content of watermelon juice powder. **Journal of Food Engineering**. Londres. v. 165, n. Supplement C, p. 172–178, 1 nov. 2015.

OECD/FAO. **OECD-FAO Agricultural Outlook 2016-2025**, OECD Publishing, Paris. DOI: http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2016-en. 2016. Acesso em 13/09/2016.

OLIVEIRA, A. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROA, A. J. M.; BRITO, J. G. Stability of the *Cereus jamaicu* powder during storage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande. v. 19, n. 2, p. 147–153, fev. 2015.

OLIVEIRA, G. S. **Aplicação do processo de liofilização na obtenção de cajá em pó: avaliação das características físicas, físico-químicas e higroscópicas.** 2012. 83 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Fortaleza-CE, 2012.

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

OLIVEIRA, M. I. S.; TONON, R. V.; NOGUEIRA, R. I.; CABRAL, L. M. C. Stability of spray-dried strawberry pulp produced with different carrier agents. **Brazilian Journal of Food Technology.** Campinas. v. 16, n. 4, p. 310–318, dez. 2013.

OLIVEIRA, M. N.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; DIÓGENES, A. M. G.; SOUSA, A. B. B.; VASCONCELOS, U. A. A. Caracterização físico-química de polpas de manga ‘Rosa’ liofilizadas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável.** Pombal. v. 12, n. 5, 1 dez. 2017.

ONG, M. Y.; YUSOF, Y. A.; AZIZ, M. G.; CHIN, N. L.; AMIN, N. A. M. Characterisation of fast dispersible fruit tablets made from green and ripe mango fruit powders. **Journal of Food Engineering.** Londres. v. 125, p. 17–23, 1 mar. 2014.

ORDÓÑEZ, J. A. P. (Org.). **Tecnologia de alimentos.** Porto Alegre: Artmed, 2005. 2 v.

OSORIO, S.; FERNIE, A. R. Biochemistry of Fruit Ripening. In: SEYMOUR, G. B. POOLE, M., GIOVANNONI, J. J., TUCKER, G. A. (Eds.). **The Molecular Biology and Biochemistry of Fruit Ripening.** [s.l.] Blackwell Publishing Ltd., 2013.

PADDA, M. S.; AMARANTE, C. V. T.; GARCIA, R. M.; SLAUGHTER, D. C.; MITCHAM, E. J. Methods to analyze physico-chemical changes during mango ripening: A multivariate approach. **Postharvest Biology and Technology.** [s.l.]. v. 62, n. 3, p. 267–274, 1 dez. 2011.

PAGLARINI, C. S.; SILVA, F. S.; 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.** Campina Grande. v.17, n.3, p.299–305, 2013.

PERDOMO, J.; COVA, A.; SANDOVAL, A. J.; GARCÍA, L.; LAREDO, E.; MÜLLER, A. J. Glass transition temperatures and water sorption isotherms of cassava starch. **Carbohydrate Polymers.** [s.l.]. v. 76, n. 2, p. 305–313, 17 mar. 2009.

PROSAPIO, V.; NORTON, I. Influence of osmotic dehydration pre-treatment on oven drying and freeze drying performance. **LWT - Food Science and Technology.** Londres. v. 80, p. 401–408, 1 jul. 2017.

QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; VIEIRA, A. H. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. **Revista de Biologia e Ciências da Terra.** São Cristovão. 7. 11-20, jan. 2007.

RAHMAN, M. **Handbook of Food Preservation**. 2th ed. CRC Press. 2007.

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

RIZVI, S. S. H; RAO, M. A.; S. S. H.; DATTA, A. K. **Engineering Properties of Foods**. 3 ed. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2005. 761 p.

ROBLES-SÁNCHEZ, R. M.; ROJAS-GRAÜ, M. A.; ODRIZOLA-SERRANO, I.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A.; MARTÍN-BELLOSO, O. Effect of minimal processing on bioactive compounds and antioxidant activity of fresh-cut ‘Kent’ mango (*Mangifera indica* L.). **Postharvest Biology and Technology**. [s.l.]. v. 51, n. 3, p. 384–390, mar. 2009.

ROCHA, É. M. F. F. **Desidratação de polpa de manga e suco de caju integral por atomização e caracterização dos produtos obtidos**. Tese (doutorado). Universidade Federal do Ceará, 2013.

RODRIGUES, B. K. M. **Liofilização de polpa de manga (*mangifera indica* l.) c.v tommy atkins: condições de secagem e estabilidade**. 2017. 137 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

RODRÍGUEZ-BERNAL, J. M.; FLORES-ANDRADE, E.; LIZARAZO-MORALES, C.; BONILLA, E.; PASCUAL-PINEDA, L. A.; GUTIERRÉZ-LÓPEZ, G.; QUINTANILLA-CARVAJAL, M. X. Moisture adsorption isotherms of the borojó fruit (*Borojoa patinoi*. Cuatrecasas) and gum arabic powders. **Food and Bioproducts Processing**. [s.l.]. v. 94, p. 187–198, 1 abr. 2015.

SABAREZ, H. Drying of Food Materials. In: **Reference Module in Food Science**. [s.l.] Elsevier, 2016.

SABAREZ, H. T.; KNOERZER, K.; FRYER, P. J. 4 - Modelling of drying processes for food materials A2 - Bakalis, Serafim. **Modeling Food Processing Operations**. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. [s.l.] Woodhead Publishing, 2015. p. 95–127.

SABLANI, S. S.; ANDREWS, P.K.; DAVIES, N.M.; WALTERS, T.; SAEZ, H.; BASTARRACHEA, L. Effects of air and freeze drying on phytochemical content of conventional and organic berries. **Drying Technology**. [s.l.]. v. 29 (2), 205 e 216. 2011.

SAGAR, V. R.; SURESH KUMAR, P. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. **Journal of Food Science and Technology**. Nova Deli. v. 47, n. 1, p. 15–26, jan. 2010.

SAI-UT, S.; BENJAKUL, S.; KRAITHONG, S.; RAWDKUEN, S. Optimization of Antioxidants and Tyrosinase Inhibitory Activity in Mango Peels Using Response Surface Methodology. **LWT - Food Science and Technology**. Londres. v. 64, 1 jun. 2015.

- SAINI, R. K.; NILE, S. H.; PARK, S. W. Carotenoids from fruits and vegetables: Chemistry, analysis, occurrence, bioavailability and biological activities. **Food Research International**. Essex. v. 76, p. 735–750, 1 out. 2015.
- SAMAPUNDO, S.; DEVLIEGHERE, F.; MEULENAER, B. D.; TUKWASE, A.; LAMBONI, Y.; DEBEVERE, J.M. Sorption isotherms and isosteric heats of sorption of whole yellow dent corn. **Journal of Food Engineering**. Londres. v.79, p.168-175, 2007.
- SANTOS, D. C., ROCHA, A. P. T.; GOMES, J. P.; OLIVEIRA, E. N. A.; ALBUQUERQUE, E. M. B.; ARAUJO, G. T. Storage of ‘umbu-cajá’ pulp powder produced by lyophilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande. v. 20, n. 12, p. 1118–1123, dez. 2016.
- SANTOS, P. H. S.; SILVA, M. A. Retention of Vitamin C in Drying Processes of Fruits and Vegetables—A Review. **Drying Technology**. [s.l.]. v. 26, n. 12, p. 1421–1437, 21 nov. 2008.
- SANTOS, R. F.; DAMY-BENEDETTI, P. C.; TERRONI, H. C.; DE JESUS, J. M.; ARTUZO, L. T.; VENTURA, L. V. Liofilização. **Revista científica unilago**. São José do Rio Preto. União das Faculdades dos Grandes Lagos. Vol. 1. P. 271-284. Ano 1, 2013.
- SEBRAE. Agronegócio fruticultura. **Boletim Inteligência**, outubro 2015. Disponível em: [http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/64ab878c176e5103877bfd3f92a2a68f/\\$File/5791.pdf](http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/64ab878c176e5103877bfd3f92a2a68f/$File/5791.pdf). Acesso em 02/09/2016.
- SEERANGURAYAR, T.; MANICKAVASAGAN, A.; AL-ISMAILI, A. M.; AL-MULLA, Y. A. Effect of carrier agents on flowability and microstructural properties of foam-mat freeze dried date powder. **Journal of Food Engineering**. Londres. v. 215, p. 33–43, 1 dez. 2017.
- SENSING, K. M. **Entendendo o Espaço de Cor L*a*b***. Disponível em: <http://sensing.konicaminolta.com.br/2013/11/entendendo-o-espaco-de-cor-lab/>. Acesso em: 30 ago. 2017.
- SHISHIR, M. R. I.; TAIP, F. P.; AZIZ, N. A.; TALIB, R. A. Physical Properties of Spray-dried Pink Guava (*Psidium Guajava*) Powder. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**. [s.l.] 2nd International Conference on Agricultural and Food Engineering (CAFE 2014) - New Trends Forward. v. 2, p. 74–81, 1 jan. 2014.
- SHISHIR, M. R. I.; TAIP, F. P.; SAIFULLAH, M.; AZIZ, N. A.; TALIB, R. A. Effect of packaging materials and storage temperature on the retention of physicochemical properties of vacuum packed pink guava powder. **Food Packaging and Shelf Life**, [s.l.]. v. 12, p. 83–90, 1 jun. 2017.
- SHOFIAN, N. M.; HAMID, A. A.; OSMAN, A.; SAARI, N., ANWAR, F.; DEK, M. S. P.; HAIRUDDIN, M. R.. Effect of Freeze-Drying on the Antioxidant Compounds and Antioxidant Activity of Selected Tropical Fruits. **International Journal of Molecular Sciences**. Basel. v. 12, n. 7, p. 4678–4692, 20 jul. 2011.
- SILVA, D. F. P.; SIQUEIRA, D. L.; PEREIRA, C. S.; SALOMÃO, L. C. C.; STRUIVING, T. B. Caracterização de frutos de 15 cultivares de mangueira na Zona da Mata mineira. **Revista Ceres**. Viçosa. v. 56, n. 6, 2009.

SIMÃO, S. **Tratado de fruticultura**. Piracicaba: FEALQ, 1998. 760 p.

SINGH, R. P.; HELDMAN, D. R. **Introducción a la ingeniería de los alimentos**. Fourth Edition. Zaragoza: Acribia, 864 p. 2009.

SINGH, Z.; SINGH, R. K.; SANE, V. A.; NATH, P. Mango-postharvest biology and biotechnology. **Critical Review in Plant Sciences**. [s.l.]. 32, 217–236, 2013

SIVAKUMAR, D.; JIANG, Y.; YAHIA, E. M. Maintaining mango (*Mangifera indica* L.) fruit quality during the export chain. **Food Research International**. Essex. v. 44, n. 5, p. 1254–1263, 1 jun. 2011.

SOGI, D. S.; SIDDIQ, M.; DOLAN, K. D. Total phenolics, carotenoids and antioxidant properties of Tommy Atkin mango cubes as affected by drying techniques. **LWT - Food Science and Technology**. Londres. Healthy Snacks: Recent Trends and Innovative Developments to Meet Current Needs. v. 62, n. 1, Part 2, p. 564–568, 1 jun. 2015.

SOUSA, M. S. M. L.; LIMA, N. D.; CARVALHO, J. D. G.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Efeito da Temperatura de Secagem sobre a Bebida Mista de Polpa de Manga e Soro Lácteo. **Higiene Alimentar**. São Paulo. v. 29, p. 4538-4543, mar/abr, 2015.

SOUSDALEFF, M.; BAESSO, M.L.; NETO, A.M.; NOGUEIRA, A.C.; MARCOLINO, V.A.; MATIOLI, G. Microencapsulation by Freeze-Drying of Potassium Norbixinate and Curcumin with Maltodextrin: Stability, Solubility, and Food Application. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. Washington. v. 61, n. 4, p. 955–965, 30 jan. 2013.

SOUZA, J. S. **Secagem de misturas de polpa de frutas tropicais em leite de jorro**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Departamento de Engenharia Química. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 155 f. 2009.

SOUZA, S. J. F. **Estudo da atividade de água em co-produtos da indústria de sucos: sementes de maracujá, casca de laranja e cascas de manga**. Tese (doutorado) Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas São José do Rio Preto. 70 f, 2015.

SPIESS, W.E.L.; WOLF, W. Critical evaluation of methods to determine moisture sorption isotherms. In: ROCKLAND, L.B.; BEUCHAT, L. R. (ed.) **Water activity: theory and applications to food**. New York: Marcel Dekker, 1987. p.215-233.

VIEIRA, A. P.; NICOLETI, J. F.; TELIS, V. R. N. Liofilização de fatias de abacaxi: avaliação da cinética de secagem e da qualidade do produto. **Brazilian Journal of Food Technology**. Campinas. v. 15, n. 1, p. 50–58, mar. 2012.

TERRONI. **Série LS – Terroni Equipamentos Científicos**. , [s.d.]. Disponível em: <http://www.terrioni.com.br/produto/serie-ls/>. Acesso em: 11 fev. 2017.

THOMSON, F. M. Storage and Flow of Particulate Solids. In: **Handbook of Powder Science & Technology**. [s.l.] Springer, Boston, MA, 1997. p. 389–486.

TONON, R. V.. **Secagem por atomização do suco de açaí: influência das variáveis de processo, qualidade e estabilidade do produto**. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Doutorado em Engenharia de Alimentos, 2009.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açaí (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**. Londres. v. 88, n. 3, p. 411–418, 1 out. 2008.

TREICHEL, M.; KIST, B. B.; SANTOS, C. E.; CARVALHO, C. e BELING, R. R. **Anuário brasileiro da fruticultura 2016** – Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2016.88 p.

TURMANIDZE, T.; JGENTI, M.; GULUA, L.; SHAIASHVILI, V. Effect of ascorbic acid treatment on some quality parameters of frozen strawberry and raspberry fruits. **Annals of Agrarian Science**. [s.l.]. 2 ago. 2017.

UDOMKUN, P.; NAGLE, M.; ARGYROPOULOS, D.; MAHAYOTHEE, B.; LATIF, S.; MÜLLER, J. Compositional and functional dynamics of dried papaya as affected by storage time and packaging material. **Food Chemistry**. Barking. v. 196, p. 712–719, 1 abr. 2016.

VANACLOCHA, A. C.; REQUENA, J. A. **Procesos de conservación de alimentos**. 2.ed. Madrid: Mundi-Prensa, 2003. 494p.

VETUCCI, J. P.; CALDERAN, A. N.; BERALDO, P. E. P. **Boletim MARKESALQ EM REDE – MANGA**. Grupo de Pesquisa e Extensão em Marketing e Gestão. ANO 4 N°16 Abr. 2016.

WELTI-CHANES, J.; PÉREZ, E.; GUERRERO-BELTRÁN, J. A.; ALZAMORA, S. M.; VERGARA—BALDERAS, F. Applications of Water Activity Management in the Food Industry. In: BARBOSA-CÁNOVAS *et al.* *Water Activity in Food: Fundamentals and Applications*. Ames: **Blackwell Publishing Professional**. Oxford. 2007.

WOJDYŁO, A.; FIGIEL, A.; LEGUA, P.; LECH, K.; CARBONELL-BARRACHINA, A. A.; HERNÁNDEZ, F. Chemical composition, antioxidant capacity, and sensory quality of dried jujube fruits as affected by cultivar and drying method. **Food Chemistry**. Barking. v. 207, p. 170–179, 15 set. 2016.

XU, S.; PEGG, R. B.; KERR, W. L. Physical and Chemical Properties of Vacuum Belt Dried Tomato Powders. **Food and Bioprocess Technology**, v. 9, n. 1, p. 91–100, 1 jan. 2016.
YAMASHITA, C.; CHUNG, M. M. S.; DOS SANTOS, C.; MAYER, C. R. M.; MORAES, I. C. F.; BRANCO, I. G. Microencapsulation of an anthocyanin-rich blackberry (*Rubus* spp.) by-product extract by freeze-drying. **LWT - Food Science and Technology**. Londres. v. 84, p. 256–262, 1 out. 2017.

YI, J.-Y.; LYU, J.; BI, J.-F.; ZHOU, L.-Y.; ZHOU, M. Hot air drying and freeze drying pre-treatments coupled to explosion puffing drying in terms of quality attributes of mango, pitaya, and papaya fruit chips. **Journal of Food Processing and Preservation**. [s.l.]. v. 41, n. 6, 1 dez. 2017.

ZAFAR, U.; VIVACQUA, V.; CALVERT, G.; GHADIRI, M.; CLEAVER, J. A. S. A review of bulk powder caking. **Powder Technology**. [s.l.]. v. 313, p. 389–401, 15 maio 2017.

ZAPATA, K.; ROJANO, B.; CORTÉS, F. Effect of Relative Humidity on the Antioxidant Activity of Spray-Dried Banana Passion Fruit (*Passiflora Mollissima* Baley)-Coated Pulp: Measurement of the Thermodynamic Properties of Sorption. **Chemical Engineering Communications**. [s.l.]. v. 202, 1 mar. 2015.

ZHAO, J.-H.; LIU, F.; WEN, X.; XIAO, H.-W.; NI, Y.-Y. State diagram for freeze-dried mango: Freezing curve, glass transition line and maximal-freeze-concentration condition. **Journal of Food Engineering**. Londres. v. 157, p. 49–56, 1 jul. 2015.

ZOTARELLI, M. F. **Produção e Caracterização de Manga Desidratada em Pó por Diferentes Processos de Secagem**. 2014. 165 p. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Florianópolis, SC, 2014.

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

**APÊNDICE A – TABELAS DOS RESULTADOS DO ESTUDO DA ESTABILIDADE
DOS PÓS DE MANGA C.V. KENT E KEITT OBTIDOS POR LIOFILIZAÇÃO**

Tabela 31 – Avaliação da umidade (%) dos pós de polpa de manga cv. kent e keitt durante 80 dias acondicionados em diferentes condições.

Tempo de armazenamento	Embalagens			
	KN	KNV	KT	KTV
0	4,47±0,07 ^{a,AB}	4,73±0,17 ^{ab,A}	4,17±0,19 ^{a,B}	4,28±0,13 ^{b,B}
20	4,59±0,24 ^{a,A}	4,88±0,35 ^{a,A}	4,35±0,19 ^{a,A}	4,46±0,32 ^{ab,A}
40	4,68±0,27 ^{a,A}	4,28±0,07 ^{b,AB}	4,06±0,11 ^{a,B}	4,32±0,09 ^{b,AB}
60	4,37±0,14 ^{a,BC}	4,57±0,15 ^{ab,AB}	4,14±0,19 ^{a,C}	4,86±0,14 ^{a,A}
80	4,77±0,10 ^{a,C}	4,52±0,05 ^{ab,A}	4,06±0,10 ^{a,B}	4,83±0,08 ^{a,C}

*(KN) Embalagem sem vácuo cv. Kent; (KNV) Embalagem com vácuo cv. Kent; (KT) Embalagem sem vácuo cv. Keitt; (KTV) Embalagem com vácuo cv. Keitt.

Médias seguidas por letras diferentes (minúsculas na coluna e maiúsculas na linha) diferem entre si ($p < 0,05$) pelo teste de *Tukey*.

Tabela 32 – Avaliação de sólidos solúveis (°Brix) dos pós de polpa de manga cv. kent e keitt durante 80 dias acondicionados em diferentes condições.

Tempo de Armazenamento	Embalagens*			
	KN	KNV	KT	KTV
0	92,66±1,52 ^{a,A}	95,00±1,00 ^{ab,A}	90,33±2,08 ^{a,A}	93,33±2,30 ^{ab,A}
20	94,00±2,00 ^{a,A}	90,33±0,57 ^{b,A}	91,33±3,21 ^{a,A}	90,33±0,57 ^{b,A}
40	97,66±2,30 ^{a,A}	96,00±4,35 ^{ab,A}	92,33±1,52 ^{a,A}	99,33±3,21 ^{a,A}
60	95,00±2,64 ^{a,A}	98,33±3,51 ^{a,A}	94,66±3,05 ^{a,A}	94,00±4,58 ^{ab,A}
80	97,33±1,52 ^{a,A}	94,00±1,00 ^{ab,AB}	92,66±1,52 ^{a,AB}	91,00±3,00 ^{b,B}

*(KN) Embalagem sem vácuo cv. Kent; (KNV) Embalagem com vácuo cv. Kent; (KT) Embalagem sem vácuo cv. Keitt; (KTV) Embalagem com vácuo cv. Keitt.

Médias seguidas por letras diferentes (minúsculas na coluna e maiúsculas na linha) diferem entre si ($p < 0,05$) pelo teste de *Tukey*.

Tabela 33 – Avaliação de atividade de água dos pós de polpa de manga cv. kent e keitt durante 80 dias acondicionados em diferentes condições.

Tempo de Armazenamento	Embalagens*			
	KN	KNV	KT	KTV
0	0,29±0,0089 ^{a,B}	0,28±0,0023 ^{b,BC}	0,23±0,0053 ^{a,A}	0,26±0,01 ^{a,C}
20	0,29±0,0061 ^{a,C}	0,30±0,002 ^{a,A}	0,27±0,0027 ^{b,B}	0,29±0,0022 ^{c,C}
40	0,30±0,023 ^{a,A}	0,29±0,0072 ^{ab,A}	0,27±0,0041 ^{b,A}	0,29±0,0056 ^{bc,A}
60	0,28±0,0028 ^{a,C}	0,29±0,0084 ^{ab,C}	0,27±0,0014 ^{b,B}	0,31±0,00095 ^{b,A}
80	0,30±0,0002 ^{a,C}	0,29±0,0038 ^{ab,C}	0,27±0,0035 ^{b,B}	0,30±0,0018 ^{bc,A}

*(KN) Embalagem sem vácuo cv. Kent; (KNV) Embalagem com vácuo cv. Kent; (KT) Embalagem sem vácuo cv. Keitt; (KTV) Embalagem com vácuo cv. Keitt.

Médias seguidas por letras diferentes (minúsculas na coluna e maiúsculas na linha) diferem entre si ($p < 0,05$) pelo teste de *Tukey*.

Tabela 34 – Avaliação de pH dos pós de polpa de manga cv. kent e keitt durante 80 dias acondicionados em diferentes condições.

Tempo de armazenamento	Embalagens*			
	KN	KNV	KT	KTV
0	4,47±0,08 ^{a,B}	5,23±0,07 ^{a,A}	4,73±0,25 ^{a,B}	5,18±0,07 ^{a,A}
20	5,28±0,02 ^{b,A}	5,24±0,0057 ^{a,B}	5,20±0,01 ^{b,C}	5,22±0,02 ^{a,BC}
40	5,36±0,01 ^{b,A}	5,27±0,08 ^{a,A}	5,23±0,01 ^{b,A}	5,10±0,19 ^{a,A}
60	5,13±0,20 ^{b,A}	5,35±0,0057 ^{a,A}	5,15±0,0057 ^{b,A}	5,30±0,01 ^{a,A}
80	5,32±0,01 ^{b,A}	5,26±0,01 ^{a,C}	5,16 ± 0,0057 ^{b,B}	5,27±0,01 ^{a,C}

*(KN) Embalagem sem vácuo cv. Kent; (KNV) Embalagem com vácuo cv. Kent; (KT) Embalagem sem vácuo cv. Keitt; (KTV) Embalagem com vácuo cv. Keitt.

Médias seguidas por letras diferentes (minúsculas na coluna e maiúsculas na linha) diferem entre si ($p < 0,05$) pelo teste de *Tukey*.

Tabela 35 – Avaliação de acidez (%) dos pós de polpa de manga cv. kent e keitt durante 80 dias acondicionados em diferentes condições.

Tempo de armazenamento	Embalagens*			
	KN	KNV	KT	KTV
0	0,54±0,03 ^{b,B}	0,61±0,007 ^{b,A}	0,60±0,02 ^{bc,AB}	0,61±0,02 ^{a,AB}
20	0,60±0,05 ^{b,A}	0,61±0,03 ^{b,A}	0,57±0,01 ^{c,A}	0,57±0,01 ^{a,A}
40	0,56±0,03 ^{b,C}	0,60±0,03 ^{b,BC}	0,64±0,01 ^{b,B}	0,83±0,02 ^{b,A}
60	0,74±0,01 ^{a,A}	0,76±0,0085 ^{a,A}	0,77±0,01 ^{a,A}	0,78±0,01 ^{b,A}
80	0,76±0,03 ^{a,B}	0,76±0,0044 ^{a,AB}	0,82±0,01 ^{a,A}	0,78±0,01 ^{b,AB}

*(KN) Embalagem sem vácuo cv. Kent; (KNV) Embalagem com vácuo cv. Kent; (KT) Embalagem sem vácuo cv. Keitt; (KTV) Embalagem com vácuo cv. Keitt.

Médias seguidas por letras diferentes (minúsculas na coluna e maiúsculas na linha) diferem entre si ($p < 0,05$) pelo teste de *Tukey*.

Tabela 36 – Avaliação de ácido ascórbico (mg/100g) dos pós de polpa de manga cv. kent e keitt durante 80 dias acondicionados em diferentes condições.

Tempo de armazenamento	Embalagens*			
	KN	KNV	KT	KTV
0	19,78±0,08 ^{a,A}	24,91±4,98 ^{a,A}	26,35±2,78 ^{a,A}	24,86±5,05 ^{a,A}
20	29,29±0,35 ^{ab,A}	28,10±2,84 ^{a,A}	29,70±0,24 ^{a,A}	28,18±2,95 ^{a,A}
40	24,66±4,87 ^{ab,A}	28,10±2,79 ^{a,A}	28,15±2,86 ^{a,A}	27,57±5,24 ^{a,A}
60	23,20±2,87 ^{ab,A}	25,40±2,51 ^{a,A}	25,53±2,70 ^{a,A}	25,52±2,75 ^{a,A}
80	22,18±5,35 ^{a,A}	25,41±2,69 ^{a,A}	25,56±2,79 ^{a,A}	24,84±2,64 ^{a,A}

*(KN) Embalagem sem vácuo cv. Kent; (KNV) Embalagem com vácuo cv. Kent; (KT) Embalagem sem vácuo cv. Keitt; (KTV) Embalagem com vácuo cv. Keitt.

Médias seguidas por letras diferentes (minúsculas na coluna e maiúsculas na linha) diferem entre si ($p < 0,05$) pelo teste de *Tukey*.

Tabela 37 – Avaliação da Cor L* dos pós de polpa de manga cv. kent e keitt durante 80 dias acondicionados em diferentes condições.

Tempo de armazenamento	Embalagens*			
	KN	KNV	KT	KTV
0	59,22±0,04 ^{a,C}	58,14±0,17 ^{a,D}	60,33±0,10 ^{a,A}	59,76±0,13 ^{a,B}
20	59,56±0,10 ^{bc,A}	59,24±0,07 ^{b,B}	60,48±0,10 ^{a,C}	60,28±0,08 ^{b,C}
40	59,85±0,01 ^{b,C}	59,15±0,09 ^{b,D}	60,74±0,08 ^{b,A}	60,17±0,14 ^{b,B}
60	59,67±0,10 ^{bc,C}	59,15±0,11 ^{b,D}	60,80±0,07 ^{b,A}	60,09±0,08 ^{b,B}
80	59,47±0,22 ^{ac,C}	59,14±0,10 ^{b,C}	60,96±0,11 ^{b,A}	60,26±0,09 ^{b,B}

*(KN) Embalagem sem vácuo cv. Kent; (KNV) Embalagem com vácuo cv. Kent; (KT) Embalagem sem vácuo cv. Keitt; (KTV) Embalagem com vácuo cv. Keitt.

Médias seguidas por letras diferentes (minúsculas na coluna e maiúsculas na linha) diferem entre si ($p < 0,05$) pelo teste de *Tukey*.

Tabela 38 – Avaliação da Cor a* dos pós de polpa de manga cv. kent e keitt durante 80 dias acondicionados em diferentes condições.

Tempo de armazenamento	Embalagens*			
	KN	KNV	KT	KTV
0	-0,46±0,03 ^{ab,A}	-0,45±0,03 ^{ab,A}	-0,99±0,05 ^{b,B}	-1,02±0,02 ^{a,B}
20	-0,40±0,03 ^{a,A}	-0,50±0,01 ^{b,B}	-1,00±0,06 ^{b,C}	-0,96±0,02 ^{ab,C}
40	-0,52±0,03 ^{bc,C}	-0,51±0,02 ^{b,C}	-1,08±0,04 ^{ab,B}	-0,93±0,01 ^{b,A}
60	-0,50±0,02 ^{bc,B}	-0,40±0,03 ^{a,A}	-1,07±0,03 ^{ab,D}	-0,94±0,01 ^{b,C}
80	-0,60±0,06 ^{c,B}	-0,39±0,04 ^{a,A}	-1,15±0,01 ^{a,D}	-0,99±0,03 ^{ab,C}

*(KN) Embalagem sem vácuo cv. Kent; (KNV) Embalagem com vácuo cv. Kent; (KT) Embalagem sem vácuo cv. Keitt; (KTV) Embalagem com vácuo cv. Keitt.

Médias seguidas por letras diferentes (minúsculas na coluna e maiúsculas na linha) diferem entre si ($p < 0,05$) pelo teste de *Tukey*.

Tabela 39 – Avaliação da Cor b* dos pós de polpa de manga cv. kent e keitt durante 80 dias acondicionados em diferentes condições.

Tempo de armazenamento	Embalagens*			
	KN	KNV	KT	KTV
0	20,50±0,09 ^{a,C}	18,93±0,23 ^{a,B}	20,74±0,19 ^{a,C}	19,96±0,06 ^{a,A}
20	19,06±0,07 ^{b,C}	18,08±0,04 ^{b,B}	19,41±0,09 ^{b,A}	18,97±0,12 ^{b,C}
40	17,94±0,06 ^{c,B}	17,74±0,08 ^{c,B}	18,23±0,03 ^{c,A}	18,34±0,11 ^{c,A}
60	17,39±0,07 ^{d,B}	17,28±0,04 ^{d,B}	17,72±0,03 ^{d,A}	17,82±0,10 ^{d,A}
80	16,87±0,22 ^{e,B}	17,11±0,07 ^{d,B}	17,19±0,14 ^{e,B}	17,83±0,05 ^{d,A}

*(KN) Embalagem sem vácuo cv. Kent; (KNV) Embalagem com vácuo cv. Kent; (KT) Embalagem sem vácuo cv. Keitt; (KTV) Embalagem com vácuo cv. Keitt.

Médias seguidas por letras diferentes (minúsculas na coluna e maiúsculas na linha) diferem entre si ($p < 0,05$) pelo teste de *Tukey*.

Tabela 40 – Avaliação da Higroscopicidade (g/100g) dos pós de polpa de manga cv. kent e keitt durante 80 dias acondicionados em diferentes condições.

Tempo de armazenamento	Embalagens*			
	KN	KNV	KT	KTV
0	7,13±0,28 ^{a,A}	6,59±0,68 ^{b,A}	6,46±0,45 ^{b,A}	7,33±0,32 ^{c,A}
20	9,08±0,96 ^{a,A}	7,75±0,78 ^{ab,AB}	6,84±0,63 ^{b,BC}	5,40±0,20 ^{b,C}
40	9,03±0,56 ^{a,A}	7,92±0,73 ^{ab,AB}	7,27±0,38 ^{ab,B}	6,69±0,75 ^{bc,B}
60	8,41±1,10 ^{a,A}	7,90±0,48 ^{ab,A}	9,04±0,88 ^{a,A}	9,74±1,07 ^{a,A}
80	7,58±0,34 ^{a,A}	9,38±1,25 ^{a,A}	9,11±1,22 ^{a,A}	7,24±0,32 ^{c,A}

*(KN) Embalagem sem vácuo cv. Kent; (KNV) Embalagem com vácuo cv. Kent; (KT) Embalagem sem vácuo cv. Keitt; (KTV) Embalagem com vácuo cv. Keitt.

Médias seguidas por letras diferentes (minúsculas na coluna e maiúsculas na linha) diferem entre si ($p < 0,05$) pelo teste de *Tukey*.

Tabela 41 – Avaliação do Grau de *Caking* (%) dos pós de polpa de manga cv. kent e keitt durante 80 dias acondicionados em diferentes condições.

Tempo de armazenamento	Embalagens*			
	KN	KNV	KT	KTV
0	40,26±6,37 ^{b,A}	50,78±4,84 ^{a,A}	46,48±7,50 ^{a,A}	40,04±5,94 ^{a,A}
20	51,58±5,52 ^{ab,B}	61,42±6,06 ^{ab,AB}	61,87±4,10 ^{ab,AB}	68,33±0,74 ^{b,A}
40	59,26±5,72 ^{ac,A}	71,56±5,26 ^{b,A}	66,76±6,18 ^{bc,A}	72,95±5,52 ^{bc,A}
60	69,05±5,74 ^{c,B}	69,41±1,71 ^{b,B}	76,14±2,53 ^{bc,AB}	83,23±5,35 ^{c,A}
80	70,14±3,48 ^{c,B}	71,11±2,87 ^{b,B}	81,46±7,38 ^{b,AB}	84,63±2,03 ^{c,A}

*(KN) Embalagem sem vácuo cv. Kent; (KNV) Embalagem com vácuo cv. Kent; (KT) Embalagem sem vácuo cv. Keitt; (KTV) Embalagem com vácuo cv. Keitt.

Médias seguidas por letras diferentes (minúsculas na coluna e maiúsculas na linha) diferem entre si ($p < 0,05$) pelo teste de *Tukey*.