

RITA CRISTINA PEREIRA DE FREITAS

**CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE SECAGEM EM LEITO
DE ESPUMA PARA OBTENÇÃO DE PÓ DE MANGA UBÁ**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2016

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade Federal
de Viçosa - Campus Viçosa

T

F866c Freitas, Rita Cristina Pereira de, 1981-
2016 Caracterização do processo de secagem em leito de espuma para
obtenção de pó de manga ubá / Rita Cristina Pereira de Freitas. -
Viçosa, MG, 2016.
x, 88f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Paulo César Corrêa.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.76-86.

1. Manga. 2. Manga - Produtividade agrícola. 3. Plantas -
Desidratação. 4. Secagem. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-graduação em
Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22 ed. 634.44

RITA CRISTINA PEREIRA DE FREITAS


**CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE SECAGEM EM LEITO
DE ESPUMA PARA OBTENÇÃO DE PÓ DE MANGA UBÁ**


Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 16 de dezembro de 2016.


Fernanda Fernandes Heleno


Érica Nascif Rufino Vieira


Sérgio Maurício Lopes Donzeles


Fernando Luiz Finger
(Coorientador)


Paulo César Corrêa
(Orientador)

Dedico:
Às minhas mães Nair e Ângela
Grandes Guerreiras

AGRADECIMENTOS

A Deus por iluminar meus caminhos e pela presença constante em minha vida.

Ao meu namorado Samir pelo carinho, incentivo e paciência, que mesmo longe esteve sempre me motivando principalmente nos momentos mais difíceis.

Às minhas famílias de Viçosa e de Teixeiras, por todo apoio e incentivo.

Ao Professor Paulo Cesar Corrêa pela orientação, conselhos e amizade.

Aos professores Mateus Junqueira e Fernando Finger pela coorientação e pela indispensável contribuição para este trabalho.

Ao professor Paulo Cecon, pelos valiosos conhecimentos compartilhados e pela amizade.

Aos Professores Afonso e Érica da Engenharia de Alimentos e ao professor Salomão da Fruticultura, pelos conselhos e dicas.

A todos os professores da Engenharia Agrícola pelos valiosos ensinamentos e pela amizade.

Ao Rafael Tassinari, pela grande contribuição nas análises estatísticas.

Aos meus amigos e às minhas amigas: Fernanda, Marcela, Juliana, Renata, Patrícia, Raquel, Mariane, Daniel, Úrsula, Professor Gabriel, Professor Rildo, Lara, Guilherme, Iasmine, Cristian, Pedro, Brenda pelas ajudas nos experimentos, dicas e conhecimentos compartilhados.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia agrícola, em especial ao Rafael, Délio, Lucas e Graça.

A todos os amigos da Engenharia Agrícola e do CENTREINAR (Fernanda, Claudinha, Magela, Rita e Professor Tetuo) pelos bons momentos que passamos juntos, pela amizade e companheirismo.

E a todos que de alguma forma me ajudaram na realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

RITA CRISTINA PEREIRA DE FREITAS, filha de Divino de Freitas (in memoriam) e Nair Pereira de Freitas, nascida em Viçosa – Minas Gerais, em 9 de novembro de 1981.

Em março de 2003, iniciou o curso de Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), onde foi bolsista de Iniciação Científica do PIBIC/CNPq no laboratório de Acarologia no Departamento de Entomologia, durante o período de agosto de 2006 a agosto de 2007. Também foi bolsista da FAPEMIG no laboratório de Entomologia do Centro Tecnológico da Zona da Mata (CTZM), da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) durante o ano de 2008, graduando-se Engenheira Agrônoma em janeiro de 2009.

Em março de 2009, iniciou o curso de mestrado pelo programa de Pós-Graduação em Entomologia na Universidade Federal de Viçosa, sob orientação da Prof^a. Lêda Rita D' Antonino Faroni, submetendo-se à defesa de tese em 16 de março de 2011.

Em abril de 2013, iniciou o curso de doutorado pelo programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, sob orientação do Prof. Paulo César Corrêa, submetendo-se à defesa de tese em 16 de dezembro de 2016.

RESUMO

FREITAS, Rita Cristina Pereira de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2016. **Caracterização do processo de secagem em leito de espuma para obtenção de pó de manga Ubá.** Orientador: Paulo César Corrêa. Coorientadores: Mateus da Silva Junqueira e Fernando Luiz Finger.

A manga possui relevante importância econômica, principalmente nos países tropicais. Isso se deve ao seu excelente sabor e aroma. Os frutos dessa espécie são altamente perecíveis após a colheita. Assim, a desidratação dos frutos, que diminui sua perecibilidade, torna-se de grande importância para aumentar seu período de disponibilidade ao consumidor. Objetivou-se neste trabalho caracterizar o processo de produção da manga Ubá em pó por meio da secagem em leito de espuma, determinando-se o melhor emulsificante e concentração. E ainda, caracterizar as propriedades físico-químicas da polpa *in natura*, da espuma e do pó obtido, ajustar diferentes modelos matemáticos aos valores experimentais da secagem da polpa da manga e determinar as isotermas de sorção. Utilizou-se frutos de manga Ubá, que foram despulpados em uma centrífuga. Adicionou-se à polpa os emulsificantes albumina, Emustab[®], maltodextrina e Superliga neutra[®] nas proporções de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 e 2,5% em massa. Para obter a espuma, a mistura da polpa com cada emulsificante foi submetida à agitação durante 15 min em batedeira. As análises de caracterização da polpa, da espuma e do pó da manga Ubá foram: teor de água, atividade de água, pH, acidez total titulável, sólidos solúveis totais, açúcares solúveis totais e redutores e cor. A escolha do melhor emulsificante e sua concentração foi determinada baseada nos indicadores massa específica, expansão e estabilidade. Para a secagem em leito de espuma da manga Ubá utilizou-se o aditivo Emustab[®] na concentração de 2,35% estabelecido como melhor emulsificante e melhor concentração. A secagem da espuma foi realizada em secador, nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C. Foram propostos e ajustados modelos matemáticos utilizando os dados coletados da perda de água durante a secagem. As isotermas de sorção foram realizadas utilizando dessecadores com solução saturada nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C. As propriedades físico-químicas das espumas não indicaram características que impedissem a secagem em leito de espuma. O melhor emulsificante para a produção da espuma da manga Ubá foi o Emustab[®] na concentração de 2,35%. O modelo matemático que melhor se ajustou aos dados da

secagem da espuma da manga Ubá foi o Polinomial de terceiro grau, sendo este selecionado para representar a cinética de secagem. O modelo que melhor descreve as isotermas de adsorção do pó da manga Ubá foi o Sigma Copace, formando curvas características do tipo III. As propriedades físico-químicas do pó da manga Ubá indicaram boa conservação e estabilidade do pó obtido por meio da secagem em leito de espuma.

ABSTRACT

FREITAS, Rita Cristina Pereira de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, december, 2016. **Characterization of fom-mat drying process to obtain powder of Ubá mango.** Advisor: Paulo César Corrêa. Coadvisors: Mateus da Silva Junqueira and Fernando Luiz Finger.

The mango has significant economic importance, especially in tropical countries. This is due to its excellent flavor and aroma. The fruits of this species are highly perishable after harvesting. Thus, fruit dehydration, which decreases its perishability, becomes of great importance to increase its period of availability to the consumer. The objective of this work was to characterize the production process of Ubá powder by in foam-mat drying, determining the best emulsifier and concentration. Also, characterize the physicochemical properties of the *in natura* pulp, the foam and the obtained powder, to adjust different mathematical models to the experimental values of the pulp drying of the sleeve and to determine the sorption isotherms for diverse conditions of temperatures and relative humidities of the air. Ubá mango fruits were used, which were pulped in a centrifuge. Emulsifiers albumin, Emustab[®], maltodextrin and Superliga neutra[®] were added to the pulp in the proportions of 0.5; 1.0; 1.5; 2.0 and 2.5% mass. To obtain the foam, the blending of the pulp with each emulsifier was subjected to stirring for 15 min in an electric mixer. The analyzes of pulp, foam and powder characterization of the Ubá mango were: water content, water activity, pH, titratable total acidity, total soluble solids, total soluble sugars and reducing and color. The choice of the best emulsifier and its concentration was determined based on the specific mass, expansion and stability indicators. For the foam-mat drying of the Ubá sleeve, the Emustab[®] additive was used in the 2.35% concentration established as the best emulsifier and the best concentration. The foam was dried in a dryer at temperatures of 50, 60, 70 and 80 °C. Mathematical models were proposed and adjusted using data collected from water loss during drying. The sorption isotherms were performed using desiccators with saturated solution at temperatures of 10, 20, 30 and 40 °C. The physical-chemical properties of the foams did not indicate characteristics that would prevent foam-mat drying. The best emulsifier for the production of Ubá mango foam was Emustab[®] at a concentration of 2.35%. The mathematical model that best fit the drying data of Ubá mango foam was the Third degree polynomial, which was selected to represent drying kinetics. The model that best describes the adsorption isotherms of the Ubá mango was Sigma

Copace, forming type III characteristic curves. The physical-chemical properties of Ubá mango powder indicated good conservation and stability of the powder obtained by foam-mat drying.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1. Manga	2
2.1.1. Classificação botânica e origem.....	2
2.1.2. Manga Ubá	3
2.1.3. Importância econômica	5
2.2. Secagem	5
2.2.1. Secagem em leito de espuma	6
2.2.2. Emulsificantes para formação da espuma	7
2.3. Isotermas de sorção	9
3. OBJETIVOS	14
3.1. Objetivo geral.....	14
3.2. Objetivos específicos	14
4. MATERIAL E MÉTODOS	14
4.1. Obtenção da matéria-prima	16
4.2. Processo de formação da espuma da manga Ubá.....	16
4.3. Caracterização das propriedades físico-químicas da polpa <i>in natura</i> e das espumas com adição dos emulsificantes	17
4.3.1. Massa específica aparente	17
4.3.2. Teor de água	17
4.3.3. Atividade de água (<i>a_w</i>).....	17
4.3.4. Potencial hidrogeniônico (pH).....	17
4.3.5. Acidez total titulável (ATT)	18
4.3.6. Sólidos solúveis totais (SST)	18
4.3.7. Açúcares solúveis totais (AST).....	18
4.3.8. Açúcares redutores (AR)	19
4.3.9. Cor.....	20
4.4. Seleção do emulsificante e concentração para produção de espuma da manga Ubá	21
4.4.1. Determinação da massa específica aparente (ρ)	21
4.4.2 Determinação da expansão	21

4.4.3. Determinação da estabilidade da espuma	22
4.5. Secagem em leito de espuma	22
4.6. Ajuste dos modelos matemáticos	24
4.7. Propriedades físico-químicas do pó da manga.....	25
4.8. Isotermas de sorção	25
5. ANÁLISE ESTATÍSTICA	28
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
6.1. Caracterização da polpa	29
6.2. Caracterização da espuma	31
6.3. Caracterização da espuma e seleção do emulsificante	49
6.3.1. Estabilidade da espuma	49
6.3.2. Massa específica	51
6.3.3. Expansão.....	54
6.4. Cinética de secagem	55
6.5. Modelagem matemática das curvas de secagem	56
6.6. Caracterização físico-química do pó	61
6.7. Isoterma de sorção	71
7. CONCLUSÕES.....	75
8. REFERÊNCIAS.....	76
9. ANEXO	87

1. INTRODUÇÃO

A mangueira (*Mangifera indica* L.) pertence ao gênero *Mangifera*, da família Anacardiaceae, seus frutos apresentam dois cotilédones, ou seja, é uma dicotiledônea que se originou da Índia. A partir da Ásia esta planta foi difundida principalmente para as regiões tropicais. Chegando ao Brasil somente no início do século XVI, trazida pelos portugueses, inicialmente para o estado de Pernambuco. Aproximadamente 500 variedades são cultivadas no mundo todo, já no Brasil cultiva-se mais de 30 variedades (GOMES, 2010; CTENAS *et al.*, 2000).

A manga Ubá *in natura* é altamente perecível, com vida útil curta depois de sua colheita. Adicionalmente, segundo Manica (2001), pode ocorrer alternância de produção, em que a produção é alta em um ano e no ano seguinte baixa. Como a produção concentra-se entre três a cinco meses, ocorre grande oferta do produto no mercado, gerando uma redução do preço do fruto. Por outro lado, ocorre um desabastecimento do mercado na maior parte do ano, devido à falta do produto, provocando o seu encarecimento.

As frutas, em geral, apresentam alto teor de água, variando entre 80 e 95%. Portanto, a desidratação destes alimentos por meio do processo de secagem possui importante papel na conservação dos frutos, prolongando sua vida de prateleira. Por meio da redução da atividade de água por desidratação até valores que inibam o crescimento e desenvolvimento de micro-organismos, reduzem-se também a atividade enzimática e a velocidade das reações químicas (BRENNAN, 1994).

A secagem em leito de espuma é uma técnica em que alimentos líquidos ou semilíquidos são processados formando uma espuma, com o uso de emulsificantes, depois transformados em pó através da secagem (KARIM & WAI, 1999; SILVA *et al.*, 2008b). Apresenta vantagens em relação à técnica de secagem de líquidos, como a secagem pulverizada (*spray-drying*) e a secagem em tambor (*drum-drying*), pois é uma técnica mais simples, possivelmente mais rápida, de menor custo operacional e possibilita o uso de temperaturas mais baixas. O menor tempo de secagem é devido à maior área de superfície exposta ao ar, quando comparada à secagem convencional, e isto permite preservar melhor o sabor e o valor nutricional (BERISTAIN *et al.*, 1991; FRANCIS, 2000).

A secagem em leito de espuma pode ser utilizada para alimentos sensíveis ao calor, como os sucos de frutas, por manter a qualidade dos produtos, o sabor e o seu

valor nutricional. Além disso, oferece grandes possibilidades comerciais, como a aplicação do pó formado na indústria de alimentos na preparação de sopas, sorvetes e sucos (KARIM & WAY, 1999; SANKAT & CASTAIGNE, 2004). O produto final é poroso e quebradiço, fácil de ser moído e transformado em pó e ainda pode ser facilmente reidratado (FELLOWS, 2006).

As indústrias de alimentos vêm aumentando seu consumo de produtos alimentícios em pó, pois diminuem de forma expressiva os custos de algumas operações, tais como embalagem, transporte e armazenamento (COSTA *et al.*, 2003). Adicionalmente, esses produtos apresentam maior facilidade na conservação e estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura ambiente por longos períodos e maior proteção contra degradação enzimática e oxidativa. Além da redução do peso, economia de energia por não precisar de refrigeração e elevação no valor agregado desses produtos, tornando o produto disponível durante qualquer época do ano devido ao prolongamento de sua vida útil (PARK *et al.*, 2001; GOUVEIA *et al.*, 2003).

Logo, em virtude da importância da secagem em leite de espuma e devido à ausência de pesquisas que abordem a polpa de manga Ubá para produção de pó faz-se necessário estudos das suas características físico-químicas e do processo de secagem.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Manga

2.1.1. Classificação botânica e origem

A mangueira é uma dicotiledônea, pertencente à família Anacardiaceae, gênero *Mangifera*, espécie *Mangifera indica* L.. Embora a família Anacardiaceae possua muitas outras espécies comestíveis, a *Mangifera indica* L. é a única cultivada comercialmente em larga escala (EMBRAPA, 2000).

A manga é uma fruta nativa da Ásia, cultivada há mais de 4.000 anos. No Brasil, foi introduzida por navegantes portugueses no início do século XVI, em Pernambuco. Em todo o mundo, são mais de 500 variedades de manga, sendo que, no Brasil, são cultivadas cerca de 30 variedades (CTENAS *et al.*, 2000; GOMES, 2010).

Para Mukherjee (1985), que segue a classificação proposta por Vavilov (1950), os cultivares de manga são divididos em duas raças ou duas categorias. A raça Indiana, originada do centro indo-burmesa tailandês e a Filipínica ou indo-chinesa, originada do centro Filipínico-Celeste/Timor. Os frutos da raça Indiana são frutos de boa aparência externa, cuja casca é bem colorida, variando de rosa a vermelho-intenso, com sementes monoembriônicas. Já os frutos da raça Filipínica são frutos alongados, com casca verde-amarelada quando maduros e sementes poliembrionárias.

Segundo Pinto *et al.* (2000), as principais variedades utilizadas para o consumo do fruto *in natura* no Brasil são Tommy Atkins, Keitt, Kent, Van Dyke, Palmer. E as variedades de maior uso para produção de sucos são Lira, Carlota, Maranhão, Extrema, Espada, Coité, Mamão, Rosa, Ubá e Badhudaran.

No plantio da manga, as principais características das variedades que devem ser levadas em consideração são: alta produtividade, fruto com coloração atraente, sólidos solúveis totais acima de 17 °Brix, pouca fibra, frutos resistentes ao manuseio e transporte. Além disso, a produção regular, a resistência a algumas doenças (malformação floral, antracnose e botriodiplodia) e baixa incidência de colapso interno de polpa também são qualidades interessantes (EMBRAPA, 2004).

As variedades encontradas no Brasil são obtidas através do processo de seleção e de melhoramento da fruta, na busca de diminuir a quantidade de fibras em sua polpa e dar preferência às cores vermelhas e rosadas, mais desejadas nos frutos para a exportação (BENEVIDES *et al.*, 2008). Já para o processamento, as indústrias priorizam os frutos que apresentam alto rendimento de polpa, alto teor de sólidos solúveis e ausência de fibras (GONÇALVES *et al.*, 1998)

2.1.2. Manga Ubá

A cultivar Ubá apresenta origem desconhecida. No entanto, possivelmente foi introduzida no município de Ubá em Minas Gerais há cerca de 100 anos, vindas da Ilha de Itamaracá, do estado de Pernambuco, onde é chamada de Jasmim (MEDINA *et al.*, 1981).

A manga Ubá é muito conhecida em algumas regiões do Brasil, sobretudo na região da Zona da Mata do estado de Minas Gerais. A fruta está presente tanto em pomares domésticos como nos plantios planejados, onde a sua produção é voltada para a agroindústria (RAMOS *et al.*, 2007).

A mangueira Ubá apresenta elevado vigor e porte alto, atingindo até 10 m de altura. Sua copa é arredondada, densa e bem enfolhada. Sua produção é muito alta durante o ano e pode produzir mais de mil frutos em uma planta (DONADIO, 1996). Normalmente apresenta alternância de produção, com muito alta em um ano e baixa produção no outro ano (MANICA, 2001).

A mangueira Ubá apresenta baixo índice de florescimento, na proporção de 25% de flores hermafroditas e 75% de flores masculinas em uma panícula. Todavia, cada panícula possui um elevado numero de frutos, apresentando uma alta taxa de retenção, levando a uma elevada produção de frutos.

Os frutos da manga Ubá normalmente amadurecem entre novembro e janeiro, período em que as temperaturas e as precipitações pluviométricas são altas. (MANICA, 1996).

Como se observa na Figura 1, o fruto da manga Ubá é pequeno, de forma oblonga-oval. O peso pode variar de 85 a 170,9 g, o comprimento é de aproximadamente 6,6 cm e seu diâmetro menor é cerca de 5,8 cm e diâmetro maior cerca de 6,1 cm. Sua polpa apresenta cor amarela e fibras curtas, e é bastante succulenta e saborosa (MANICA, 2001).



Fonte: Freitas (2015).

Figura 1 – (A) Frutos de manga Ubá verdes; (B) Frutos de manga Ubá maduros.

A manga Ubá pode ser consumida *in natura* ou ser usada na indústria, por apresentar sabor característico e acentuado da fruta. Ao ser processada suas características são mantidas tais como a sua cor amarelo-claro seu aroma, assim como seus valores nutricionais: potássio, vitamina A e C (BENEVIDES *et al.*, 2007).

2.1.3. Importância econômica

A manga é uma fruta tropical de importância econômica que apresenta uma polpa suculenta e saborosa (JAYARAMAN, 1988). Além de apresentar fontes de vitamina A e C, compostos antioxidantes e fibras.

O Brasil está entre os dez principais países produtores de manga, sendo que em 2014 a área colhida foi superior a 70 mil hectares e a produção de aproximadamente 1.132.449 toneladas, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Em 2015, a maior receita, de US\$ 184,342 milhões, foi obtida com o embarque de 156,337 mil toneladas de manga (ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA, 2016). No país cultivam-se cerca de 30 variedades de manga, principalmente Palmer, Tommy Atkins e Haden (CTENAS *et al.*, 2000; FAO, 2012).

A manga passou a ser mais consumida por brasileiros e no exterior depois que as ações de melhoramento genético resultaram em variedades não fibrosas, mais macias e gostosas, nos últimos 15 anos (ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA, 2015).

Os municípios de Visconde do Rio Branco, Ubá e Astoufo Dutra situados na Zona da Mata Norte de Minas Gerais, estão entre os principais produtores de manga Ubá visando à produção de suco pelas agroindústrias (OLIVEIRA, 2015). De acordo com Donadio (1996), a manga Ubá agrada o mercado de produção de sucos em razão da sua textura e sabor. Ademais, pode apresentar o teor de sólidos solúveis, próximo de 14 °Brix, acidez de 0,2% em ácido cítrico e as suas fibras são curtas e macias. Porém, de acordo com Benevides *et al.* (2007), os frutos de manga Ubá geralmente tem aparência e maturação na planta desuniforme, são muito perecíveis e suscetíveis a doenças, além de necessitar de técnicas apropriadas ao armazenamento, transporte e comercialização.

2.2. Secagem

A secagem é uma das maneiras mais eficientes para conservar os mais variados tipos de alimentos, em que é utilizado calor para a remoção da água do alimento, podendo ser utilizada em diversos alimentos tais como produtos marinhos, produtos a base de carne, frutas e legumes (MUJUMDAR 2004; MUJUMDAR 2008; CHEN & MUJUMDAR, 2008).

Os alimentos podem ser desidratados por variados métodos. Para a escolha do melhor método algumas variáveis devem ser levadas em consideração tais como

alimento a ser desidratado, a facilidade do processamento, volume do processado, estado, condições da matéria-prima e nível de qualidade desejado (FREIRE, 1992; FELLOWS, 2006).

2.2.1. Secagem em leito de espuma

A secagem em leito de espuma foi desenvolvida em 1959 por Arthur Morgam Jr. e seus colaboradores no Departamento de Agricultura dos Estados Unidos e patentado em 1961, por ser um método de fácil aplicação e de baixo custo (SEGURA *et al.*, 1990; SOUZA, 2011).

Para a secagem em leito de espuma é necessário transformar o produto em espuma. Adiciona-se uma pequena porção (1% ou menos) de um aditivo espumante, que pode ser ácido graxo, albumina ou moestearatos de glicerol. É indispensável ainda, que seja incorporado ar ou outros gases, como por exemplo, o nitrogênio, que é um gás inerte, por meio da injeção direta ou por agitação. A espuma deve ser distribuída em camadas finas sobre bandejas, em seguida levada ao secador (BRENNAN, 2006).

A desidratação por esta técnica se restringe a pequenas produções, empregada somente para líquidos que tem capacidade de gerar espumas estáveis (VALENTAS *et al.*, 1997). Entretanto, a maior dificuldade encontrada nesse processo é manter a estabilidade da espuma durante o processo de secagem (KARIM & WAY, 1999). Caso ocorra o rompimento das bolhas da espuma durante o processo, isso poderá provocar um aumento da taxa de secagem, reduzindo a qualidade do produto, o que também dificultará a retirada do produto da bandeja (SANKAT & CASTAIGNE, 2004).

Contudo, o método de secagem em leito de espuma oferece diversas vantagens em relação à secagem de produtos não espumados, utilizando o mesmo tipo de secador, tais como a possibilidade do uso de menores temperaturas de desidratação e menor tempo de secagem, levando a uma redução da degradação térmica dos produtos secos em comparação à secagem convencional por convecção. A redução do tempo de secagem ocorre por dois motivos: pela utilização de uma maior área de superfície exposta ao ar de secagem e pela velocidade de secagem. Essa combinação acelera o processo de remoção de água, permitindo alcançar um produto poroso e fácil de reidratar (KARIM & WAI 1999; RATTI & KUDRA, 2006; FERNANDES *et al.*, 2014).

A secagem em leito de espuma pode ser aplicada para muitos alimentos sensíveis ao calor, como sucos de frutas. Permite também o processamento de produtos que são difíceis de secar. E ainda permite a produção de materiais que se reidratam facilmente e preservam alguns indicadores de qualidade como: cor, aroma, textura e valores nutricionais (KARIM & WAY, 1999; FERNADES *et al.*, 2014).

Várias pesquisas vêm sendo realizadas utilizando a secagem em leito de espuma com diferentes frutas e vegetais. Dentre elas estão: manga Tommy Atkins utilizando monoestearato de sobitana (Tween 60) nas temperaturas de 70 °C e 80 °C (BASTOS *et al.*, 2005); caldo de cana utilizando combinações entre os aditivos Emustab[®], Superliga neutra[®], goma carragena, carbonato de cálcio e fosfato de cálcio nas temperaturas de 50, 60 e 70°C (MARQUES, 2009); araçá-boi utilizando Emustab[®], Superliga neutra[®], albumina e maltodextrina na temperatura de 70 °C (SOARES, 2009); jenipapo utilizando albumina, Emustab[®], maltodextrina e Superliga neutra[®] nas temperaturas de 25 e 50°C (PINTO *et al.*, 2009), pitanga roxa utilizando albumina e Emustab[®], puros e combinados com Superliga neutra[®] na temperatura de 55°C (BARRETO, 2011), abóbora utilizando albumina, Emustab[®], maltodextrina e Superliga neutra[®] nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80°C (CARVALHO, 2014), cenoura, tomate, beterraba e morango utilizando Emustab[®] e albumina nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80°C (RONCHETI, 2014), graviola utilizando albumina, Emustab[®], maltodextrina e Superliga neutra[®] (BAPTESTINI *et al.*, 2015) nas temperaturas 40, 50, 60, 70 e 80 °C, entre outros.

2.2.2. Emulsificantes para formação da espuma

Os emulsificantes são substâncias tensoativas que apresentam em sua molécula uma parte hidrofóbica e outra hidrofílica, possibilitando a formação ou manutenção de uma mistura uniforme de duas ou mais fases imiscíveis no alimento. (ANVISA, 1999).

A produção da maioria das espumas requer uma entrada de energia, através de alta pressão de homogeneização ou batimento, para a formação da interface gás-líquido (WALSTRA, 2000). Entretanto, pelo fato da energia ser liberada sob o relaxamento, as espumas são de modo inerente instáveis (DICKINSON & STAINSBY 1987, KARIM & WAI, 1999). Por isso, faz-se necessário o uso de agentes espumantes ou estabilizantes para manter a estabilidade por meio da redução da tensão superficial (PERNELL *et al.*, 2002).

Os principais fatores que são capazes de influenciar na estabilidade e formação da espuma são: os teores de sólidos solúveis e insolúveis presentes no produto a ser utilizado, assim como a natureza química da fruta, do agente emulsificante e a natureza e concentração do agente estabilizante (HART *et al.*, 1963; KARIM & WAI, 1999).

Dentre vários agentes emulsificantes destacam-se os seguintes: albumina, Emustab[®], Superliga neutra[®] e maltodextrina, por apresentarem importante papel nas indústrias alimentícias e bom desempenho na formação de espumas. Nestas indústrias os emulsificantes mais utilizados são aqueles constituídos por monoglicerídeos e ésteres de ácidos lácticos. Os monoglicerídeos são considerados produtos seguros, por isso de acordo com a legislação internacional podem ser usados em concentrações ilimitadas (KAMEL, 1997). Um importante emulsificante composto principalmente por monoglicerídeos destilados, monoestearato de sorbitana e polisorbato 60 é o Emustab[®]. Além de emulsificante, o Emustab[®] apresenta em sua constituição compostos que agem como estabilizantes e espessantes (ARAÚJO, 2011). Outro emulsificante utilizado para alimentos e cosméticos é a Albumina, derivada da clara do ovo.

Os estabilizantes e espessantes em sua maioria são formados por polissacarídeos (amido, proteínas, gelatinas), estes são utilizados principalmente para aumentar a viscosidade e tornar as emulsões estáveis e com consistência adequada (RIBEIRO & SERAVALLI, 2004). A Superliga neutra[®] é um espessante que apresenta como principais componentes a sacarose, carboximetil-celulose e goma guar. É muito usada na indústria para produção de sorvetes, pães, e produtos de confeitaria (SOUZA, 2011).

A maltodextrina é pouco utilizada como agente espumante na indústria de alimentos, pois são moléculas hidrofílicas e não apresentam atividade de superfície. Esta é formada pela hidrólise do amido, composta por várias moléculas de glicose. Para melhorar as propriedades funcionais como espessantes, geleificantes e estabilizante, os amidos são modificados química, física e/ou enzimaticamente (ARAÚJO, 2011).

Roncheti (2014), estudando o processo de secagem em leito de espuma da cenoura, tomate, beterraba e morango, pôde observar que utilizando o agente emulsificante Emustab[®] para produção de espuma de cenoura no processo de secagem, houve redução da densidade e estabilidade satisfatórias em todos os níveis

testados (2,5, 5, 7,5 e 10% em massa). No entanto, para produção de espuma de morango, o Emustab[®] não foi capaz de produzir espuma, enquanto a albumina produziu uma espuma estável. Isso demonstra que a natureza tanto do emulsificante, como do vegetal a ser utilizado, influenciam na produção e estabilidade da espuma formada.

2.3. Isotermas de sorção

Os pós formados a partir de frutas, em geral, são muito higroscópicos. De acordo com Martins (2001) higroscopicidade é a habilidade dos alimentos em pó absorverem umidade do ambiente (JAYA & DAS, 2004). Por isso, tais alimentos em pó estão sujeitos a sofrer algumas alterações, tais como: aglomeração, alterações na textura, mudança de cor e também crescimento microbiano, podendo causar a rejeição do produto (MEDEIROS & LANNES, 2010).

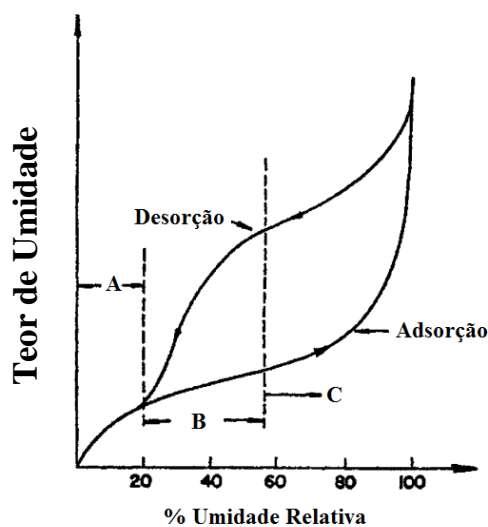
Segundo Alexandre *et al.* (2007), o conhecimento das isotermas de sorção dos alimentos em pó é importante na análise do comportamento de perda (dessorção) ou ganho de água (adsorção). Através dessas isotermas torna-se possível a predição do tempo de secagem e vida útil do produto, além de servir para determinar qual embalagem usar durante o armazenamento ou mesmo para caracterizar alimentos que apresentam componentes com atividade de água diferente.

Através da atividade de água (a_w) de um produto pode-se encontrar sua isoterma de sorção, que é a curva que descreve a relação do teor de água de equilíbrio sorvido por componentes do material biológico e a pressão de vapor de água ou umidade relativa do ambiente, a uma dada temperatura. O teor de água de equilíbrio é o conteúdo de umidade do alimento quando a pressão de vapor da água em superfície é igualada a pressão de vapor do ar que envolve o ambiente (FELLOWS, 2006). No entanto, essa relação de equilíbrio vai depender da composição química dos alimentos tais como, gordura, amido, açúcar, proteínas, entre outros (BROOKER *et al.*, 1992; PARK *et al.*, 2001). A atividade de água pode ser usada para quantificar o grau de ligação da água presente no produto, e ainda, para saber o quanto está disponível para atuar como solvente, participando das reações químicas, bioquímicas e microbiológicas (FELLOWS, 2006).

Após a secagem dos pós alimentícios, em especial de hortaliças e frutas, estes podem apresentar problemas em relação à reologia e higroscopicidade. Em virtude disto faz-se necessário estudos das propriedades primárias de origem química e

físico-química como a higroscopicidade, teor de água, atividade de água, entre outras, além das propriedades secundárias que são consequência direta de fatores externos como vibrações, gravidade, pressões, condições de armazenamento, gradiente de temperatura e outras (LOISEI, 1988; ILARI, 1995).

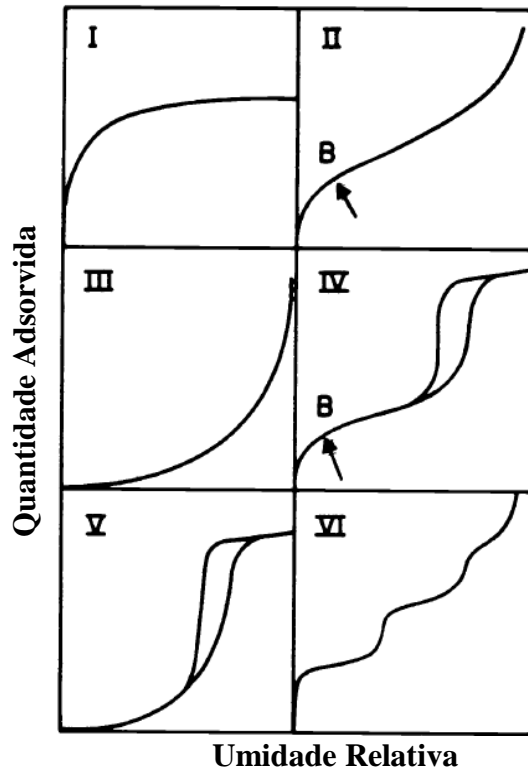
Segundo Fellows (2006), as isotermas de sorção para cada alimento apresentam curvas diferentes em uma dada temperatura. Na Figura 2, pode-se observar as isotermas de adsorção (hidratação) ou de dessorção (desidratação). As isotermas de adsorção são obtidas quando o produto está seco, fazendo com que o mesmo ganhe peso devido à entrada de água na sua estrutura. Já as isotermas de dessorção são determinadas quando o produto está úmido, diminuindo a umidade de equilíbrio do mesmo, à medida que este cede água para o ambiente. Os pontos da Figura 2 indicam: 0 – 20 a água de monocamada (muito estável, não congela, não é removida com secagem); 20 – 60 a água adsorvida em várias camadas do alimento; acima de 60 a água livre presente nas células ou em capilaridades dos alimentos (fácil de congelar, fácil de ser removida). Alimentos com umidade maior que B poderão sofrer deterioração, pois a água livre presente no alimento fica acessível para o desenvolvimento de micro-organismos e atividade enzimática (FELLOWS, 2006).



Fonte: Adaptado de Al-Muhtaseb *et al* (2002).

Figura 2 – Curvas típicas das isotermas de sorção de água.

As curvas das isotermas indicam a forma como o adsorvente efetivamente adsorverá o soluto. Brunauer, Emmett e Teller (GREGG & SING, 1982) classificaram estas curvas em cinco tipos, baseando-se na força de Van der Waals. O sexto tipo foi proposto por Pierce (SMÍSEK & CERNY, 1970). As seis diferentes isotermas estão representadas na Figura 3.



Fonte: Adaptada de IUPAC, 1985.

Figura 3 - Isotermas de adsorção classificadas pela IUPAC 1985.

Segundo o International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC, 1985) as principais características destes tipos de isotermas são:

Tipo I – Apresentam forma côncava, são isotermas de produtos sólidos que apresentam microporosos com pequena superfície externa. A absorção ocorre através dos microporos (até 2 nm), obtida quando há formação de somente uma monocamada.

Tipo II – São isotermas de produtos não porosos ou que apresentam macroporos (acima de 50 nm) adsorventes. No ponto B, ocorre o início de uma seção quase linear em que frequentemente indica estágio de monocamada. No final da curva ocorre adsorção em multicamadas.

Tipo III – Apresentam forma convexa em relação ao eixo da umidade relativa. De acordo com Sing (1982) esse tipo de isoterma não é comum e apresenta interação entre adsorvente-adsorbato fraca em comparação à interação adsorbato-adsorbato.

Tipo IV – Está associada com absorção por capilaridade que ocorre através de mesoporos (2-50 nm), apresentando absorção limitada durante o processo. No início da curva ocorre a adsorção monocamada-multicamada exibindo a mesma curva de adsorção do tipo II, a área superficial do produto possui forma não porosa.

Tipo V – Está relacionada com a isoterma do tipo III, com interação fraca entre adsorvente-adsorbato, que pode ser obtida por certos adsorventes porosos.

TipoVI – Apresenta multicamadas graduais de adsorção em superfícies com porosidade desuniforme.

A maioria dos alimentos apresentam curva do Tipo II, com formato sigmoidal. Já aqueles alimentos que possuem em sua constituição altos teores de açúcar geralmente o comportamento é do Tipo III, com formato de “J”, devido à solubilidade do açúcar em água (RAO & RIZVI, 1995). Segundo Sing (1982), a forma convexa pode ser devido ao fato de que o adsorbato (substância que é adsorvida) e o adsorvente (material em que ocorre a adsorção) apresentam interações menos significativas que a interação entre as partículas do próprio adsorbato. Em que, baixas pressões causam reduzidas taxas de adsorção, já quando ocorre um aumento da pressão relativa há uma elevação da adsorção.

Ainda de acordo com Sing (1982), durante a adsorção em monocamada todas as moléculas do adsorvente entram em contato com a camada superficial do produto. Já quando ocorre adsorção em multicamadas, por ocorrer mais de uma camada, nem todas as moléculas do adsorvente entram em contato com a camada superficial do produto. A condensação por capilaridade ocorre nos espaços entre os poros residuais que sobram após a adsorção em multicamas.

Segundo Ordóñez (2005), as isotermas de sorção de água dos alimentos são de grande utilidade em diferentes aspectos, uma vez que tornam possível:

- avaliar a estabilidade dos alimentos. A diminuição da atividade de água impede o crescimento dos microrganismos. Além disso, reduz a velocidade das reações químicas que ocorrem em um alimento, tanto enzimáticas quanto não enzimáticas, que dependem da quantidade de água disponível;

- prever a atividade de água de misturas de vários ingredientes. Sempre há uma troca de água de um componente a outro do alimento para chegar ao equilíbrio. Através das isotermas é possível conhecer a atividade de água dos componentes da mistura e, conseqüentemente, a estabilidade de cada um deles e da mistura;

- estimar o tempo máximo de armazenamento do produto em alguns tipos de embalagem e conhecer o comportamento de um alimento em diferentes condições de armazenamento;

– melhorar os processos de conservação, através da redução da quantidade de água, pois com as isotermas de sorção, é possível determinar a quantidade de umidade residual ideal para determinado alimento;

– determinar a temperatura ideal para armazenamento de produtos congelados, estabelecendo uma relação entre temperatura e a atividade de água do produto.

No intuito de representar as isotermas de sorção, vários modelos matemáticos são propostos, a fim de avaliar o comportamento de diversos produtos agrícolas e classificam-se em: empíricos, semiempíricos ou teóricos. Porém, estes modelos só são precisos em um limitado intervalo de atividade de água ou para determinados alimentos. Portanto, não é possível determinar uma equação geral para todas isotermas dos alimentos, pelo fato da atividade de água depender da composição e da interação dos constituintes dos alimentos com a água, quando se encontram em equilíbrio termodinâmico (PARK *et al.*, 2008).

Alexandre *et al.* (2007), ao estudarem as isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó, verificaram que para uma temperatura constante as umidades de equilíbrio (U_{eq}) aumentam com o aumento da atividade de água (a_w). Já para uma atividade de água constante, as umidades de equilíbrio reduzem com a elevação da temperatura, indicando que a pitanga em pó torna-se menos higroscópica. Este comportamento é semelhante ao encontrado por Park *et al.* (2001), que estudaram o comportamento da umidade de equilíbrio em pera desidratada, em função da atividade de água.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

Caracterizar o processo de produção por meio da secagem em leito de espuma da manga ubá em pó e determinar as propriedades físico-químicas da polpa, da espuma e do pó obtido.

3.2. Objetivos específicos

- 1) Caracterizar as propriedades físico-químicas da polpa *in natura*, da espuma, e do pó da manga Ubá;
- 2) Ajustar diferentes modelos matemáticos aos valores experimentais da secagem da polpa da manga;
- 3) Determinar as isotermas de sorção para diversas condições de temperaturas e umidades relativas do ar.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Propriedades Físicas e Avaliação de Qualidade, pertencente ao Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (CENTREINAR) e no Laboratório de Pós-Colheita, no Departamento de Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG.

Os ensaios foram conduzidos em várias etapas:

- 1) Obtenção da polpa da manga Ubá e a sua caracterização;
- 2) Obtenção e caracterização da espuma com a adição de diferentes aditivos em diferentes concentrações e determinação do emulsificante mais adequado.
- 3) Secagem da espuma em diferentes temperaturas e a determinação das propriedades físico-químicas do pó da manga ao final da secagem.

Na Figura 4, apresenta-se o fluxograma genérico das etapas do método de secagem da polpa da manga Ubá em leito de espuma para a obtenção do pó.

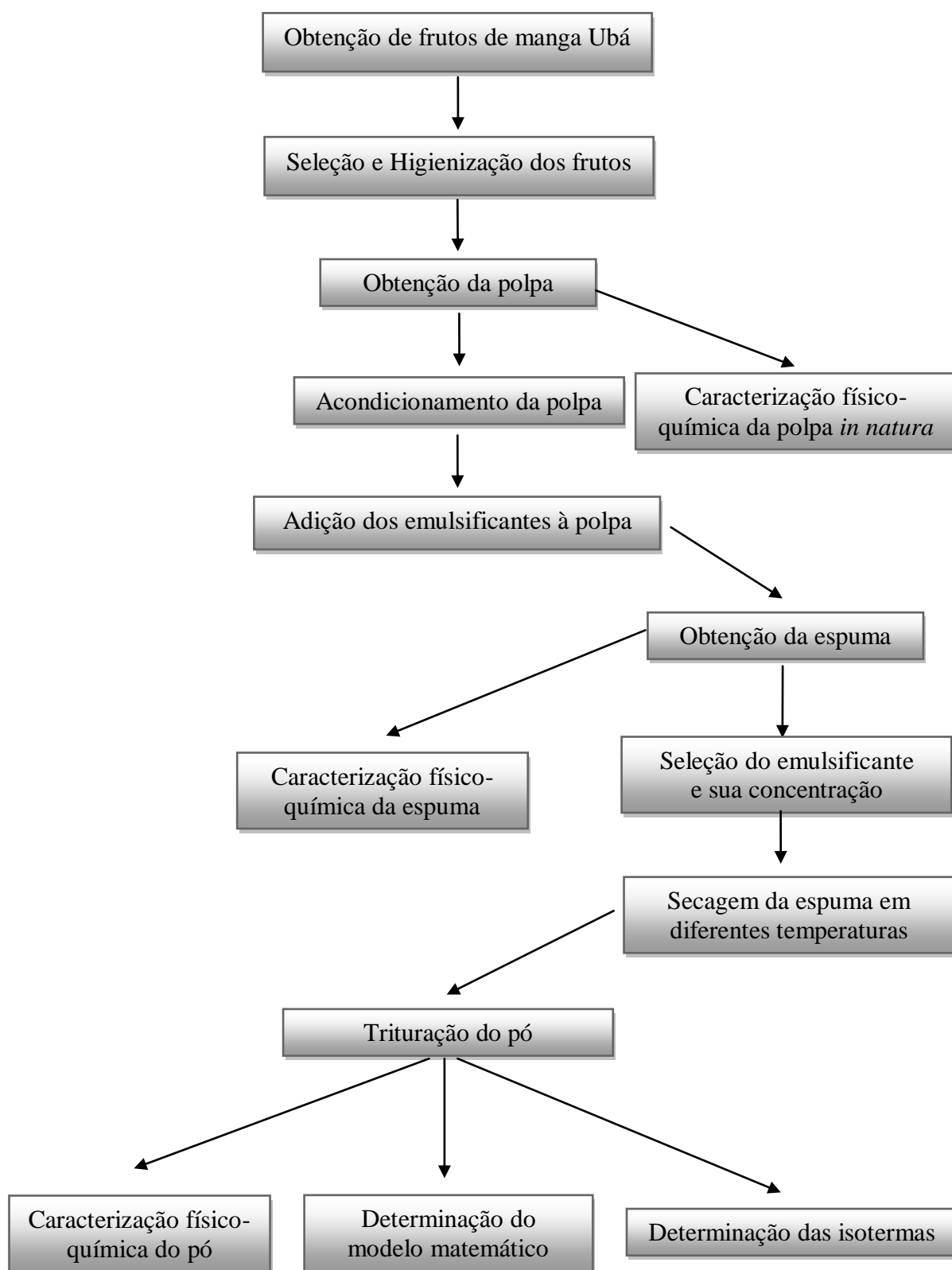


Figura 4 - Fluxograma geral do processo de obtenção do pó da manga Ubá por meio da secagem em leito de espuma.

4.1. Obtenção da matéria-prima

Foram utilizados frutos de manga Ubá (*Mangifera indica* L.), proveniente de Viçosa, Minas Gerais. Os frutos adquiridos apresentavam-se no estágio de maturação V – alaranjado, com a polpa apresentando em mais de 60% da manga Ubá a cor laranja (MAPA, 2012). Esses frutos foram submetidos a uma seleção eliminando-se frutos com danos, deformações visíveis e doenças, com a finalidade de obter um produto homogêneo, sem influência no sabor decorrentes de alterações fisiológicas e da presença de fungos e bactérias. Em seguida, os frutos foram transportados para o laboratório, onde foram lavados com água clorada (200 mg/L de cloro ativo durante 10 min) por imersão e despolpados.

Os frutos foram despolpados utilizando-se uma centrífuga de alimentos (Juicer Philips – Walita, Varginha, MG, Brasil). A polpa obtida foi acondicionada em garrafas de plástico transparente e armazenada em congelador vertical (Consul, Joinville, SC, Brasil) em temperatura de -20 °C para posterior utilização. Para a realização das análises, a polpa foi descongelada em temperatura controlada de 20 °C.

4.2. Processo de formação da espuma da manga Ubá

Na formação das espumas, foram utilizados os aditivos:

- Albumina (Salto's, Salto, SP, Brasil): produto à base da proteína do ovo;
- Emustab[®] (Selecta, Jaraguá do Sul, SC, Brasil): produto à base de monoglicerídeos destilados, monoestearato de sorbitana e polisorbato 60;
- Superliga neutra[®] (Selecta, Jaraguá do Sul, SC, Brasil): produto à base de sacarose e dos espessantes, carboximetil-celulose e goma guar;
- Maltodextrina (Maxinutri, Viçosa, MG, Brasil): produto à base de amido de milho.

Esses aditivos foram usados nas proporções de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 e 2,5% em massa. Foram adicionados à polpa da manga Ubá (100 g) os aditivos na concentração desejada, sendo esta mistura submetida à agitação, em uma batedeira doméstica (Philips Walita, modelo RI7110 – 250 Watts, Varginha, MG, Brasil) na velocidade 3, durante 15 min para obtenção da espuma.

4.3. Caracterização das propriedades físico-químicas da polpa *in natura* e das espumas com adição dos emulsificantes

4.3.1. Massa específica aparente

A massa específica aparente foi determinada utilizando-se picnômetro de 30 mL, devidamente aferido com água destilada a 25 °C. A amostra foi colocada no picnômetro até completar seu volume e este pesado em balança analítica (Marte - AY220, Santa Rita do Sapucaí, MG, Brasil), para a obtenção da massa por volume (kg m^{-3}).

4.3.2. Teor de água

As amostras foram pesadas em balança analítica (Marte - AY220, Santa Rita do Sapucaí, MG, Brasil), com precisão de 0,001 g e resolução de 0,0001 g. Em seguida, as amostras foram colocadas em estufa (Gehaka - 400/3ND, São Paulo, SP, Brasil) a 105 °C durante 24 h para a secagem. O teor de água foi quantificado pela diferença de massa entre a amostra inicial e final, depois da secagem em estufa, de acordo com as técnicas descritas pelo Instituto Adolfo Lutz (2008).

4.3.3. Atividade de água (*aw*)

A atividade de água foi determinada por meio do aparelho Aqualab (Decagon Devices - 4TE, Pullman, Washington, U. S. A.), que fornece leituras de atividade de água no intervalo de 0,050 a 1,000, com precisão de $\pm 0,003$ e resolução de 0,0001, na temperatura de 25 °C.

4.3.4. Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH foi determinado usando-se cerca de 10 mL da amostra diluída em 90 mL de água destilada, até obtenção de uma mistura homogênea, com medição diretamente em pHmetro de bancada digital (Marconi - MA-52, Piracicaba, SP, Brasil), conforme AOAC (2002).

4.3.5. Acidez total titulável (ATT)

A acidez total titulável foi determinada em percentagem de ácido cítrico, através da titulação de alíquotas de 10 mL da amostra em 90 mL de água destilada com solução 0,1 N de NaOH, em presença de fenolftaleína (AOAC, 2002).

4.3.6. Sólidos solúveis totais (SST)

O teor de sólidos solúveis totais foi determinado usando-se 10 mL da amostra diluída em 90 mL de água destilada, utilizando-se um refratômetro portátil (Nova - modelo 113, Piracicaba, SP, Brasil), os resultados foram expressos em °Brix, conforme AOAC (2002).

4.3.7. Açúcares solúveis totais (AST)

a) Extração

Os açúcares solúveis totais (AST) foram extraídos a partir de amostras de aproximadamente 5 g de polpa de manga Ubá e transferidas para um tubo de ensaio, sendo adicionado álcool etílico (Dinâmica, Diadema, SP, Brasil) 80% fervente (60 - 70 °C) até homogeneizar as amostras, em seguida as mesmas foram armazenadas a 4 °C. Esta solução foi centrifugada por 10 min a 2000 rpm, logo após a solução foi filtrada em papel filtro colocado em um funil acoplado em uma proveta, a centrifugação foi repetida por 3 vezes. O volume da proveta foi completado para 15 mL com álcool etílico para a polpa *in natura* e polpa com os aditivos. Para a extração dos açúcares do pó completou-se o volume para 17 mL com álcool etílico. O extrato foi transferido para frascos com tampa, armazenados em geladeira a 4 °C, para posterior quantificação de açúcares solúveis totais e redutores.

b) Quantificação dos açúcares solúveis totais

Foram quantificados pelo método fenol sulfúrico (DUBOIS *et al.*, 1956). O extrato vegetal foi previamente diluído 1000 vezes, do qual foram retiradas alíquotas de 250 µL que foram transferidas para tubos de ensaio com rosca. A seguir, foram adicionados 250 µL de fenol (Vetec, Duque de Caxias, RJ, Brasil) 5%, agitado em vortex (Phoenix - AP56, Araraquara, SP, Brasil) e adicionado 1,25 mL de ácido sulfúrico concentrado. Os tubos foram novamente agitados em vortex e levados por 20 min ao banho-maria, à temperatura de 30 °C. Após remoção dos tubos do banho-maria, procedeu-se a leitura em cubeta de vidro, da absorbância em 490 nm no

espectrofotômetro (Genesys - 10UV Thermo Fisher, Waltham, Massachusetts, U.S.A.). Os valores obtidos foram comparados com a curva padrão de sacarose.

A partir dos valores de absorvância, procederam-se os cálculos com as devidas correções na diluição utilizada, sendo o resultado expresso em % TESC (Total 80% Ethanol-Soluble Carbohydrate) na matéria seca. Para o cálculo da percentagem de açúcares solúveis totais foi utilizada a Equação 1.

$$\%AST = \frac{L \times n \times v}{mF \times mS} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

$\%AST$ = percentagem de açúcares solúveis totais

L = concentração da amostra obtida pela leitura em espectrofotômetro (g L^{-1}) utilizando-se a reta da curva padrão ($Y=ax+b$)

n = número de diluições

v = volume total do extrato bruto em mL

mF = massa fresca da amostra em g

mS = massa seca da amostra em g

4.3.8. Açúcares redutores (AR)

a) Extração

Para a quantificação de açúcares redutores (AR) foram utilizadas as mesmas amostras do extrato utilizado na quantificação de açúcares solúveis totais.

b) Quantificação do teor de açúcares redutores

Foram quantificados pelo método DNS (Ácido dinitrosalicílico) (Miller, 1959). Utilizou-se o extrato vegetal previamente diluído 25 vezes, em que foram retiradas alíquotas de 500 μL que foram transferidas para tubos de ensaio. Em seguida, foram adicionados 500 μL da solução de DNS. A mistura foi aquecida a 100 $^{\circ}\text{C}$ por 5 min, sendo posteriormente, resfriada em banho de gelo até atingir a temperatura ambiente. A seguir, foram adicionados à mistura 4 mL de água destilada e realizada a leitura da absorvância a 540 nm em espectrofotômetro (Genesys - 10UV Thermo Fisher, Waltham, Massachusetts, U.S.A.). Os valores obtidos foram comparados com a curva padrão de glicose. Para o cálculo da percentagem dos açúcares redutores foi utilizada a Equação 2.

$$\%AR = \frac{L \times n \times v}{mF \times mS} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

% AR= percentagem de açúcares redutores

L= concentração da amostra obtida pela leitura em espectrofotômetro (g L^{-1})
utilizando-se a reta da curva padrão ($Y=ax+b$)

n= número de diluições

v= volume total do extrato bruto em mL

mF= massa fresca da amostra em g

mS= massa seca da amostra em g

4.3.9. Cor

Amostras foram submetidas à avaliação da cor em um colorímetro tristímulo MiniSacrn XE (Hunter - Plus 45/0-L, U.S.A., Reston, Virginia). A leitura foi realizada diretamente da reflectância das coordenadas L^* , a^* e b^* , empregando-se a escala CIE e iluminante $10^\circ/D65$.

A partir dos valores de L^* , a^* e b^* , foram calculados os índices colorimétricos: o croma (C^*) (Equação 3) e o ângulo hue (h^*) (Equação 4).

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (3)$$

$$h^* = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (4)$$

Foi calculado o índice de escurecimento (IE) utilizando as Equações 5 e 6. O índice de escurecimento é estudado em alimentos processados (PINELI *et al.*, 2005; SARICOBAN & YILMAZ, 2010) tornando possível estimar de forma indireta a ação de enzimas que podem provocar mudança de cor durante o processamento e armazenamento do produto.

$$IE = [100(x - 0,31)]/0,172 \quad (5)$$

Em que:

$$x = \frac{(a^* + 1,75 L^*)}{(5,645 L^* + a^* - 3,012 b^*)} \quad (6)$$

4.4. Seleção do emulsificante e concentração para produção de espuma da manga Ubá

Para determinar qual melhor emulsificante e concentração foram determinados os parâmetros da massa específica aparente, estabilidade e expansão da espuma. Foi escolhida a formulação que apresentou melhores resultados em relação a esses parâmetros.

4.4.1. Determinação da massa específica aparente (ρ)

Foi determinada por picnometria, utilizando picnômetros padrão de 30 mL, que foram previamente aferidos com água destilada a 25 °C. A amostra foi colocada no picnômetro até seu volume completo e em seguida pesado para a obtenção da relação massa por volume (g cm^{-3}).

Para o cálculo da massa específica foram utilizadas as Equações 7 e 8.

$$\rho_{amostra} = \frac{m_{amostra}}{V_{picnômetro}} \times 1000 \quad (7)$$

$$m_{amostra} = m_{picnômetro} + amostra - m_{picnômetro \text{ vazio}} \quad (8)$$

Em que:

$\rho_{amostra}$ = massa específica da amostra (g cm^{-3})

$m_{amostra}$ = massa da amostra (g)

$V_{picnômetro}$ = volume do picnômetro (cm^3)

$amostra$ = quantidade da polpa pesada (g)

4.4.2 Determinação da expansão

A expansão da espuma foi calculada partir da Equação 9, utilizando os dados da massa específica aparente.

$$Exp(\%) = \frac{\frac{1}{\rho_{espuma}} - \frac{1}{\rho_{polpa}}}{\frac{1}{\rho_{espuma}}} \times 100 \quad (9)$$

Em que:

Exp = expansão da espuma (%)

ρ_{espuma} = massa específica da espuma (g cm^{-3})

ρ_{polpa} = massa específica da polpa (g cm^{-3})

4.4.3. Determinação da estabilidade da espuma

Foi determinada adaptando-se a técnica proposta por Barmore (1934), em que foi montado um sistema composto por uma proveta, um funil e uma peneira (Figura 5), em que 10 g da espuma da manga foram colocados na peneira. O sistema ficou em repouso durante 2 h e o filtrado foi avaliado a cada 30 min, avaliando-se a porcentagem de espuma coalescida em relação ao volume inicial.



Figura 5- Proveta com funil e peneira para determinação da estabilidade.

4.5. Secagem em leito de espuma

Após a escolha do emulsificante e da concentração mais adequados (Emustab[®] a 2,35%), foi realizada a secagem da espuma formada nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C. A espuma formada foi espalhada sobre bandejas (Figura 6) de inox de 35 x 40 cm, formando uma camada fina de cerca de 7,0 mm de espessura. Em seguida, as bandejas com a espuma foram colocadas em um secador de cabine (Gehaka - 400/3ND, São Paulo, SP, Brasil) com convecção forçada de ar aquecido para a secagem com velocidade média do ar de 5,6 ms⁻¹. As amostras foram pesadas a cada 15 min até que atingissem peso constante, indicando o equilíbrio higroscópico do produto final.



Figura 6 - Bandeja com espuma da manga Ubá utilizando o aditivo Emustab[®] antes da secagem e após a secagem a 60 °C.

Foi utilizada a Equação 10, adaptada de Stupa *et al.* (2003) e Reis *et al.* (2013), obtendo assim o binômio teor de água crítico versus o tempo crítico de secagem. Demonstrando assim, o período de taxa constante e período de taxa decrescente que é separado pelo tempo crítico.

$$U_t = [U_0 + (nxt)] x(t < t_c) + \{U_c x \exp[kx(t - t_c)]\} x(t \geq t_c) \quad (10)$$

Em que:

U_t = teor de água no tempo t, $kg_a kgms^{-1}$

U_0 = teor de água inicial, $kg_a kgms^{-1}$

U_c = teor de água crítico, $kg_a kgms^{-1}$

n = taxa de secagem no período constante, min^{-1}

k = taxa de secagem no período decrescente, min^{-1}

Foi utilizada a Equação 11 para a determinação da razão de umidade (RU).

$$RU = \frac{U_t - U_e}{U_0 - U_e} \quad (11)$$

Em que:

RU = razão de umidade

U_t = teor de água no tempo t, $kg_a kgms^{-1}$

U_e = teor de água no equilíbrio, $kg_a kgms^{-1}$

U_0 = teor de água inicial, $kg_a kgms^{-1}$

4.6. Ajuste dos modelos matemáticos

Na Tabela 1, observam-se os modelos matemáticos que foram utilizados para descrever o fenômeno de secagem.

Tabela 1 - Modelos matemáticos utilizados para na secagem da polpa de manga Ubá

Designação do modelo	Modelo	Equação
Aproximação da difusão (MENGES & ERTEKIN, 2006)	$RU = a \exp(-kt) + (1-a)\exp(-ktb)$	(12)
Copace (CORRÊA <i>et al.</i> , 1995)	$RU = \frac{(a + bt)}{(1 + ct + dt^2)}$	(13)
Dois termos (HENDERSON, 1974)	$RU = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	(14)
Henderson e Pabis modificado (KARATHANOS, 1999)	$RU = a \exp(-kt) + b \exp(-k_0t) + c \exp(-k_1t)$	(15)
Henderson e Pabis (HENDERSON & PAPIS, 1961)	$RU = a \exp(-kt)$	(16)
Logaritmo (YAGCIOGLU <i>et al.</i> , 1999)	$RU = a \exp(-kt) + b$	(17)
Midilli modificado (GHAZANFARI <i>et al.</i> , 2006)	$RU = \exp(-kt^n) + (bt)$	(18)
Midilli <i>et al</i> (MIDILLI <i>et al.</i> , 2002)	$RU = a \exp(-kt^n) + b t$	(19)
Newton (LEWIS, 1921)	$RU = \exp(-kt)$	(20)
Page modificado (Overhults <i>et al.</i> 1973)	$RU = \exp(-(kt)^n)$	(21)
Page (PAGE, 1949)	$RU = \exp(-kt^n)$	(22)
Polinomial de segundo grau	$RU = at^2 + bt + c$	(23)
Polinomial de terceiro grau	$RU = at^3 + bt^2 + ct + d$	(24)
Thompson (THOMPSON <i>et al.</i> , 1968)	$RU = \exp\left\{\frac{[-a - (a^2 + 4bt)^{0.5}]}{2b}\right\}$	(25)
Verma (VERMA <i>et al.</i> , 1985)	$RU = a \exp(-kt) + (1-a)\exp(-k_1t)$	(26)
Wang e Singh (WANG & SING, 1978)	$RU = 1 + at + bt^2$	(27)

Em que:

t = tempo de secagem, min

K, k_0, k_1 = constante de secagem, min^{-1}

a, b, c, d, n = coeficientes dos modelos, adimensionais

4.7. Propriedades físico-químicas do pó da manga

Após a secagem da polpa de manga Ubá com o emulsificante Emustab[®] na concentração de 2,35%, nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, temperaturas que foram determinadas em testes pré-liminares. O produto seco foi retirado da bandeja utilizando-se uma colher, desfragmentado e colocado em sacos plásticos de polietileno de baixa densidade. Em seguida, estes sacos plásticos foram colocados em potes de polietileno com tampa e armazenados em câmara do tipo BOD (Fanem - 347 CD, São Paulo, SP, Brasil), em temperatura de 20 °C. Posteriormente foram realizadas análises físico-químicas do pó.

Para a caracterização do pó da manga Ubá foi utilizada a mesma metodologia da caracterização da polpa *in natura* e da espuma da polpa. Foram realizadas as seguintes análises do pó: massa específica, teor de água, atividade de água, pH, acidez total titulável, sólidos solúveis totais, açúcares solúveis totais, açúcares redutores e cor. A massa específica aparente (ρ) do pó foi determinada utilizando-se uma balança de peso hectolítrico (Gehaka, São Paulo, SP, Brasil).

4.8. Isotermas de sorção

No processo de sorção, para determinação do teor de água no equilíbrio das amostras do pó da manga Ubá foi utilizado o método estático. Utilizou-se a técnica citada por Greenspan (1977) utilizando dessecadores de vidro (Figura 7A) com capacidade de 3 L contendo a solução saturada do sal, as amostras de 1 g dos pós de manga Ubá foram colocadas em recipientes de 3 cm de diâmetro e 1 cm de altura (Figura 7B). Os dessecadores foram fechados com tampa e mantidos em câmaras tipo BOD nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C.

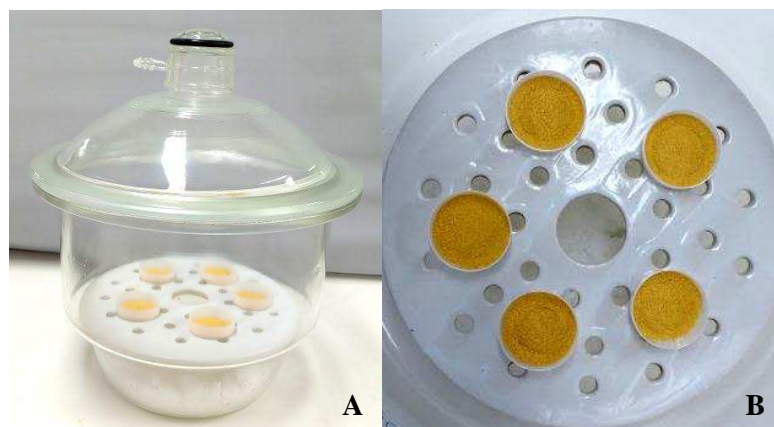


Figura 7 – Dessecador de vidro com sal saturado (A) e as amostras do pó da manga Ubá (B).

Para a determinação da temperatura e umidade utilizou-se um registrador de temperatura e umidade (LogBox-RHT – Novus), utilizando o programa LogChart II (Versão 2.27 - 2007) e a Tabela 2 de pontos fixos de umidade de Greenspan, L. (1977).

Tabela 2 - Umidades relativas (%) estabelecidas no interior do dessecador para as soluções saturadas e temperatura da câmara

Composto Químico	Temperatura (°C)			
	10	20	30	40
LiCl	11,3	11,3	11,3	11,2
MgCl ₂	33,5	33,1	32,4	31,6
NaBr	62,2	59,1	56,0	53,2
NaCl	75,7	75,5	74,9	74,7
KCl	86,8	85,1	83,0	82,3

Fonte: Adaptada de Greenspan L.,1977.

Foram utilizadas amostras com 1 g do pó da manga Ubá em cada uma das cinco repetições, para todos os sais nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C. Durante o processo de sorção, foram feitas pesagens das amostras periodicamente, até que a variação da massa fosse mínima, entre três pesagens consecutivas, a variação fosse igual ou inferior a 0,01 g, representando nesse momento o teor de água no equilíbrio higroscópico.

Os dados obtidos para cada temperatura e umidade relativa após o equilíbrio higroscópico foram ajustados a modelos matemáticos que foram utilizados para a descrição do fenômeno de sorção (Tabela 3).

Tabela 3 - Modelos matemáticos para representação das curvas de equilíbrio higroscópico do pó da manga Ubá

Designação do modelo	Modelo	Equação
Chung-Pfost (CHUNG & PFOST <i>et al.</i> , 1967)	$U_e = a - b \ln[(c - T) \ln(a_w)]$	(28)
Copace (CORRÊA <i>et al.</i> , 1995)	$U_e = \exp[a - (bT) + (ca_w)]$	(29)
Oswin modificado (RESENDE <i>et al.</i> , 2006)	$U_e = \frac{(a + bT)}{\left[\frac{(1 - a_w)}{a_w}\right]^c}$	(30)
GAB (PARK <i>et al.</i> , 2001a)	$U_e = \frac{U_m C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)}$	(31)
Halsey modificado (MENIN, <i>et al.</i> 2003)	$U_e = \left[\frac{\exp(a - bT)}{-\ln a_w}\right]^{\frac{1}{c}}$	(32)
Sigma Copace (CORRÊA <i>et al.</i> , 1995)	$U_e = \exp\{a - (bT) + [c \exp(a_w)]\}$	(33)
Sigma Copace II	$U_e = \frac{1}{aT^b + (a_w)^c}$	(34)

Em que:

U_e = teor de água de equilíbrio ($\text{kg}_a \cdot \text{kg}_{\text{ms}}^{-1}$)

U_m = teor de água da monocamada ($\text{kg}_a \cdot \text{kg}_{\text{ms}}^{-1}$)

a_w = atividade de água (decimal)

C e K = parâmetros do modelo de GAB que são relacionados, respectivamente, às propriedades da monocamada e multicamadas (adimensionais)

a , b e c = parâmetros de ajuste dos modelos

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

5. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para verificação do efeito dos aditivos (Albumina, Esmutab[®], Superliga neutra[®] e Maltodextrina) nas diferentes concentrações (0; 0,5; 1; 1,5; 2 e 2,5%) sobre a massa específica, expansão e estabilidade das espumas, montou-se o experimento segundo o esquema fatorial 4 X 5, com 4 diferentes tipos de emulsificante em 5 concentrações, e o controle, que é a polpa sem adição do aditivo, no delineamento inteiramente casualizado (DIC) com 5 repetições. Os dados foram submetidos a uma análise de variância e de regressão. Para o fator qualitativo (emulsificante) as médias foram comparadas por meio do teste de Tukey à 5% de probabilidade e de Dunnett à 5% de probabilidade. Para o fator quantitativo (concentração) foi feita uma regressão e os emulsificantes foram escolhidos baseados nos indicadores massa específica, expansão e estabilidade.

As secagens foram feitas em experimento montado no delineamento inteiramente casualizado (DIC) com 4 repetições e os dados da secagem foram submetidos a análise de regressão.

Para o ajuste dos modelos matemáticos, foram realizadas análises de regressão linear e não linear pelo método Gauss Newton, utilizando o programa estatístico Statistica versão 8. A seleção do modelo foi baseada no coeficiente de determinação do erro médio relativo (MSE), do desvio padrão da estimativa (SE) e no coeficiente de determinação (R^2). Os valores do MSE e do SE foram calculados de acordo com as Equações 35 e 36:

$$MSE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - \hat{Y}_i|}{Y_i} \quad (35)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{GLR}} \quad (36)$$

Em que:

Y_i = valor observado

\hat{Y}_i = valor estimado

n = número de dados observados

GLR = graus de liberdade do resíduo (número de dados observados menos o número de parâmetros do modelo)

Nas análises de variância e de regressão, utilizou-se o Software SAEG (SAEG, 2005). E para a obtenção das equações de regressão e plotagem dos gráficos, utilizou-se o Software SigmaPlot (SPSS, 2001).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Caracterização da polpa

Os resultados das características físico-químicas e químicas da polpa de manga Ubá estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores médios e correspondentes desvios padrão das principais características físico-químicas da polpa da manga Ubá *in natura*

Variáveis	Média	Desvio padrão
Massa específica aparente (kg/m^3) a 25 °C	1118,03	58,49
Teor de água (% b.s.)	2,62	0,09
Atividade de água (a_w) a 25 °C	0,9774	0,01
pH	5,16	0,02
ATT (% ácido cítrico)	0,13	0,08
Sólidos Solúveis Totais (°Brix)	26,90	0,22
Açúcar solúveis totais (%)	13,62	0,41
Açúcares redutores (%)	4,24	0,22
L	62,22	0,03
a^*	21,92	0,05
b^*	79,35	0,30

A massa específica da polpa de manga Ubá apresentou valor superior ao encontrado por Diniz (2009) que foi de $1089,60 \text{ kg m}^{-3}$ na temperatura de 25 °C com 25 °Brix para manga Ubá. Os altos valores encontrados no presente trabalho podem estar relacionados ao alto teor de sólidos solúveis totais presente na manga Ubá e também ao menor teor de água.

O teor de água para a polpa de manga Ubá foi de 2,62% em base seca que corresponde a 72,38% em base úmida, menores que os valores encontrados por Gonçalves *et al.* (1998) e Faraoni *et al.* (2009) que foram respectivamente 76,54% e 79,80% para polpa de manga Ubá em base úmida. Segundo Chitarra & Chitarra (1990), as diferenças no teor de água para uma mesma variedade de manga ocorre

devido a quantidade de água oferecida à planta ou às condições climáticas da região em que foi cultivada.

O valor encontrado para a atividade de água (a_w) da polpa de manga Ubá de 0,98 foi semelhante aos encontrados por Faraoni *et al.* (2009) de 0,93 e por Machado *et al.* (2015) de 0,98 para a manga Ubá. Segundo Fellows (2006), valores de atividade de água acima de 0,60 indicam que a água está livre nas células ou em capilaridades passível de atividade enzimática e desenvolvimento de micro-organismos.

De acordo com a instrução normativa do MAPA (2000), a polpa de manga deve apresentar pH entre 3,3 e 4,5, impedindo que o produto perca em qualidade e necessite de tratamento térmico muito elevado para sua conservação (BENEVIDES *et al.*, 2008). Os valores encontrados para polpa de manga Ubá por Benevides *et al.* (2008) foi de 4,21, Faraoni *et al.* (2009) foi de 4,3 e Diniz (2009) foi de 4,05. O valor médio de pH encontrado para a polpa de manga Ubá neste trabalho foi de 5,16, isso se deve ao fato dos frutos terem sido colhidos em estágio de maturação mais avançado, originando frutos com menor acidez.

Para a acidez total titulável (ATT), foi encontrado 0,13% de ácido cítrico. Silva *et al.* (2009) estudando o desenvolvimento e controle do amadurecimento da manga Ubá encontrou 0,46% de ácido cítrico. O valor médio para acidez titulável verificado por Gonçalves *et al.* (1998) foi de 0,54 % de ácido cítrico para a variedade Ubá, sendo superior ao valor encontrado nesse trabalho. De acordo com Rodrigues (1977), a acidez da polpa da manga pode variar de 0,13 a 0,76% de ácido cítrico.

O valor dos sólidos solúveis totais foi de 26,90 °Brix, acima dos valores encontrados por Benevides *et al.* (2008): 14,0 Faraoni *et al.* (2009): 19,3 e Diniz (2009): 16,0. Estes valores estão em concordância com a legislação do MAPA (2000), que exige o mínimo de 11 °Brix para a polpa de manga, valor muito abaixo aos valores médios analisados neste trabalho e os encontrados em literatura. Segundo Ramos *et al.* (2004) a manga Ubá é a variedade mais utilizada para a produção de polpa, suco e néctar de manga em Minas Gerais devido características tais como a cor, aroma e sabor, teor de sólidos solúveis elevado e bom rendimento.

Os açúcares solúveis totais e redutores encontrados neste trabalho para a polpa *in natura* (13,5% e 4,2%), foram superiores para AST e inferiores para AR, aos resultados encontrados por Faraoni (2009) de 10,5% e 5,0% e por Diniz (2009) de 10,6% e 6,7%, respectivamente em manga Ubá e Tommy Atkins. Esta

divergência de resultados verificados pode ser devido à diferença no estágio de maturação dos frutos, pois os teores de açúcares totais aumentam durante o amadurecimento.

Observando-se os valores da luminosidade (L^*), intensidade de vermelho ($+a^*$) e intensidade de amarelo ($+b^*$), verifica-se maiores valores para o parâmetro b^* , com relação ao a^* , evidenciando que houve predominância da intensidade de amarelo sobre a intensidade de vermelho, resultando na cor amarelo-alaranjado, característica da polpa de manga Ubá. Os valores médios encontrados para os parâmetros L , a^* , b^* para a polpa de manga Ubá foram de 62,22; 21,92 e 79,35, respectivamente. Faraoni (2009), estudando a manga Ubá orgânica encontrou valores semelhantes de L^* (63,45) e a^* (19,83), porém o valor de b^* (52,88) foi inferior. Os maiores valores encontrados para b^* foi devido ao estágio de maturação ser mais avançado, apresentando maior intensidade de amarelo.

6.2. Caracterização da espuma

Pode-se observar na Tabela 5, que a média do teor de água da espuma da manga Ubá variou de 2,20 $\text{kg}_a \text{kg}_{\text{ms}}^{-1}$ para a maltodextrina e 2,58 $\text{kg}_a \text{kg}_{\text{ms}}^{-1}$ para o Emustab[®], em base seca. Sendo que o Emustab[®] foi o aditivo que apresentou maiores valores médios em todas as concentrações. Já para a atividade de água (Tabela 5), o valor foi entre 0,9662 para o Emustab[®] e 0,9904 para a Superliga neutra[®], de acordo com o valor médio encontrado na polpa *in natura* (0,9774) notando-se que a presença dos aditivos não teve uma contribuição significativa na atividade de água das espumas, o que pode ser devido à pequena variação da concentração dos aditivos. Pinto (2009), ao estudar a espuma do Jenipapo observou que para o Emustab[®] não houve efeito da concentração sobre a atividade de água (valor médio de 0,9920). Segundo o autor, isso se deve ao fato de o Emustab[®] ter um teor de sólidos solúveis baixo (1,5 °Brix) limitando sua capacidade de diminuição da atividade de água.

Tabela 5 - Médias do teor de água (b.s.) e da atividade de água da espuma da manga Ubá com os emulsificantes Albumina, Emustab[®], Superliga neutra[®] e Maltodextrina nas concentrações de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5% em massa

Concentração (%)	Teor de água ($\text{kg}_a \text{kg}_{ms}^{-1}$)			
	Albumina	Emustab [®]	Superliga Neutra [®]	Maltodextrina
0,5	2,48 a	2,42 ab	2,51 a	2,47 a
1,0	2,44 ab	2,54 a	2,38 ab	2,40 ab
1,5	2,41 ab	2,56 a	2,34 bc	2,36 bc
2,0	2,42 ab	2,58 a	2,31 bc	2,20 cd
2,5	2,35 b	2,55 a	2,26 b	2,23 b

Concentração (%)	Atividade de água (a_w)			
	Albumina	Emustab [®]	Superliga Neutra [®]	Maltodextrina
0,5	0,9857 a	0,9778 c	0,9871 a	0,9828 b
1,0	0,9843 b	0,9738 d	0,9882 a	0,9808 c
1,5	0,9831 b	0,9708 c	0,9904 a	0,9817 b
2,0	0,9828 a	0,9662 c	0,9829 a	0,9817 a
2,5	0,9780 b	0,9733 c	0,9844 a	0,9746 c

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na Figura 8, observa-se que a partir da concentração de 0,5% para os emulsificantes albumina, Superliga neutra[®] e maltodextrina há uma tendência decrescente do teor de água em função da concentração. Resultados semelhantes foram encontrados por Pinto (2009) e Baptestini (2015) utilizando os mesmos aditivos para a obtenção da espuma de jenipapo e graviola, respectivamente.

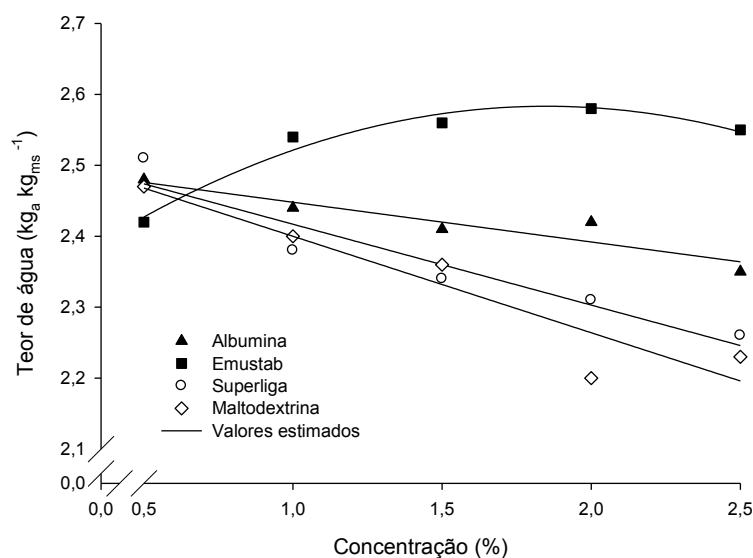


Figura 8 - Teor de água da espuma da manga Ubá para os emulsificantes albumina, Emustab[®], Superliga neutra[®] e maltodextrina nas concentrações de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5% em massa.

Na Tabela 6, estão apresentadas as equações ajustadas aos dados experimentais do teor de água e da atividade de água (a_w) da espuma da manga Ubá em função da concentração dos emulsificantes, com seus respectivos coeficientes de determinação. Foi observado um bom ajuste para as equações, pois estas apresentaram coeficiente de determinação (R^2) superior a 75% e significância dos parâmetros dos modelos.

Tabela 6 - Equações ajustadas aos dados experimentais do teor de água (TA) e atividade de água (a_w) da espuma da manga Ubá em função do emulsificante, com seus respectivos coeficientes de determinação

Emulsificante	Equações ajustadas	R^2
Albumina	$\hat{TA} = -0,056^{***}xC + 2,0^*$	0,87
	$\hat{a}_w = 0,01xC^2 - 0,02xC + 1,00^*$	0,86
Emustab [®]	$\hat{TA} = -0,086^{***}xC^2 + 0,32xC + 2,29^*$	0,96
	$\hat{a}_w = 0,01xC^2 - 0,02xC + 0,99^*$	0,86
Superliga neutra [®]	$\hat{TA} = -0,11^{***}xC + 2,53^*$	0,91
	$\hat{a}_w = -0,01^{***}xC + 1,00^*$	0,75
Maltodextrina	$\hat{TA} = -0,14^{***}xC + 2,54^*$	0,88
	$\hat{a}_w = 0,01xC^2 - 0,01xC + 0,97^*$	0,86

*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

**Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

***Significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.

Na Tabela 7, observa-se que a albumina e o Emustab[®] foram os aditivo que apresentaram maiores valores de pH. Já a acidez total titulável (ATT) apresentou valores semelhantes da polpa *in natura* (0,13) quando foi utilizado os aditivos albumina, Superliga neutra[®] e maltodextrina, somente quando se utilizou o Emustab[®] apresentou redução nos valores da acidez total titulável (0,04 a 0,08).

Tabela 7 - Médias do pH e da Acidez Total Titulável (ATT) da espuma da manga Ubá com os emulsificantes albumina, Emustab[®], Superliga neutra[®] e maltodextrina nas concentrações de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5% em massa

Concentração (%)	pH			
	Albumina	Emustab [®]	Superliga Neutra [®]	Maltodextrina
0,5	5,16 a	5,18 a	5,10 b	5,07 b
1,0	5,21 a	5,14 b	5,07 c	5,03 c
1,5	5,27 a	5,19 b	5,14 c	5,08 d
2,0	5,29 a	5,27 a	5,08 b	5,09 b
2,5	5,37 a	5,28 b	5,09 c	5,09 c
Concentração (%)	ATT			
	Albumina	Emustab [®]	Superliga Neutra [®]	Maltodextrina
0,5	0,13 ab	0,08 c	0,12 b	0,13 a
1,0	0,13 a	0,05 b	0,12 a	0,13 a
1,5	0,13 a	0,05 b	0,13 a	0,13 a
2,0	0,12 b	0,04 c	0,13 a	0,14 a
2,5	0,13 a	0,04 b	0,13 b	0,13 a

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se uma tendência do pH (Figura 9) aumentar com o aumento das concentrações de albumina e Emustab[®]. Pinto (2009), estudando a espuma do jenipapo, observou que para os aditivos Emustab[®], maltodextrina e Superliga neutra[®] encontrou valores semelhantes aos encontrados na polpa *in natura*.

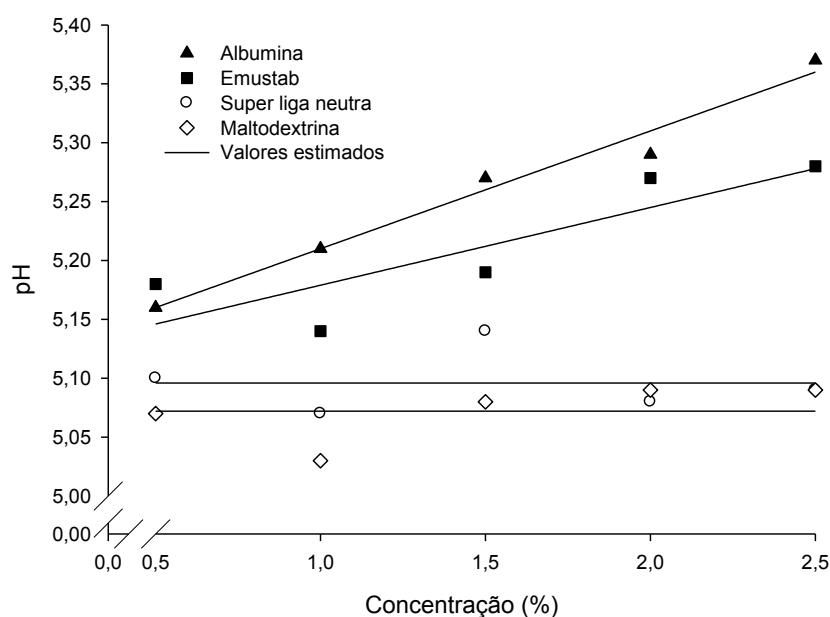


Figura 9 - PH da espuma da manga Ubá para os emulsificantes Albumina, Emustab[®], Superliga neutra[®] e Maltodextrina nas concentrações de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5% em massa.

Na Figura 10, pode-se observar que os valores médios da acidez total titulável da albumina, Superliga neutra[®] e maltodextrina apresentaram valores próximos entre 0,12 e 0,14. Entretanto, o Emustab[®] apresentou valores inferiores a 0,08, com tendência a reduzir o valor da acidez total titulável com o aumento da concentração do emulsificante. Baptestini (2015) também observou uma diminuição da ATT com o aumento da concentração dos emulsificantes albumina, Emustab[®] e Superliga neutra[®]. Assim como, Pinto (2009) percebeu uma redução da ATT com o aumento dos emulsificantes albumina, Emustab[®] e maltodextrina.

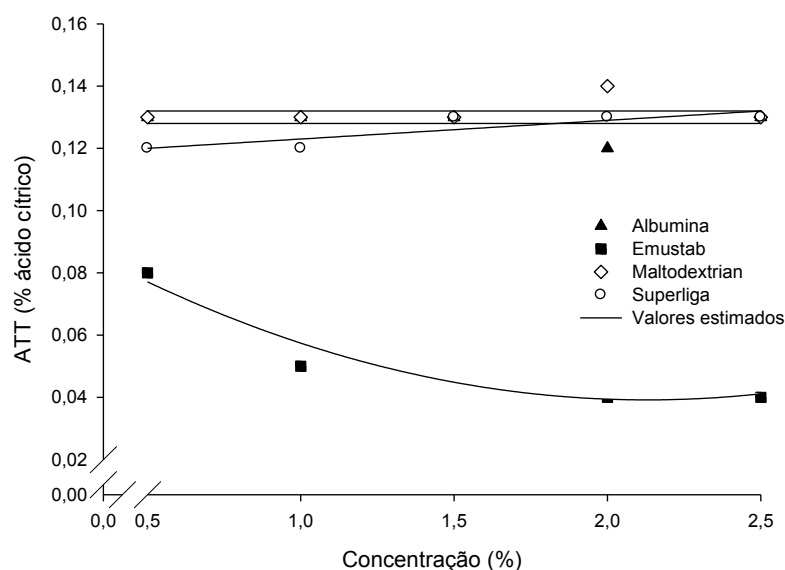


Figura 10 - Acidez Total Titulável (ATT) da espuma da manga Ubá para os emulsificantes albumina, Emustab[®], Superliga neutra[®] e maltodextrina nas concentrações de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5% em massa.

Na Tabela 8, estão apresentadas as equações ajustadas aos dados experimentais do pH e ATT da espuma da manga Ubá em função da concentração do emulsificante, com seus respectivos coeficientes de determinação. Foi observado um bom ajuste para as equações, pois estas apresentaram coeficiente de determinação (R^2) superior a 74% e significância dos parâmetros dos modelos.

Tabela 8 - Equações ajustadas aos dados experimentais do pH e Acidez Total Titulável (ATT) da espuma da manga Ubá em função do emulsificante, com seus respectivos coeficientes de determinação

Emulsificante	Equações ajustadas	R^2
Albumina	$\hat{pH} = 0,10 * xC + 5,11^*$ $\hat{ATT} = 0,13$	0,98 -
Emustab [®]	$\hat{pH} = 0,07^{***} xC + 5,11^*$ $\hat{ATT} = -0,06xC^2 + 0,14xC + 0,10^{**}$	0,74 0,92
Superliga neutra [®]	$\hat{pH} = 5,10$ $\hat{ATT} = 0,006^{***} xC + 0,12^*$	- 0,75
Maltodextrina	$\hat{pH} = 5,07$ $\hat{ATT} = 0,13$	- -

*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t. **Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

***Significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.

Na Tabela 9, observa-se que a variação de sólidos solúveis totais (SST) foi de 27 a 29,6, valores semelhantes aos encontrados para a polpa da manga Ubá *in natura*

(26,9 °Brix). Este fato pode ser devido à utilização de baixas concentrações dos aditivos. Os SST apresentaram valores semelhantes para albumina, Superliga neutra[®] e maltodextrina, somente o Emustab[®] apresentou valores menores. Os valores dos açúcares solúveis totais (AST) variaram entre 11,29 e 18,33, ocorrendo maiores variações quando as concentrações dos aditivos aumentaram. Os açúcares redutores (AR) sofreram variação de 3,27 a 4,63 esses valores são semelhantes aos da polpa de manga Ubá *in natura* que foi de 4,24.

Tabela 9 - Médias dos Sólidos Solúveis Totais (SST), Açúcares Solúveis Totais (AST) e Açúcares Redutores (AR) da espuma da manga Ubá com os emulsificantes albumina, Emustab[®], Superliga neutra[®] e maltodextrina nas concentrações de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5% em massa

SST (°Brix)				
Concentração (%)	Albumina	Emustab [®]	Superliga Neutra [®]	Maltodextrina
0,5	27,0 b	27,0 b	27,0 b	27,4 a
1,0	28,0 a	28,0 b	28,0 a	28,0 a
1,5	28,0 a	27,0 b	28,1 a	28,0 a
2,0	28,0 b	27,0 c	29,0 a	28,0 b
2,5	29,0 b	27,0 c	29,0 b	29,6 a
AST (%)				
Concentração (%)	Albumina	Emustab [®]	Superliga Neutra [®]	Maltodextrina
0,5	11,79 ab	12,08 a	11,82 a	11,29 ab
1,0	13,25 a	12,28 a	12,11 a	12,67 a
1,5	13,70 b	14,46 ab	16,19 a	15,87 a
2,0	16,48 ab	17,14 a	16,24 ab	15,21 bc
2,5	17,21 ab	18,33 a	18,08 a	15,96 b
AR (%)				
Concentração (%)	Albumina	Emustab [®]	Superliga Neutra [®]	Maltodextrina
0,5	4,27 a	3,72 ab	3,27 b	3,45 b
1,0	3,70 b	4,49 a	4,22 ab	4,24 ab
1,5	4,39 ab	4,63 a	4,31 ab	3,98 b
2,0	4,21 a	4,11 ab	4,25 a	3,54 b
2,5	3,85 a	4,33 a	4,22 a	4,30 a

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na Figura 11, pode-se observar que houve um aumento dos SST, exceto para o Emustab[®] que permaneceu constante. Na figura 12 observou-se aumento dos AST

com o aumento da concentração dos emulsificantes. Observa-se ainda, que para os AST nas menores concentrações não houve diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey entre os aditivos (Tabela 9). No entanto, nas concentrações mais altas observa-se maiores valores de açúcares para o Emustab[®] e Superliga neutra[®] e menores valores para a maltodextrina.

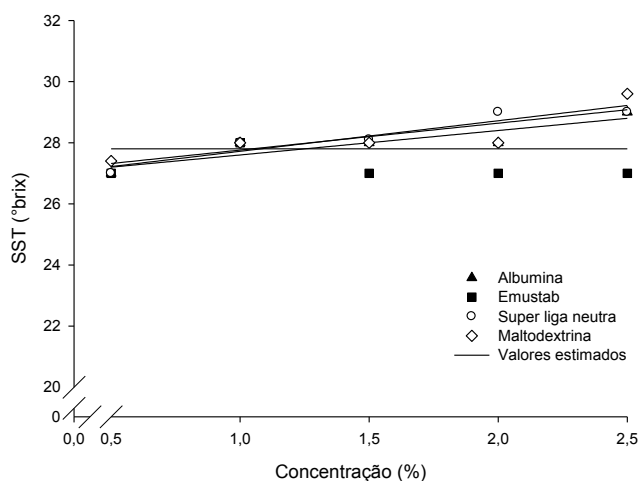


Figura 11 - Sólidos solúveis totais (SST) da espuma da manga Ubá para os emulsificantes albumina, Emustab[®], Superliga neutra[®] e maltodextrina nas concentrações de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5% em massa.

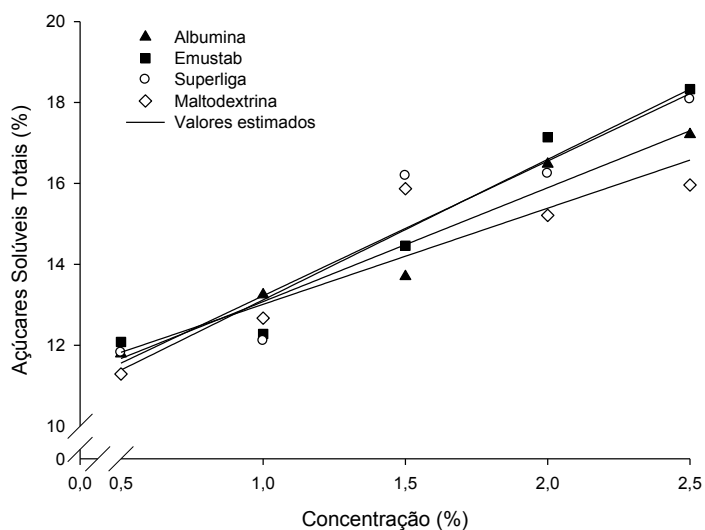


Figura 12 – Açúcares Solúveis Totais (AST) da espuma da manga Ubá para os emulsificantes albumina, Emustab[®], Superliga neutra[®] e maltodextrina nas concentrações de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 % em massa.

Já os valores de AR, como se observa na Figura 13, somente o Emustab[®] pode ajustar a curva de regressão, havendo um aumento dos açúcares redutores até

próximo à concentração de 1,5%, em seguida ocorre uma redução. Para os demais dados experimentais dos aditivos albumina, Superliga neutra[®] e maltodextrina não foi possível ajustar curvas de regressão, sendo a média representada pelas retas.

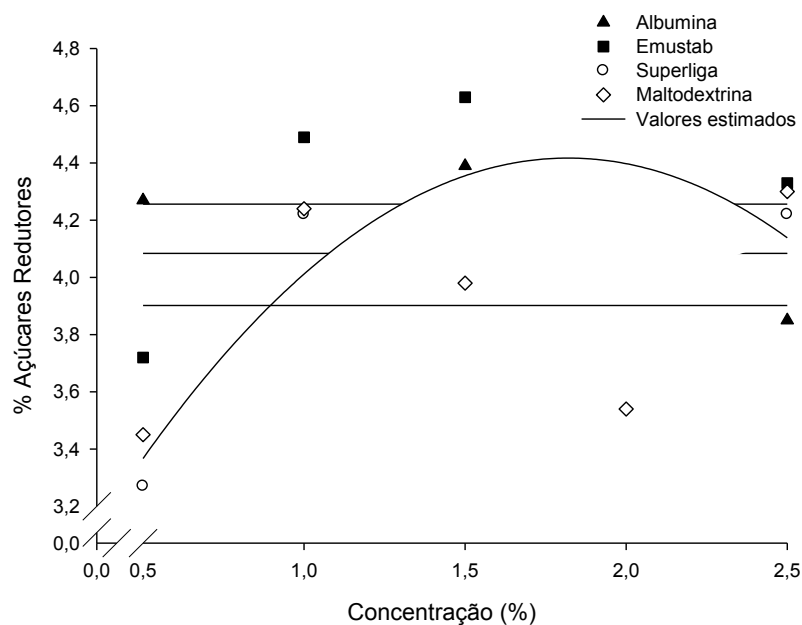


Figura 13 – Açúcares Redutores (AR) da espuma da manga Ubá para os emulsificantes albumina, Emustab[®], Superliga neutra[®] e maltodextrina nas concentrações de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 % em massa.

Nota-se na Tabela 10, um bom ajuste das equações de regressão para os sólidos solúveis totais (SST), açúcares solúveis totais (AST) e açúcares redutores (AR). Somente para os SST quando foi usada a maltodextrina que o valor de R^2 apresentou valor menor (71%).

Tabela 10 - Médias dos Sólidos Solúveis Totais (SST), Açúcares Solúveis Totais (AST) e Açúcares Redutores (AR) da espuma da manga Ubá em função do emulsificante, com seus respectivos coeficientes de determinação

Emulsificante	Equações ajustadas	R ²
Albumina	$\hat{S}ST = 0,80^{**}xC + 26,80^*$	0,80
	$\hat{A}ST = 2,81^*xC + 10,26^*$	0,95
	$\hat{A}R = 4,08$	-
Emustab [®]	$\hat{S}ST = 0,59$	-
	$\hat{A}ST = 3,47^*xC + 9,65^*$	0,95
	$\hat{A}R = -0,60xC^2 + 2,19^{***}xC + 2,42^{**}$	0,89
Superliga neutra [®]	$\hat{S}ST = 1,00^{**}xC + 26,72^*$	0,90
	$\hat{A}ST = 3,33^{**}xC + 9,89^*$	0,90
	$\hat{A}R = 4,26$	-
Maltodextrina	$\hat{S}ST = 0,88^{***}xC + 26,88^*$	0,71
	$\hat{A}ST = 2,38^{**}xC + 10,64^*$	0,80
	$\hat{A}R = 3,90$	-

*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

**Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

***Significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.

Na Tabela 11, pode-se observar os seguintes atributos cromáticos: luminosidade (L*), contribuição do vermelho ao azul (a*), contribuição do amarelo ao verde (b*).

Tabela 11 - Médias das coordenadas L^* , a^* e b^* da espuma da manga Ubá com os emulsificantes Albumina, Emustab[®], Superliga neutra[®] e Maltodextrina nas concentrações de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5% em massa

L^* (Cor)				
Concentração (%)	Albumina	Emustab [®]	Superliga Neutra [®]	Maltodextrina
0,5	62,04 b	72,92 a	60,01 d	61,74 c
1,0	62,85 b	79,21 a	61,59 c	60,45 c
1,5	62,81 b	82,41 a	62,08 c	60,95 d
2,0	63,16 b	83,02 a	61,82 c	60,41 d
2,5	61,80 b	84,15 a	61,57 b	60,27 c

a^* (Cor)				
Concentração (%)	Albumina	Emustab [®]	Superliga Neutra [®]	Maltodextrina
0,5	22,91 a	16,98 d	22,65 b	22,43 c
1,0	22,38 a	11,99 c	21,79 b	22,47 a
1,5	22,89 a	8,56 c	22,25 b	22,28 b
2,0	22,86 a	8,27 c	22,25 b	22,27 b
2,5	22,94 a	7,32 c	22,19 b	22,22 b

b^* (Cor)				
Concentração (%)	Albumina	Emustab [®]	Superliga Neutra [®]	Maltodextrina
0,5	76,35 c	69,24 d	78,13 b	79,16 a
1,0	75,77 c	56,03 d	77,02 b	78,99 a
1,5	75,91 b	47,82 c	78,41 a	78,40 a
2,0	75,04 c	45,67 d	77,74 a	76,57 b
2,5	74,07 b	41,50 c	76,75 a	76,64 a

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na Figura 14, pode-se observar a diferença na coloração com diferentes os aditivos.

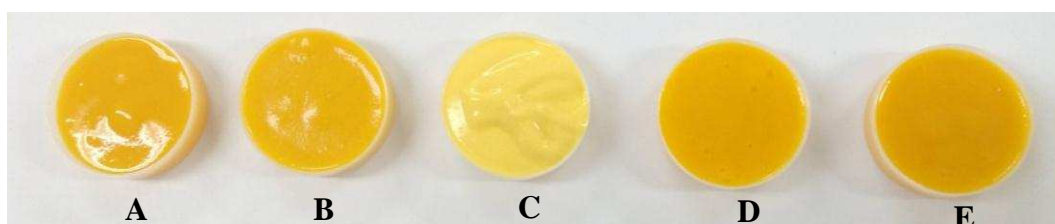


Figura 14 – Polpa de manga Ubá sem aditivos (A), polpa de manga Ubá com os aditivos albumina (B), Emustab[®] (C), Superliga neutra[®] (D) e maltodextrina (E) na concentração de 2,5%.

A coordenada L^* varia numa escala de 0 (preto) a 100 (branco), observou-se na Tabela 11 que o emulsificante Emustab[®] apresentou maiores valores de L^* em todas as concentrações do aditivo, ou seja foi o aditivo que apresentou coloração amarelo claro. Com o aumento da concentração de Emustab[®] houve um aumento do atributo L^* (Figura 15). Isso se deve ao fato do Emustab[®] ter sido o único aditivo que apresentou expansão (formação de espuma). Barreto (2011) estudando a espuma da pitanga roxa, também encontrou maiores valores da coordenada L^* nos tratamentos com Emustab[®]. Segundo este mesmo autor, no processo de batimento da polpa para a obtenção da espuma o ar fica preso em micelas líquidas, causando diminuição da densidade da polpa e aumentando seu volume. Esta expansão pode ser a causa do aumento do valor de L^* . Já os aditivos albumina, Superliga neutra[®] e maltodextrina apresentaram valores próximos aos valores encontrados para a polpa *in natura* da manga Ubá (62,22) em todas as concentrações utilizadas.

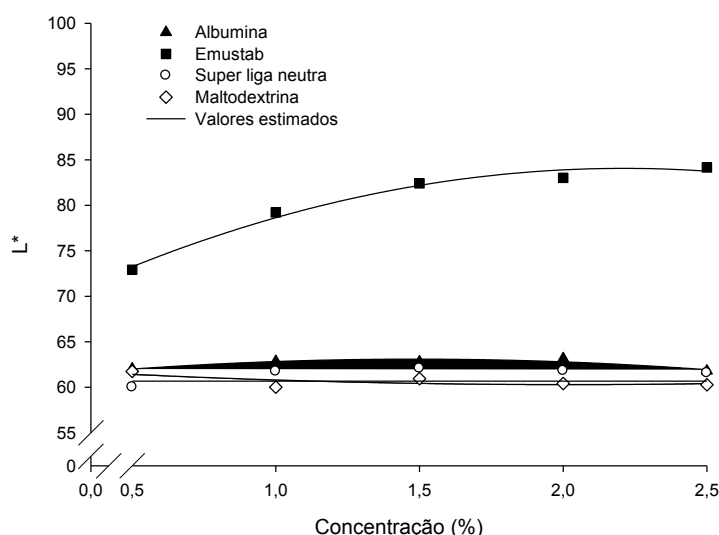


Figura 15 - Luminosidade (L^*) da espuma da manga Ubá para os emulsificantes albumina, Emustab[®], Superliga neutra[®] e maltodextrina nas concentrações de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5% em massa.

Observa-se na Tabela 11, que somente o Emustab[®] apresentou valores menores de a^* , com o aumento da concentração do Emustab[®] o valor de a^* reduziu. A coordenada a^* (Figura 16) representa a variação entre verde (valores negativos) ao vermelho (valores positivos), todos os valores foram positivos. Os valores de a^* para a albumina, Superliga neutra[®] e maltodextrina foram todos próximos ao valor encontrado para polpa de manga Ubá *in natura* (21,92).

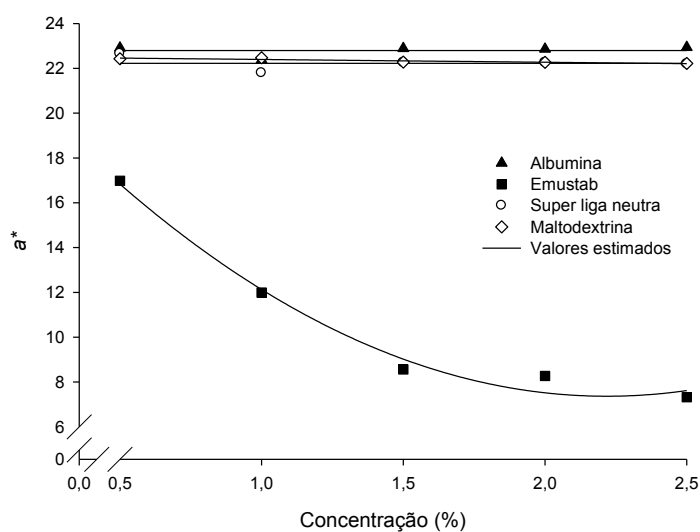


Figura 16 - Coordenada a^* da espuma da manga Ubá para os emulsificantes albumina, Emustab[®], Superliga neutra[®] e maltodextrina nas concentrações de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5% em massa.

Na Tabela 11, verifica-se que para a albumina, Superliga neutra[®] e maltodextrina os valores de b^* foram entre 74,07 e 79,16 próximo ao valor encontrado para a polpa de manga Ubá *in natura* (79,35), apresentando coloração amarela mais escura. Já o Emustab[®] apresentou os menores valores médios de b^* , que reduziram com o aumento da concentração, apresentando coloração fraca do amarelo. Isso se deve ao fato de ter ocorrido formação de espuma somente quando se acrescentou o Emustab[®], enquanto ao se utilizar albumina, Superliga neutra[®] e maltodextrina não houve formação de espuma. Em relação à coordenada b^* (Figura 17), que representa a variação de azul (valores negativos) ao amarelo (valores positivos), todos os valores médios de b^* foram positivos indicando tendência ao amarelo.

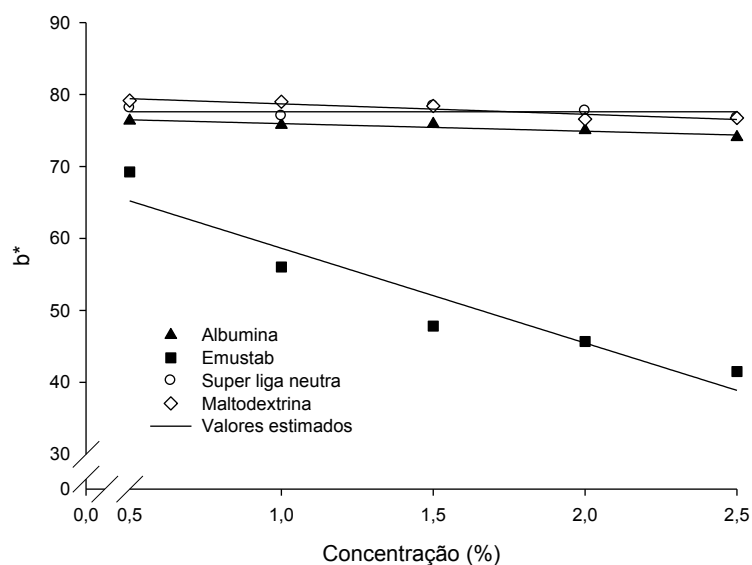


Figura 17 - Coordenada b^* da espuma da manga Ubá para os emulsificantes albumina, Emustab[®], Superliga neutra[®] e maltodextrina nas concentrações de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5% em massa.

Estão apresentadas na Tabela 12, as equações ajustadas aos dados experimentais das coordenadas L^* , a^* , b^* da espuma da manga Ubá em função da concentração do emulsificante, com seus respectivos coeficientes de determinação. Onde observa-se um bom ajuste, por apresentar coeficiente de regressão superior a 81% e significância dos parâmetros dos modelos.

Tabela 12 - Equações ajustadas aos dados experimentais das coordenadas L^* , a^* e b^* da espuma da manga Ubá em função do emulsificante, com seus respectivos coeficientes de determinação

Emulsificante	Equações ajustadas	R ²
Albumina	$\hat{L}^* = -1,13^{***} xC^2 + 3,35^{***} xC + 60,61^*$	0,83
	$\hat{a}^* = 22,80$	-
	$\hat{b}^* = -1,06^{**} xC + 77,02^*$	0,88
Emustab [®]	$\hat{L}^* = -3,69^{***} xC^2 + 16,32^{**} xC + 66,01^*$	0,98
	$\hat{a}^* = 3,21^{**} xC^2 - 14,23^{**} xC + 23,15^*$	0,98
	$\hat{b}^* = -13,17^{**} xC + 71,80^*$	0,90
Superliga neutra [®]	$\hat{L}^* = -1,30^{***} xC^2 + 4,55^{***} xC + 58,20^*$	0,93
	$\hat{a}^* = 22,23$	-
	$\hat{b}^* = 77,61$	-
Maltodextrina	$\hat{L}^* = 60,68$	-
	$\hat{a}^* = -0,12^{**} xC + 22,52^*$	0,81
	$\hat{b}^* = -1,45^{**} xC + 80,15^*$	0,86

* Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

**Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

***Significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.

Os valores médios das coordenadas h^* , C^* e IE que são atributos de cor estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Médias das coordenadas h^* , C^* e IE da espuma da manga Ubá com os emulsificantes Albumina, Emustab[®], Superliga neutra[®] e Maltodextrina nas concentrações de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5% em massa

h^* (Cor)				
Concentração (%)	Albumina	Emustab [®]	Superliga Neutra [®]	Maltodextrina
0,5	73,30 c	76,22 a	73,83 b	74,18 b
1,0	73,54 c	77,93 a	74,20 b	74,12 b
1,5	73,22 c	79,85 a	74,16 b	74,13 b
2,0	73,06 c	79,73 a	74,03 b	73,79 b
2,5	72,79 c	80,00 a	73,88 b	73,83 b

C^* (Cor)				
Concentração (%)	Albumina	Emustab [®]	Superliga Neutra [®]	Maltodextrina
0,5	79,71 c	71,29 d	81,35 b	82,27 a
1,0	79,00 c	57,30 d	80,05 b	82,13 a
1,5	79,28 b	48,58 c	81,51 a	81,50 a
2,0	78,45 c	46,42 d	80,86 a	79,75 b
2,5	77,54 b	42,14 c	79,89 a	79,80 a

IE				
Concentração (%)	Albumina	Emustab [®]	Superliga Neutra [®]	Maltodextrina
0,5	354,36 c	202,20 d	409,25 a	392,81 b
1,0	337,02 c	121,68 d	368,30 b	395,59 a
1,5	339,16 c	89,43 d	377,81 b	381,36 a
2,0	325,99 c	83,11 d	373,59 b	381,36 a
2,5	332,80 c	71,49 d	365,46 b	384,52 a

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Segundo Ramallo & Mascheroni, 2012, o ângulo hue (tonalidade) descreve como a cor é percebida como vermelho, amarelo, verde, azul. Esse atributo é amplamente utilizado como ferramenta de análise para descrever a cor. A tonalidade apresenta ângulos de 0° a 270°, apresentando variação de acordo com a seguinte escala: ângulo 0° (cor vermelha pura), 90° (cor amarela pura), 180° (cor verde pura) a 270° (cor azul pura).

Analisando a Tabela 13, pode-se perceber que os aditivos albumina, Superliga neutra[®] e maltodextrina apresentaram valores médios de 72,79 a 74,20. Entretanto, para o Emustab[®] os valores médios de h^* foram maiores.

Os valores médios de h^* , na Figura 18, para todos aditivos foram mais próximo ao valor do ângulo de 90°, o que indica uma tendência de amarelo-alaranjado.

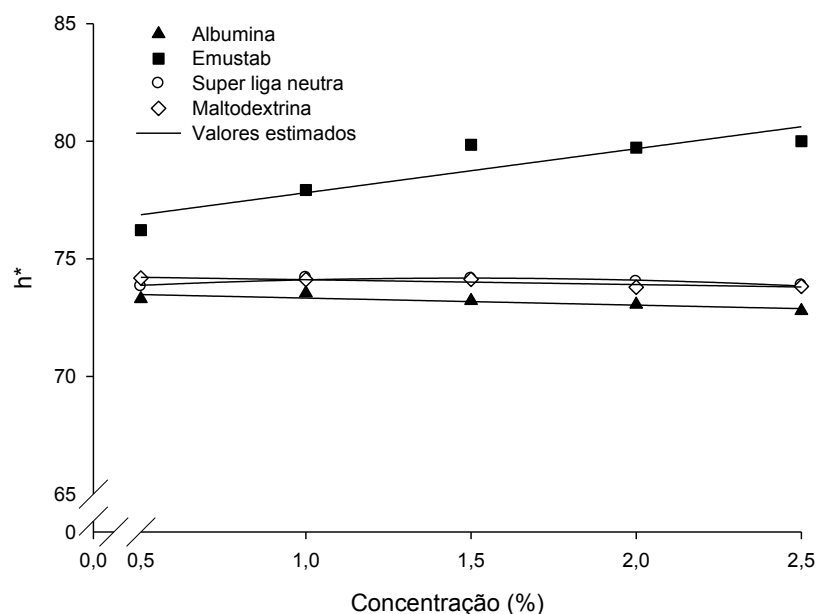


Figura 18 - Ângulo hue (h^*) da espuma da manga Ubá para os emulsificantes albumina, Emustab[®], Superliga neutra[®] e maltodextrina nas concentrações de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 % em massa.

Na Tabela 13, nota-se que utilizando os aditivos albumina, Superliga neutra[®] e maltodextrina os valores médios de C^* variaram entre 77,54 e 82,27. Quando foi utilizado o Emustab[®] houve diminuição significativa dos valores médios de C^* , resultando em um pó com coloração menos intensa, que pode ser atribuído à formação da espuma.

O croma apresenta valor zero no centro do eixo de cores e à medida que se distancia do centro aumenta seu valor (MARTINAZZO *et al.*, 2008), ou seja, quanto maior o valor do croma, maior a saturação ou intensidade de cor do produto. O croma C^* (Figura 19) seguiu a mesma tendência dos valores da coordenada b^* (Figura 17), indicando que a coordenada b^* foi mais expressiva na determinação do croma da polpa de manga Ubá.

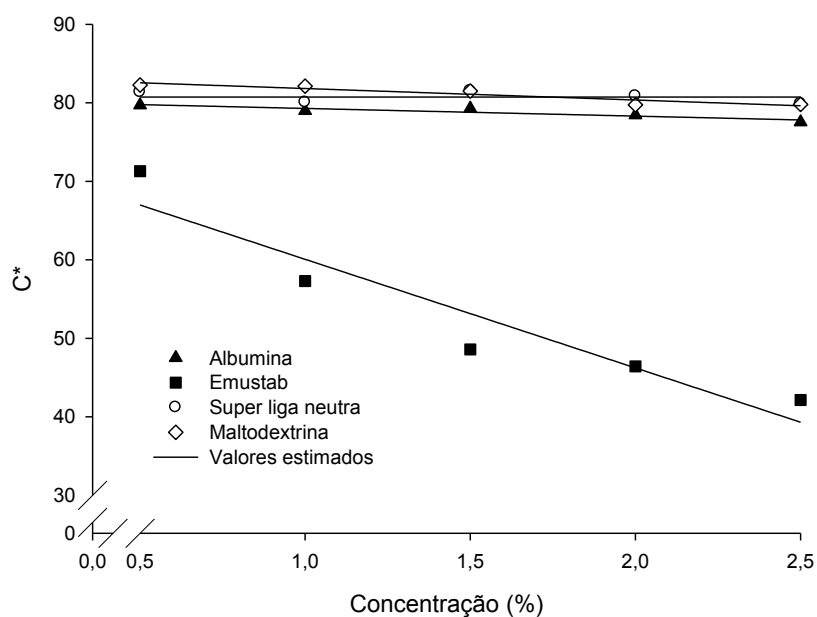


Figura 19 - Cromo (C^*) da espuma da manga Ubá para os emulsificantes Albumina, Emustab[®], Superliga neutra[®] e Maltodextrina nas concentrações de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5% em massa.

O IE (índice de escurecimento) dos aditivos albumina, Superliga neutra[®] e maltodextrina apresentaram os maiores valores médios, acima de 325,99 chegando até a 409,25 (Tabela 13). Já para o Emustab[®] apresentou os menores valores médios de IE (Figura 20), isso se deve a formação da espuma durante o processo de batadura da polpa da manga Ubá, em que a polpa se tornou mais clara após esse processo.

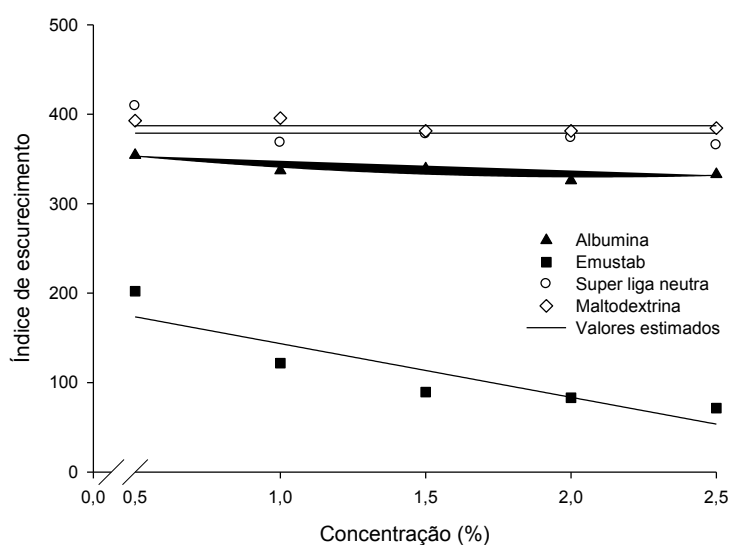


Figura 20 - O IE (Índice de escurecimento) da espuma da manga Ubá para os emulsificantes Albumina, Emustab[®], Superliga neutra[®] e Maltodextrina nas concentrações de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 % em massa.

Observa-se na Tabela 14, as equações ajustadas aos dados experimentais de h^* , C^* e IE da espuma da manga Ubá em função da concentração do emulsificante, com seus respectivos coeficientes de determinação, certificando-se o bom ajuste das equações.

Tabela 14 - Equações ajustadas aos dados experimentais dos índices colorimétricos h^* , C^* e IE da espuma da manga Ubá em função do emulsificante, com seus respectivos coeficientes de determinação

Emulsificante	Equações ajustadas	R ²
Albumina	$\hat{h}^* = -0,30^{***}xC + 73,63^*$	0,72
	$\hat{C}^* = -0,98^{**}xC + 80,26^*$	0,85
	$\hat{IE} = 9,43xC^2 - 39,11xC + 370,61^*$	0,84
Emustab [®]	$\hat{h}^* = 1,87^{**}xC + 75,94^*$	0,81
	$\hat{C}^* = -13,84^{**}xC + 73,90^*$	0,90
	$\hat{IE} = -60,00^{**}xC + 203,58^*$	0,80
Superliga neutra [®]	$\hat{h}^* = -0,32^{***}xC^2 + 0,95^{***}xC + 73,48^*$	0,85
	$\hat{C}^* = 80,73$	-
	$\hat{IE} = 378,88$	-
Maltodextrina	$\hat{h}^* = -0,21^{**}xC + 74,32^*$	0,78
	$\hat{C}^* = 83,29$	-
	$\hat{IE} = 387,13$	-

*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

**Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

***Significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.

6.3. Caracterização da espuma e seleção do emulsificante

A caracterização da espuma foi realizada a fim de selecionar o tipo de aditivo e a concentração deste para posterior utilização na secagem em leito de espuma. Os critérios utilizados para esta seleção se basearam na estabilidade, massa específica e expansão das espumas.

6.3.1. Estabilidade da espuma

Nos ensaios de estabilidade das combinações de polpa de manga Ubá, com os aditivos albumina, Emustab[®], Superliga neutra[®] e maltodextrina nas concentrações (0,5; 1,0; 1,5; 2,0 e 2,5%) observou-se que todas as combinações permaneceram estáveis durante o período de duas horas. O mesmo ocorreu com o controle (polpa *in natura*), que apesar de ter ocorrido diferença significativa em relação à polpa com os diferentes aditivos, apresentou estabilidade próxima a 100% (Tabela 15).

Tabela 15 - Valores médios da variável estabilidade da polpa e da espuma formada com os aditivos, Albumina (A), Emustab[®] (E), Superliga neutra[®] (S) e Maltodextrina (M) nas concentrações de 0,5% (1), 1,0% (2), 1,5% (3), 2,0% (4) e 2,5% (5)

Tratamento	Estabilidade (%)
Polpa	94,46
A-1	100*
A-2	100*
A-3	100*
A-4	100*
A-5	100*
E-1	100*
E-2	100*
E-3	100*
E-4	100*
E-5	100*
S-1	100*
S-2	100*
S-3	100*
S-4	97,34
S-5	100*
M-1	96,23
M-2	98,13
M-3	98,43*
M-4	97,21
M-5	96,38

As médias seguidas com * na coluna diferem do valor da polpa pelo teste de Dunnett ($P < 0,05\%$).

De acordo com Bastos *et al.* (2005), a análise de estabilidade apresenta grande importância para determinar a quantidade mínima a ser usada do emulsificante para a formação de espuma para a realização secagem. Ao longo do processo de secagem, a espuma deve permanecer estável para que não ocorra colapso celular, levando a perda de qualidade do produto final, comprometendo a secagem (KARIM & WAI, 1999). Portanto, para a eficiência do processo de secagem em leite de espuma o aditivo a ser utilizado deve ter a capacidade de produzir espuma e também manter a espuma estável durante o processo de secagem.

Souza (2011), estudando a polpa de cupuaçu, com características de viscosidade semelhante à polpa de manga Ubá, afirma que a alta viscosidade da polpa pode ter contribuído para essa elevada estabilidade. Em seu trabalho também foi observada estabilidade na polpa *in natura*, assim como na polpa com a adição dos mesmos aditivos utilizados neste trabalho, nas concentrações 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0% para a formação da espuma. Soares *et al.* (2009), ao estudar a polpa de araçá-boi

utilizando os mesmos aditivos nas concentrações de 5,0; 10; 15 e 20% também observaram que a estabilidade das espumas foi mantida constante para as diferentes concentrações.

Logo, pelo fato das combinações de polpa de manga Ubá com os aditivos albumina, Emustab[®], Superliga neutra[®] e maltodextrina em todas as concentrações (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5%) se manterem estáveis, a estabilidade não pôde ser usada como critério na escolha do aditivo a ser utilizado na produção da espuma nos períodos avaliado.

6.3.2. Massa específica

Os valores médios da variável massa específica da espuma diferiram significativamente em relação ao controle (polpa de manga *in natura*) somente para o aditivo Emustab[®] (E), nas concentrações 1,5% (E-3), 2,0% (E-4) e 2,5% (E-5) pelo teste Dunnett a 5% de probabilidade (Tabela 16).

Tabela 16 - Valores médios da variável, massa específica da polpa e da espuma formada com os aditivos, Albumina (A), Emustab[®] (E), Superliga neutra[®] (S) e Maltodextrina (M) nas concentrações de 0,5% (1), 1,0% (2), 1,5% (3), 2,0% (4) e 2,5% (5)

Tratamento	Massa Específica (kgm ⁻³)
Polpa	1,12
A-1	1,12
A-2	1,09
A-3	1,09
A-4	1,09
A-5	1,09
E-1	0,66
E-2	0,80
E-3	0,34*
E-4	0,31*
E-5	0,32*
L-1	1,10
L-2	1,10
L-3	1,10
L-4	1,09
L-5	1,11
M-1	1,13
M-2	1,13
M-3	1,13
M-4	1,13
M-5	31,22

As médias seguidas com * na coluna diferem do valor da polpa pelo teste de Dunnett (P <0,05).

Na Tabela 17, estão apresentados os resultados referentes à massa específica da espuma utilizando-se os aditivos albumina, Emustab[®], Superliga neutra[®] e maltodextrina nas concentrações de 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 e 2,5%.

Tabela 17 - Valores médios das variáveis massa específica da espuma da manga para os emulsificantes Albumina, Emustab[®], Superliga neutra[®], Maltodextrina nas concentrações (CO) de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5% em massa

CO(%)	Massa específica (kg m ⁻³)			
	Albumina	Emustab [®]	Superliga Neutra [®]	Maltodextrina
0,5	1116,42 a	656,99 b	1097,16a	1126,39 a
1,0	1094,51 a	799,60 a	1097,34 a	1129,19 a
1,5	1088,58 a	342,17 b	1097,56 a	1129,25 a
2,0	1086,53 a	313,00 b	1093,52 a	1130,61 a
2,5	1085,81 b	317,98 c	1107,68 b	1136,63 a

Médias seguidas com a mesma letra, na linha para cada concentração, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

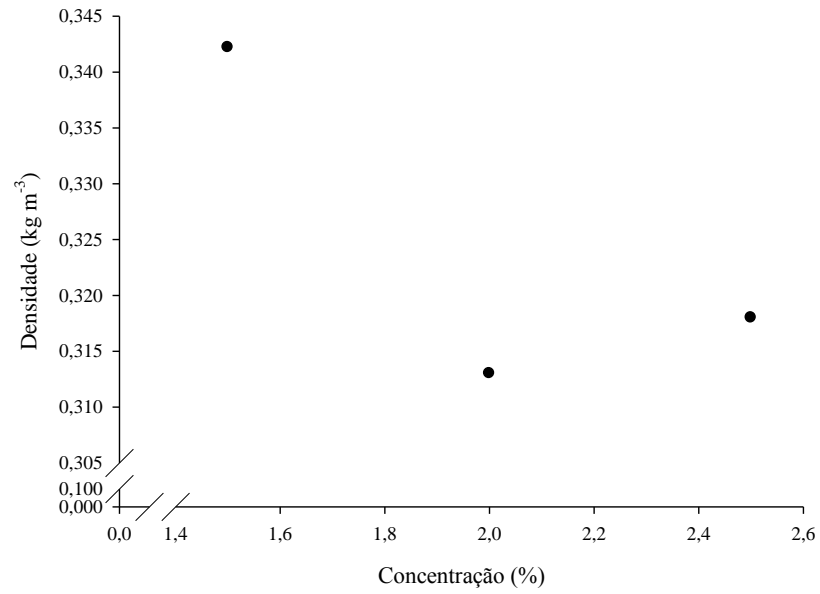
Pode-se observar que a albumina, Superliga neutra[®] e maltodextrina apresentaram estatisticamente (P<0,05) maiores valores médios de massa específica, exceto na maior concentração (2,5%) em que a albumina e a Superliga neutra[®] apresentaram menores médias. Já o Emustab[®] foi o aditivo que apresentou estatisticamente (P<0,05) menores valores médios de massa específica nas concentrações 0,5; 1,5; 2,0 e 2,5%.

Segundo Van Arsdel & Copley (1964), para que o aditivo seja eficiente é necessário que a massa específica apresente valor mínimo de 100 kg m⁻³ e máximo compreendido entre 500 kg m⁻³ e 600 kg m⁻³. Portanto, somente o aditivo Emustab[®] nas concentrações 1,5; 2,0 e 2,5% apresentou valores da massa específica na faixa de 100 a 600 kg m⁻³, que é a faixa recomendada para maior eficiência da formação da espuma.

Os mesmos resultados foram encontrados por Souza (2011), ao estudar as espumas da polpa do cupuaçu formadas com os aditivos albumina, Emustab[®], Superliga neutra[®] e maltodextrina, nas seguintes concentrações 2,5, 5,0, 7,5 e 10,0%, em que somente com a adição do emulsificante Emustab[®] ocorreu redução da massa específica.

A curva de regressão e sua equação que descreve o comportamento da massa específica da espuma, em função da concentração para o agente espumante Emustab[®], está representada na Figura 21. Observou-se uma tendência de redução da

massa específica da espuma, até valores próximos da concentração. de 2,2%, com o aumento da concentração do aditivo Emustab[®], logo em seguida ocorreu um aumento da massa específica.



6.3.3. Expansão

Quanto à expansão da espuma, observou-se que o aditivo Emustab[®] foi o aditivo que apresentou estatisticamente ($P < 0,05$) maiores valores médios de expansão, em relação aos aditivos albumina, Superliga neutra[®], maltodextrina. No entanto, somente nas concentrações 1,5; 2,0 e 2,5% do Emustab[®] que houve valores de expansão ideal, em que os valores médios de expansão foram de 227,02; 257,80 e 251,98%, respectivamente (Tabela 18). Portanto, pode-se inferir que o aditivo Emustab[®] nas concentrações acima de 1,5% foi o aditivo que apresentou melhor desempenho. De acordo com Dantas (2010), estudando manga Tommy Atkins com adição de diferentes agentes emulsificantes, observou que o valor ideal da expansão da espuma da manga deve ser acima de 100% para o processo de secagem.

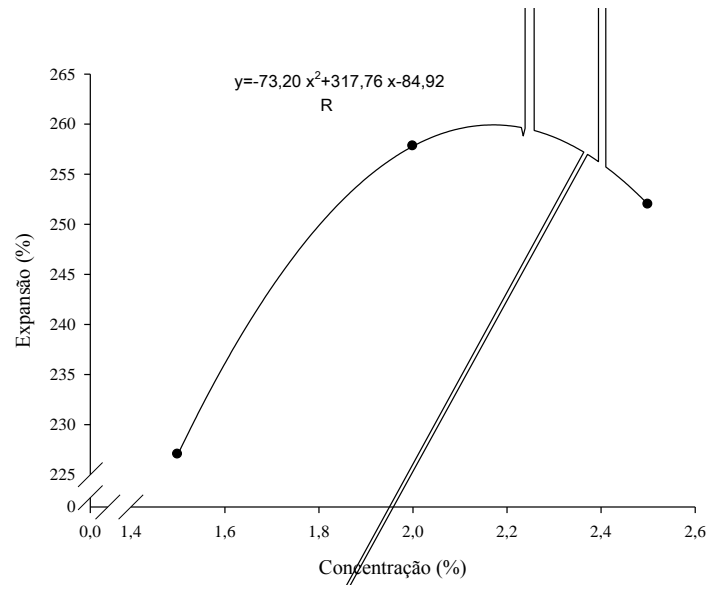
Tabela 18 - Valores médios das variáveis massa específica e expansão da espuma da manga para os emulsificantes Albumina, Emustab[®], Superliga neutra[®], Maltodextrina nas concentrações (CO) de 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5% em massa

CO(%)	Expansão (%)			
	Albumina	Emustab [®]	Superliga Neutra [®]	Maltodextrina
0,5	0,37 b	70,32 a	2,03 b	-0,52 b
1,0	2,37 b	39,92 a	1,99 b	-0,77 b
1,5	2,88 b	227,02 a	2,09 b	-0,77 b
2,0	3,19 b	257,80 a	2,40 b	-0,90 b
2,5	3,20 b	251,98 a	1,14 b	-1,42 b

Médias seguidas com a mesma letra, na linha para cada concentração, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Entre 1(a)3.99373(n)19.987(to)-27.6316(,) -8.98438()-188.907(a)n)24.0133(oh)19.0104(m)37.9 -1,42% na concentração de 2,5%. Segundo Bag *et al.* (2011), esse efeito contrário da expansão pode ocorrer quando se usa concentrações elevadas de determinados aditivos, tornando a polpa mais viscosa, impossibilitando a retenção de ar durante a secagem.

Na Figura 22, está representada a curva de regressão e a equação que descreve o comportamento da espuma da polpa de manga Ubá utilizando o Emustab[®]. Observa-se que à medida que aumenta a concentração do aditivo Emustab[®] ocorre um aumento da expansão da espuma da polpa de manga Ubá até próximo à concentração de 2,2%. Esse aumento da expansão ocorre por haver uma



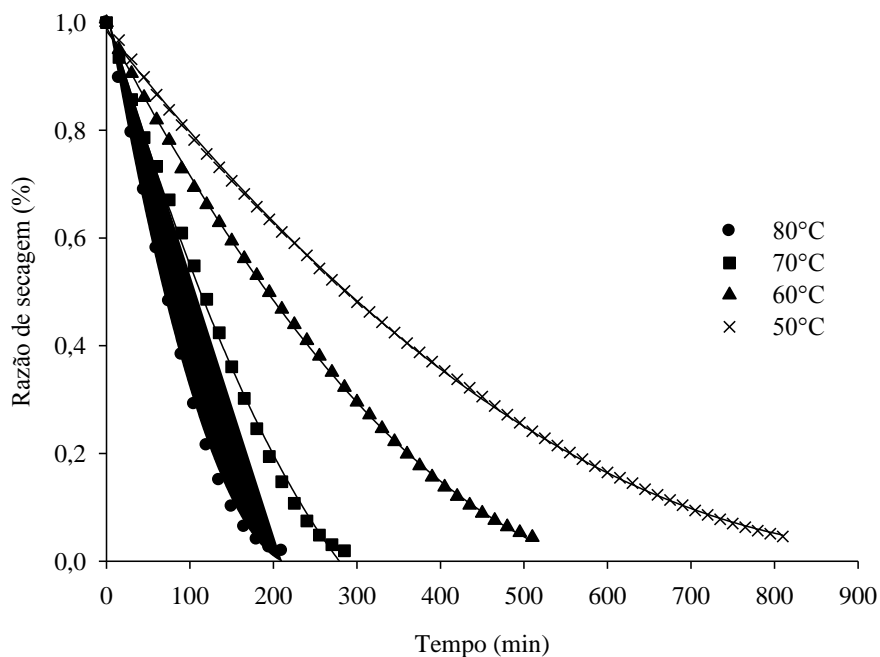


Figura 23 - Curvas de secagem em camada de espuma da polpa de manga Ubá nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, em função das umidades relativas e do tempo em minutos.

À medida que aumenta a temperatura, ocorre um decréscimo no tempo de secagem. O tempo médio para que atingisse o teor de água de equilíbrio para as temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C foram de 810, 510, 285, 210 min, respectivamente. No início da secagem ocorrem períodos de taxa constante de secagem quando a quantidade de água disponível ainda é grande, sendo evaporada como água livre por apresentar pressão constante e igual à pressão de vapor de água (PARK *et al.*, 2007). Já no final da secagem, a perda de água ocorre com maior dificuldade por estar no interior da espuma ocorrendo por capilaridade e difusão de vapor (Thuwapanichayanan *et al.*, 2008).

6.5. Modelagem matemática das curvas de secagem

Na Tabela 19, estão apresentados os modelos matemáticos utilizados que foram ajustados aos dados experimentais da secagem da espuma da manga Ubá em função do teor de água presente no pó da manga para cada temperatura de secagem.

Tabela 19 - Coeficientes de determinação (R^2), erro médio relativo (MSE), desvio padrão da estimativa (SE) e seus respectivos parâmetros estimados pelos modelos de secagem da espuma da manga Ubá nas temperaturas de 50, 60,70 e 80 °C

Modelo	T				Estimativa dos parâmetros							
	(°C)	MSE	SE	$R^2(\%)$	a	b	c	d	k	k_0	k_1	n
Aproximação da difusão	50	9,92	0,018	99,81	-53,68	0,99				$4,66 \times 10^{-3}$		
	60	13,13	0,023	99,70	-59,90	0,99				0,01		
	70	17,36	13,146	99,44	-71,58	0,99				0,01		
	80	15,21	0,026	99,75	-89,24	0,99				0,02		
Copace	50	50,50	0,088	95,30	1,00	22,52	18,43	0,12				
	60	54,94	0,096	94,96	1,00	20,80	16,58	0,17				
	70	3,26	0,008	99,97	0,99	$-3,67 \times 10^{-3}$	$3,80 \times 10^{-4}$	$7,69 \times 10^{-6}$				
	80	70,30	0,118	95,11	1,00	-23,41	-14,79	-0,59				
Dois termos	50	18,67	0,033	99,36	-0,06	1,06					3,19	0,00
	60	3,36	0,006	99,98	25,64	-24,64				$1,37 \times 10^{-3}$	$1,30 \times 10^{-3}$	
	70	32,16	0,067	98,03	0,47	0,61				0,01	0,01	
	80	37,13	0,068	98,38	0,48	0,60				0,01	0,01	
Henderson & Pabis modificado	50	41,40	0,067	97,40	0,49	0,31	0,24		$2,00 \times 10^{-3}$	$2,80 \times 10^{-3}$	$2,80 \times 10^{-3}$	
	60	25,44	0,046	98,92	0,35	0,37	0,35		0,01	$4,00 \times 10^{-3}$	$3,84 \times 10^{-3}$	
	70	29,08	0,066	98,40	0,71	0,43	-0,14		0,01	0,01	20992,76	
	80	38,23	0,065	98,88	0,71	0,46	-0,17		0,01	0,01	0,10	

Tabela 19 (Cont.) - Coeficientes de determinação (R^2), erro médio relativo (MSE), desvio padrão da estimativa (SE) e seus respectivos parâmetros estimados pelos modelos de secagem da espuma da manga Ubá nas temperaturas de 50, 60,70 e 80 °C

Modelo	T				Estimativa dos parâmetros							
	(°C)	MSE	SE	$R^2(\%)$	a	b	c	d	k	k_0	k_1	n
Henderson & Pabis	50	19,28	0,033	99,32	1,05				$2,85 \times 10^{-3}$			
	60	24,32	0,042	99,00	1,06				$4,36 \times 10^{-3}$			
	70	32,15	0,063	98,03	1,08				0,01			
	80	37,13	0,062	98,38	1,08				0,01			
Logarítimo	50	2,20	0,004	99,99	1,27		-0,28		$1,75 \times 10^{-3}$			
	60	3,71	0,007	99,98	1,42		-0,42		$2,28 \times 10^{-3}$			
	70	5,74	0,012	99,94	2,34		-1,33		$2,14 \times 10^{-3}$			
	80	11,68	0,022	99,82	1,59		-0,56		0,01			
Midilli	50	2,05	0,004	99,99	0,99	1,06			$1,50 \times 10^{-3}$			$-1,55 \times 10^{-3}$
	60	3,40	0,007	99,97	0,99	$-3,25 \times 10^{-3}$			$2,00 \times 10^{-3}$			1,07
	70	4,30	0,010	99,95	0,99	$-9,82 \times 10^{-4}$			$1,69 \times 10^{-3}$			1,19
	80	4,53	0,010	99,96	0,99	$-4,32 \times 10^{-3}$			$1,83 \times 10^{-3}$			1,37
Midilli modificado	50	2,31	0,005	99,99		$-1,69 \times 10^{-4}$			$1,82 \times 10^{-3}$			1,03
	60	3,65	0,007	99,97		$-3,49 \times 10^{-4}$			$2,39 \times 10^{-3}$			1,04
	70	4,57	0,010	99,95		$-1,08 \times 10^{-3}$			$2,10 \times 10^{-3}$			1,14
	80	4,96	0,010	99,96		$-4,91 \times 10^{-4}$			$2,23 \times 10^{-3}$			1,32

Tabela 19 (Cont.) - - Coeficientes de determinação (R^2), erro médio relativo (MSE), desvio padrão da estimativa (SE) e seus respectivos parâmetros estimados pelos modelos de secagem da espuma da manga Ubá nas temperaturas de 50, 60,70 e 80 °C

Modelo	T				Estimativa dos parâmetros							
	(°C)	MSE	SE	$R^2(\%)$	a	b	c	d	k	k_0	k_1	n
Newton	50	22,49	0,037	99,12					$2,70 \times 10^{-3}$			
	60	28,24	0,047	98,70					$4,08 \times 10^{-3}$			
	70	37,26	0,070	99,95					0,01			
	80	43,38	0,068	97,84					0,01			
Page modificado	50	9,82	0,019	99,78					$2,66 \times 10^{-3}$			1,22
	60	12,03	0,023	99,70					$4,04 \times 10^{-3}$			1,28
	70	13,13	0,029	99,58					0,01			1,48
	80	9,56	0,019	99,85					0,01			1,48
Page	50	9,82	0,019	99,78					$7,35 \times 10^{-4}$			1,22
	60	12,03	0,023	99,70					$8,58 \times 10^{-4}$			1,28
	70	13,13	0,029	99,58					$6,73 \times 10^{-4}$			1,48
	80	9,56	0,019	99,85					$1,31 \times 10^{-3}$			1,48
Polinomial de segundo grau	50	1,10	0,004	99,99	$1,01 \times 10^{-6}$	$-1,97 \times 10^{-3}$	0,98					
	60	1,77	0,005	99,99	$2,15 \times 10^{-6}$	$-2,97 \times 10^{-3}$	0,99					
	70	5,08	0,011	99,95	$4,25 \times 10^{-6}$	$-4,93 \times 10^{-3}$	1,01					
	80	7,76	0,017	99,89	$1,70 \times 10^{-5}$	-0,01	1,02					

Tabela 19 (Cont.) - - Coeficientes de determinação (R^2), erro médio relativo (MSE), desvio padrão da estimativa (SE) e seus respectivos parâmetros estimados pelos modelos de secagem da espuma da manga Ubá nas temperaturas de 50, 60,70 e 80 °C

Modelo	T (°C)	MSE	SE	$R^2(\%)$	Estimativa dos parâmetros							
					a	b	c	d	k	k_0	k_1	n
Polinomial de terceiro grau	50	0,88	0,003	99,99	$-2,70 \times 10^{-10}$	$1,34 \times 10^{-6}$	$-2,08 \times 10^{-3}$	0,99				
	60	1,69	0,005	99,99	$8,79 \times 10^{-11}$	$2,08 \times 10^{-6}$	$-2,95 \times 10^{-3}$	0,99				
	70	1,98	0,007	99,98	$2,09 \times 10^{-8}$	$-3,75 \times 10^{-6}$	$-4,13 \times 10^{-3}$	0,99				
	80	1,50	0,003	99,99	$1,08 \times 10^{-7}$	$-1,21 \times 10^{-5}$	-0,01	1,00				
Thompson	50	22,49	0,038	99,12	-6903,78	4,31						
	60	28,24	0,048	98,70	-6191,94	5,03						
	70	37,26	0,072	97,43	-5287,61	6,11						
	80	43,36	0,071	97,84	-3078,14	5,92						
Verna	50	18,67	0,032	99,36	-0,06				2501,83		$2,88 \times 10^{-3}$	
	60	13,13	0,023	99,70	-52,90				0,01		0,01	
	70	17,36	0,035	99,44	-70,68				0,01		0,01	
	80	15,21	0,026	99,75	-202,39				0,02		0,02	
Wang & Sing	50	2,36	0,007	99,97	$-2,05 \times 10^{-3}$	$1,09 \times 10^{-6}$						
	60	1,58	0,006	99,98	$-3,03 \times 10^{-3}$	$2,25 \times 10^{-6}$						
	70	5,41	0,011	99,94	$-4,82 \times 10^{-3}$	$3,91 \times 10^{-6}$						
	80	9,81	0,019	99,85	-0,01	$1,47 \times 10^{-5}$						

Para as quatro (50, 60, 70 e 80 °C) temperaturas utilizadas na secagem da espuma da manga Ubá verificou-se que todos os modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais, apresentaram coeficientes de determinação (R^2) superiores a 94%. Segundo Madamba *et al.* (1996), o coeficiente de determinação (R^2) sozinho não é um bom critério para a escolha do modelo matemático, também deve ser levado em consideração os valores do desvio padrão da estimativa (SE) e erro médio relativo (MSE). Em que, os valores de MSE sugerem o desvio dos valores observados relacionado à curva aferida pelo modelo (KASHANI-NEJAD *et al.*, 2007) e de acordo com Mohapatra & Rao (2005) para a escolha dos modelos é aconselhável que os valores de MSE sejam menores que 10%.

Analisando o MSE nota-se que os modelos que apresentaram valores menores que 10% em todas as temperaturas em estudo foram Midilli, Midilli modificado, Polinomial de segundo grau, Polinomial de terceiro grau e Wang & Sing. Entretanto, ao fazer a análise de tendência dos modelos, através da relação entre os valores obtidos pela dispersão de resíduos do modelo, verificou-se que esses modelos apresentaram um alto grau de tendenciosidade, exceto para o modelo polinomial de terceiro grau. Portanto, o melhor modelo matemático para a descrição da secagem da espuma da manga Ubá é o Polinomial de terceiro grau, sendo este selecionado para representar a cinética de secagem. Castiglioni *et al.* (2013), estudando o processo de secagem da massa fibrosa de mandioca também obteve melhores ajustes com equações polinomiais, sendo necessário elaborar um novo modelo para representar a secagem do produto.

6.6. Caracterização físico-química do pó

Na Tabela 20, encontram-se os valores médios das características físico-químicas do pó da manga Ubá, nas temperaturas de secagem 50, 60, 70 e 80 °C, utilizando o emulsificante Emustab[®] na concentração de 2,35%.

Tabela 20 – Valores médios das características físico-químicas do pó da manga Ubá, nas temperaturas de secagem 50, 60, 70 e 80 °C

Variáveis	Temperaturas de Secagem (°C)			
	50	60	70	80
Massa específica aparente (kg/m ³) a 25 °C	489,37	468,80	534,09	576,51
Teor de água (% b.s.)	8,87	8,34	3,79	4,24
Atividade de água à 25 °C	0,3862	0,5710	0,4546	0,4149
pH	4,5	4,5	4,49	4,47
ATT	0,17	0,16	0,16	0,17
Sólidos Solúveis Totais (°Brix)	3,47	3,89	3,97	4,32
Açúcares Solúveis totais (%)	36,70	33,51	44,52	39,66
Açúcares redutores (%)	10,83	10,58	14,17	13,22
L	63,54	62,25	65,57	62,67
<i>a</i> *	11,86	12,97	15,48	16,90
<i>b</i> *	44,14	49,64	58,09	54,65
C	47,09	51,30	60,12	57,21
h*	75,42	75,35	75,08	72,83
IE	126,94	150,07	178,79	177,17

ATT = Acidez Total Titulável, C = Croma, h* = Ângulo hue, IE = Índice de Escurecimento

Pode-se notar na Figura 24, que com o aumento da temperatura houve uma tendência de elevação da massa específica aparente (ρ) do pó da manga Ubá. A massa específica aparente é a razão entre a massa do sólido e o volume do sólido contendo poros. Ao aumentar a temperatura de secagem, pode-se observar visualmente que a granulometria reduziu. Isso se deve ao fato das partículas mais finas se aglomerarem com maior intensidade, o que resulta em uma massa maior em um mesmo volume, por conseguinte, ocorrendo maior valor de massa específica aparente (BAPTESTINI, 2015). Resultados semelhantes foram encontrados por Carvalho (2014) e por Baptestini (2015), quando estudaram processo de secagem em leite de espuma para a produção do pó com a polpa de abóbora e de graviola, respectivamente.

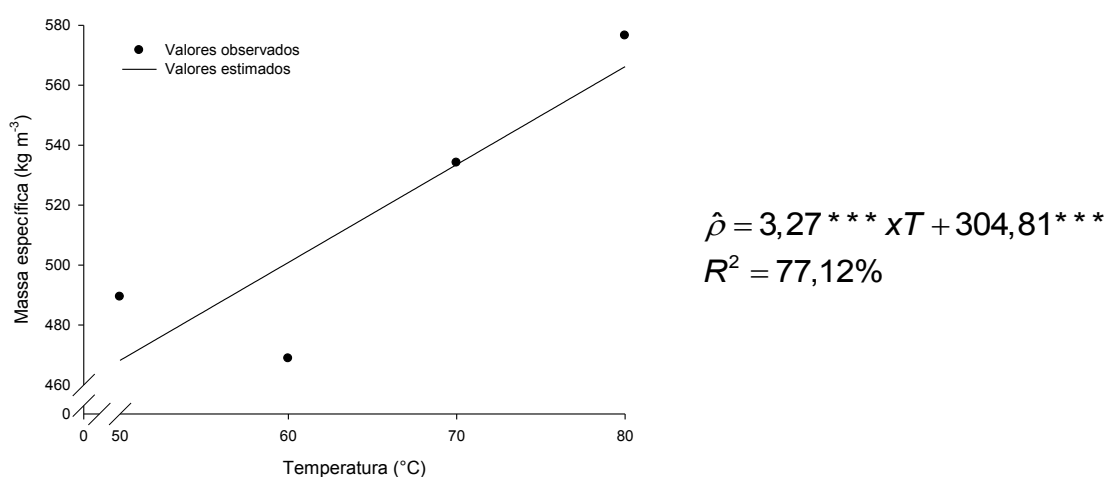


Figura 24 - Efeito da temperatura de secagem sobre a massa específica do pó da manga Ubá nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, equação de regressão em função da temperatura (T) e coeficiente de determinação (R^2).

Nas Figuras 25 e 26, observa-se a variação do teor de água e da atividade de água no pó da manga Ubá com o aumento da temperatura. O teor de água reduziu o com o aumento da temperatura. Segundo Tonon *et al.* (2009), em temperaturas mais elevadas ocorre uma maior diferença de temperaturas entre o produto e o ar de secagem, o que leva a uma maior transferência de calor, e em consequência uma maior perda de água do produto, o que resulta em teores de água mais baixos. Valores semelhantes foram encontrados por Baptestini (2015), estudando a secagem da polpa de graviola para a produção do pó, nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80°C. De acordo com as normas da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) 2007, produtos de frutas secos ou desidratados devem apresentar no

máximo 25% de umidade. Portanto, os valores encontrados para o teor de água do pó da manga Ubá estão dentro dos padrões estabelecidos pela ANVISA.

Na Tabela 20, pode-se observar que as a_w que foram baixas, com valores entre 0,39 e 0,57, o que contribui para conservação, por manter uma baixa atividade enzimática e não ocorrer crescimento de fungos filamentosos, leveduras e bactérias (JAY, 2006). Segundo Franco & Landgraf (1996), os menores valores de a_w para o desenvolvimento de bactérias, leveduras e bolores deteriorantes são 0,9; 0,88; e 0,80, respectivamente. Os valores encontrados por Baptestini (2015) estudando o pó de graviola foram semelhantes aos encontrados neste trabalho, variando entre 0,44 e 0,54. Para a a_w (Figura 25), não foi possível ajustar uma curva de regressão, sendo a média (0,46) representada pela reta.

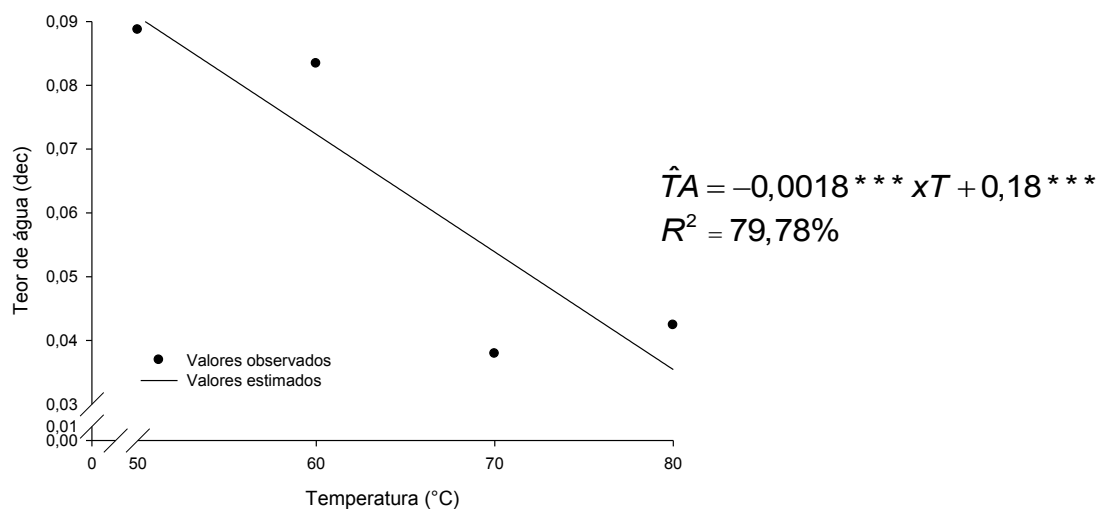


Figura 25 - Efeito da temperatura de secagem sobre o teor de água (b.s.) do pó da manga Ubá nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, equação de regressão em função da temperatura (T) e coeficiente de determinação (R^2).

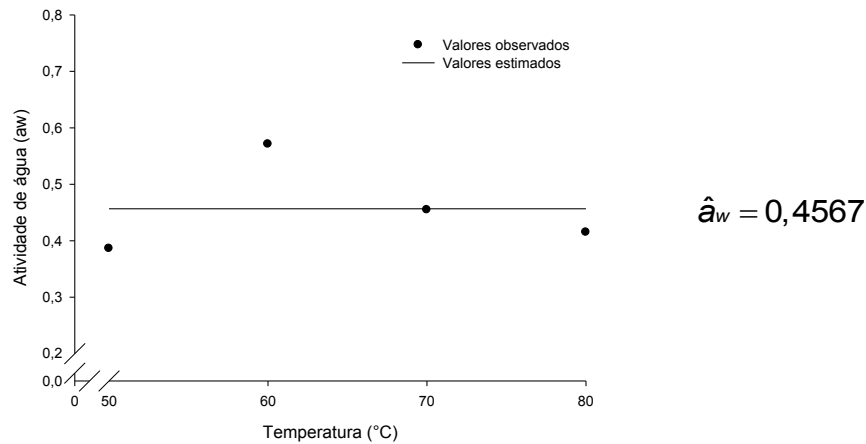


Figura 26 - Efeito da temperatura de secagem sobre a atividade de água (a_w) do pó da manga Ubá nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C e o valor médio de a_w .

O efeito da temperatura de secagem sobre a ATT e o pH estão apresentados nas Figuras 27 e 28, respectivamente. Onde se observa que aos dados experimentais da ATT não foi possível ajustar a curva da regressão, sendo a sua média (0,166) representada pela reta. Já o pH reduziu com a elevação da temperatura. Estes resultados corroboram com os encontrados por Souza *et al.* (2009), estudando a desidratação de frutículos de jaca nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, em que foi observado um menor pH na temperatura de 70 °C em relação a temperatura de 40 °C. Carvalho (2014), também encontrou resultado semelhante em seu trabalho da secagem em leito de espuma da polpa de abóbora para produção do pó nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C, onde o valor do pH nas temperaturas de 70 e 80 °C foram menores que nas demais temperaturas.

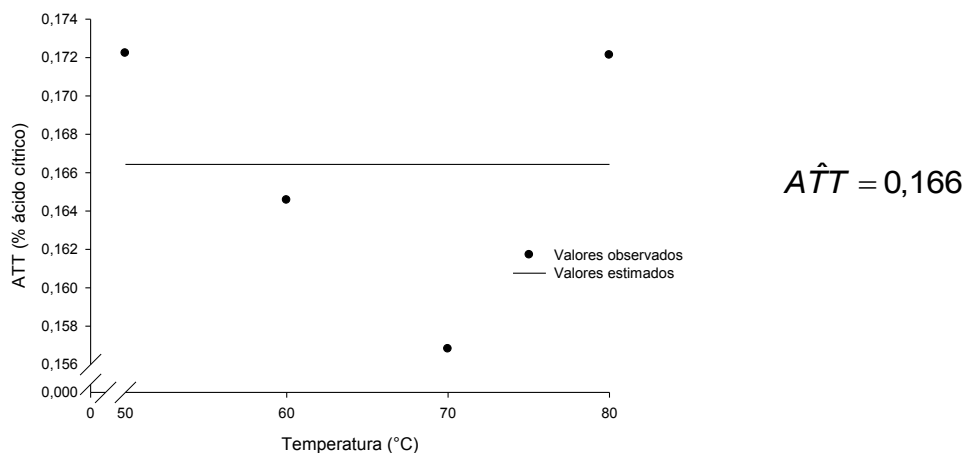


Figura 27 - Efeito da temperatura de secagem sobre a acidez total titulável (ATT) do pó da manga Ubá nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C e o valor médio de ATT.

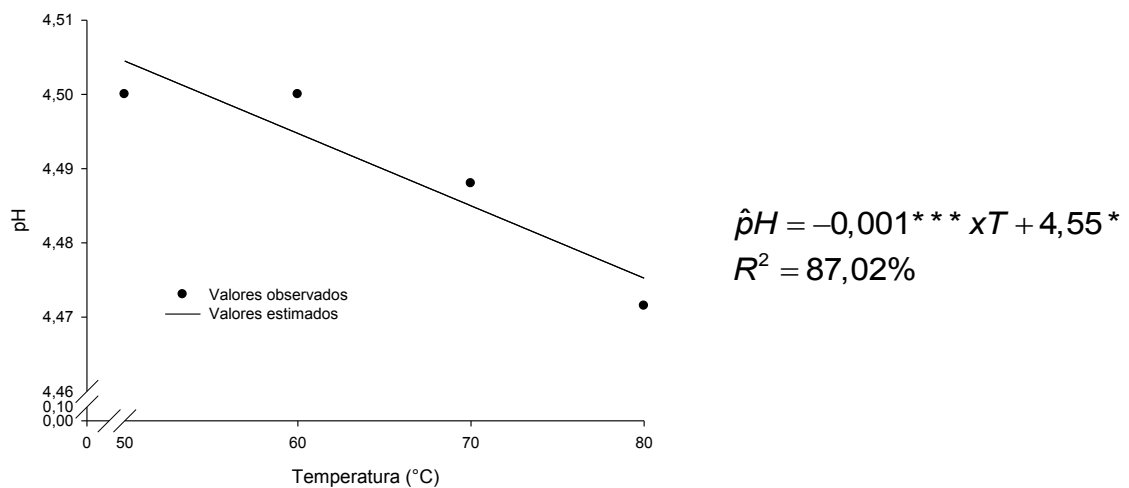


Figura 28 - Efeito da temperatura de secagem sobre o pH do pó da manga Ubá nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, equação de regressão em função da temperatura (T) e coeficiente de determinação (R²).

Os sólidos solúveis totais (SST) (Figura 29) aumentaram com o aumento da temperatura de secagem. Para os dados experimentais dos açúcares solúveis totais (AST) (Figura 30) e os açúcares redutores (AR) (Figura 31) não foi possível ajustar a curva da regressão. No entanto, como se pode observar na Tabela 20 a porcentagem de AST variou de 33,51% a 44,52% e AR 10,58% a 14,17% para o pó da manga Ubá, apresentando-se muito alta em relação à polpa da manga Ubá *in natura* AST (13,62%) e AR (4,24%). Este aumento ocorreu devido à redução do teor de água, o que levou a uma concentração dos SST, dos AST e dos AR no pó da manga Ubá.

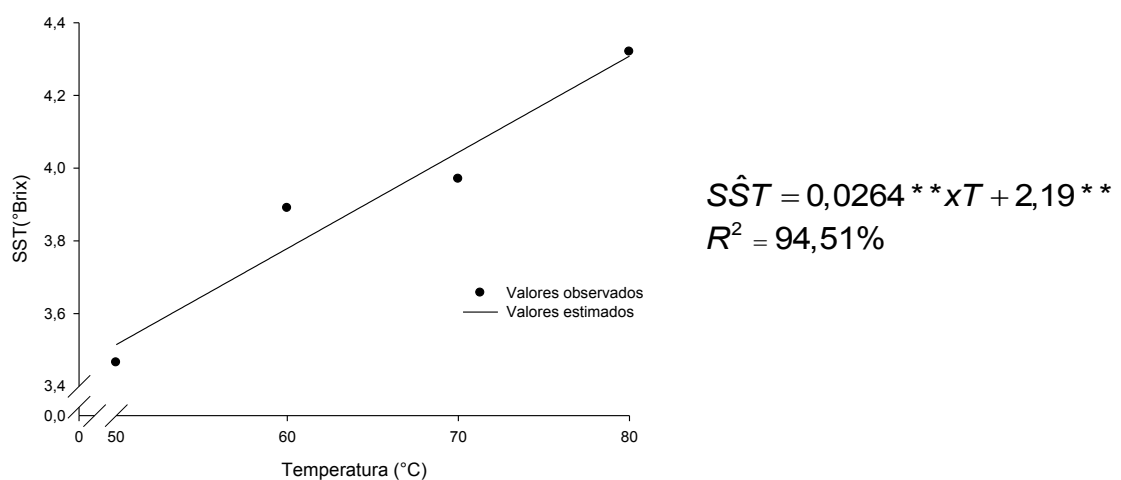


Figura 29 - Efeito da temperatura de secagem sobre os sólidos solúveis totais (SST) do pó da manga Ubá nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, equação de regressão em função da temperatura (T) e coeficiente de determinação (R²).

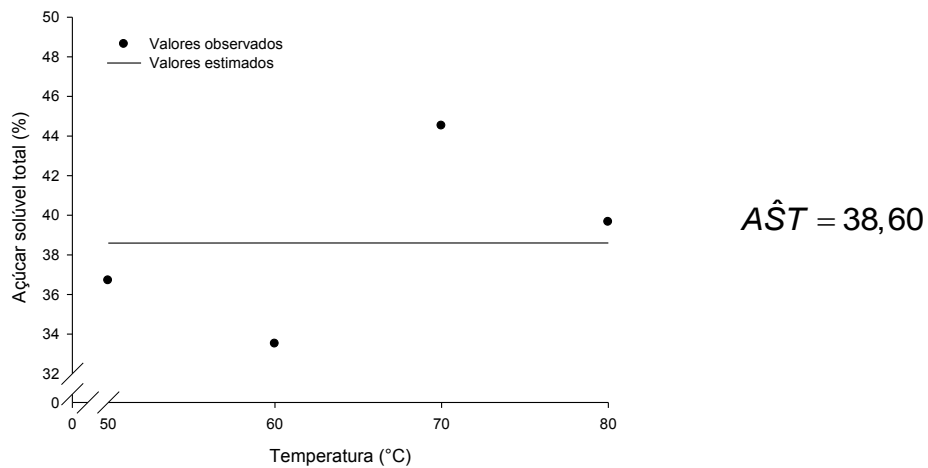


Figura 30 - Efeito da temperatura de secagem sobre o açúcar solúvel total (AST) do pó da manga Ubá nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C e o valor médio de AST.

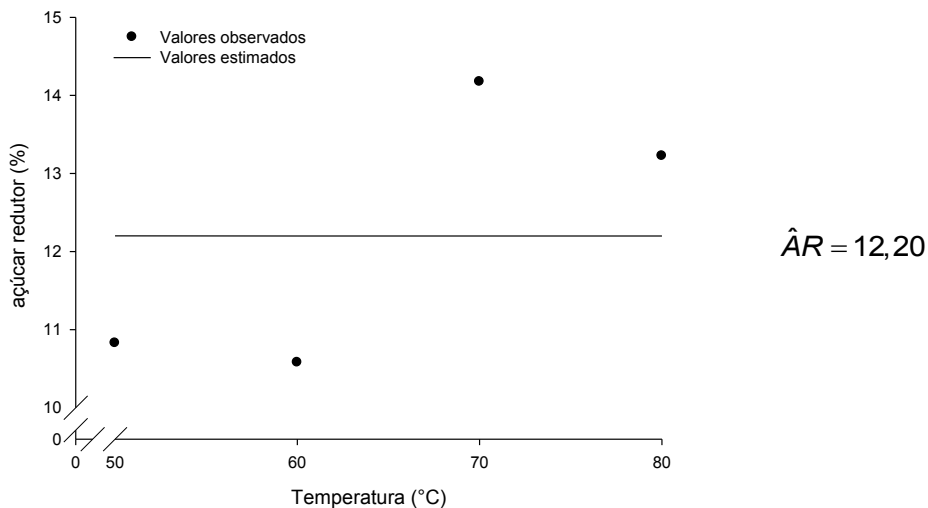


Figura 31 - Efeito da temperatura de secagem sobre o açúcar redutor (AR) do pó da manga Ubá nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C e o valor médio de AR.

Na indústria, a cor é uma característica de grande importância, pois é o primeiro critério analisado pelo consumidor, levando-o a aceitar ou rejeitar o produto (BATISTA, 1994). Aos dados experimentais do L* (Figura 32) não foi possível ajustar a curva da regressão, sendo a sua média (63,51) representada pela reta.

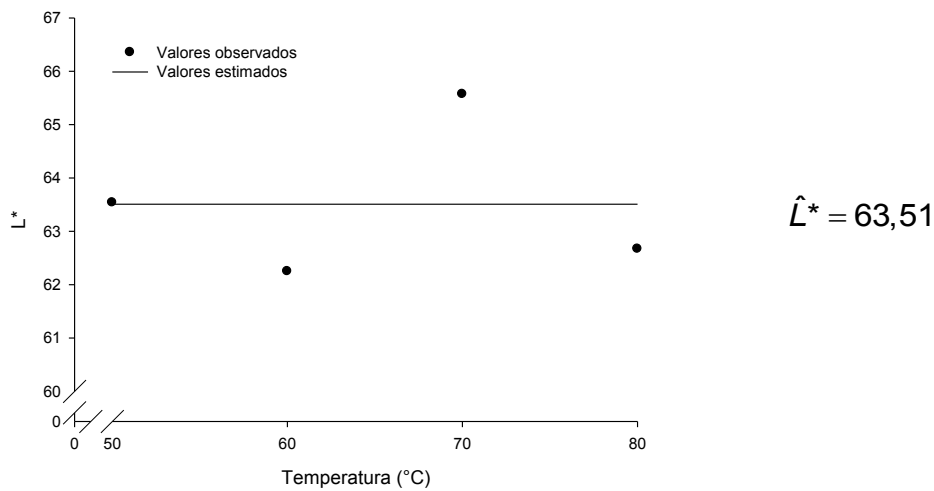


Figura 32 - Efeito da temperatura de secagem sobre a coordenada L^* do pó da manga Ubá nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C e o valor médio de L^* .

Para as coordenadas a^* (Figura 33) e b^* (Figura 34), C^* (Figura 35) e IE (Figura 36) pode-se verificar a influência da temperatura de secagem que aumentaram seus valores médios quando a temperatura se elevou. Oliveira *et al.* (2007), observaram resultados semelhantes quando estudaram a secagem osmótica da manga Tommy, para a coordenada a^* (60 °C $a^*= 6,52$; 70 °C $a^*=8,34$) e b^* (60 °C $b^*=20,01$; 70 °C $b^*=23,90$), que aumentaram com o acréscimo da temperatura.

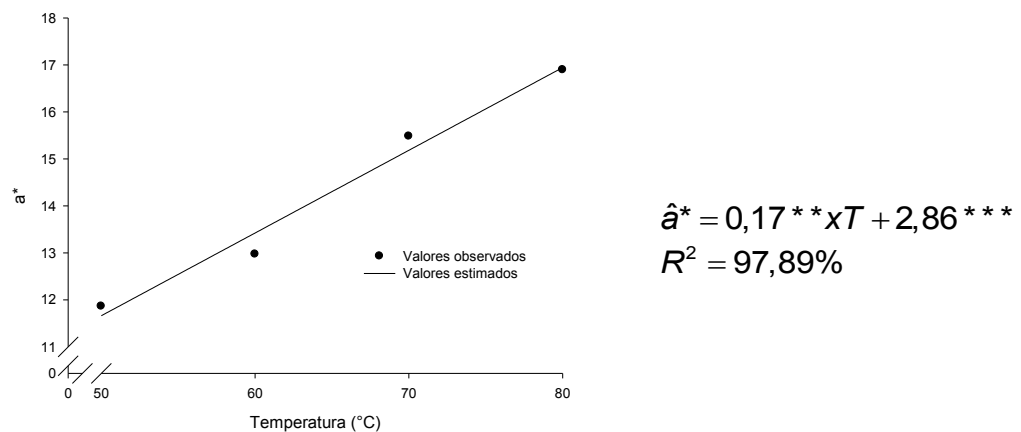


Figura 33 - Efeito da temperatura de secagem sobre a coordenada a^* do pó da manga Ubá nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, equação de regressão em função da temperatura (T) e coeficiente de determinação (R^2).

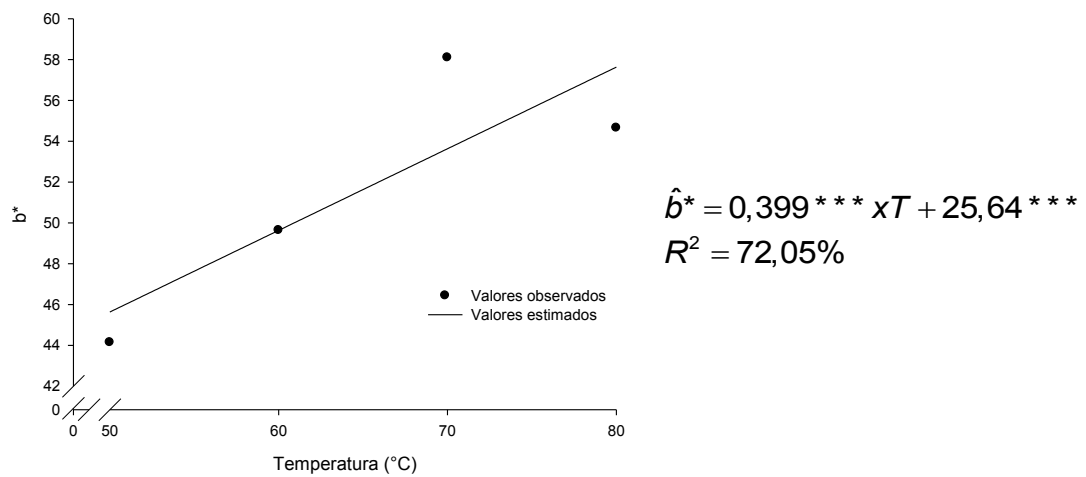


Figura 34- Efeito da temperatura de secagem sobre a coordenada b^* do pó da manga Ubá nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, equação de regressão em função da temperatura (T) e coeficiente de determinação (R^2).

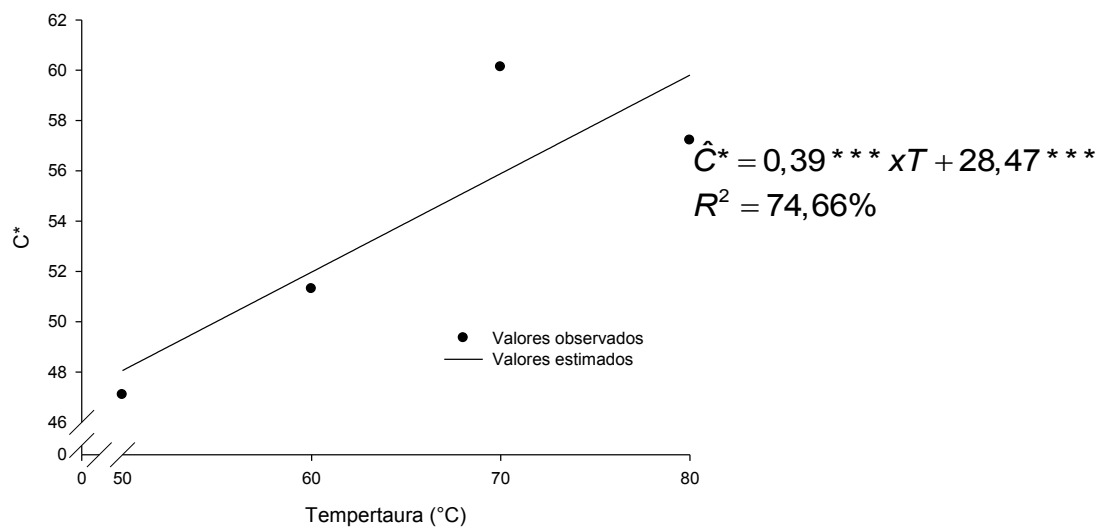


Figura 35- Efeito da temperatura de secagem sobre a coordenada C^* do pó da manga Ubá nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, equação de regressão em função da temperatura (T) e coeficiente de determinação (R^2).

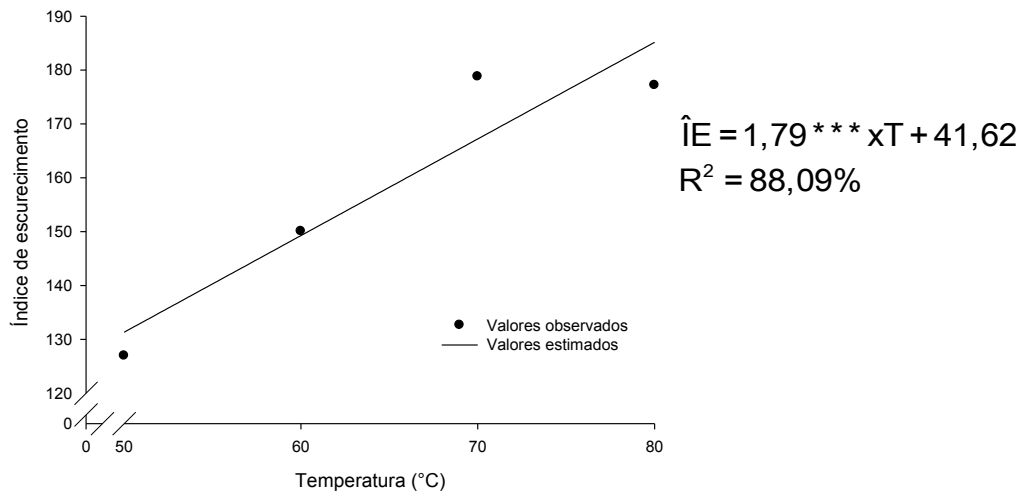


Figura 36 - Efeito da temperatura de secagem sobre o índice de escurecimento (IE) do pó da manga Ubá nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, equação de regressão em função da temperatura (T) e coeficiente de determinação (R²).

O h^* (Figura 37) reduziu com aumento da temperatura. Tonon *et al.* (2009) ao estudar a influência da temperatura sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó por secagem em *spray drying* também observou uma redução no valor de h^* . Para estes autores, esse aumento pode ter relação com a destruição das antocianinas em temperaturas mais elevadas.

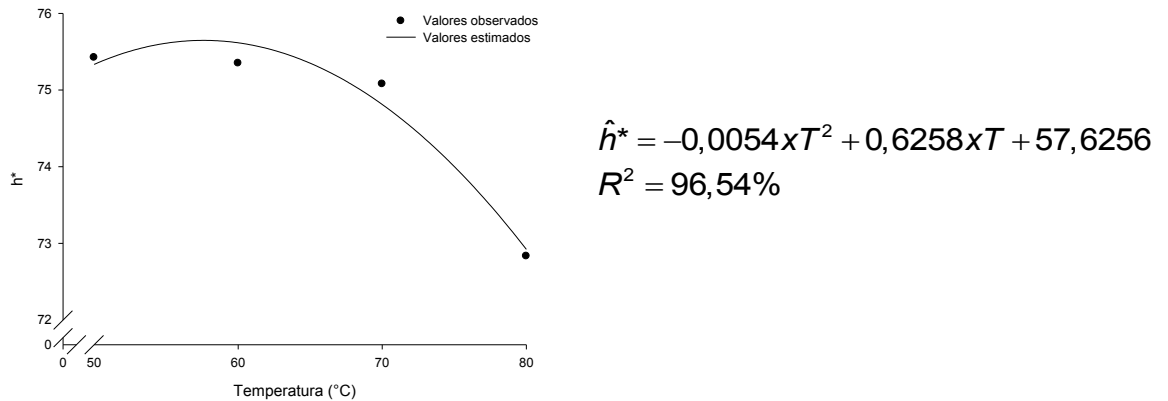


Figura 37- Efeito da temperatura de secagem sobre a coordenada h^* do pó da manga nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C equação de regressão em função da temperatura (T) e coeficiente de determinação (R²).

6.7. Isotherma de sorção

Na Tabela 21 encontram-se os valores do erro médio relativo (MRE), desvio padrão da estimativa (SE), coeficiente de determinação (R^2) e distribuição dos resíduos, assim como as estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados aos dados do teor de água de equilíbrio higroscópico do pó da manga Ubá, nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C em diferentes umidades relativas do ar.

Tabela 21 - Parâmetros dos modelos de equilíbrio higroscópico para a adsorção do pó da manga Ubá obtido em leito de espuma com seus respectivos erro médio relativo (MRE), desvio padrão da estimativa (SE), coeficientes de determinação (R^2), e análise da distribuição dos resíduos

Designação do modelo	MRE (%)	SE (% b.s.)	R^2 (%)	Distribuição de Resíduos	Estimativas dos Parâmetros
Chung-Pfost	34,20	4,71	96,74	Tendenciosa	a=127,44 b=16,18 c=-1112,90
COPACE	14,63	2,69	98,94	Aleatória	a=0,8136 b=-0,0019 c=3,4994
GAB 10 °C	6,24	2,01	99,65	Aleatória	C=17,0752 K=0,9852 U _m =7,0203
GAB 20 °C	4,71	1,02	99,98	Aleatória	C=86,7078 K=1,0309 U _m =6,0919
GAB 30 °C	7,93	1,74	99,73	Aleatória	C=22,4782 K=1,0525 U _m =5,7776
GAB 40 °C	11,09	2,62	99,56	Aleatória	C=23,2139 K=1,0844 U _m =5,5903
Halsey modificado	9,45	1,82	99,39	Aleatória	a=2,3841 b=-0,0072 c=1,1234
Oswin modificado	13,19	2,35	98,92	Aleatória	a=9,0231 b=0,0940 c=1,1580
Sigma COPACE	8,95	1,83	99,51	Aleatória	a=-0,7057 b=-0,0037 c=1,9160
Sigma COPACE II	9,93	1,47	99,69	Aleatória	a=-0,9864 b=0,0031 c=-0,0994

Analisando a Tabela 21, observa-se que todos os modelos apresentaram elevado coeficiente de determinação (superiores a 96%), indicando uma representação satisfatória dos dados experimentais. Entretanto, a análise do coeficiente de determinação, quando analisada isoladamente, não constitui um bom parâmetro de avaliação (MOHAPATRA & RAO, 2005). Logo, outros parâmetros devem ser levados em consideração, tais como: os valores do erro médio estimado (SE), e do erro médio relativo (MRE), além da distribuição dos resíduos.

Segundo Mohapatra & Rao (2005), o erro médio relativo (MRE) deve apresentar valores abaixo de 10% para que possa indicar um bom ajuste do modelo aos dados experimentais. No trabalho realizado, a aplicação do modelo de GAB seria uma boa opção de escolha, pois nas temperaturas de 10, 20 e 30 °C o MRE apresentou valores menores que 10%. Porém, na temperatura de 40 °C os valores de MRE foram superiores a 10%. Portanto, o modelo GAB não descreve adequadamente o fenômeno em estudo em toda a faixa estudada.

Já os modelos Halsey modificado, Sigma Copace e Sigma Copace II, além de apresentarem valores elevados do coeficiente de determinação (R^2), também exibiram baixos valores de MRE e SE.

Por fim, deve-se ressaltar a importância da distribuição dos resíduos na escolha do melhor modelo. Segundo Corrêa *et al.* (2014), através da distribuição dos resíduos (diferença entre os valores observados e os valores estimados pelo modelo) é possível avaliar a estimativa dos valores encontrados em relação aos modelos estudados. Ainda segundo estes autores, para que o modelo seja aceitável, os valores residuais devem se encontrar em uma zona horizontal próximo do zero, com distribuição aleatória.

Observa-se na Figura 38 que o comportamento apresentado pelos resíduos dos modelos Halsey modificado, Sigma Copace e Sigma Copace II foram aleatórios.

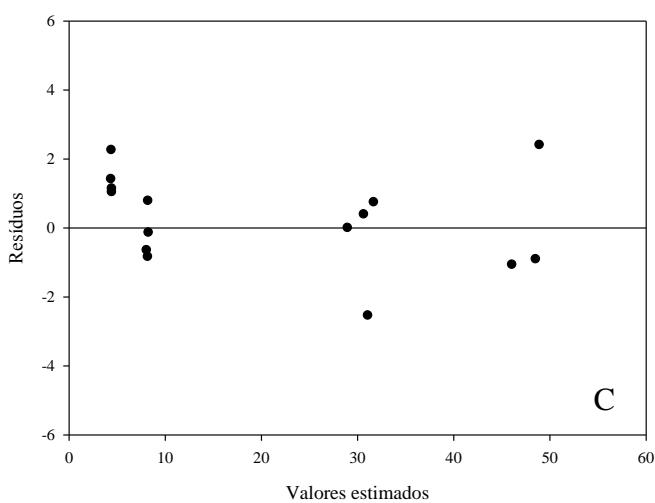
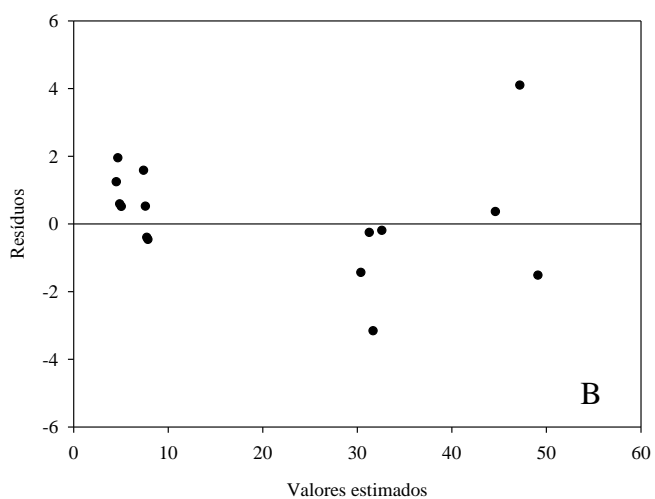
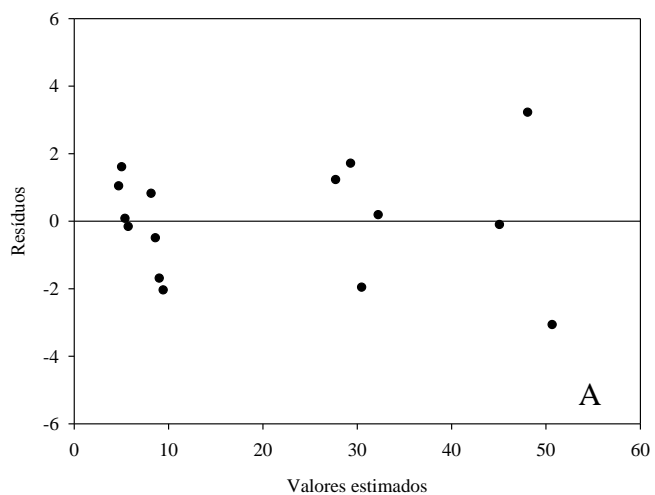


Figura 38 – Comportamento da distribuição dos resíduos dos modelos Halsey modificado (A), Sigma Copace (B) e Sigma Copace II (C) na obtenção das isotermas de adsorção do pó da manga Ubá.

Dentre os modelos estudados, o que melhor representa os dados experimentais do equilíbrio higroscópico do pó da manga Ubá é o Sigma Copace por apresentar valor elevado do coeficiente de determinação (99,51%), baixo valor do erro médio estimado (1,47%) e o menor erro médio relativo (8,95%), além de apresentar não tendenciosidade na distribuição de resíduos. O modelo Sigma Copace foi o que melhor se ajustou aos frutos de *Coffea canephora* (CORRÊA *et al.* 2014), frutos de crambe (COSTA *et al.*, 2015) e abacate (ALVES, 2014).

Na Figura 39 estão apresentadas as isotermas de adsorção do pó da manga Ubá estimadas pelo modelo Sigma Copace. Nota-se que com o aumento do teor de água de equilíbrio, ocorre aumento da umidade relativa, apresentando um comportamento típico de isotermas do tipo III, em conformidade com a IUPAC (1985). De acordo com Saltmarch & Labuzza (1980), tal comportamento é típico de alimentos que apresentam elevado teor de açúcar, pois com o aumento da umidade relativa do ar ocorre à dissolução do açúcar do produto convertendo o açúcar cristalino em amorfo. Podendo causar um aumento gradativo da absorção de água devido ao aumento do número de sítios de adsorção. Al-Muhtaseb *et al.* (2004) sugere que alimentos que apresentam altos teores de compostos solúveis, como os açúcares, apresentam uma curva da isoterma típica, com formato inicial mais plano, exibindo formato de “J”.

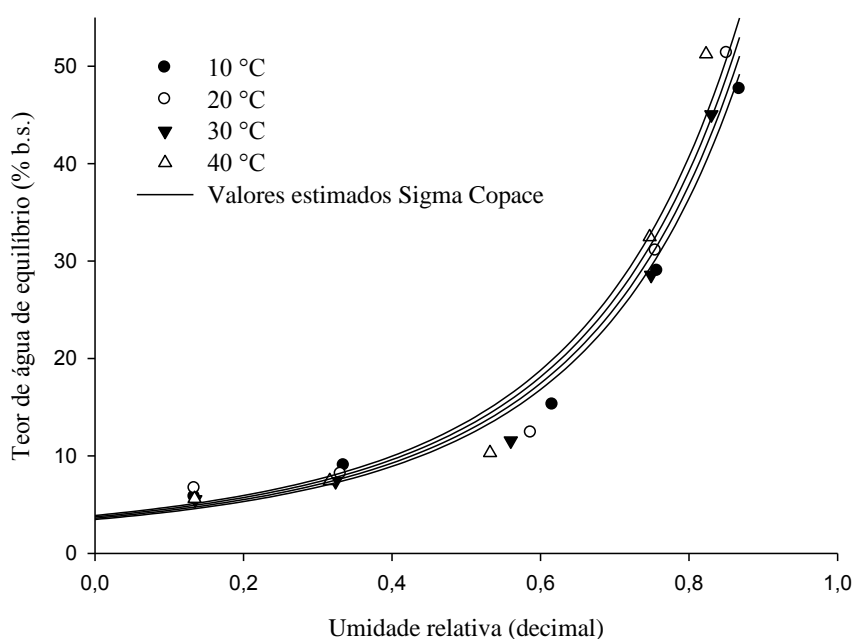


Figura 39 – Isotermas de adsorção do pó da manga Ubá estimadas pelo modelo Sigma Copace.

Observa-se na Figura 39, que para um valor constante de umidade relativa, ocorreu um pequeno aumento no teor de água de equilíbrio com o aumento da temperatura, que pode ser notado através da proximidade das curvas nas diferentes temperaturas. Moreira *et al.* (2013), estudando a higroscopicidade de pó manga Tommy Atkins, obtido por liofilização nas temperaturas de 25, 30 e 35 °C, também observou isotermas muito próximas entre si nas diferentes temperaturas utilizadas, comportando-se como isotermas do tipo III. Rocha *et al.* (2014), estudando as isotermas de secagem do pó da polpa de manga, também obtiveram isoterma do tipo III e variações do teor de água com o aumento de temperatura, condição semelhante às encontradas neste trabalho. Esse tipo característico de curva também foi observado para o pó da acerola (GOMES *et al.*, 2002), farinha de pupunha (FERREIRA & PENA 2003), açaí e cupuaçú (SILVA *et al.*, 2008a), pó de maracujá (PEDRO *et al.*, 2010), pó de cajá (OLIVEIRA *et al.* 2014),

As temperaturas escolhidas para a representação das isotermas de adsorção se deve à tentativa de aproximação às condições de armazenamento do produto durante a comercialização. Analisando a Figura 40, verifica-se que, independente da temperatura, o pó aumenta consideravelmente a absorção de água em umidades relativas superiores a 0,4, evidenciando que, nas condições analisadas, as amostras do pó da manga Ubá seca devem ser armazenadas de forma segura em condições com umidade relativa do ar inferior a 0,4 para a manutenção de seus teores de água e consequente qualidade.

7. CONCLUSÕES

Com base nos estudos realizados, pode-se concluir que:

- I. Nas diferentes temperaturas de secagem de polpa manga Ubá em leito de espuma, observou-se que as características físico-químicas da manga Ubá mantiveram-se ou concentraram-se em relação à polpa *in natura*;
- II. Os dados experimentais de secagem não se ajustaram aos modelos encontrados na literatura, sendo utilizada a equação polinomial de terceiro grau como modelo, em que os dados experimentais se ajustaram satisfatoriamente;
- III. O modelo que melhor descreve as isotermas de adsorção do pó da manga Ubá foi o Sigma Copace, formando curvas características do tipo III. Adicionalmente, o teor de água de equilíbrio do pó da manga Ubá aumenta com a umidade relativa durante a adsorção.

8. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução nº 1529, de 01 de junho de 2007. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, de 04 de junho de 2007. Disponível em: <<http://e-gis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=26921&word=alimentos>> Acesso em: 12 dez. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução nº 386, de 05 de agosto de 1999. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 09 ago. 1999. Disponível em: <http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=11541> Acesso em 10 de dez. 2016.

ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, n.1, p. 11-20, 2007.

AL-MUHTASEB, A. H.; MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Moisture sorption isotherm characteristics of food products: a review. **Food and Bioproducts Processing**, v.80, p.118-128, 2002.

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

ALVES, S. B. **Estudo teórico e experimental do processo de secagem do abacate (*Persea Americana Mill.*)**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal da Paraíba. Paraíba, PB, 2014.

ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA 2015, editora Gazeta, disponível em: <http://www.grupogaz.com.br/tratadas/eo_edicao/4/2015/03/20150301_106c8c2f1/pdf/4718_2015fruticultura.pdf> Acesso em 03 jun. 2016.

ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA 2016, editora Gazeta, disponível em: <<http://www.grupogaz.com.br/editora/anuarios/show/5149.html>> Acesso em 03 jun. 2016.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of AOAC international**. 17. ed., Washington, 2002.

ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos: teoria e prática**. 5ª edição, atualizada e ampliada. Editora UFV. Viçosa-MG, 601p, 2011.

BAG, S. K.; SRIVASTAY, P. P.; MISHRA, H. N. Optimization of Process Parameters for Foaming of Bael (*Aegle marmelos L.*) Fruit Pulp. **Food Bioprocess Techno**, 4:1450–1458, 2011.

BAPTESTINI, F. M. **Parâmetros físico-químicos na obtenção do pó de graviola pelo método de secagem em leito de espuma**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2015.

BARMORE, M. A. The influence of chemical and physical factors on egg-white foams. **Colorado Agricultural College**, Colorado Experiment Station Technology Bulletin, 9, p.1-58, 1934.

BARRETO, I. M. A. **Caracterização de polpa de pitanga roxa (*Eugenia uniflora*) desidratada em leito de espuma**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2011.

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

BATISTA C. L. L. C. Produção e avaliação da estabilidade de corante hidrossolúvel de urucum. 71 p. 1. ed. **Ed. UFLA**. Brasil, 1994.

BENEVIDES, S. D.; RAMOS, A. M., PEREZ, R. Necessidade da implementação da rastreabilidade como ferramenta de qualidade para a industrialização da manga na Zona da Mata mineira. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v.13, n.1, p.19-24, 2007.

BENEVIDES, S.D.; RAMOS, A. M.; STRINGHETA, P. C.; CASTRO, V. C. Qualidade da manga e polpa da manga Ubá. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28, n.3, p.571-578, 2008.

BERISTAIN, C.I.; CORTÉS, R.; CASILLAS, M.A.; DÍAZ, R. Obtención de jugo de piña en polvo por el método desecado por espumas. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v.41, n.2, p.238-245, 1991.

BRENNAN, J.G. **Food Dehydration**: a dictionary and guide. Oxford: Butterworth–Heineman, 189 p.1994.

BRENNAN, J.G. **Food Processing Handbook**. 1. ed. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, p. 85-95, 2006.

BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. Drying and storage of grains and oilseeds. Westport: **The AVI Publishing Company**, 450p, 1992.

CARVALHO, M. S. **Produção de polpa de abóbora em pó pelo processo de secagem em leito de espuma**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2014.

CASTIGLIONI, G. L.; SILVA, F. A.; CALIARI, M.; SOARES JÚNIOR, M. S. Modelagem matemática do processo de secagem da massa fibrosa de mandioca

Revista brasileira de engenharia agrícola. ambiental. vol.17 Campina Grande, 2013

CHEN, X.D., MUJUMDAR, A.S., *Drying Technologies In: Food Processing*, Wiley-Blackwell, 2008.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças.** Lavras, MG: Escola Superior de Agricultura de Lavras - FAEPE, 1990.

CHUNG, D.S.; PFOST, H.B. Adsorption and desorption of water vapors by cereal grains and their products Part II. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.10, p. 549-551, 1967.

CORRÊA, P. C.; BOTELHO, F. M.; BOTELHO, S. C. C.; GONELI, A. L. D. Isotermas de sorção de água de frutos de Coffea canephora. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 18, n. 10, p. 1047-1052, Oct. 2014.

CORRÊA, P. C.; MARTINS, D. S. R.; MELO, E. C. **Umigrãos**: programa para o cálculo do teor de umidade de equilíbrio para os principais produtos agrícolas. Viçosa: Centreinar - UFV, 10 p. 1995.

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

COSTA, L. M.; RESENDE, O. ; OLIVEIRA, D. E. C. Determinação das isotermas de equilíbrio higroscópico de frutos de crambe pelo método dinâmico. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 31, n. 2, p. 382-391, Mar./Apr. 2015.

CTENAS, M. L. B.; CTENAS, A. C.; QUAST, D. Manga. **Frutas das terras brasileiras.** C2 Editora e Consultoria em Nutrição, p. 130-135, 2000.

DANTAS, S. C. de M. **Desidratação de polpas de frutas pelo método foam-mat.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

DICKINSON E. & STAINSBY G. Progress in the formulation of food emulsions and foams. **Food Technol.** v. 41, n. 116, p. 74-81, 1987.

DINIZ, M. D. M. S. **Caracterização do comportamento reológico e determinação de propriedades termofísicas de polpa de manga Ubá.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2009.

DONADIO, L.C. **Varietades Brasileiras de Manga.** Jaboticabal: Editora Unesp, 74p. 1996.

DUBOIS, M., GILLES, A.; HAMILTON, J.K.; REBERS, P.A.; SMITH, F. Colorimetric method of determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry** 28: 350-355, 1956.

EMBRAPA Semi-Árido, **Cultivo da mangueira** – Cultivares, 2004. Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/111770/1/Cultivo-da-Mangueira-Sistema-de-producao.pdf> > acesso:07 mar. 2017.

EMBRAPA, **Produção de manga** – Aspectos técnicos, 2000. Disponível em: <<http://www.frutvasf.univasf.edu.br/images/mangaproducao.pdf>> acesso em: 03 jun. 2016.

FAO, 2012 Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>> Acesso: 28 set. 2016.

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

FELLOWS, P.J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2ª ed. Porto Alegre: Artmed, 602p., 2006.

FERNANDES, R. V. B.; QUEIROZ, F. BOTREL, D. A.; ROCHA, V. V.; SOUZA, V. R.; LIMA, C. F. Estudo da adição de albumina e da temperatura de secagem nas características de polpa de tomate em pó. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 3, p. 1267-1278, maio/jun. 2014.

FERREIRA, C. D.; PENA, R.S.. Comportamento higroscópico da farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*). **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas , v. 23, n. 2, p. 251-255, Aug. 2003.

FRANCIS, F. J. **Encyclopedia of Food Science and Technology**. 2 Ed., New York: John Wiley & Sons, v.1, 2907p., 2000.

FRANCO, B. D. G. M & LANDGRAF, M. **Microbiologia dos alimentos**. São Paulo: Atheneu, p 15, 1996.

FREIRE, J. T. Paste drying in spouted bed. In: FREIRE, J. T.; SARTORI, D. J. M. (Eds.). **Special topics in drying**. São Carlos: EDUFSCar, chap. 2, p. 42-85, 1992.

GHAZANFARI, A.; EMAMI, S.; TABIL, L. G.; PANIGRAHI, S. Thin-layer drying of flax fiber: II modeling drying process using semi-theoretical and empirical models. **Drying Technology**, 24 (12), pp. 1637–1642, 2006.

GOMES, P. **Fruticultura brasileira**. 2010. Disponível em: <<http://www.bibvirt.futuro.usp.br>> Acesso em: 03 junho 2015.

GOMES, P. M. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Caracterização e isothermas de adsorção de umidade da polpa de acerola em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.2, p.157-165, 2002.

GONÇALVES, N.B.; CARVALHO, V. D.; GONÇALVES, J. R. A.; COELHO, S. R. M.; SILVA, T. G. Características físicas e químicas dos frutos de cultivares de mangueira (*Mangifera indica* L). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 2, n.1, p. 72-78, 1998.

GOUVEIA, J.P.G. DE.; ALMEIDA, F. DE A.C.; FARIAS, E. DA S.; SILVA, M.M. DA. CHAVES, M. DA C.V.; REIS, L.S. Determinação das curvas de secagem em frutos de cajá. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. Especial, n.1, p.65-68, 2003.

GREENSPAN, L. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. **Journal of research of the notional bureau of standards**.v.81A, n.1, p.89-96, 1977.

GREGG S. J.& SING K. S. W., "Adsorption, Surface Area and Porosity", **Academic Press**, London, 4, 1982.

HART, M. R.; GRAHAM R. P.; GINETTE L. F.; MORGAN JR., A. I. Foams for foam-mat drying. **Food Technology**. v. 17, p. 1302-1304, 1963.

HENDERSON, S. M. Progress in developing the thin layer drying equation. **Transactions of the ASAE**, v. 17, p. 1167- 1168, 1974.

HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory. I. Temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agriculture Engineering Research**, v.6, n.3 p.169-174, 1961.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal**, Rio de Janeiro, v. 41, p.1-100, 2014. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/66/pam_2014_v41_br.pdf>. Acesso em: 13 jul. de 2016.

ILARI, J. L. Analyse des principales difficultés rencontrées dans le mélange d'ingrédients particuliers en phase sèche. **Laboratoire de Génie des Procédés**, Nantes, France, p.141- 148, 1995.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1ª Edição Digital, 2008.

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

JAY, J. M. **Microbiologia de alimentos**. Artmed, ed. 6, Porto Alegre, 2006.

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

JAYARAMAN, K.S. **Development of intermediate moisture tropical fruits and vegetable products**. Technological problems and prospects. SEOW, C.C. Applied Sciences. Essex: Elsevier, 175p., 1988.

KAMEL, B.S. In: **Emulsifiers**. Food additive user's handbook. MITH, J. London: Blackie, Cap.8, p. 169-201, 1997.

KARATHANOS, V. T. Determination of water content of dried fruits by drying kinetics **Journal of Food Engineering**, v. 39, n. 04, p. 337-44, 1999.

KARIM A. A. & WAY C. C. Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) purée. Stability and air drying characteristics. **Food Chemistry**, v. 64. p. 337-343, 1999a.

KARIM, A. A. & WAY, C. C. Characteristics of foam prepared from star fruit (*Averrhoa carambola* L.) puree by using methyl cellulose. **Food Hydrocolloids**, v. 13, p. 203-210, 1999b.

KASHANI-NEJAD, M. A.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI A. G. Thinlayer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, v.78, p. 98-108, 2007.

LEWIS, W. K. The drying of solid materials. **The Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 13, n. 05, p. 427-433, 1921.

LOISEI, C. **Contribution a l'étude des propriétés rhéologiques de quelques poudres alimentaires: influence des contributions hygrométriques**. 250f. Thèse (Douteur en Sciences et Technologie des Productions Végétales et Alimentaires) - Université de Nantes, Nantes, France, 1988.

MACHADO, A. K. T.; GURGEL, C. E. M. R.; MEDEIROS, M. F. D. **Estudo de secagem das polpas de caju, goiaba, graviola e manga, pelo processo foam-mat, com e sem a adição de leite**. XI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, Unicamp, Campinas, SP, 2015.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. Enthalpy-entropy compensation models for sorption and browning of garlic. **Journal of Food Engineering**, v. 60, p. 109-119, 1996.

MANICA, I. Cultivares e Melhoramento. In: MANICA, I. (Ed.). **Manga: tecnologia, produção, agroindústria e exportação**. Porto Alegre: Cinco Continentes, p. 87-130, 2001.

MANICA, I. Indução do florescimento em mangueiras. In: SÃO JOSÉ, A. R. et al. (Coord.). **Manga: tecnologia de produção de mercado**. Vitória da Conquista: DFZ/UESB, p. 140-144, 1996.

MAPA, Instrução normativa N° 01, DE 7 DE JANEIRO DE 2000.

MAPA, Instrução normativa N° 38, DE 19 DE DEZEMBRO DE 2012.

MARQUES, G. M. R. **Secagem de caldo de cana em leito de espuma e avaliação sensorial do produto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Itapetinga-BA, 2009.

MARTINAZZO, A. P.; CORRÊA, P. C.; MELO, E. C.; CARNEIRO, A. P. S. Avaliação colorimétrica de folhas secas de *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf durante o armazenamento em diferentes embalagens. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.10, n.2, p.131-140, 2008.

MEDEIROS, M. L. & LANNES, S. C. S. Propriedades físicas de substitutos do cacau. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, supl. 1, p. 243-253, 2010.

MEDINA, J. C. M.; BLEINROTH, E. W. ; DE MARTIN, Z. J.; QUAST, D. G.; HASHIZUME, T.; FIGUEIREDO, N. M. S. DE.; MORETTI, V. A.; CANTO, W.L. do; BICUDO NETO, L. de C. Manga: da cultura ao processamento e comercialização. Campinas SP: **Instituto de Tecnologia de Alimentos**, 399 p. (Série Frutas Tropicais, 8), 1981.

MENGES, H. O.; ERTEKIN, C. Mathematical modeling of thin layer drying of Golden apples. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 77, n. 1, p. 119-125, 2006.

MENIN, J. C.; PASA, B. C.; ZANOELO, E. F.; FINZER, J. R. D. Isotermas de umidade de equilíbrio para erva-mate. 2003.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A. New model for single-layer drying. **Drying Technology**, Nigde, v. 20, n. 7, p. 1503-1513, 2002.

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

MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, v.66, p.513-18, 2005.

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

MUJUMDAR, A.S., **Dehydration of products of biological origin**, Science Publishes, UK, 2004.

MUJUMDAR, A.S., Guide to Industrial Drying: Principles, Equipments & New Developments, 3rd Ed; **Three S Colors Publications**, Índia, 2008.

MUKHERJEE, S.K. Systematic and ecogeographic studies of crop genepools: 1. Mangifera **IBPGR Secretariat**, Rome. 86 p. 1985.

OLIVEIRA, G. P. **Indução floral da mangueira ‘Ubá’ na Zona da Mata de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

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

OLIVEIRA, S. B.; AZOUBEL, P. M.; SILVA, M. D. B. Variações na atividade de água e cor de manga Tommy Atkins após desidratação osmótica e secagem. In: **jornada de iniciação científica da embrapa semi-árido**, 2., 2007, Petrolina. Anais... Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007.

ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnologia de Alimentos**. Tradução: Fátima Murad. Porto Alegre: Artmed, v. 1, 294 p., 2005.

OVERHULTS, D. D.; WHITE, G. M.; HAMILTON, M. E.; ROSS, I. J. Drying soybeans with heated air. **Transactions of the ASAE**, v.16, n.2, p.195-200, 1973.

PAGE, G. E. Factors influencing the maximum of air drying shelled corn in thin layer. 1949. **Thesis Dissertation** (M.Sc.) – Purdue University, Indiana.

PARK, K. J. B.; PARK K. J.; CORNEJO, F. E. P.; DAL FABBRO, I. M. Considerações termodinâmicas das isotermas – Review. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.10, p. 83-94, 2008.

PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. B. **Conceitos de processo e equipamentos de secagem**. Campinas, Março de 2007.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (*Pyrus* sp.) com e sem desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 73-77, 2001a.

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

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

PERNELL, C. W.; FOEGEDING, E. A.; SORTE, P. J.; DAVIS, J. P. Properties of whey and egg white protein foams. **Colloids and surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 204, p. 9-21, 2002.

PINELI, L.L.O.; MORETI, C.L.; ALMEIDA, G.C.; NASCIMENTO, A.B.G.; ONUKI, A.C.A.; Associação de atmosfera modificada e antioxidantes reduz o escurecimento de batatas 'Ágata' minimamente processadas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.4, p.993-999, 2005.

PINTO, A. C. de Q.; MATOS, A. P. de; CUNHA, G. A. P. de. Variedades (cultivares). In: MATOS A. P. de (org.). Manga: Produção: aspectos técnicos. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura; Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia. 63 p., 2000.

PINTO, E. G. **Caracterização da espuma de jenipapo (*genipa americana* L.) com diferentes aditivos visando à secagem em leito de espuma**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB). Itapetinga, 2009.

RAMALLO, L. A.; MASCHERONI, R. H. Quality evaluation of pineapple fruit during drying process. **Food and Bioproducts Processing**, v.90, p.275-283, 2012.

RAMOS, A. M.; BENEVIDES, S. D., PEREZ, R., DIAS, D. F., REZENDE, P. M. **Manual de rastreabilidade para a cadeia produtiva da manga**, 1 ed. UFV, Viçosa, 2007.

RAMOS, A. M.; SOUSA, P. H. M.; BENEVIDES, S. D. **Tecnologia de industrialização da manga**. In: ROZANE, D. E.; DAREZZO, R. J.; AGUIAR, R. L.; AGUILERA G. H. A.; ZAMBOLIM, L. (Ed.). Manga: produção integrada, industrialização e comercialização. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora Ltda, p. 571-604, 2004.

RAO, M.A.; RIZVI, S.S.H. **Engineering properties of foods**, Marcel-Dekker, New York pp. 223–309, 1995.

RATTI, C.; KUDRA, T. Drying of foamed biological materials: opportunities and challenges. **Drying Technology**, New York, v. 24, n. 9, p. 1101-1108, 2006.

REIS, R. C.; CÔRREA, P. C.; DEVILLA, I. A.; SANTOS, E. S.; ASCHERI, D. P. R.; SERVULO, A. C. O.; SOUZA, A. B. M. Drying of yam starch (*Discorea* ssp.) and glycerol filmogenic solutions at different temperatures. **Food Science and Technology**, v.50, p.651-656, 2013

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. São Paulo, Edgard Blucher: Instituto Mauá de Tecnologia, 184 p., 2004.

ROCHA, E. M. F. F.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Mathematical modeling for isotherms of mango pulp powder, obtained by atomization. **Journal of Encapsulation and Adsorption Sciences**, 4, 8-14, 2014.

RODRIGUES, J.A.S. **Comportamento de dez variedade de mangas (Mangifera indica L) em Viçosa e Visconde do Rio Branco-MG.** 35p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1977.

RONCHETI, E. F. S. **Estudo do processo de secagem em leite de espuma de cenoura, tomate, beterraba e morango.** Dissertação (Mestrado em ciência e tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2014.

SAEG - Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: **Fundação Arthur Bernardes** - UFV - Viçosa, 2007.

SALTMARCH, M.; LABUZZA, T. P. Influence of relative humidity on the physiochemical state of lactose in spray-dried sweet whey powders. **Journal of Food Science**, v. 45, n. 5, p. 1231-1236, 1980.

SANKAT, C. K.; CASTAIGNE, F. Foaming and drying behavior of ripe bananas. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, London, v.37, n.1, p.517-525, 2004.

SARICOBAN, C.; YILMAZ, M.T. Modelling the effects of processing factors on the changes in colour parameters of cooked meatballs using response surface methodology. **World Applied Sciences Journal**. v.9, n.1, p.14-22, 2010.

SEGURA, E.; MONROY, L. A.; MANRIQUE, G. Aplicacion de la tecnologia de deshidratacion por el metodo de secado de espumas (Foam-mat) em jugos de frutas tropicales II (naranja, piña, mora y maracuyá). **Revista Colombiana de Ciencias Quimico-Farmacéuticas**, n.18, p.47-52, 1990.

SILVA, A. E.; SILVA, L. H. M.; PENA, R. S. Comportamento higroscópico do açaí e cupuaçu em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.4, p.895-901, 2008a.

SILVA, A. S.; GURJÃO, K. C. O.; ALMEIDA, F. A. C.; BRUNOS, R. L. A.; PEREIRA, W. E. Desidratação de polpa de tamarindo pelo método de camada de espuma. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n.6, p. 1899 - 1905, 2008b.

SILVA, D. F. P. **Desenvolvimento e controle do amadurecimento da manga Ubá.** Tese(Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

SING, K.S. W. Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity.**Pure & Applied Chemistry**, 54, 2201-2218, 1982.

SMÍSEK, M.; CERNY, S. Active carbon: manufacture, properties and applications. **Elsevier**, 1970.

SOARES, E. C. **Caracterização de aditivos para secagem de araçá-boi (Eugenia stipitata Mc Vaugh) em leite de espuma.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2009.

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

SOUZA, T. S. A.; Chaves, M. A.; Bonomo, R. C. F.; Soares, R. D.; Pinto, E. G.; Cota, I R. **Desidratação osmótica de frutículos de jaca (*Artocarpus Integrifolia* L.): aplicação de modelos matemáticos.** Acta Scientiarum. Technology. Maringá, v. 31, n. 2, p. 225-230, 2009.

SOUZA, V. C.; **Efeito da liofilização e desidratação em leito de espuma sobre a qualidade do pó de polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*).** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Federal da Bahia, Itapetinga, 2011.

SPSS Inc. **Sigma Plot user's guide version 7.0** (Revised Edition). SPSS Inc., Chicago, USA. 2001.

STUPA, M. V.; PLATONOV, E. K.; MILKHAILOV, V. T. Mathematical model of drying of granulated anid. **Fibre Chemistry**, v.35, p.233-236, 2003.

THUWAPANICHAYANAN, R.; PRACHAYAWARAKORN, S.; SOPONRONNARIT, S. Drying characteristics and quality of banana foam mat. **Journal of Food Engineering**, Amsterdam, v. 86, n. 4, p. 573-583, 2008.

THUWAPANICHAYANAN, R.; PRACHAYAWARAKORN, S.; SOPONRONNARIT, S. Effects of foaming agents and foam density on drying characteristics and textural property of banana foams. **Lebensmittel Wissenschaft and Technology**, v.47, p. 348 - 357, 2012.

TONON, R.V; BRABET, C.; HUBINGER, M.D. Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n.2, p. 444-450, 2009.

VALENTAS K. J.; ROTSTEIN E.; SINGH R,P, **Handbook of food engineering practice**. 1. ed. Florida: CRC Press LLC, p. 143-158, 1997.

VAN ARSDEL, W.B.; M.J. COPLEY. (Eds.). **Food Dehydration**. AVI Publishing Co. Inc., Westport, Connecticut, 1964.

VAVILOV, N.I. The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. **Chron. Bot.** 13(1/6):1-366, 1950.

WALSTRA, P. **Química de los alimentos**. Zaragoza, España: Editorial Acribia, cap. 3, 2000.

9. ANEXO

Tabela A – Resumo da análise de variância para a espuma da manga Ubá das variáveis: Massa específica aparente (ρ), Teor de água em b.u. (U), Atividade de água (a_w), Potencial Hidrogeniônico (pH), Acidez Total Titulável (ATT), Sólidos Solúveis Totais (SST), Açúcar Solúveis Totais (AST), Açúcar Redutor (AR), Coordenadas L*, a^* , b^* , Cromo (C*), ângulo hue (h^*) e Estabilidade (ES)

Fonte de variação	GL	Quadrados médios							
		ρ	U	a_w	pH	ATT	SST	AST	AR
CO	4	223,23***	4,33**	0,00012**	0,0317*	0,00025***	6,2***	115,14***	1,22***
EM	3	246,47***	15,43***	0,0009***	0,2036*	0,037***	8,37***	2,69 ^{NS}	0,52**
CO x EM	12	227,42***	2,73**	$3,74 \times 10^{-05NS}$	0,0097*	0,0004***	1,05***	3,74***	0,53***
Fator x Test	1	8,53***	14,97***	$4,47 \times 10^{-05NS}$	0,000055 ^{NS}	0,0023***	4,34***	4,61*	0,13 ^{NS}
Resíduo	84	0,045***	1,09	$2,99 \times 10^{-05}$	0,0008	0,000024	0,02	1,07	0,11
CV (%)		8,85	1,48	0,56	0,55	4,42	0,53	7,11	8,15

Fonte de variação	GL	Quadrados médios					
		L	a^*	b^*	C*	h^*	ES
CO	4	30,83***	21,77***	214,08***	231,79***	2,685***	3,1140***
EM	3	2197,42***	875,76***	3919,99***	4601,82***	160,565***	42,1375**
CO x EM	12	26,37***	19,25***	133,96***	149,77***	3,840***	2,9761***
Fator x Test	1	79,79***	27,98***	351,19***	375,48***	0,887***	106,5572***
Resíduo	84	0,03	0,016	0,0898	0,09	0,0507	72,6667
CV (%)		0,25	0,52	0,42	0,41	0,10	89,27

^{NS} Não significativo.

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

**Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

***Significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste t.

Tabela B – Resumo da análise de variância para a espuma da manga Ubá das variáveis: Índice de Escurecimento (IE) e Expansão (EX).

Fonte de variação	GL	Quadrados médios	
		IE	EX
CO	4	8431,43***	14204,18***
EM	3	420143,1***	176616,4***
CO x EM	12	2634,61***	13825,59***
Resíduo	80	8	44,21
CV (%)		0,93	15,34

^{NS} Não significativo.

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

**Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

***Significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste t.