



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

ROBERTA MAGILA GURGEL MACIEL

**OBTENÇÃO DO PÓ DA POLPA DE GOIABA PELO MÉTODO DE CAMADA DE
ESPUMA**

FORTALEZA

2016

ROBERTA MAGILA GURGEL MACIEL

OBTENÇÃO DO PÓ DA POLPA DE GOIABA PELO MÉTODO DE CAMADA DE
ESPUMA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso.

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

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M139o Maciel, Roberta Magila Gurgel.
Obtenção do pó da polpa de goiaba pelo método de camada de espuma / Roberta Magila Gurgel Maciel. –
2016.
110 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de
Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2016.

Orientação: Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso.

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

1. Psidium guajava. 2. Secador de bandeja. 3. Albumina. I. Título.

CDD 664

ROBERTA MAGILA GURGEL MACIEL

OBTENÇÃO DO PÓ DA POLPA DE GOIABA PELO MÉTODO DE CAMADA DE
ESPUMA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso.

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

Aprovada em: 22/03/2016.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso (Orientador)

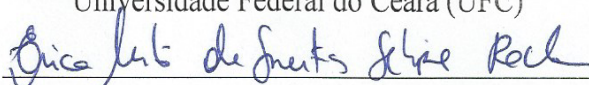
Universidade Federal do Ceará (UFC)


Prof. Dr. José Maria Correia da Costa (co-orientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)


Prof. Dr. Rafael Audino Zambelli

Universidade Federal do Ceará (UFC)


Profa. Dra. Érica Milô de Freitas Felipe Rocha

Instituto Federal de Ed., Ciência e Tec. do RN (IFRN)


Dr. Edy Sousa de Brito

(EMBRAPA Agroindústria Tropical)

Dedico esta dissertação a Deus e a minha família que são os motivos de todo o meu esforço.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que permitiu que eu fosse aprovada no mestrado e que chegasse até o final.

Agradeço a CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela ajuda financeira.

Agradeço ao professor José Maria Correia da Costa (co-orientador) pela amizade, compreensão e por ter permitido que as análises fossem realizadas no Laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem (LACONSA).

Agradeço ao meu orientador, professor Marcos Rodrigues Amorim Afonso, pela amizade, conversas, paciência, competência, ajuda, enfim, agradeço por tudo, não dá para enumerar tudo aqui, apenas agradeço por tudo.

Agradeço também a professora Evânia Altina Teixeira de Figueiredo, pela amizade, pelo apoio, por sempre ter me escutado nos momentos difíceis, e também, nos alegres, pelos conselhos e pela benção que é tê-la em minha vida.

Não posso deixar de agradecer aos amigos que fiz no laboratório, em especial, ao Leandro Soares Severo, meu companheiro nessa jornada. Obrigada amigo por ter sido essa ótima companhia, pelos conselhos, pela ajuda, espero que nossa amizade permaneça em nossas vidas. Agradecer também ao Sr. Luís Gonzaga dos Anjos Filho (portaria) pela amizade e dedicação, um grande amigo desde a graduação, sempre disposto a ouvir e ajudar.

Agradeço ao meu esposo Hanilton Ribeiro de Lima pela ajuda financeira, pelo apoio, enfim por ficar ao meu lado sempre! E ao nosso filho, Gabriel Henrique Gurgel de Lima, por ser uma criança compreensiva e entender quando precisei dar atenção aos estudos do mestrado.

Agradeço aos meus pais (João Batista Maciel e Marluce Gurgel) pela torcida e por me ajudarem quando puderam.

Obrigada a todos!

“A imaginação é mais importante que a ciência, porque a ciência é limitada, ao passo que a imaginação abrange o mundo inteiro.”

(Albert Einstein)

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo principal a obtenção de um pó de polpa de goiaba adicionada de albumina pelo método de secagem em camada de espuma. Esse método envolve uma superfície de contato maior entre o produto e o ar quente, devido a espuma formada, tornando o processo de secagem mais rápido. Primeiramente, foram verificadas as características físico-químicas da polpa utilizada. Em seguida, realizou-se um planejamento experimental completo (DCCR), com as variáveis independentes (tempo, concentração de albumina, temperatura) relacionando-as com as variáveis respostas (higroscopicidade, ácido ascórbico, umidade, rendimento, parâmetros de cor: L^* , a^* , b^*) para a escolha da condição de secagem. A condição escolhida foi: 78,5°C, 331,5 min., 5,1% de albumina. Nos pós produzidos foram realizadas as seguintes análises: acidez total titulável, pH, sólidos solúveis, umidade, ácido ascórbico, açúcares redutores e totais, parâmetros de cor (L^* , a^* , b^*), solubilidade, higroscopicidade. Foram realizadas análises para a estabilidade do pó na condição escolhida a cada 15 dias durante 90 dias. Foi realizada a microscopia eletrônica de varredura para analisar as estruturas dos pós nas concentrações de 4 e 8% de albumina. Para as mesmas concentrações foram feitas análises de tensão de cisalhamento, densidade de compactação e ângulo de atrito de parede, bem como foi avaliado o escoamento dos pós. Foram ajustados modelos matemáticos para descrever as isotermas de adsorção e a cinética de secagem. O estudo da estabilidade do pó da polpa de goiaba permitiu observar o aumento da umidade e da coordenada b^* , a diminuição do pH, higroscopicidade, coordenadas L^* e a^* . A acidez total titulável manteve-se estável. Para cinética de secagem da polpa de goiaba adicionada de albumina, o modelo de melhor ajuste, com coeficientes de determinação altos e baixos erros médios estimados foi o de Midilli. Para as isotermas de adsorção dos pós, o modelo de melhor ajuste foi o de GAB com erros médios estimados abaixo de 10%. Os resultados das análises físicas foram feitas para as concentrações do pó a 4 e 8% de albumina em que verificou-se que o pó de polpa de goiaba a 8% de albumina apresentou uma tendência ao escoamento livre, com um ângulo de atrito de parede baixo, maiores tensões de cisalhamento e maiores densidades com relação ao pó a 4% de albumina. Na microscopia eletrônica de varredura verificou-se que os pós têm formatos irregulares e superfície rugosa. Em geral, pode-se concluir que com o método de secagem em camada de espuma obteve-se um pó de polpa de goiaba com características físicas e físico-químicas satisfatórias.

Palavras-chave: *Psidium guajava*. Secador de bandeja. Albumina.

ABSTRACT

This research aimed to obtain a guava pulp powder added albumin by drying method foam layer. This method involves a greater contact surface between the product and the hot air due to the foam formed, which makes fast drying process. First, we checked the physicochemical characteristics of the pulp used. Then, there was a complete experimental design (CCRD), with the independent variables (time, albumin concentration, temperature) relating them to the response variables (hygroscopicity, ascorbic acid, moisture, yield, color parameters: L^* , a^* , b^*) for selecting the drying condition. The condition was chosen: 78.5°C , 331.5 min., 5.1% albumin. In powders produced the following analyzes were performed: titratable acidity, pH, soluble solids, humidity, ascorbic acid, reducing and total sugars, color parameters (L^* , a^* , b^*), solubility, hygroscopicity. Analyses were performed for the powder stability in the chosen condition every 15 days for 90 days. The scanning electron microscopy was performed to analyze the post of structures in 4 concentrations and 8% albumin. For the same concentrations were made shear stress analysis, compaction density and wall friction angle, as well as assessed the flow of powders. Mathematical models were adjusted to describe the adsorption isotherms and drying kinetics. The study of the stability of guava pulp powder has observed increased humidity and coordinate b^* , the decrease in pH, hygroscopicity, L^* and a^* and titratable acidity remained stable. For kinetic drying of guava pulp added albumin, the best fit model with high and low coefficients of determination errors was the estimated average Midilli. For the post of adsorption isotherms, the best model was the GAB with estimated average error below 10%. The results of the physical tests were made for powder concentration to 4 and 8% albumin in which it was found that the guava pulp powder 8% albumin showed a tendency to free-flowing, with a wall angle of friction low greater shear rates and higher density with respect to the powder to 4% albumin. In scanning electron microscopy, it was found that the post has irregular shapes and rough surface. In general, it can be concluded that with the drying method foamed layer gave a guava pulp powders having satisfactory physical characteristics and physico-chemical properties.

Keywords: *Psidium guajava*. Dryer tray. Albumin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fotos ilustrativas da goiaba cv. Paluma.....	22
Figura 2 – Curvas de secagem do modelo de Midilli, em três temperaturas, para a polpa de ceriguela.....	29
Figura 3 - Histerese das isotermas de sorção.....	31
Figura 4 – Secador de bandeja de aço inox (AISI 304).....	34
Figura 5 – Equipamento <i>powder flow test</i>	40
Figura 6 – Metalizadora (a), amostras do pó da polpa de goiaba metalizadas (b) e microscópio eletrônico de varredura (c).....	41
Figura 7 – Superfície de resposta a 330 minutos para a variável umidade (%) do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma.....	48
Figura 8 – Curva de contorno a 330 minutos para a variável umidade (%) do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma.....	48
Figura 9 – Superfície de resposta a 6% de albumina para a variável umidade (%) do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma.....	49
Figura 10 - Curva de contorno a 6% de albumina para a variável umidade (%) do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma.....	49
Figura 11 – Superfície de resposta a 80°C para a variável ácido ascórbico (A.A.) do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma.....	54
Figura 12 – Curva de contorno a 80°C para a variável ácido ascórbico (A.A.) do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de secagem em camada de espuma.....	54
Figura 13 – Superfície de resposta a 6% de albumina para a variável rendimento do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma.....	58
Figura 14 – Curva de contorno a 6% de albumina para a variável rendimento do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma.....	59
Figura 15 – Superfície de resposta a 330 minutos para a variável rendimento do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma.....	60
Figura 16 – Curva de contorno a 330 minutos para a variável rendimento do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma.....	60
Figura 17 – Superfície de resposta a 80 °C para a coordenada de cor a* do pó de polpa de goiaba obtido pelo método de secagem de camada de espuma.....	63
Figura 18 – Curva de contorno para a coordenada de cor a* a 80 °C do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma.....	63

Figura 19 – Superfície de resposta a 330 minutos para a coordenada de cor a* do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma.....	64
Figura 20 – Curva de contorno a 330 minutos para a coordenada de cor a* do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma.....	64
Figura 21 – Curvas de secagem em camada de espuma da polpa de goiaba com ajustes pelo modelo de Midilli a 75°C, nas concentrações de 4 e 8% de albumina.....	72
Figura 22 – Curvas de secagem em camada de espuma da polpa de goiaba com ajustes pelo modelo de Midilli a 80°C, nas concentrações de 4 e 8% de albumina.....	73
Figura 23 - Curvas de secagem em camada de espuma da polpa de goiaba com ajustes pelo modelo de Midilli a 85°C, nas concentrações de 4 e 8% de albumina.....	73
Figura 24 – Curvas de secagem em camada de espuma da polpa de goiaba com ajustes pelo modelo de Midilli a 75, 80 e 85°C na concentração de 4% de albumina.....	74
Figura 25 – Curvas de secagem em camada de espuma da polpa de goiaba com ajustes pelo modelo de Midilli a 75, 80 e 85°C na concentração de 8% de albumina.....	75
Figura 26 – Isotermas de adsorção do pó da polpa de goiaba a 4% de albumina obtida pelo método de camada de espuma nas temperaturas experimentais de 25, 35 e 45 °C previstas pelo modelo de GAB.....	78
Figura 27 – Isotermas de adsorção do pó da polpa de goiaba a 8% de albumina obtida pelo método de camada de espuma nas temperaturas experimentais de 25, 35 e 45 °C previstas pelo modelo de GAB.....	79
Figura 28 - Isotermas de adsorção dos pós da polpa de goiaba a 4 e 8% de albumina obtida pelo método de camada de espuma na temperatura experimental de 25 °C prevista pelo modelo de GAB.....	80
Figura 29 - Isotermas de adsorção dos pós da polpa de goiaba a 4 e 8% de albumina obtida pelo método de camada de espuma na temperatura experimental de 35 °C prevista pelo modelo de GAB.....	81
Figura 30 – Isotermas de adsorção dos pós da polpa de goiaba a 4 e 8% de albumina obtida pelo método de camada de espuma na temperatura experimental de 45 °C prevista pelo modelo de GAB.....	82
Figura 31 – Comportamento da umidade do pó de polpa de polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma durante a estabilidade.....	83
Figura 32 – Comportamento da acidez do pó de polpa de polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma durante a estabilidade.....	84

Figura 33 - Comportamento do pH do pó de polpa de polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma durante a estabilidade.....	85
Figura 34 – Comportamento da higroscopicidade do pó de polpa de polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma durante a estabilidade.....	87
Figura 35 – Comportamento da coordenada L* do pó de polpa de polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma durante a estabilidade.....	88
Figura 36 – Comportamento da coordenada a* do pó de polpa de polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma durante a estabilidade.....	89
Figura 37 – Comportamento da coordenada b* do pó de polpa de polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma durante a estabilidade.....	90
Figura 38 – Fluxo de escoamento para os pós de polpa de goiaba obtidos pelo método de camada de espuma, nas concentrações de 4 e 8% de albumina.....	92
Figura 39 – Densidade dos pós da polpa de goiaba nas concentrações de 4 e 8% obtidos através do equipamento <i>powder flow test</i> (PFT).....	93
Figura 40 – Ângulo de atrito de parede dos pós de polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma, nas concentrações de 4% e 8% de albumina.....	94
Figura 41 – Micrografias eletrônicas de varredura das partículas.....	95

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Diagrama de Pareto para a variável umidade do pó da polpa de goiaba obtida pelo método de camada de espuma.....	46
Gráfico 2 – Diagrama de Pareto para a variável higroscopicidade do pó da polpa de goiaba obtido pelo método camada de espuma.....	51
Gráfico 3 – Diagrama de Pareto para a variável ácido ascórbico do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de secagem em camada de espuma.....	52
Gráfico 4 – Diagrama de Pareto para a variável rendimento do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma.....	57
Gráfico 5 – Diagrama de Pareto para a variável de cor a* do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma.....	61
Gráfico 6 – Diagrama de Pareto para a variável de cor b* do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de espuma.....	65
Gráfico 7 - Diagrama de Pareto para a variável Luminosidade (L*) do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de espuma.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Modelos para a descrição das isotermas de adsorção.....	32
Tabela 2 - Dados do planejamento fatorial completo para definir as condições de secagem.....	34
Tabela 3 - Planejamento experimental para definir as condições de secagem da polpa de goiaba pelo método de camada de espuma.....	35
Tabela 4 – Modelos matemáticos para a descrição da cinética de secagem da polpa de goiaba a 4 e 8% de albumina.....	37
Tabela 5 – Soluções salinas das células das isotermas de adsorção com suas respectivas umidades relativas.....	38
Tabela 6 – Modelos matemáticos para a descrição das isotermas de adsorção dos pós da polpa de goiaba.....	39
Tabela 7 – Caracterização físico-química da polpa de goiaba em comparação aos seus padrões de identidade e qualidade.....	42
Tabela 8 – Resultados do planejamento experimental para as variáveis: umidade, higroscopicidade e ácido ascórbico.....	44
Tabela 9 – Efeitos estimados das variáveis independentes sobre a variável dependente umidade.....	45
Tabela 10 – Análise de variância para o modelo de regressão da umidade.....	46
Tabela 11 - Efeitos estimados das variáveis independentes sobre a variável dependente higroscopicidade.....	51
Tabela 12 – Efeitos estimados das variáveis independentes sobre a variável dependente ácido ascórbico.....	52
Tabela 13 – Análise de variância para o modelo de regressão do ácido ascórbico.....	53
Tabela 14 - Resultados do planejamento experimental para as variáveis: rendimento, parâmetros a^* , b^* , L^*	55
Tabela 15 - Efeitos estimados das variáveis independentes sobre a variável dependente rendimento.....	56
Tabela 16 – Análise de variância para o modelo de regressão do rendimento do pó da polpa de goiaba.....	57
Tabela 17 - Efeitos estimados das variáveis independentes sobre a variável de cor: a^*	61
Tabela 18 – Análise de variância para o modelo de regressão do parâmetro de cor a^*	62
Tabela 19 - Efeitos estimados das variáveis independentes sobre a variável de cor: b^*	65

Tabela 20 - Efeitos estimados das variáveis independentes sobre a variável Luminosidade L*.....	66
Tabela 21 – Condição escolhida para a secagem de polpa de goiaba em camada de espuma.....	67
Tabela 22 - Caracterização físico-química do pó da polpa de goiaba na condição escolhida.....	68
Tabela 23 – Avaliação dos modelos para ajuste da cinética de secagem de polpa de goiaba pelo método de camada de espuma.....	70
Tabela 24 – Parâmetros dos modelos matemáticos para a descrição da cinética de secagem de polpa de goiaba pelo método de camada de espuma.....	71
Tabela 25 – Resultados dos ajustes das isotermas de adsorção dos pós da polpa de goiaba obtidos por secagem em camada de espuma.....	76
Tabela 26 – Valores da tensão de cisalhamento para o pó da polpa de goiaba nas concentrações de 4 e 8% de albumina.....	91

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1 Mercado de frutas.....	20
2.2 Goiaba.....	21
2.3 Secagem de alimentos.....	23
2.4 Secadores para alimentos.....	25
2.5 Método de secagem em camada de espuma.....	27
2.6 Cinética de secagem.....	28
2.7 Isotermas de sorção.....	30
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
3.1 Obtenção da polpa de goiaba.....	33
3.2 Caracterização físico-química da polpa de goiaba.....	33
3.3 Secagem da polpa de goiaba.....	33
3.4 Caracterização físico-química do pó na condição escolhida.....	36
3.5 Avaliação da estabilidade do pó na condição escolhida.....	36
3.6 Avaliação da cinética de secagem.....	36
3.7 Determinação das isotermas de adsorção dos pós.....	38
3.8 Análises físicas dos pós.....	40
3.9 Microscopia Eletrônica de Varredura (MeV).....	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4.1 Caracterização da polpa de goiaba	42
4.2 Planejamento experimental.....	43
4.2.1 Resultados do planejamento experimental para umidade, higroscopicidade e ácido ascórbico.....	43
4.2.2 Resultados do planejamento experimental para o rendimento e os parâmetros de cor a^* , b^* , L^*	55
4.3 Condição escolhida para secagem.....	67
4.4 Caracterização do pó na condição escolhida.....	67
4.5 Resultados da cinética de secagem dos pós de polpa de goiaba.....	69
4.6 Resultados das isotermas de adsorção dos pós de polpa de goiaba.....	75
4.7 Estabilidade do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma.....	82
4.8 Análises físicas dos pós de polpa de goiaba.....	91

4.9 Microscopia eletrônica de varredura (MeV) dos pós.....	94
5 CONCLUSÃO.....	96
REFERÊNCIAS.....	97

1 INTRODUÇÃO

Da espécie *Psidium guajava* e família *Myrtaceae*, o fruto popularmente conhecido como goiaba, é originário da América do Sul e cultivado em todos os países tropicais e subtropicais (ALVES *et al.*, 2006).

A goiaba é fonte de licopeno, carotenóides, compostos fenólicos e vitamina C (FARAONI *et al.*, 2012). Sendo assim, o aumento no consumo da goiaba está relacionado às suas qualidades nutricionais, sendo que a maior parte do consumo é na forma *in natura* e o restante é processado na forma de geleias, goiabada, sucos, vinho e néctar (LIMA *et al.*, 2013; MOURA *et al.*, 2013).

Segundo Ramos *et al.* (2013) a alta perecibilidade da goiaba é um grande problema para comercializá-la *in natura*. Bezerra *et al.* (2011) citaram que é difícil prolongar a vida útil de frutos frescos, além dos cuidados exigidos para a sua conservação e transporte. Sendo assim, o uso de uma tecnologia de conservação faz-se necessário para aumentar a disponibilidade e o consumo tanto da goiaba, como de outros frutos (MOREIRA *et al.*, 2013).

A secagem é um dos processos mais tradicionais usados na conservação de alimentos, pois o teor de água é reduzido, inibindo assim, o crescimento microbiano. Tradicionalmente, a retirada de água é realizada através do aumento da temperatura sobre o alimento, envolvendo transferência de calor. Dessa forma, é possível aumentar o tempo de conservação sem utilizar aditivos, como também modificar as propriedades sensoriais, como cor, sabor, textura, aroma, dando origem a novos produtos, tais como frutas passas, tomates secos, pimenta em pó, alho, cebola em flocos, entre outros (VILELA; ARTUR, 2008).

A secagem em camada de espuma é um processo de baixo custo que requer tempo e temperatura de secagem menores, devido a maior área de superfície de contato do produto exposta ao ar quente, e assim a água é removida mais rapidamente, obtendo-se um produto poroso e de fácil reidratação. O produto obtido tem alta qualidade e pode ser aplicado em alimentos como café, sucos de laranja, abacaxi, carambola, goiaba e outros produtos instantâneos (SANKAT; CASTAIGNE, 2004; RAJKUMAR *et al.*, 2007).

De acordo com Vissotto *et al.* (2006) a importância dos alimentos em pó deve-se à sua versatilidade no manuseio, armazenamento, processo de fabricação, estabilidade química e microbiológica. Alguns exemplos dessa classe de alimentos são: leites (integral e desnatado); alimentos destinados a crianças em fase de aleitamento; bebidas à base de cacau, café e malte; café solúvel; sopas desidratadas instantâneas; suplementos proteicos; pré-misturas para panificação; leveduras; enzimas; aromas; entre outros.

Diante do exposto, a secagem em camada de espuma é um método adequado para obtenção de frutos em pó, tendo em vista que esse método retém a qualidade dos produtos e pode gerar novas alternativas para produtos à base de frutas, como substitutos de aromatizantes artificiais, melhorando o sabor e o aroma dos produtos.

O objetivo principal desta pesquisa foi obter o pó da polpa de goiaba através da secagem em camada de espuma em secador tipo bandeja. Para isso foram determinadas as melhores condições da secagem em camada de espuma (*foam-mat*) em secador tipo bandeja para polpa de goiaba; foram analisadas as características (químicas, físicas e físico-químicas) da polpa e do pó obtido; foi avaliado o efeito da adição do agente espumante (albumina); foram ajustados modelos matemáticos para descrever a cinética de secagem e para representar as isotermas de adsorção dos pós; foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura as estruturas dos pós com diferentes concentrações de albumina; foram realizadas análises físicas dos pós (tensão de cisalhamento, densidade de compactação, ângulo de atrito de parede), bem como foi avaliado o escoamento dos pós; foi observada a estabilidade do pó da polpa de goiaba durante o seu armazenamento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Mercado de frutas

A produção mundial de frutas caracteriza-se pela grande diversidade de espécies cultivadas e tem apresentado um crescimento contínuo. A presença brasileira no mercado externo se dá com oferta de frutas tropicais e de clima temperado durante boa parte do ano, o que é possível pela extensão territorial do país, posição geográfica e condições de clima e solo privilegiadas (ANDRADE, 2012).

O Brasil ocupa o terceiro lugar no mercado mundial de produção de frutas, mas a sua posição é considerada não significativa no negócio mundial, pois exporta apenas 2% das frutas que produz, conforme a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (2015), enquanto os dez maiores produtores mundiais são responsáveis por pouco mais de 60% da produção total (MORAIS, 2015).

As frutas têm apresentado importância crescente no Brasil, tanto no mercado interno como no externo. Com relação às exportações brasileiras do agronegócio, houve um aumento de 8,7% em janeiro de 2016, em comparação a janeiro de 2015, de acordo com a Secretária de Relações Internacionais do Agronegócio (SRI) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2013; MAPA, 2016).

As frutas mais exportadas do Brasil foram as mangas, melões, uvas, limões e maçãs. Entre as frutas exportadas pelo Ceará, destaque para o melão que teve aumento de 12,9%, a banana 16,2% e a manga 3,2%. Os principais países importadores das frutas brasileiras foram Holanda, Reino Unido e Estados Unidos (ADECE, 2014). Foi registrado no Ceará, de janeiro a dezembro de 2015, um total de US\$ 118,9 milhões em frutas comercializadas com outros países, registrando um aumento de 4% nas exportações de frutas frescas (ADECE, 2015).

O comércio mundial da goiaba e seus derivados ainda não alcançou a mesma expansão de frutas como banana, laranja e uva, até porque a preferência do mercado internacional em relação à goiaba é pela fruta de polpa branca, enquanto que a produção e o consumo brasileiros estão direcionados a goiaba de polpa vermelha (MENDONÇA, 2012). Sendo assim, segundo Lermen *et al.* (2015) um dos aspectos primários para a aceitação de um produto é a cor. Ainda conforme os mesmos autores, o consumidor tem preferência de cor para cada tipo de alimento, podendo sentir repulsão ou atração por determinado produto, dependendo dos fatores culturais da região.

O Nordeste é a maior região produtora e exportadora de goiaba do Brasil, em que os estados que se destacam são Pernambuco e Bahia, cuja a colheita, em grande parte, segue anualmente para a França, Reino Unido e Países Baixos (AGÊNCIA PRODETEC, 2016).

2.2 Goiaba

A goiaba (*Psidium guajava* L.) tem origem nas regiões tropicais americanas, onde pode ser cultivada desde o México até o sul do Brasil. Também é conhecida pelos nomes de araçá-guaçu, araçáiba, araçá-das-almas, araçá-mirim, araçauaçu, araçá-goiaba, goiaba, goiaba-branca, goiaba-vermelha, guaiaba, guaiava, guava, guiaba, mepera e pereira (MENDONÇA, 2012).

A cultura da goiabeira foi, por muito tempo, juntamente com a cultura da bananeira, a grande fornecedora de matéria-prima para a indústria de doces da região Nordeste. Entretanto, a goiabeira era cultivada em áreas dependentes de chuva, portanto o período de produção era limitado a três ou quatro meses, durante o ano (MENDONÇA, 2012).

Atualmente, é cultivada em todas as regiões tropicais e subtropicais do mundo (MENDONÇA, 2012) com importância nutricional *in natura* devido a presença de vitaminas A e do complexo B, assim como o alto teor de vitamina C (ácido ascórbico) (POMMER; MURAKAMI, 2006). Além disso, o licopeno, potássio, cobre e fibras estão presentes em quantidades consideráveis (GORINSTEIN *et al.*, 1999; PADULA; RODRIGUEZ-AMAYA, 1986; QUEIROZ, 2004), superando os sucos cítricos (POMMER; MURAKAMI, 2006).

Além da grande aceitação para consumo *in natura*, a fruta é ainda adequada à aplicação industrial por apresentar alto rendimento em polpa. Ressalta-se, entretanto, seu curto período de conservação, que implica na necessidade de rápida comercialização ou processamento pós-colheita (DURIGAN, 1997).

Estudos realizados por Azzolini *et al.* (2005) permitem classificar a goiaba como um fruto climatérico, apresentando altas taxas de transpiração e perda de massa. Devido ao intenso metabolismo durante o amadurecimento, esses frutos senescem rapidamente, impedindo o armazenamento por períodos prolongados (CARVALHO *et al.*, 2001; RIBEIRO *et al.*, 2005).

Como a goiaba é um fruto de intenso metabolismo, sua capacidade de conservação é de apenas três dias, quando mantido na faixa de temperatura de 25 a 30 °C. Logo, é necessário a busca de métodos para prolongar a vida útil e o aproveitamento do

excedente de produção (WILBERG; RODRIGUEZ-AMAYA, 1995; GORINSTEIN *et al.*, 1999; ALI; LAZAN, 2001; QUEIROZ *et al.*, 2006).

A fruta é uma baga, carnosa, com numerosas pequenas sementes, casca verde, roxa ou amarelada, com superfície lisa e irregular, como observado na Figura 1 (OLIVEIRA *et al.*, 2012). Os dois tipos mais comuns são as polpas vermelha e a branca, sendo a vermelha mais saborosa e nutritiva. A polpa de goiaba é rica em compostos insolúveis, principalmente, substâncias pécticas, ácidos, polissacarídeos, proteínas e metais (OLIVEIRA; ROSSI; BARROS, 2011). Seus principais constituintes são taninos, flavonóides, óleos essenciais, álcoois sesquiterpenóides e ácidos triterpenóides (GONDIM *et al.*, 2006; AMARAL *et al.*, 2006).

Figura 1 – Fotos ilustrativas da goiaba cv. Paluma.



Fonte: Autor (2015).

O licopeno é um composto bioativo comumente encontrado em alimentos vermelhos coloridos, como tomate, goiaba, melancia e mamão. O extenso conjunto de ligações duplas conjugadas no licopeno é a chave para a sua atividade biológica, porém devido a essa característica, o composto torna-se susceptível a sofrer degradação oxidativa (SHI; LE MAGUER; BRYAN, 2002). Estudos epidemiológicos demonstraram que o consumo de alimentos ricos em licopeno é inversamente associado com o risco de aterosclerose (MISRA *et al.*, 2006), doenças cardiovasculares (ITO *et al.*, 2006) e o câncer de próstata (ZHANG *et al.*, 2007).

Os principais açúcares encontrados na goiaba são frutose, glicose e sacarose. Desses três açúcares, a frutose é o mais doce, correspondendo a cerca de 60% dos açúcares totais e a glicose e sacarose correspondem a 35 e 5%, respectivamente; a proporção desses

açúcares é o fator responsável pela doçura do fruto (CAMPBELL, 2005; CHOUDHURY *et al.*, 2001; COULTATE, 2004).

A goiaba destaca-se por suas excelentes qualidades nutricionais. É um fruto rico em zinco, fibras, niacina, vitamina e licopeno, além de conter teores considerados elevados de selênio, cobre, fósforo, magnésio, cálcio, ferro, ácido fólico e de vitaminas A e do complexo B (CHOUDHURY *et al.*, 2001).

A vitamina C apresenta-se em quantidades significativas e as concentrações deste composto na fruta aumentam durante o estágio de maturação e depois diminuem gradativamente. Moraes (2007) afirma que a goiaba apresenta quatro vezes mais vitamina C do que a laranja, no entanto sabe-se que esses valores podem variar sob diferentes fatores e, segundo Carvalho (1999), o teor de vitamina C varia de 55 a 1044 mg/100 g, de acordo com a cultivar, local e manejo. Pereira (2009) avaliou o teor deste composto em laranja e encontrou valores de $34,10 \pm 2,38$ mg/100g e $46,36 \pm 2,36$ mg/100 g.

A goiaba é rica em pectina, sendo seu teor influenciado por fatores como cultivar, estágio de maturação, época de desenvolvimento dos frutos e fatores climáticos (CERQUEIRA, 2007). Há vários estudos de aproveitamento de diferentes resíduos para extração de pectina, no entanto, apesar da goiaba (*Psidium guajava L.*) conter pectina, existem poucas informações sobre o seu uso como fonte de extração (MUNHOZ; SANJINEZ-ARGANDOÑA; SOAREZ JÚNIOR, 2008).

2.3 Secagem de alimentos

A secagem é um processo que pode ser utilizado pela indústria de polpas de frutas, tornando o produto na forma de pó, para o armazenamento em temperatura ambiente por longos períodos (GOMES; FIGUEIREDO; QUEIROZ, 2004). Além disso, a secagem das polpas de frutas pode reduzir as perdas dos frutos, aumentando seu tempo de conservação além de agregar valor ao produto.

Para a produção de polpas de frutas em pó, faz-se necessário adicionar às formulações um material de revestimento para evitar a caramelização dos açúcares existentes nas polpas (ANSELMO *et al.*, 2006). Os materiais de revestimento amplamente utilizados para o revestimento são maltodextrina, amido, amido modificado, conjugados de proteínas, gomas e pectina. Eles ajudam na redução do teor de umidade, atuando como uma barreira física ao oxigênio e à luz para assegurar a proteção química e evitar a destruição enzimática (WANG *et al.*, 2009).

Embora a secagem dos alimentos proporcione benefícios de conservação devido à baixa atividade de água atingida, esses produtos necessitam, nas fases de transporte e armazenamento, de uma embalagem adequada, que mantenham as características do produto obtidas na secagem (GOMES; FIGUEIREDO; QUEIROZ, 2004).

O pó da polpa de fruta, obtido pela secagem, apresenta características diferentes da polpa integral, sendo necessário analisar algumas propriedades como o conteúdo de ácido ascórbico, teor de umidade, pH, densidade, tempo de escoamento e molhabilidade, pois essas características influenciarão no valor nutricional, na qualidade, etapas de processamento e armazenamento (GOMES; FIGUEIREDO; QUEIROZ, 2002). Tem-se empregado tecnologias que permitam processar a fruta na forma de pó, fazendo com que o fruto, que era consumido somente em sua época de safra, possa ser consumido em qualquer período do ano (MATA *et al.*, 2005).

Muitos alimentos têm sido transformados em pó para serem adicionados em produtos de confeitaria e sucos, a fim de aumentar a quantidade de algum componente importante, como exemplo a adição da casca de uva em pó, rica em fibras e antioxidantes que foram acrescentadas em produtos de confeitaria (doces), para desenvolver um produto mais estável à temperatura ambiente (CAPPA; LAVELLI; MARIOTTI, 2014).

Silva *et al.* (2013) estudaram a otimização dos efeitos de diferentes agentes de microencapsulação (maltodextrina, goma arábica) para a obtenção de pós com maior retenção de antocianinas, melhores características físico-químicas e menor perda de cor. Zea *et al.* (2013) prepararam comprimidos de frutas em pó inteiras liofilizadas (pitaia e goiaba) para avaliar, *in vitro*, a liberação de compostos ativos e analisar sua adequação e dissolução como uma bebida de fruta natural.

Produtos desidratados em pó se caracterizam por possuírem um alto teor de sólidos solúveis com uma porção apreciável no estado amorfo (vítreo), que os torna altamente higroscópicos e sujeitos as mudanças físicas indesejáveis (FELLOWS, 2006).

O estado amorfo é obtido pela rápida remoção de umidade do material e é caracterizado por um estado metaestável em não equilíbrio, mostrando um alto grau de higroscopicidade que influencia nas características do material desidratado, como a tendência de formar aglomerados e o fenômeno de *caking* (BARBOSA, 2010).

A alta higroscopicidade dos pós dificulta o uso do produto devido à alta afinidade por água e em razão da sua composição complexa. A higroscopicidade é a capacidade do pó alimentício de absorver água a partir de um ambiente de alta umidade relativa. No caso de pós de frutas, os açúcares (sacarose, glicose e frutose) são responsáveis por fortes interações com

a molécula de água em razão dos terminais polares presentes nessas moléculas. Esses açúcares podem interagir fortemente com vapor de água em seu ambiente em consequência da sua natureza hidrofílica (JAYA; DAS, 2004).

Para evitar problemas como o *caking* e a alta higroscopicidade, faz-se necessária a adição de auxiliares de secagem, também chamados de carreadores ou material de parede, tais como os carboidratos complexos (amidos, maltodextrina, dextranas, etc.), celuloses, gomas, lipídios e proteínas (JAYA; DAS, 2004; BARBOSA, 2010). Eles devem promover proteção contra luz, temperatura, umidade e oxigênio, além de uma fácil manipulação do núcleo através da diminuição da higroscopicidade, de modo a manter o escoamento constante, facilidade de manuseio e estocagem do ingrediente, além da retenção de compostos voláteis de sabor e aroma (TANAKA, 2007).

A albumina em pó é um produto hiperprotéico, que possui exclusivamente proteínas de alto valor biológico, geralmente, derivada de ovos. Devido à sua alta digestibilidade e por conter todos os aminoácidos essenciais nas quantidades e proporções ideais, a albumina é reconhecida como a mais rica proteína animal. Na indústria, é empregada como emulsificante em alimentos (WEIJERS, 2002), agente espumante (FERNANDES *et al.*, 2014), suplemento proteico (VARGAS; FERNANDES, LUPION, 2015).

2.4 Secadores para alimentos

Existem vários tipos de secadores utilizados para desidratar alimentos: *spray-dryer*, liofilizador, *drum-dryer*, solar, secador de bandeja, entre outros.

A secagem por aspensão em secador *spray-dryer* teve seus primeiros passos na metade do século 18, quando foi patenteada a primeira operação de secagem de ovos (1865). Porém, o início de sua utilização como processo a nível industrial data da década de 20. Sua eficácia está baseada no princípio do aumento da área de contato entre o material a ser seco e o ar quente. Contudo, apenas uma boa área de contato não é suficiente para assegurar uma secagem eficiente, sendo necessário fornecer energia para evaporação da água e também do ar de secagem para que possa absorver toda a umidade. Esse tipo de secador possui, como diferencial, a obtenção dos produtos diretamente na forma de pó, eliminando as etapas posteriores de moagem que são típicas de outros equipamentos de secagem (ROSA; TSUKADA; FREITAS, 2012).

A liofilização constitui um processo de desidratação em que o produto, previamente congelado, passa diretamente do estado sólido para o gasoso (sublimação) em

condições especiais de temperatura e pressão. Para que isso ocorra, é necessário que a pressão de vapor e a temperatura da camada de gelo sublimável estejam abaixo do ponto tríplice da água (ALVES *et al.*, 2007). Essa técnica apresenta 3 etapas: congelamento; secagem primária, em que grande parte da água do produto é removida, água livre; a secagem secundária, que se refere à água ligada que é eliminada do produto (RODRIGUES, 2008). Uma vantagem dessa técnica de secagem é que a água é sublimada a partir de amostras congeladas, colocando-as sob vácuo intenso, aproveitando-se das propriedades termodinâmicas da água (RAMIREZ; BELLMUND; GARDINALI, 2014).

Dentre os processos de secagem, o secador de bandeja é o mais tradicional, pois é prático e barato. Normalmente esse processo é realizado em equipamentos com circulação forçada de ar ou secador de bandeja com regulagem de temperatura (SILVA; QUEIROZ, 2002). Esse processo promove a evaporação da água da amostra submetida ao ar quente. Com a circulação forçada, a água evaporada se dispersa para o ambiente externo, impedindo que retorne para a amostra (SANTOS; SOUZA; CASTRO, 2012).

Esses secadores consistem em uma câmara com isolamento térmico, sistemas de aquecimento e ventilação do ar circulante, sobre e através das bandejas, que ficam em uma base fixa. Essas bandejas são perfuradas e devem conter uma fina camada de alimento de 2 a 6 cm de espessura. O ar aquecido circula por meio de ventiladores com velocidade de 0,5 a 5 m/s através de um sistema de dutos e chicanas, permitindo uma circulação de ar para conservação do calor. É utilizado para a secagem de frutas, legumes e hortaliças em pequena escala (BRAGANTE, 2014; FELOWS, 2006).

A eficiência térmica nesse tipo de secador varia de 20 a 50%, dependendo da temperatura utilizada e da umidade do ar de saída (BRAGANTE, 2014). O controle da temperatura é feito com o auxílio de um termostato (CELESTINO, 2010).

O secador de bandeja também pode ser encontrado na operação a vácuo, o que possibilita a utilização de temperaturas mais baixas para secagem de produtos termossensíveis ou facilmente oxidados pelo calor (CELESTINO, 2010).

Diversos estudos utilizando secador de bandeja têm sido realizados para os mais diversos tipos de alimentos como amido de mandioca, maçã, pedúnculo de caju, carambola, manjerição, carqueja, folhas de sálvia, tomate (AVIARA *et al.*, 2014; SANTOS *et al.*, 2013; MACHADO *et al.*, 2010; SANTOS *et al.*, 2010; SOARES *et al.*, 2007; RADUNZ *et al.*, 2011; RADUNZ *et al.*, 2010; RAUPP *et al.*, 2009).

2.5 Método de secagem em camada de espuma

A secagem em camada de espuma consiste em um processo de conservação através do qual o material líquido ou semilíquido é transformado em uma espuma estável por meio de agitação com incorporação de agentes espumantes, como exemplo, o ar ou outros gases. Posteriormente é submetida à secagem com ar aquecido (SILVA *et al.*, 2008; KARIM; WAI, 1999) ou ainda liofilização (KADAM; PATIL; KAUSHIK, 2010; MUTHUKUMARAN; RATTI; RAGHAVAN, 2008; THUWAPANICHAYANAN; PRACHAYAWARAKORN; SOPONRONNARIT, 2008). O material é retirado da massa seca em forma de escamas e, finalmente, triturado para a obtenção do pó (UBOLBI, 1971; TRAVAGLINI; AGUIRRE; SILVEIRA, 2001).

É um método relativamente simples e barato, que utiliza agentes espumantes com o objetivo de manter a espuma estável o maior tempo possível durante o processo. Dentre as vantagens desse método, destacam-se as menores temperaturas e tempos de secagem, devido ao aumento da área superficial em contato com o ar, o que aumenta a velocidade de remoção de água. Com isso, obtém-se um produto final poroso e de fácil reidratação, além de manter a qualidade nutricional e sensorial (KARIM; WAI, 1999; KADAM; PATIL; KAUSHIK, 2010).

Uma das vantagens do processo é manter a alta qualidade dos produtos. O método já foi testado em café, sucos de laranja, carambola, uva, abacaxi e outros produtos (SANKAT; CASTAIGNE, 2004). E as desvantagens envolvem os aditivos adicionados, que podem alterar as características sensoriais de sabor, aroma e cor do alimento (MARQUES, 2009).

Breda, Justi e Sanjinez-Argadoña (2013) analisaram o efeito da desidratação *foam-mat* na retenção da vitamina C na polpa de cajá-manga, utilizando Emustab e pectina como agentes espumantes. Estes autores concluíram que o aumento da concentração dos agentes formadores de espuma na formulação contribuiu para a retenção do ácido ascórbico. Kadam, Wilson e Manisha (2012) estudaram a influência da secagem em camada de espuma na qualidade da polpa de tomate utilizando como agentes espumantes e estabilizantes a albumina do ovo, carboximetilcelulose e leite, e concluíram que este método é adequado para a conservação de tomate na forma de pó, sem perdas consideráveis de nutrientes. Melo *et al.* (2013) verificaram a influência da espessura da camada de espuma e do tempo do processo de secagem, e concluíram que o processo foi mais rápido para a menor espessura e a temperatura mais elevada.

2.6 Cinética de secagem

Segundo Vilela e Artur (2008), as informações contidas nas curvas de secagem são de fundamental importância para o desenvolvimento de processos e para o dimensionamento de equipamentos, pois com elas pode-se estimar o tempo de secagem de certa quantidade de produtos e, com essa informação é possível estimar o gasto energético, que refletirá no custo de processamento e, por sua vez, influenciará no preço do produto final. No dimensionamento de equipamento pode-se determinar as condições de operação para secagem e, com isto, a seleção de trocadores de calor, ventiladores e outros.

Park *et al.* (2007) descreveram os três estágios da cinética de secagem da seguinte maneira:

- Primeiro estágio: é o período de indução ou período para entrar no regime operacional. No começo o produto está mais frio do que o ar, então a pressão parcial de vapor da água na superfície do produto é menor e a consequência é que a transferência de massa e a velocidade de secagem são mínimas. Quando começa o aquecimento do produto, a pressão aumenta e a velocidade de secagem também. Esse fenômeno continua até que a transferência de calor seja maior que a transferência de massa. Se o produto tiver temperatura maior que a do ar, a temperatura do produto diminuirá até ocorrer o equilíbrio. O tempo de duração desse estágio é insignificante quando comparado com o período total de secagem.
- Segundo estágio: corresponde ao período de velocidade em taxa constante de secagem. Durante esse período o conteúdo de água dentro do produto é grande. A água é evaporada facilmente na forma de água livre. A pressão de vapor de água na superfície é constante e é igual à pressão de vapor de água pura à temperatura do produto, que por sua vez, é constante e igual à temperatura de bulbo úmido. A velocidade de secagem é, conseqüentemente, constante. Esse estágio continua enquanto houver facilidade de migração de água do interior para superfície do produto, e assim não haja dificuldade para a água ser evaporada da superfície.
- Terceiro estágio: consiste no período em que a velocidade está em taxa decrescente de secagem. A migração de água do interior para superfície não ocorre com facilidade e assim, fica em quantidade insuficiente na superfície do produto, como consequência a velocidade de secagem diminui. Durante esse período, a troca de calor não é mais compensada, sendo assim, a temperatura do produto aumenta e tende à temperatura do ar. Durante todo este período o fator limitante é

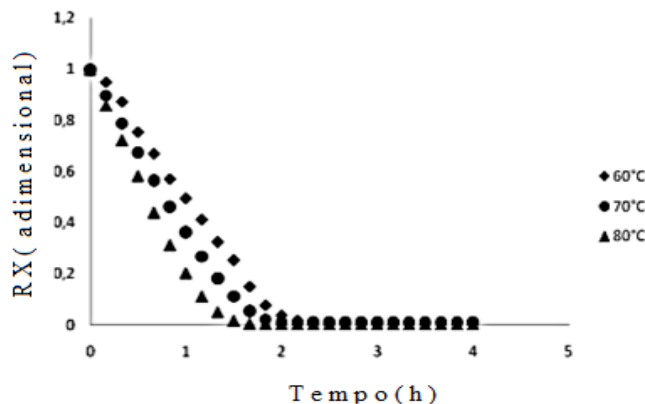
a migração interna de água. Esta redução da taxa (ou velocidade) de secagem é devido ao abaixamento da pressão parcial de vapor de água na superfície. No final desse período o produto estará em equilíbrio com o ar e a velocidade de secagem é nula.

Dependendo do tipo de secador, os fatores que influenciam a cinética de secagem são: temperatura, umidade relativa do ar ambiente, temperatura e vazão do ar de secagem, teor de água inicial, composição do produto e vazão do produto no secador (ANDRADE *et al.*, 2006).

De acordo com Resende *et al.* (2008), as curvas de secagem de frutas variam com a espécie, variedade, condições ambientais, métodos de preparo pós-colheita, entre outros fatores. Dessa forma, diversos modelos matemáticos têm sido utilizados para descrever o processo de secagem de produtos agrícolas.

Os modelos matemáticos são úteis na estimativa do tempo necessário para redução do teor de água do produto para diferentes condições de secagem, auxiliando nas decisões e contribuindo na melhoria da eficiência do processo (ANDRADE; BORÉM; HARDOIM, 2003). Portanto, é de grande importância o ajuste de diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais de secagem, e, também, que este trabalho seja realizado para as diversas espécies de plantas, a fim de se obter o modelo mais adequado para cada espécie vegetal (RADUNZ *et al.*, 2010).

Figura 2 – Curvas de secagem do modelo de Midilli, em três temperaturas, para a polpa de ceriguela.



Fonte: FURTADO *et al.* (2010).

Furtado *et al.* (2010) estudaram a cinética de secagem de polpa de ceriguela pelo método de camada de espuma, através do ajuste de diferentes modelos matemáticos aos

valores experimentais. A secagem foi realizada em estufa de circulação forçada de ar nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C. O modelo matemático de Midilli foi o que apresentou o melhor ajuste para a cinética de secagem da polpa de ceriguela, como mostrado na Figura 2.

2.7 Isotermas de sorção

A estabilidade física, química e microbiológica dos alimentos dependem do conteúdo de água, de sua disponibilidade e de sua interação com os outros componentes do alimento. Em uma temperatura constante, o teor de umidade de um alimento modifica-se até que atinja uma situação de equilíbrio com o vapor de água do ambiente no qual se encontra. Essa umidade corresponde à umidade de equilíbrio do alimento (COSTA, 1989).

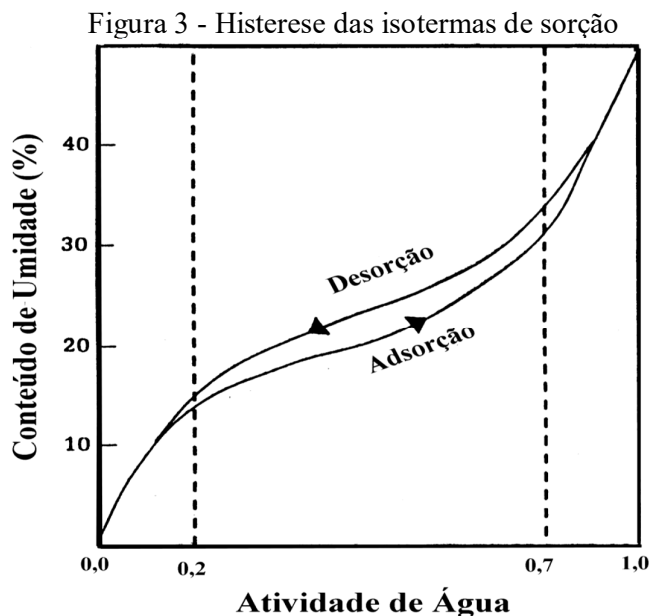
Dessa forma, a importância das curvas das isotermas é avaliar o comportamento dos pós em diferentes ambientes, modificando a temperatura e a umidade relativa (MATOS; SAMPAIO; PAULA, 2014).

A relação entre o teor de água de um determinado produto e a umidade relativa de equilíbrio para uma temperatura específica pode ser expressa por meio de equações matemáticas denominadas isotermas ou curvas de equilíbrio higroscópico (RESENDE *et al.*, 2006). Gomes, Figueiredo e Queiroz (2002) ao estudarem polpa de acerola, observaram que a umidade de equilíbrio aumentou com o aumento da atividade de água e, na maioria dos casos, com o aumento da temperatura.

Para determinação experimental da umidade de equilíbrio torna-se necessário um ambiente com umidade relativa controlada. O método de controle de umidade relativa mais usado é o que utiliza compostos químicos, tais como soluções aquosas de ácido sulfúrico e soluções de sais. Cada solução apresenta um grau de ajuste de umidade relativa que pode ser obtido variando-se a concentração das soluções a diferentes temperaturas (PARK; BIN; BROD, 2001)

Uma vez produzida a fruta em pó, uma das informações mais importantes são as isotermas de equilíbrio higroscópico do produto (ANSELMO *et al.*, 2006), pois através delas pode-se estudar o potencial de conservação dos alimentos desidratados, fazer um projeto adequado de embalagens permeáveis, estabelecer o teor de umidade que resulta em vida útil maior, etc. (COSTA, 1989). Portanto, o conhecimento dessas curvas de sorção é indispensável para determinar o teor de água final necessário para estabilizar um produto, visto que a pressão de vapor de água representa a disponibilidade de água para o crescimento de microrganismos, além de outras reações que alteram o produto.

A representação gráfica das curvas pode ser de adsorção ou dessorção, dependendo da determinação da umidade do produto a ser feita, segundo o processo de umidificação ou secagem. Quando essas curvas não coincidem, essa diferença entre as isotermas é conhecida como o fenômeno de histerese, como mostrado na Figura 3 (PARK *et al.*, 2007).



Fonte: PARK *et al.*, 2007.

Através da construção das isotermas de adsorção de umidade, podem-se resolver numerosos problemas de processamento, estocagem de alimentos e produtos alimentícios devido à capacidade de determinar: previsão do tempo de secagem, vida útil em uma determinada embalagem e requisitos básicos necessários para que se possa embalar um produto, e ainda, a caracterização do produto no equilíbrio, quando o mesmo é constituído por componentes de atividade de água diferente (PENA; RIBEIRO; GRANDI, 2000). Além de poder determinar a monocamada, a qual está relacionada com o início de uma série de reações químicas de deterioração dos alimentos, representando o ponto de maior gasto de energia em um processo de secagem (FERREIRA; PENA, 2003).

Dentre os modelos matemáticos mais utilizados para isotermas de adsorção destacam-se: GAB, BET, Henderson e Oswin, representados na Tabela 1.

Tabela 1 – Modelos para a descrição das isotermas de adsorção

Modelo	Fórmula
GAB	$X_e = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w) \cdot (1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)}$
BET	$X_e = \frac{X_m \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w)} \left[\frac{1 - (n + 1) \cdot (a_w)^n + n \cdot (a_w)^{n+1}}{1 - (1 - C) \cdot a_w - C \cdot (a_w)^{n+1}} \right]$
Henderson	$X_e = \left[\frac{-\ln(1 - a_w)}{b} \right]^{\frac{1}{a}}$
Oswin	$X_e = a \cdot \left[\frac{a_w}{1 - a_w} \right]^b$

a_w - atividade de água (adimensional); X_e - umidade de equilíbrio (g/g), base seca; n - número de camadas moleculares; X_m - conteúdo de umidade na monocamada molecular, (g/g); a , b - constantes de ajustes dos modelos; C , K - constantes de sorção.

Fonte: Autor (2015).

O potencial de sorção de água em alimentos é um fenômeno complexo e multifatorial, relacionado com as características intrínsecas do produto e condições ambientais a qual está exposto. A movimentação do vapor de água do alimento para a atmosfera que o envolve, ou vice-versa, depende do teor de umidade, composição do alimento, temperatura e umidade do ar (JARDIM; GERMER, 1997). Assim haverá uma isoterma característica para cada produto.

A adsorção de água nos alimentos desidratados é causada, principalmente, pela própria natureza química dos componentes orgânicos do produto, como a presença de açúcares, a existência de forças intermoleculares do tipo Van der Waals, a capacidade de grupos hidroxílicos – OH para formar ligações com moléculas de água e o tipo de processo de desidratação (PARK et al., 2008).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Obtenção da polpa de goiaba

Para esse trabalho foram utilizadas polpas de goiaba vermelha obtidas em uma empresa processadora de frutas de Fortaleza - CE. As polpas foram acondicionadas em sacos plásticos selados, em porções de 100 g e armazenadas a -18°C até o início dos experimentos.

3.2 Caracterização físico-química da polpa de goiaba

As análises físico-químicas das polpas foram realizadas nos Laboratórios de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem e no Laboratório de Refrigeração da Universidade Federal do Ceará. Todas as análises foram realizadas em triplicata através dos seguintes métodos:

- Determinação de umidade, pH, acidez total titulável, açúcares redutores, não-redutores e totais, sólidos solúveis: segundo às normas do Instituto Adolfo Lutz (2008);
- Parâmetros de cor L*, a*, b* de acordo com a escala CIEL*a*b* em que a leitura foi realizada através do Colorímetro Minolta;
- Determinação de Vitamina C segundo a AOAC – ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (1990).

3.3 Secagem de polpa de goiaba

Na secagem foi utilizado um secador de bandeja de aço inox de modelo AISI 304, de dimensões 60 x 63 x 225 cm, da empresa Metalúrgica (Figura 4). Antes do processo de secagem as polpas foram descongeladas e formuladas com adição de albumina em pó (agente espumante) obtida do comércio local de Fortaleza – CE, em porções de 500 g, da empresa Shinoda Alimentos LTDA (Indaiatuba, São Paulo – Brasil). Em seguida, foram batidas em uma batedeira doméstica (MALLORY GIROMAX 200W), por 5 minutos na velocidade máxima do equipamento, para formação da espuma. A espuma obtida foi espalhada nas bandejas de alumínio em camada de 0,5 cm de altura e colocadas no secador de bandeja. A polpa de goiaba desidratada foi removida das bandejas através de raspagem e moída em um moinho de bancada MA 048 da MARCONI para a obtenção do pó. Os pós obtidos tiveram

suas massas medidas em uma balança semi-analítica SHIMADZU AY220 e acondicionados em embalagens plásticas de polietileno de baixa permeabilidade ao oxigênio (embalagem laminada) para posterior caracterização física e físico-química.

Figura 4 – Secador de bandeja de aço inox (AISI 304)



Fonte: Laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem da UFC (2015).

Foram realizados testes preliminares para determinar os valores dos níveis de concentração de agente espumante, temperatura do ar de secagem e tempo de processo, como mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Dados do planejamento fatorial completo para definir as condições de secagem

Variáveis independentes:	Níveis				
	-1,68	-1	0	+1	+1,68
Tempo de Secagem (min), X_1	279,6	300	330	360	380,4
Concentração de Albumina (m/m), X_2	2,6	4	6	8	9,4
Temperatura de Secagem (°C), X_3	71,6	75	80	85	88,4

Fonte: Autor (2015).

As concentrações da albumina, a temperatura do ar de secagem e o tempo do processo foram avaliados através de um planejamento experimental completo 2^3 , com 16 ensaios como verificado na Tabela 3. Como variáveis resposta foram utilizadas a higroscopicidade, teor de umidade, cor (escala CIEL*a*b*), vitamina C e rendimento de

sólidos. Após definido as melhores condições de secagem, foram realizadas análises para avaliação da estabilidade dos pós.

Tabela 3 - Planejamento experimental para definir as condições de secagem da polpa de goiaba pelo método de camada de espuma

Ensaio	Variáveis independentes		
	X ₁ (min.)	X ₂ (%)	X ₃ (°C)
1	360 (+1)	8 (+1)	85 (+1)
2	300 (-1)	8 (+1)	85 (+1)
3	360 (+1)	4 (-1)	85 (+1)
4	300 (-1)	4 (-1)	85 (+1)
5	360 (+1)	8 (+1)	75 (-1)
6	300 (-1)	8 (+1)	75 (-1)
7	360 (+1)	4 (-1)	75 (-1)
8	300 (-1)	4 (-1)	75 (-1)
9	330 (0)	6 (0)	80 (0)
10	330 (0)	6 (0)	80 (0)
11	279,6 (-1,68)	6 (0)	80 (0)
12	380,4 (+1,68)	6 (0)	80 (0)
13	330 (0)	2,6 (-1,68)	80 (0)
14	330 (0)	9,4 (+1,68)	80 (0)
15	330 (0)	6 (0)	71,6 (-1,68)
16	330 (0)	6 (0)	88,4 (+1,68)

Em que: X₁-tempo de secagem (min.); X₂-concentração de albumina (%); X₃-temperatura de secagem (°C).
Fonte: Autor (2015).

No rendimento, as pesagens das amostras foram realizadas utilizando uma balança analítica Marte UX82005. A Equação 1 descreve como foi realizado o cálculo para a variável resposta rendimento do processo:

$$R = \frac{(1-U_{pó}) \cdot m_{pó}}{(1-U_{polpa}) \cdot m_{polpa}} \cdot 100 \quad (1)$$

em que,

R = rendimento do processo, em %;

$U_{pó}$ = umidade do pó obtido na secagem, em g/g;

U_{polpa} = umidade da polpa submetida a secagem, em g/g.

$m_{pó}$ = massa total do pó obtido na secagem, em g;

m_{polpa} = massa total da polpa submetida a secagem, em g.

3.4 Caracterização físico-química do pó na condição escolhida

Através do planejamento experimental foram determinadas as condições de tempo e temperatura de secagem, e concentração de albumina para obtenção do pó da polpa de goiaba.

Foram realizadas as análises descritas no item 3.2 com exceção dos sólidos solúveis, além das análises de higroscopicidade segundo Goula e Adamopoulos (2008) e solubilidade do pó segundo Cano-Chauca *et al.* (2005).

3.5 Avaliação da estabilidade do pó obtido na condição escolhida

As análises físico-químicas do pó, na condição escolhida, foram realizadas nos Laboratórios de Controle Qualidade de Alimentos e Secagem e no Laboratório de Refrigeração da Universidade Federal do Ceará. Todas as análises foram realizadas em triplicata a cada 15 dias durante 90 dias de armazenamento. As seguintes análises foram realizadas:

- Determinação de umidade, pH, acidez total titulável, cor descritas no item 3.2;
- Determinação da higroscopicidade descrita no item 3.4.

Os resultados das análises foram submetidas a análise de variância (ANOVA) para detectar diferenças significativas entre as amostras apresentados na forma gráfica.

3.6 Avaliação da cinética de secagem

Para determinar a cinética de secagem da polpa de goiaba foram estudadas três temperaturas: 75, 80 e 85 °C. As amostras de polpa de goiaba foram misturadas à albumina em concentrações de 4 e 8%. Em seguida, foram espalhadas em bandejas de alumínio de 12 cm de diâmetro, com altura de aproximadamente 0,5 cm e colocadas no secador de bandejas de aço inox (AISI 304 de dimensões 60 x 63 x 225 cm da Metalúrgica). As pesagens foram realizadas em balança analítica (SHIMADZU, AY220) em intervalos regulares de 15 minutos. A partir de 195 minutos do tempo de secagem, as pesagens foram realizadas a cada 5 minutos

até peso constante. Com exceção das amostras a temperatura de 75 °C, que foram pesadas apenas em intervalos regulares de 15 minutos. Com os dados obtidos foi calculada a razão de umidade, como observa-se na Equação 2:

$$RU = \frac{U - U_e}{U_o - U_e} \quad (2)$$

em que,

RU - razão de umidade, adimensional;

U - teor de umidade, base seca (g/g);

U_e - teor de umidade de equilíbrio, base seca (g/g);

U_o - teor de umidade inicial, base seca (g/g).

Para calcular a cinética de secagem, os dados foram ajustados a partir dos modelos apresentados na Tabela 4. Os ajustes foram realizados através do programa *Statistica* 10.0.

Tabela 4 – Modelos matemáticos para a descrição da cinética de secagem da polpa de goiaba a 4 e 8% de albumina

Modelo	Fórmula	Fonte	Equação
Lewis	$RU = \exp(-kt)$	ANDRADE <i>et al.</i> , 2006.	3
Page	$RU = \exp(-kt^n)$	CORRÊA <i>et al.</i> , 2010.	4
Midilli	$RU = a \exp(-kt^n) + bt$	MIDILLI; KUKUK; YAPAR, 2002.	5
Logarítmo	$RU = a \exp(-kt) + C$	SOUSA <i>et al.</i> , 2011.	6

RU – razão de umidade; k - velocidade de secagem (h^{-1}); n – resistência interna; t – tempo (min.), a, b, c – constantes dos modelos (adimensionais).

Fonte: Autor (2015).

Para verificar o grau de ajuste de cada modelo foi considerada a significância adotando o nível de 10% de probabilidade, a magnitude do coeficiente de determinação (R^2), o erro médio estimado (SE) e a verificação do comportamento da distribuição dos resíduos. O erro médio estimado, para cada um dos modelos, foi calculado conforme a Equação 7 (RESENDE; FERREIRA; ALMEIDA, 2010):

$$SE = \sqrt{\frac{\sum(Vo - Vc)^2}{GLR}} \quad (7)$$

em que,

V_o - valor observado experimentalmente;

V_c - valor calculado pelo modelo;

GLR - graus de liberdade do modelo (número de observações menos o número de parâmetro do modelo).

3.7 Determinação das isotermas de adsorção dos pós

Para construção das isotermas de adsorção dos pós obtidos, foi utilizado um método gravimétrico estático, descrito por Spiess e Wolf (1987). As amostras de pó foram colocadas em cadinhos e dentro de 6 células (ambiente fechado) com umidades relativas distintas (produzidas pelas soluções salinas) de acordo com Greenspan (1977) conforme a Tabela 5. Em seguida, foram armazenadas em uma B.O.D até que o equilíbrio entre a umidade do pó e a solução fosse estabelecido. A verificação do equilíbrio foi realizada através da pesagem dos cadinhos em balança analítica (SHIMADZU, AY220) até que a variação das massas fosse menor que 1%. Cada vez que foi estabelecido o equilíbrio, mudou-se a temperatura da B.O.D. As temperaturas foram: 25, 35 e 45 °C.

Tabela 5 – Soluções salinas das células das isotermas de adsorção com suas respectivas umidades relativas

Células	Solução	Umidade Relativa (%)
1	CH ₃ COOK	21
2	K ₂ CO ₃	44
3	NaBr	58
4	SnCl ₂	76
5	KCl	84
6	BaCl ₂	90

Fonte: Greenspan (1977).

Os valores das massas das amostras foram medidos antes e depois do equilíbrio a fim de determinar a umidade de equilíbrio (X_e) conforme a Equação 8 e também foram medidos o teor de umidade dos pós depois do equilíbrio.

$$Xe = \frac{m_a}{m_s} \times 100 \quad (8)$$

em que,

X_e : unidade de equilíbrio em g/g (% base seca);

m_a : massa de água da amostra (g);

m_s : massa seca da amostra (g).

Após esse procedimento, foram medidas as atividades de água da solução de cada célula na última temperatura utilizada (45 °C) através de medidor modelo Aqualab da empresa BRASEQ.

Com os dados da unidade de equilíbrio e atividade de água foi possível ajustar um modelo matemático que descreva as isotermas dos pós através do programa *Statistica* 10.0. Os modelos matemáticos ajustados foram: GAB, BET, Henderson e Oswin (Tabela 6).

Tabela 6 – Modelos matemáticos para a descrição das isotermas de adsorção dos pós da polpa de goiaba

Modelo	Fórmula	Equação
GAB	$X_e = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w) \cdot (1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)}$	9
BET	$X_e = \frac{X_m \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w)} \left[\frac{1 - (n + 1) \cdot (a_w)^n + n \cdot (a_w)^{n+1}}{1 - (1 - C) \cdot a_w - C \cdot (a_w)^{n+1}} \right]$	10
Henderson	$X_e = \left[\frac{-\ln(1 - a_w)}{b} \right]^{\frac{1}{a}}$	11
Oswin	$X_e = a \cdot \left[\frac{a_w}{1 - a_w} \right]^b$	12

a_w - atividade de água (adimensional); X_e - unidade de equilíbrio (g/g), base seca; n - número de camadas moleculares; X_m - conteúdo de umidade na monocamada molecular, (g/g); a , b - constantes de ajustes dos modelos; C , K - constantes de sorção.

Fonte: Autor (2015).

Os modelos foram avaliados segundo os coeficientes de correlação entre as respostas observadas e as previstas pelos modelos, além do módulo do desvio médio relativo (E) definido como a média da porcentagem de diferença relativa entre valores experimentais e preditos conforme a Equação 13 (KUROZAWA *et al.*, 2005).

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

em que,

E - erro médio relativo;

M_i - valores obtidos experimentalmente;

M_{p_i} - valores preditos pelo modelo;

n - número de dados experimentais.

3.8 Análises físicas dos pós

O escoamento do pó foi avaliado, bem como, foram feitas análises de tensão de cisalhamento, densidade de compactação e ângulo de atrito de parede para os pós de polpa de goiaba nas concentrações de 4 e 8% de albumina, respectivamente. As amostras de pó foram colocadas, separadamente, no equipamento *powder flow test* (PFT – Figura 5) que é conectado a um computador de bancada e à medida que as análises físicas do pó vão sendo realizadas o equipamento gera o relatório. Sendo seguida todas as recomendações do fabricante.

Figura 5 – Equipamento *powder flow test*



Fonte: Laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem da UFC (2015).

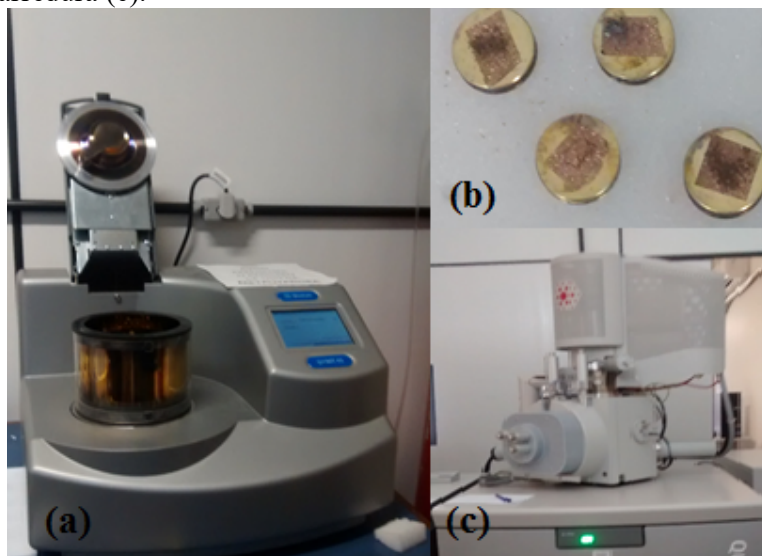
3.9 Microscopia Eletrônica de Varredura (MeV)

Foram realizadas análises para avaliar a superfície e a morfologia dos pós da polpa de goiaba sem a adição do agente espumante, a albumina em pó (agente espumante) e os pós da polpa nas concentrações de 4 e 8% de albumina

Os pós foram depositados em uma fita dupla face de carbono, fixadas em suportes metálicos (*stubs* – Figura 6 b), em que foram recobertos com ouro em uma metalizadora (Quorum Q 1550T ES – Figura 6 a). Posteriormente, foram capturadas as micrografias através

de um microscópio eletrônico de varredura (Quanta FEG 450 – Figura 6 c) nas resoluções de 100, 50 e 20 μm .

Figura 6 – Metalizadora (a), amostras do pó da polpa de goiaba metalizadas (b) e microscópio eletrônico de varredura (c).



Fonte: Laboratório de Física da UFC (2015).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização da polpa de goiaba

Na Tabela 7, observa-se a caracterização físico-química da polpa de goiaba, bem como os padrões de identidade e qualidade para a referida polpa de acordo com a Instrução Normativa nº 1, de 07 de janeiro de 2000 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Tabela 7 – Caracterização físico-química da polpa de goiaba em comparação aos seus padrões de identidade e qualidade

Parâmetros	Média ± desvio padrão	Legislação	
		Mínimo	Máximo
Umidade (%)	93,89 ± 0,100		
Atividade de água	0,97 ± 0,004		
Sólidos solúveis (° Brix)	4,00 ± 0,200	7,00	
Acidez (g de ácido cítrico/100g)	0,36 ± 0,010	0,40	
pH	3,77 ± 0,010	3,50	4,20
L*	45,39 ± 0,020		
Cor a*	22,63 ± 0,030		
b*	17,13 ± 0,050		
Açúcares redutores (%)	0,15 ± 0,100		
Açúcares totais (%)	0,24 ± 0,080		15,00
Ácido ascórbico (mg/100g)*	920,29 ± 133,0		-

*Valores expressos em base seca.

Fonte: Autor (2015); BRASIL, 2000.

Ao comparar os resultados obtidos da polpa de goiaba com os padrões de identidade e qualidade, é possível verificar que os sólidos solúveis e os açúcares totais estão abaixo do valor estabelecido pela normativa (Tabela 7). Isso pode ter ocorrido devido a variações nos fatores climáticos durante o cultivo, tipos de solo, espécie e/ou eventual adição de água durante o processamento da polpa.

Cruz (2013) ao analisar as características físico-químicas de polpa de goiaba *in natura* obteve valores de teor de umidade (87,63%), atividade de água (0,99) sólidos solúveis totais (9,83°Brix), acidez total titulável (0,38 g de ácido cítrico/100g), pH (3,60) e análises colorimétricas: L* (38,60), a* (17,63) e b* (20,02), sendo o teor de umidade menor e o valor dos sólidos solúveis superior ao obtido para a polpa de goiaba (Tabela 7), essa diferença pode ser explicada devido ao autor ter processado as polpas antes das análises, diferente da polpa deste trabalho que já foi obtida processada. O processamento da polpa ou a variedade

utilizada podem ter ocasionado a redução na proporção da quantidade dos sólidos solúveis e o aumento do teor de umidade. Ambas as polpas tiveram resultados próximos de atividade de água, pH e acidez total titulável. Com relação aos valores das análises colorimétricas obtidos por Cruz (2013), os valores das coordenadas L* e a* foram inferiores, e o valor da coordenada b* superior.

Temóteo *et al.* (2012) avaliaram os teores de acidez e pH de polpas de acerola, cajá e goiaba de uma marca comercial de Maceió (Alagoas), em que os valores de pH foram de 3,9; 3,2; 4,2 e para acidez 0,94; 0,99; 0,49 g/100g de ácido cítrico, para acerola, cajá e goiaba, respectivamente. Observa-se, ao comparar os valores do trabalho de Temóteo *et al.* (2012) com os resultados da Tabela 7, que apenas o pH aproxima-se dos valores encontrados pelos referidos autores e os valores de acidez estão acima dos valores obtidos para este trabalho. Ferreira *et al.* (2014) obtiveram valores inferiores de umidade (81,76%), pH (2,86) e superiores para os sólidos solúveis (10,80 °Brix) para polpa de cajá integral comparados a Tabela 6.

Fernandes *et al.* (2014) encontraram valores de pH e acidez titulável de 4,16 e 0,34 g de ácido cítrico/100g, respectivamente para polpa de tomate *in natura*. Verifica-se que o valor do pH está um pouco acima do obtido para polpa de goiaba, porém não há diferenças no valor da acidez. Machado, Gurgel e Medeiros (2015) citaram os valores do teor de umidade, acidez total titulável e atividade de água: 87,50%, 0,44 g de ácido cítrico/100g, 0,988, respectivamente, para a polpa de goiaba *in natura*.

Oliveira, Costa e Afonso (2011) obtiveram valores de pH (5,55), sólidos solúveis totais (15,67 °Brix), açúcares redutores (9,67%), açúcares totais (11,17%) e umidade (75,04%) para o sapoti *in natura*. Estes resultados estão bem acima dos obtidos para a goiaba *in natura* (Tabela 7), exceto o teor de umidade do sapoti que é inferior ao da goiaba. Rocha *et al.* (2014) obtiveram valores de vitamina C inferiores (282,67 mg de ácido ascórbico / 100 g), para o suco de caju em pó.

4.2 Planejamento experimental

5.2.1 Resultados do planejamento experimental para umidade, higroscopicidade e ácido ascórbico

Na Tabela 8, observa-se os valores médios para as variáveis dependentes analisadas no planejamento experimental (umidade, higroscopicidade e ácido ascórbico), de

acordo com as variáveis independentes: concentração de albumina, tempo e temperatura de secagem.

Tabela 8 – Resultados do planejamento experimental para as variáveis: umidade, higroscopicidade e ácido ascórbico

Ensaio	Variáveis independentes			Variáveis dependentes		
	t (min)	Concentração (%)	T (°C)	U (%)	H (g/100g)	AA (mg/ 100g)*
1	360	8	85	1,95 ± 0,25	5,85 ± 0,38	73,41 ± 11,95
2	300	8	85	2,18 ± 0,27	6,25 ± 0,55	84,72 ± 16,21
3	360	4	85	1,81 ± 0,01	6,70 ± 0,22	89,03 ± 8,18
4	300	4	85	1,96 ± 0,09	6,87 ± 0,57	99,76 ± 6,76
5	360	8	75	2,90 ± 0,09	5,82 ± 0,37	90,57 ± 12,66
6	300	8	75	2,74 ± 0,30	7,36 ± 0,96	75,52 ± 2,26
7	360	4	75	6,07 ± 0,13	6,53 ± 0,19	97,14 ± 1,06
8	300	4	75	4,17 ± 0,16	5,43 ± 0,15	96,42 ± 3,33
9	330	6	80	1,82 ± 0,17	5,37 ± 0,10	105,71 ± 7,49
10	330	6	80	1,98 ± 0,07	6,24 ± 0,71	108,28 ± 0,67
11	279,6	6	80	1,88 ± 0,19	8,48 ± 0,73	87,17 ± 3,08
12	380,4	6	80	1,74 ± 0,23	6,15 ± 0,62	91,79 ± 14,93
13	330	2,6	80	2,50 ± 0,12	4,87 ± 0,52	98,61 ± 2,29
14	330	9,4	80	1,92 ± 0,09	7,51 ± 0,41	86,41 ± 0,24
15	330	6	71,6	2,44 ± 0,11	6,71 ± 0,06	104,99 ± 1,07
16	330	6	88,4	1,52 ± 0,06	7,62 ± 0,22	96,63 ± 12,34

*base seca; t – tempo; T – temperatura; U – umidade; H – higroscopicidade; AA – ácido ascórbico
Fonte: Autor (2015).

Umidade

A umidade do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma variou de 1,52% no ensaio 16 a 6,07% no ensaio 7 (Tabela 8). Os valores da umidade estão dentro dos padrões recomendados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para produtos desidratados. A Resolução RDC nº 272 de 22 de setembro de 2005 da ANVISA estabelece que produtos de frutas secos ou desidratados devem apresentar no máximo 25% de umidade (BRASIL, 2005).

Resultado de 5,69% foi encontrado por Santos *et al.* (2014) para goiaba em pó atomizada. Observa-se que este valor está dentro da faixa para o pó de polpa de goiaba obtido pelo método de secagem em camada de espuma. Breda, Justi e Sanjinez-Argandoña (2013) encontraram um teor de umidade para polpa de cajá-manga em pó obtido pelo método de camada de espuma variando de 5,43 a 7,28%. Rocha *et al.* (2014) encontraram valores de umidade entre 1,36 e 3,35%, durante os ensaios do planejamento experimental para suco de caju em pó. As variações de umidade que ocorrem entre as frutas pode ser devido ao método de secagem, tempos e temperaturas aplicadas à secagem e as características intrínsecas do produto. Esses teores de umidades podem ser considerados baixos. Desta forma, são obtidos produtos mais estáveis, estando de acordo com os parâmetros estabelecidos pela legislação para produtos desidratados, sendo este um fator de proteção ao desenvolvimento de microrganismos deteriorantes e patogênicos (BRASIL, 2005).

Na análise dos efeitos observa-se que apenas a variável temperatura, em seu termo linear, teve efeito significativo sobre a umidade, conforme a Tabela 9 e o Gráfico 1. Se houver aumento na temperatura, a umidade diminui, sendo o contrário também verdadeiro. Os parâmetros tempo de secagem e concentração de albumina não tiveram efeitos significativos sobre a umidade, pois apresentaram um p-valor maior que 0,1.

Tabela 9 – Efeitos estimados das variáveis independentes sobre a variável dependente umidade.

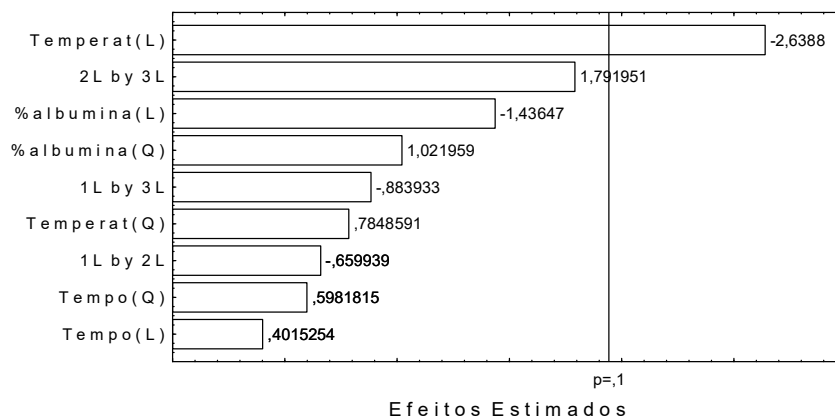
Fatores	Efeitos estimados	Erro padrão	p-valor
Tempo (L)	0,213	0,530	0,702
Tempo (Q)	0,386	0,645	0,572
Albumina (L)	-0,757	0,527	0,201
Albumina (Q)	0,646	0,632	0,346
Temperatura (L)	-1,398*	0,530*	0,039*
Temperatura (Q)	0,506	0,645	0,462
Tempo (L) x Albumina (L)	-0,457	0,692	0,534
Tempo (L) x Temperatura (L)	-0,612	0,692	0,411
Albumina (L) x Temperatura (L)	1,240	0,692	0,123

*Valores significativos para $p < 0,1$; L: termo linear; Q: termo quadrático.

Fonte: Autor (2015).

O diagrama de Pareto (Gráfico 1) é uma representação gráfica da Tabela 9, em que observam-se as variáveis independentes e os seus efeitos sobre a variável umidade. Desta forma, comprova-se que a temperatura contribuiu significativamente para a umidade do pó da polpa de goiaba.

Gráfico 1 – Diagrama de Pareto para a variável umidade do pó da polpa de goiaba obtida pelo método de camada de espuma



Fonte: Programa *Statistica* 10.0 (2010).

Ferrari *et al.* (2012) obtiveram amostras de polpa de amora-preta menos úmidas com o aumento da temperatura do ar de secagem e o uso de maltodextrina (agente carreador) pelo processo de atomização, em que ambos tiveram efeito significativo sobre as amostras. Segundo os autores ao aplicar temperaturas mais altas, há uma maior taxa de transferência de calor para as partículas da amostra e assim maior evaporação da água do produto, resultando em pós com teores de umidades menores.

De acordo com a Tabela 10, para a análise de variância (ANOVA), ao nível de confiança de 90%, foram considerados apenas os efeitos significativos do modelo de regressão para a umidade.

Tabela 10 – Análise de variância para o modelo de regressão da umidade.

Fonte de variação	Soma Quadrática	Grau de Liberdade	Média Quadrática	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	6,669	1	6,669	7,037	3,102
Resíduos	13,266	14	0,948		
Falta Ajuste	13,252	13	1,019	73,391	60,902
Erro Puro	0,014	1	0,014		
Total	19,935	15			

Fonte: Autor (2015). F_{cal} = (1;14;0,1).

Observa-se que o valor de F_{calculado} é maior que o do F_{tabelado}, sendo a variável resposta umidade significativa para o modelo de regressão gerado. Verificou-se também que na falta de ajuste o F_{calculado} é maior que o F_{tabelado}, então, pode-se afirmar que a falta de ajuste também foi significativa (Tabela 10).

O modelo estatístico, ajustado aos dados experimentais testados está representado pela Equação 14, em que foram considerados todos os efeitos para a variável umidade do pó da polpa de goiaba:

$$U = 72,455 + 0,0480.t + 0,0002.t^2 - 4,8626.A + 0,0808.A^2 - 1,4597.T + 0,0101.T^2 - 0,0038.t.A - 0,0020.t.T + 0,0620.A.T \quad (14)$$

em que,

U = umidade (%);

t = tempo (min.);

A = albumina (%);

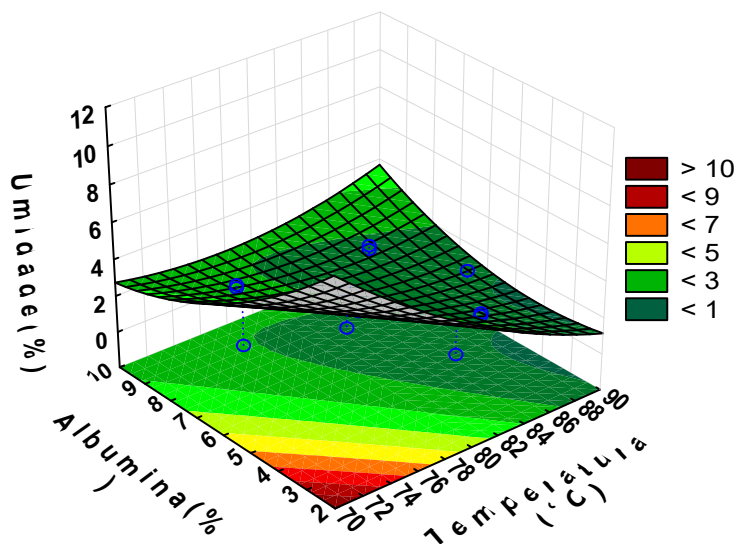
T = temperatura (°C).

Nas Figuras 7 e 9 estão apresentadas as superfícies de resposta e nas Figuras 8 e 10 as curvas de contorno para a umidade do pó da polpa de goiaba, conforme a Equação 14. Embora o tempo de secagem e a concentração de albumina não tenham sido significativos (Tabela 9), observa-se que com o aumento destas variáveis houve uma tendência à redução da umidade, assim como, a temperatura de secagem (variável significativa) que ao ser aumentada, reduz a umidade, dentro dos limites do planejamento.

A superfície de resposta (Figura 7) para o teor de umidade do pó da polpa de goiaba pelo método de camada de espuma mostra a relação entre a temperatura de secagem e a concentração de albumina. Observa-se que no tempo de 330 minutos com o aumento da concentração de albumina e da temperatura de secagem, houve uma tendência a redução do teor de umidade do pó de polpa de goiaba dentro dos limites do planejamento.

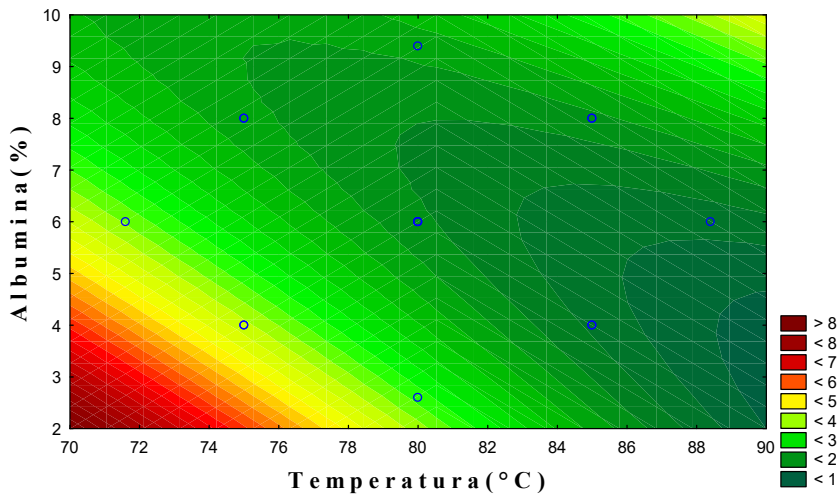
A Figura 8 corresponde à curva de contorno para a variável umidade. Observa-se que há uma tendência a redução da umidade com o aumento da temperatura e da concentração de albumina. Na temperatura constante de 80 °C e aumentando-se a concentração de albumina, observa-se um efeito quadrático da albumina sobre a umidade: redução e aumento do teor de umidade do pó.

Figura 7 – Superfície de resposta a 330 minutos para a variável umidade (%) do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma.



Fonte: Autor (2015).

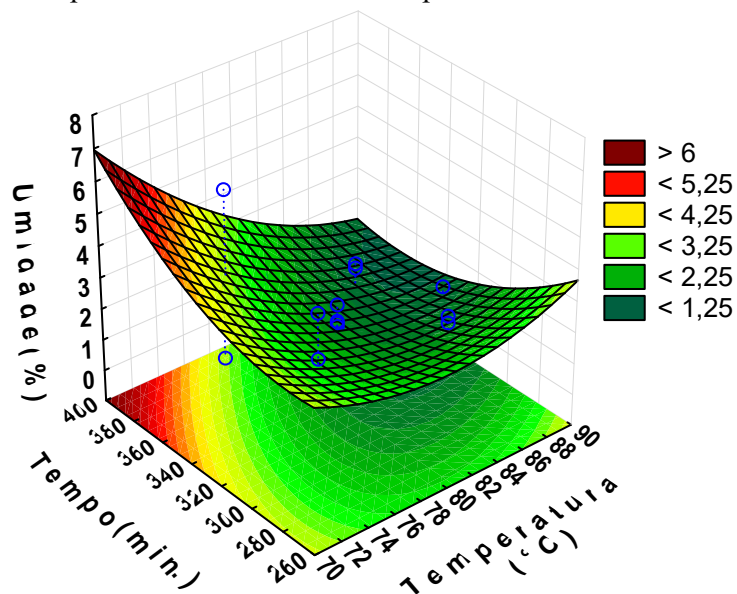
Figura 8 – Curva de contorno a 330 minutos para a variável umidade (%) do pó da polpa da goiaba obtido pelo método de camada de espuma.



Fonte: Autor (2015).

A superfície de resposta para a umidade do pó da polpa de goiaba a 6% de albumina, mostra que o aumento do tempo e da temperatura, há uma tendência a redução do teor de umidade, como observado na Figura 9.

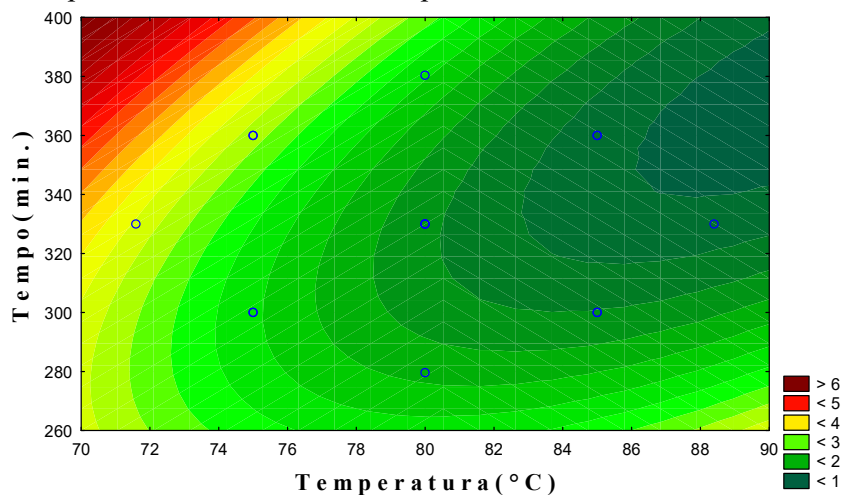
Figura 9 – Superfície de resposta a 6% de albumina para a variável umidade (%) do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma.



Fonte: Autor (2015).

Na Figura 10, observa-se que a temperatura de 80 °C há um efeito quadrático do tempo com relação a variável umidade, ou seja, com o aumento do tempo há uma redução e um aumento da umidade para a mesma temperatura.

Figura 10 - Curva de contorno a 6% de albumina para a variável umidade (%) do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma.



Fonte: Autor (2015).

Higroscopicidade

A higroscopicidade do pó da polpa de goiaba obtida pelo método de camada de espuma variou entre 4,87 a 8,48% (Tabela 8). É possível explicar a baixa higroscopicidade do pó da polpa de goiaba obtido pelo método em camada de espuma, a partir da hipótese que a albumina devido a temperatura de secagem, possa ter desnaturado, acarretando uma redução na sua afinidade por água (FENNEMA, 2010). Segundo Almeida (2010), a desnaturação da albumina do ovo ocorre de 79 a 84 °C.

Araújo *et al.* (2014) analisaram a higroscopicidade do suco de acerola desidratado em leito de jorro e obtiveram valores para os pós que variaram de 7,32 a 11,91%. Ferrari *et al.* (2012) obtiveram valores altos de higroscopicidade (18,77 a 29,51%) para polpa de amora preta atomizada adicionada de maltodextrina, comparado ao pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma.

As diferentes higroscopicidades devem-se à presença dos agentes (proteínas, carboidratos) adicionados para facilitar a secagem. A maltodextrina, é um carboidrato que tem a função de se ligar facilmente a água através de hidroxilas, absorvendo a água do ar atmosférico. Com relação aos compostos proteicos, como a albumina utilizada nesse trabalho, as moléculas de água ligam-se a diversos grupos de proteínas, uma vez que a capacidade de hidratação de uma proteína está relacionada, em parte, à sua composição de aminoácidos. Quanto maior o número de resíduos carregados, maior a capacidade de ligar-se com a água. Porém, a proteína desnaturada tem a solubilidade reduzida (FENNEMA, 2010).

Na Tabela 11 e no Gráfico 2, observa-se que não houve efeitos significativos das variáveis independentes (concentração de albumina, tempo e temperatura de secagem) sobre a variável resposta higroscopicidade, pois os p-valores foram maiores que 0,1. . Desta forma, não há representação da variável resposta, higroscopicidade, através de modelo matemático.

Observa-se graficamente através do Diagrama de Pareto (Gráfico 2) que não houve efeitos significativos das variáveis independentes sobre a higroscopicidade do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de secagem em camada de espuma.

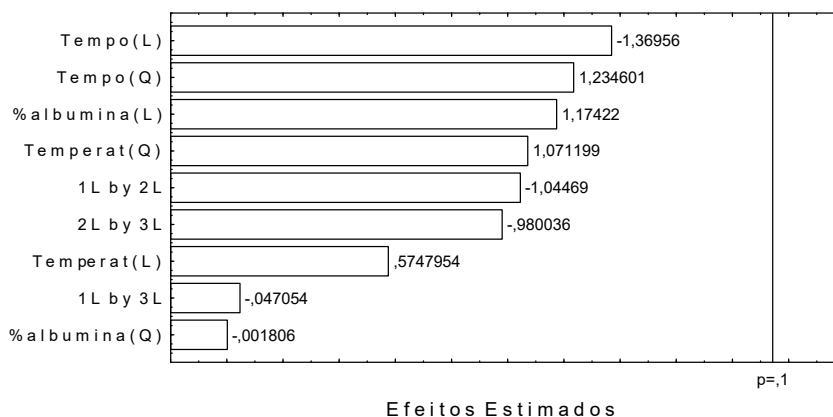
Tabela 11 - Efeitos estimados das variáveis independentes sobre a variável dependente higroscopicidade.

Fatores	Efeitos estimados	Erro padrão	p-valor
Tempo (L)	-0,720	0,525	0,220
Tempo (Q)	0,790	0,640	0,263
Albumina (L)	0,614	0,523	0,285
Albumina (Q)	-0,001	0,627	0,999
Temperatura (L)	0,302	0,525	0,586
Temperatura (Q)	0,685	0,640	0,325
Tempo (L) x Albumina (L)	-0,717	0,686	0,336
Tempo (L) x Temperatura (L)	-0,032	0,686	0,964
Albumina (L) x Temperatura (L)	-0,672	0,686	0,365

L: termo linear; Q: termo quadrático; $p < 0,1$.

Fonte: Autor (2015).

Gráfico 2 – Diagrama de Pareto para a variável higroscopicidade do pó da polpa de goiaba obtido pelo método camada de espuma.



Fonte: Programa *Statistica* 10.0 (2010).

Ácido ascórbico

Na Tabela 8, nota-se que a quantidade de ácido ascórbico presente no pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma variou de 73,41 mg/100g (ensaio 1) a 108,28 mg/100g (ensaio 10). O ácido ascórbico é uma das vitaminas que mais pode ser alterada no processamento dos alimentos, devido a ação do calor, da luz, do oxigênio, de álcalis, da oxidase do ácido ascórbico, bem como traços de cobre e ferro. Sua conservação é favorecida em meio ácido (TAVARES *et al.*, 2003).

Breda, Justi e Sanjinez-Argandoña (2013) estudaram o efeito da desidratação por camada de espuma na retenção de vitamina C na polpa de cajá-manga com diferentes formulações de espuma, onde a maior concentração de agentes espumantes reteve 10,78

mg/100g de ácido ascórbico e a menor concentração reteve 5,24 mg/100g ácido ascórbico. O teor de ácido ascórbico para uvaia desidratada pelo processo de liofilização foi de 112,41 mg/100g (OLIVEIRA *et al.*, 2010), superior ao encontrado para o pó da polpa de goiaba pelo método de camada de espuma.

Na Tabela 12 e no Gráfico 3 estão representados os efeitos das variáveis significativas sobre o ácido ascórbico. Apenas a variável independente, temperatura, não teve efeito significativo sobre a variável dependente, pois o p-valor foi maior que 0,1.

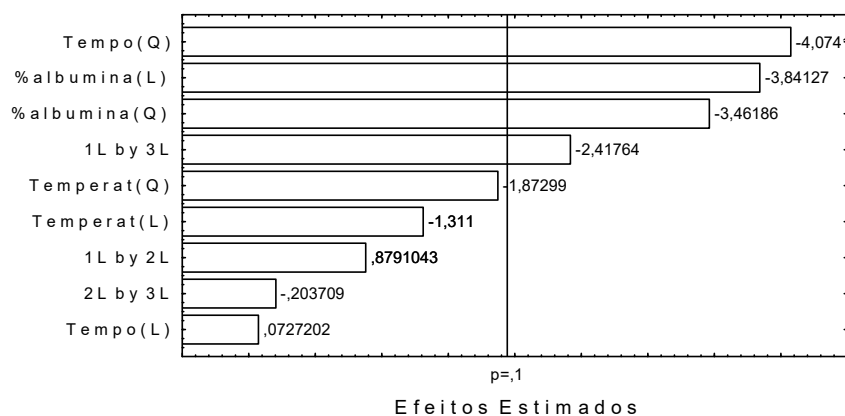
Tabela 12 – Efeitos estimados das variáveis independentes sobre a variável dependente ácido ascórbico.

Fatores	Efeitos estimados	Erro padrão	p-valor
Tempo (L)	0,218	2,994	0,944
Tempo (Q)	-14,856*	3,646*	0,007*
Albumina (L)	-11,444*	2,979*	0,009*
Albumina (Q)	-12,366*	3,572*	0,013*
Temperatura (L)	-3,925	2,994	0,238
Temperatura (Q)	-6,829	3,646	0,110
Tempo (L) x Albumina (L)	3,437	3,910	0,413
Tempo (L) x Temperatura (L)	-9,453*	3,910*	0,052*
Albumina (L) x Temperatura (L)	-0,797	3,910	0,845

*Valores significativos para $p < 0,1$; L: termo linear; Q: termo quadrático.

Fonte: Autor (2015).

Gráfico 3 – Diagrama de Pareto para a variável ácido ascórbico do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de secagem em camada de espuma



Fonte: Programa *Statistica* 10.0 (2010).

No Diagrama de Pareto (Gráfico 3), observa-se que o tempo de secagem foi a variável que mais contribuiu significativamente para o ácido ascórbico do pó de polpa de goiaba obtido pelo método de secagem de camada de espuma.

De acordo com a Tabela 13, a análise de variância (ANOVA), ao nível de confiança de 90%, considerando apenas os efeitos significativos para o modelo de regressão

do ácido ascórbico nota-se que o valor do $F_{\text{calculado}}$ é maior que o do F_{tabelado} , sendo a variável resposta ácido ascórbico significativa para o modelo de regressão gerado. Observa-se também que para a falta de ajuste o $F_{\text{calculado}}$ é menor que o F_{tabelado} . Desta forma, pode-se afirmar que a falta de ajuste do modelo não foi significativa.

Tabela 13 – Análise de variância para o modelo de regressão do ácido ascórbico.

Fonte de variação	Soma Quadrática	Grau de Liberdade	Média Quadrática	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}
Regressão	1503,840	4	375,960	342,060	2,536
Resíduos	12,090	11	1,099		
Falta Ajuste	8,796	10	0,880	0,270	60,902
Erro Puro	3,294	1	3,294		
Total	1515,930	15			

Fonte: Autor (2015). $F_{\text{cal}} = (4 \ 11; 0,1)$

Sendo assim, a Equação 15 representa o modelo estatístico ajustado aos dados experimentais, considerando todos os efeitos para a variável ácido ascórbico do pó da polpa de goiaba.

$$AA = - 2468,01 + 7,80.t - 0,01.t^2 + 9,42.A - 1,55.A^2 + 32,10.T - 0,14.T^2 + 0,03.t.A - 0,03.t.T - 0,04.A.T \quad (15)$$

em que,

AA = ácido ascórbico (mg/100g);

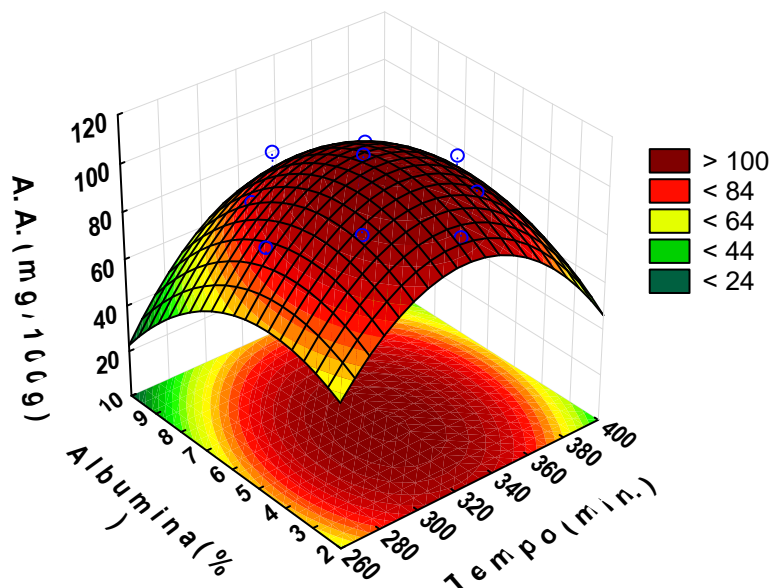
t = tempo (min.);

A = concentração de albumina (%);

T = temperatura (°C).

A partir de todos os efeitos estimados e do ajuste dos dados ao modelo obteve-se os gráficos da superfície de resposta (Figura 11) e da curva de contorno (Figura 12). Nota-se que é possível definir um ponto máximo de concentração de ácido ascórbico na região central das referidas figuras, e assim definir os valores de tempo (331,5 min.), temperatura de secagem (78,5 °C) e concentração de albumina (5,1%), para a secagem em camada de espuma de polpa de goiaba, observados na Tabela 21.

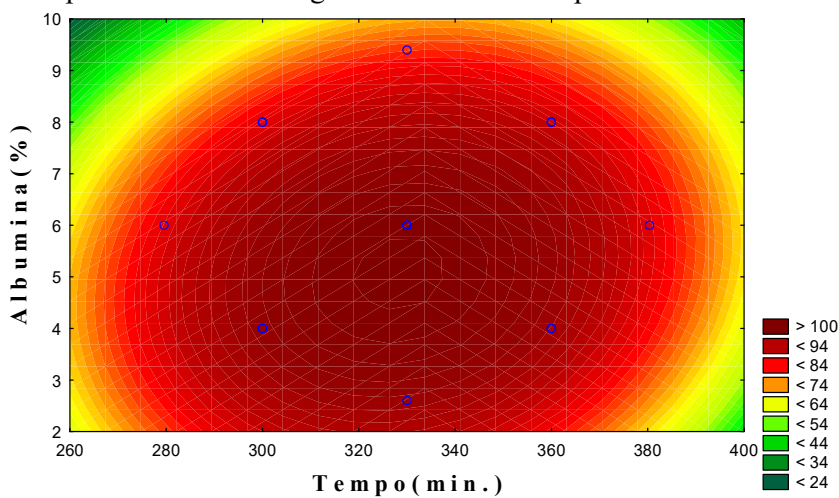
Figura 11 – Superfície de resposta a 80 °C para a variável ácido ascórbico (A.A.) do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma.



Fonte: Autor (2015).

Observa-se na Figura 11, que à medida que a concentração de albumina e o tempo aumentam, há uma tendência para a região central do gráfico que corresponde a máxima concentração de ácido ascórbico.

Figura 12 – Curva de contorno a 80 °C para a variável ácido ascórbico (A.A.) do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de secagem em camada de espuma.



Fonte: Autor (2015).

A Figura 12 comprova a superfície de resposta (Figura 11), onde à medida que há o aumento do tempo de secagem e da concentração de albumina, há uma tendência para a região central da curva de contorno que corresponde a máxima concentração de ácido ascórbico.

5.2.2 Resultados do planejamento experimental para o rendimento e os parâmetros de cor a^* , b^* , L^*

Na Tabela 14 estão os valores médios das variáveis dependentes rendimentos e os parâmetros de cor a^* , b^* , L^* com relação as variáveis independentes de tempo, temperatura de secagem e concentração de albumina.

Tabela 14 - Resultados do planejamento experimental para as variáveis: rendimento, parâmetros a^* , b^* , L^* .

Ensaio	Variáveis independentes				Variáveis dependentes		
	t (min)	Concentração de albumina (%)	T (°C)	R (%) b.s	Cor		
					a^*	b^*	L^*
1	360	8	85	90,50	3,93 ± 0,01	8,14 ± 0,01	51,51 ± 0,01
2	300	8	85	93,40	3,80 ± 0,02	6,93 ± 0,02	49,59 ± 0,01
3	360	4	85	93,86	4,78 ± 0,01	7,67 ± 0,27	50,33 ± 0,31
4	300	4	85	93,92	4,80 ± 0,01	7,37 ± 0,01	49,95 ± 0,02
5	360	8	75	81,20	4,26 ± 0,02	7,76 ± 0,01	50,40 ± 0,02
6	300	8	75	86,38	4,61 ± 0,02	7,91 ± 0,02	51,18 ± 0,01
7	360	4	75	69,30	4,58 ± 0,01	9,21 ± 0,02	51,20 ± 0,00
8	300	4	75	63,44	5,05 ± 0,02	7,66 ± 0,02	50,00 ± 0,05
9	330	6	80	94,53	4,66 ± 0,01	7,62 ± 0,01	50,83 ± 0,01
10	330	6	80	83,63	4,33 ± 0,01	8,31 ± 0,01	52,30 ± 0,00
11	279,6	6	80	89,36	4,68 ± 0,01	7,64 ± 0,01	51,91 ± 0,01
12	380,4	6	80	82,64	5,30 ± 1,16	8,39 ± 0,02	51,49 ± 0,01
13	330	2,6	80	88,57	5,04 ± 0,01	7,45 ± 0,01	50,52 ± 0,00
14	330	9,4	80	86,62	4,16 ± 0,02	8,76 ± 0,01	52,34 ± 0,03
15	330	6	71,6	89,84	4,63 ± 0,01	8,10 ± 0,02	51,71 ± 0,03
16	330	6	88,4	90,76	4,38 ± 0,01	8,98 ± 0,01	52,34 ± 0,02

Fonte: Autor (2015).

Rendimento

Observa-se na Tabela 14, que a variável rendimento, do pó da polpa de goiaba, variou de 63,44 a 94,53%. Para que o processo seja viável economicamente é necessário que a solução apresente o mínimo de 25% em sólidos (BARBOSA, 2010), para isso são adicionados aditivos, como a albumina que aumentou o rendimento do processo de secagem.

Para secagem em leito de jorro da mistura de graviola e leite, foram obtidos rendimentos inferiores aos deste trabalho, entre 3,90 e 42,65% (MACHADO *et al.*, 2015). Rocha *et al.* (2014) ao estudarem a melhores condições para o suco de caju atomizado obtiveram rendimentos de 73,98 a 99,30%.

Na Tabela 15 e no Gráfico 4 estão apresentados os efeitos estimados das variáveis independentes sobre o rendimento. Apenas a temperatura (L) teve efeito significativo sobre a variável rendimento. As demais variáveis independentes não apresentaram efeitos significativos, pois apresentaram p-valores maiores que 0,1.

Tabela 15 - Efeitos estimados das variáveis independentes sobre a variável dependente rendimento.

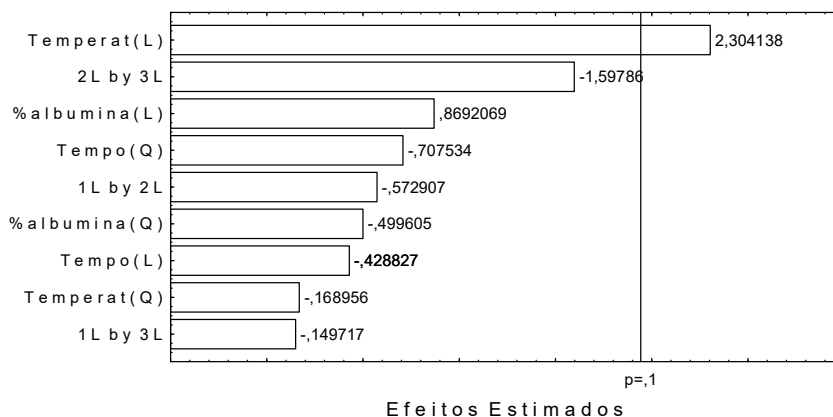
Fatores	Efeitos estimados	Erro padrão	p-valor
Tempo (L)	-1,989	4,638	0,683
Tempo (Q)	-3,997	5,649	0,506
Albumina (L)	4,012	4,615	0,418
Albumina (Q)	-2,765	5,534	0,635
Temperatura (L)	10,686*	4,638*	0,061*
Temperatura (Q)	-0,954	5,649	0,871
Tempo (L) x Albumina (L)	-3,470	6,057	0,588
Tempo (L) x Temperatura (L)	-0,907	6,057	0,886
Albumina (L) x Temperatura (L)	-9,678	6,057	0,161

*Valores significativos para $p < 0,1$; L: termo linear; Q: termo quadrático.

Fonte: Autor (2015).

No Diagrama de Pareto (Gráfico 4) estão apresentadas os efeitos estimados sobre o rendimento, confirmando o que foi afirmado na Tabela 15, em que apenas a variável temperatura foi significativa ($p\text{-valor} < 0,1$).

Gráfico 4 – Diagrama de Pareto para a variável rendimento do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma



Fonte: Programa *Statistica* 10.0 (2010).

Na Tabela 16 estão apresentados os dados da análise de variância (ANOVA), a nível de confiança de 90%, apenas para os efeitos significativos do modelo de regressão da variável rendimento do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma.

Tabela 16 – Análise de variância para o modelo de regressão do rendimento do pó da polpa de goiaba.

Fonte de variação	Soma Quadrática	Grau de Liberdade	Média Quadrática	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}
Regressão	389,563	1	389,563	7,119	3,102
Resíduos	766,080	14	54,720		
Falta Ajuste	706,693	13	54,361	0,915	60,902
Erro Puro	59,387	1	59,387		
Total	1155,643	15			

Fonte: Autor (2015). $F_{\text{cal}} = (1;14;0,1)$

Observa-se na Tabela 16 que o valor do $F_{\text{calculado}}$ é maior que o do F_{tabelado} , sendo a variável resposta rendimento significativa para o modelo de regressão gerado. Para a falta de ajuste pode-se constatar que o $F_{\text{calculado}}$ é menor que o F_{tabelado} , então a falta de ajuste não é significativa.

O modelo estatístico ajustado aos dados experimentais testados, considerando todos os efeitos estimados, para a variável resposta rendimento do pó da polpa de goiaba está representado na Equação 16:

$$R = - 736,88 + 1,8480.t - 0,00200.t^2 + 53,406.A - 0,3460.A^2 + 8,0240.T - 0,0190.T^2 - 0,0290.t.A - 0,0030.t.T - 0,4840.A.T \quad (16)$$

em que,

R = rendimento (%);

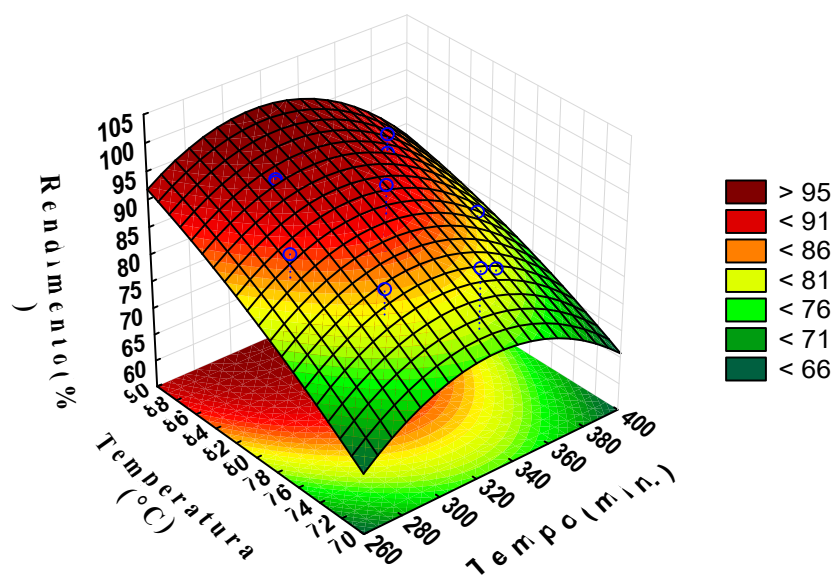
t = tempo (min.);

A = albumina (%);

T = temperatura (°C).

Embora o tempo e a concentração de albumina não tenham sido significativos (Tabela 15), observa-se que com o aumento destas variáveis, o rendimento apresentou uma tendência a aumentar, assim como, o aumento da temperatura (variável significativa), ocasionou o mesmo efeito sobre o rendimento, dentro dos limites do planejamento (Figuras 13, 14, 15 e 16). As figuras foram geradas conforme a Equação 16, considerando todos os efeitos estimados sobre a variável rendimento.

Figura 13 – Superfície de resposta a 6% de albumina para a variável rendimento do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma

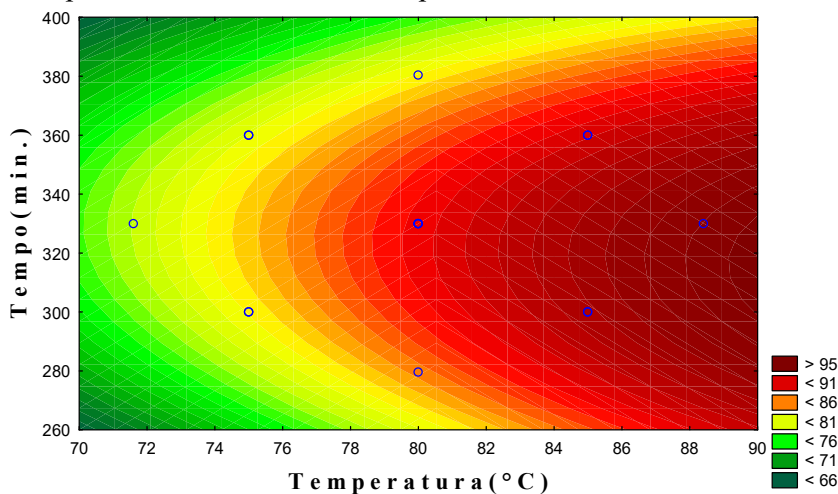


Fonte: Autor (2015)

Observa-se na Figura 13, à medida que há o aumento do tempo e da temperatura de secagem, há o aumento da variável rendimento. Com o aumento dessas variáveis ocorre

uma maior perda de água da amostra, na qual amostras menos úmidas facilitam o processo posterior de raspagem das bandejas e moagem, ocasionando rendimentos maiores.

Figura 14 – Curva de contorno a 6% de albumina para a variável rendimento do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma.



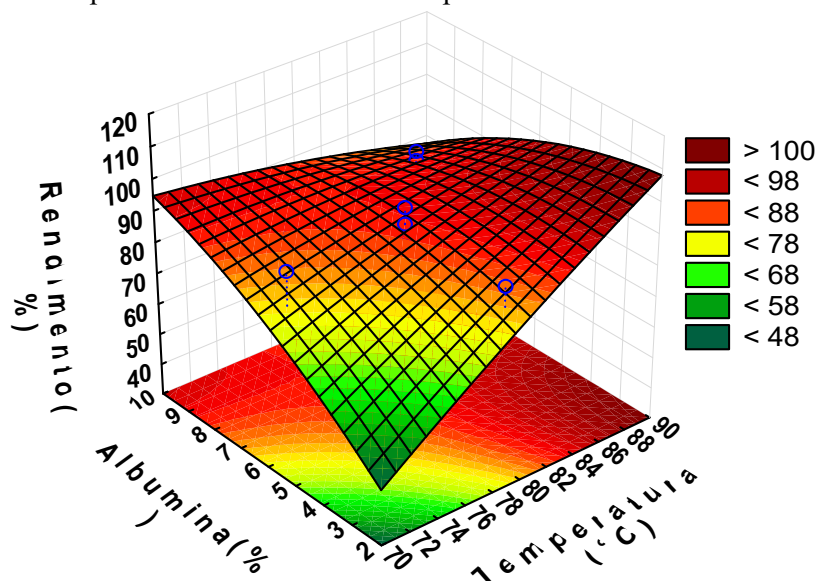
Fonte: Autor (2015).

Na Figura 14, confirma-se o que foi observado na Figura 13, à medida que houve o aumento na temperatura, obtiveram-se rendimentos maiores, dentro dos limites dos planejamento. Por exemplo, na temperatura de 75°C observam-se rendimentos menores que 80%, já para a temperatura de 85°C, há uma maior evaporação da água, sendo obtidos rendimentos maiores que 90%. Para a temperatura de 80°C observou-se que à medida que houve o aumento do tempo, houve uma variação do rendimento entre 80 e 90%.

Na Figura 15, nota-se que com o aumento da concentração de albumina e da temperatura de secagem, obtém-se rendimentos maiores, dentro do limites do planejamento, embora a concentração do agente espumante não tenha sido significativa.

Para a concentração de 2,5% de albumina, observa-se rendimentos menores que 78%, porém para concentração em torno de 9% de albumina, obtém-se rendimentos acima de 90% (Figura 15).

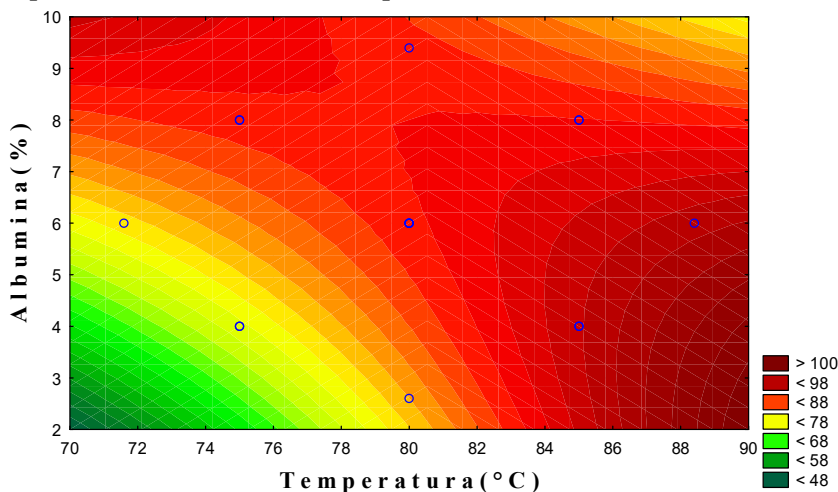
Figura 15 – Superfície de resposta a 330 minutos para a variável rendimento do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma



Fonte: Autor (2015).

Na Figura 16 é possível analisar o rendimento, fixando a concentração de albumina e variando a temperatura de secagem. Por exemplo, a 5% de albumina o rendimento a 74 °C é baixo, mas para as temperaturas de 78 °C e 86 °C os rendimentos são maiores, sendo o rendimento maior na última temperatura citada. Desta forma, a temperatura de secagem é a variável que mais contribui para a elevação do rendimento, concordando com os efeitos (Tabela 15).

Figura 16 – Curva de contorno a 330 minutos para a variável rendimento do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma.



Fonte: Autor (2015).

Parâmetro a^*

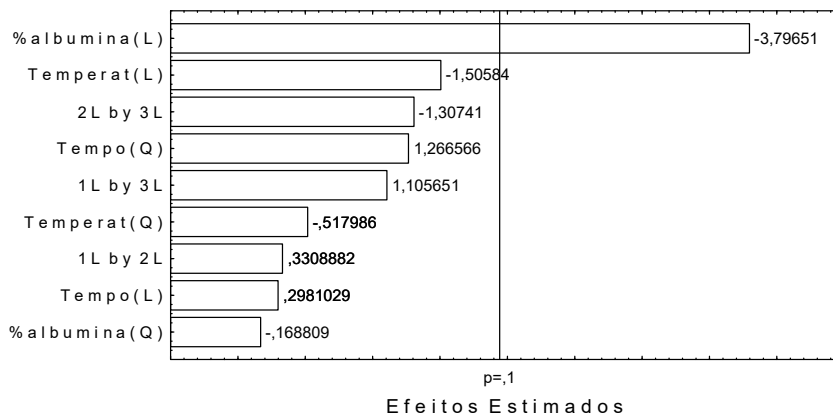
Dos fatores apresentados na Tabela 17 e no Gráfico 5, apenas a albumina (L) teve efeito significativo sobre o parâmetro de cor a^* . As demais variáveis não foram significativas para o parâmetro a^* , pois os p-valores foram maiores que 0,1.

Tabela 17 - Efeitos estimados das variáveis independentes sobre a variável de cor: a^* .

Fatores	Efeitos estimados	Erro padrão	p-valor
Tempo (L)	0,047	0,158	0,776
Tempo (Q)	0,244	0,193	0,252
Albumina (L)	-0,597*	0,157*	0,009*
Albumina (Q)	-0,032	0,189	0,871
Temperatura (L)	-0,238	0,158	0,183
Temperatura (Q)	-0,010	0,193	0,623
Tempo (L) x Albumina (L)	0,068	0,207	0,752
Tempo (L) x Temperatura (L)	0,228	0,207	0,311
Albumina (L) x Temperatura (L)	-0,270	0,207	0,239

*Valores significativos para $p < 0,1$; L: termo linear; Q: termo quadrático. Fonte: Autor (2015).

Gráfico 5 – Diagrama de Pareto para a variável de cor a^* do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma



Fonte: Programa *Statistica* 10.0 (2016).

No Diagrama de Pareto (Gráfico 5) observa-se que a variável que mais contribuiu para a coordenada a^* foi a concentração de albumina, a qual ao aumentar a concentração de albumina reduz a intensidade da cor vermelha, sendo o contrário também verdadeiro.

A Tabela 18 estão apresentados os dados da análise de variância (ANOVA), a nível de confiança de 90%, considerando apenas os efeitos significativos para o modelo de regressão do parâmetro de cor a^* do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma.

Tabela 18 – Análise de variância para o modelo de regressão do parâmetro de cor a*.

Fonte de variação	Soma Quadrática	Grau de Liberdade	Média Quadrática	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	1,229	1	1,229	13,861	3,102
Resíduos	1,242	14	0,089		
Falta Ajuste	1,186	13	0,09100	1,642	60,902
Erro Puro	0,056	1	0,056		
Total	2,471	15			

Fonte: Autor (2015). F_{cal} = (1; 14; 0,1).

Na Tabela 18, observa-se que o valor do F_{calculado} é maior que o do F_{tabelado}, sendo a variável resposta coordenada de cor a* significativa para o modelo de regressão. Para a falta de ajuste o F_{calculado} (1,642) é menor que o F_{tabelado} (60,902), sendo a falta de ajuste não significativa. Sendo assim, o modelo de regressão é preditivo.

O modelo estatístico ajustado aos dados experimentais testados considerando todos os efeitos para a variável resposta, coordenada de cor a*, do pó da polpa de goiaba está representado na Equação 17:

$$a = 23,641 - 0,1530.t + 0,0001.t^2 + 0,7905.A - 0,0040 A^2 + 0,1252.T - 0,0020.T^2 + 0,0006.t.A + 0,0008.T.t - 0,0135.A.T \quad (17)$$

em que,

a = coordenada de cor a*;

t = tempo (min.);

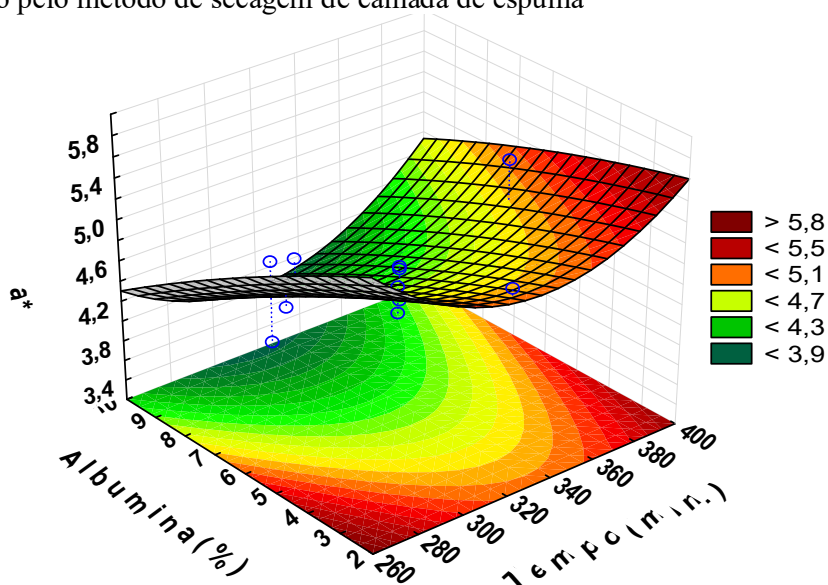
A = concentração de albumina (%);

T = temperatura (°C).

As Figuras 17, 18, 19 e 20 foram construídas considerando todos os efeitos estimados para a variável de cor, coordenada a*. É possível observar dentro dos limites do planejamento que à medida que ocorre o aumento na concentração de albumina, ocorre uma redução na intensidade da cor vermelha, ou seja, da coordenada de cor a*.

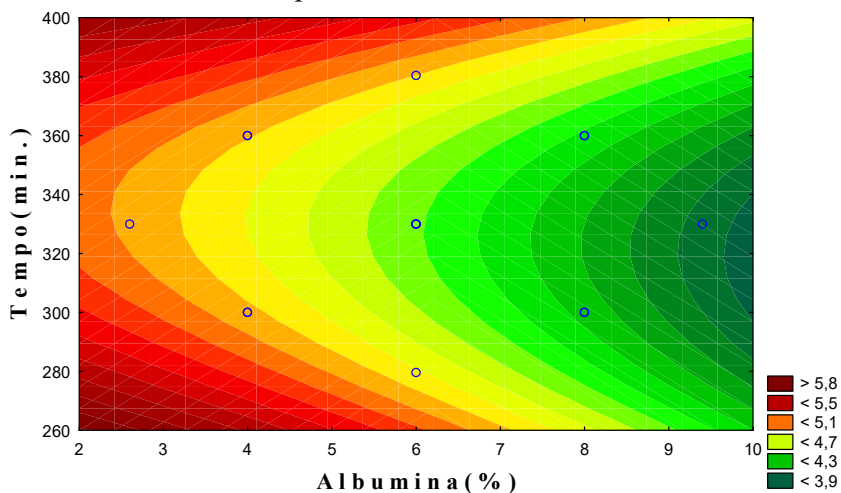
Na Figura 17, observa-se a redução da intensidade de cor da coordenada a*. Na concentração a 4% de albumina, a intensidade de cor é maior do que na concentração a 9%, dentro dos limites do planejamento. Sendo assim, confirma-se que houve redução na intensidade da cor vermelha à medida que ocorreu um aumento na concentração de albumina.

Figura 17 – Superfície de resposta a 80 °C para a coordenada de cor a^* do pó de polpa de goiaba obtido pelo método de secagem de camada de espuma



Fonte: Autor (2015).

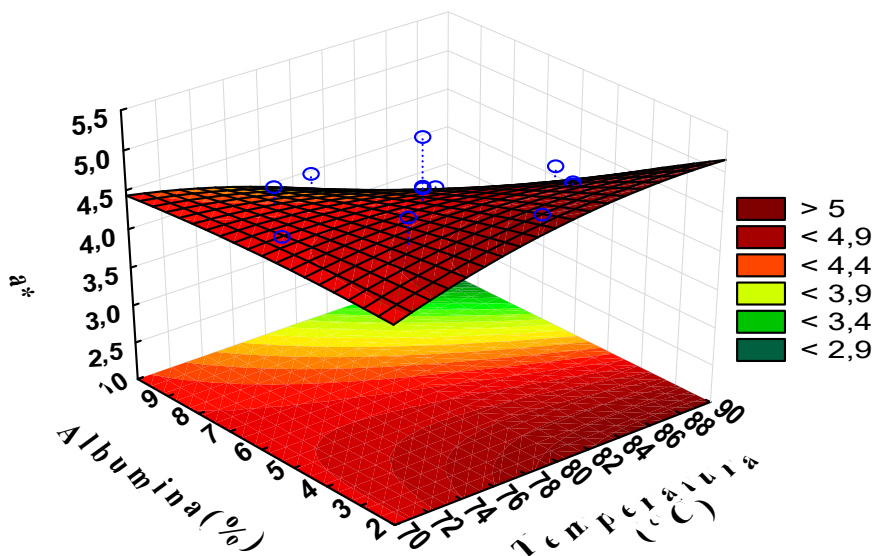
Figura 18 – Curva de contorno para a coordenada de cor a^* a 80 °C do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma.



Fonte: Autor (2015).

Observa-se na Figura 18 que com o aumento do tempo há uma tendência a redução da intensidade da cor vermelha devido a degradação dos pigmentos carotenoides. Para a concentração fixa de 6% de albumina, observa-se que ocorre redução e aumento da intensidade da cor, à medida que aumenta-se o tempo.

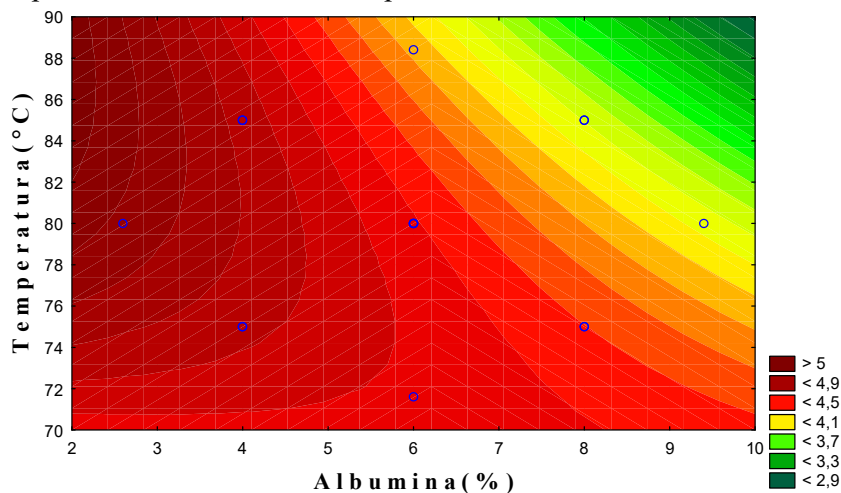
Figura 19 – Superfície de resposta a 330 minutos para a coordenada de cor a^* do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma



Fonte: Autor (2015).

Na Figura 19, observa-se que em temperaturas de secagem e concentração de albumina maiores, dentro dos limites do planejamento, há uma tendência a redução da intensidade de cor da coordenada a^* . Isso ocorre devido a degradação dos pigmentos carotenoides com o aumento da temperatura.

Figura 20 - Curva de contorno a 330 minutos para a coordenada de cor a^* do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma



Fonte: Autor (2015).

Na Figura 20, observa-se que a temperatura fixa de 80°C ocorre uma redução da intensidade de cor da coordenada a*, à medida que há o aumento na concentração de albumina. Essa redução também é observada com o aumento da temperatura, fixando a concentração em 6% de albumina.

Parâmetro b*

Na Tabela 19 e no Gráfico 6 estão apresentados os efeitos estimados das variáveis independentes sobre a variável de cor b*. As variáveis independentes de tempo, temperatura de secagem e concentração de albumina não influenciaram na intensidade de cor da variável b*, devido aos p-valores maiores que 0,1. Desta forma, não foi apresentada a análise de variância (ANOVA). E assim, não há representação de modelo estatístico ajustado aos dados experimentais.

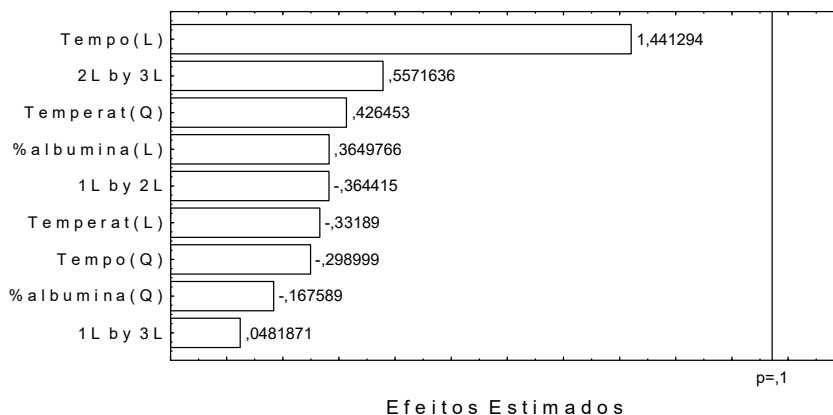
Tabela 19 - Efeitos estimados das variáveis independentes sobre a variável de cor: b*.

Fatores	Efeitos estimados	Erro padrão	p-valor
Tempo (L)	0,611	0,424	0,110
Tempo (Q)	-0,154	0,516	0,775
Albumina (L)	0,154	0,422	0,728
Albumina (Q)	-0,085	0,506	0,872
Temperatura (L)	-0,141	0,424	0,751
Temperatura (Q)	0,220	0,516	0,685
Tempo (L) x Albumina (L)	-0,202	0,553	0,728
Tempo (L) x Temperatura (L)	0,027	0,553	0,963
Albumina (L) x Temperatura (L)	0,308	0,553	0,598

*Valores significativos para $p < 0,1$; L: termo linear; Q: termo quadrático.

Fonte: Autor (2015).

Gráfico 6 – Diagrama de Pareto para a variável de cor b* do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de espuma



Fonte: Programa *Statistica* 10.0 (2010).

No Diagrama de Pareto (Gráfico 6), observa-se que as variáveis não foram significativas para a variável, parâmetro b^* . Ratificando graficamente o que foi afirmado através da Tabela 19.

Parâmetro L^*

Na Tabela 20 e no Gráfico 7, observa-se os efeitos estimados das variáveis independentes sobre a variável Luminosidade (L^*). Não houve efeitos significativos com relação as variáveis: tempo, temperatura de secagem e concentração de albumina. Desta forma, não foram feitas a análise de variância (ANOVA) e modelo estatístico ajustado aos dados experimentais para a referida variável resposta.

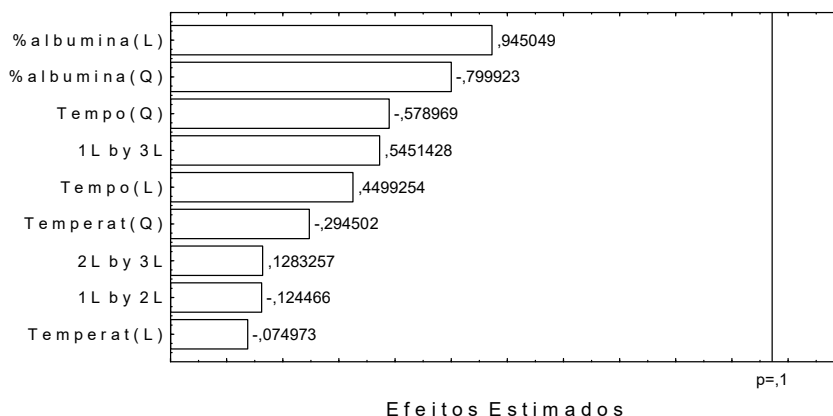
Tabela 20 – Efeitos estimados das variáveis independentes sobre a variável Luminosidade L^* .

Fatores	Efeitos estimados	Erro padrão	p-valor
Tempo (L)	0,298	0,661	0,669
Tempo (Q)	-0,466	0,805	0,584
Albumina (L)	0,622	0,658	0,381
Albumina (Q)	-0,631	0,789	0,454
Temperatura (L)	-0,050	0,661	0,943
Temperatura (Q)	-0,237	0,805	0,778
Tempo (L) x Albumina (L)	-0,108	0,864	0,905
Tempo (L) x Temperatura (L)	0,471	0,864	0,605
Albumina (L) x Temperatura (L)	0,111	0,864	0,902

*Valores significativos para $p < 0,1$; L: termo linear; Q: termo quadrático.

Fonte: Autor (2015).

Gráfico 7 – Diagrama de Pareto para a variável Luminosidade (L^*) do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de espuma



Fonte: Programa *Statistica* 10.0 (2010).

No Diagrama de Pareto (Gráfico 7) confirma-se graficamente o que foi observado na Tabela 20. Não houve efeito significativo das variáveis independentes sobre o parâmetro Luminosidade L*.

4.3 Condição escolhida para secagem

Para a variável resposta teor de ácido ascórbico foi possível observar um valor de máxima concentração de ácido ascórbico, dentro dos limites do planejamento. Os dados de tempo, temperatura de secagem e concentração de albumina foram obtidos a partir da referida variável (Tabela 21). Os dados obtidos, a partir do ácido ascórbico, foram analisados para as outras variáveis resposta e observou-se que satisfiziam as condições para obtenção de um pó de baixa umidade, com alto rendimento e baixa higroscopicidade.

Tabela 21 – Condição escolhida para a secagem de polpa de goiaba em camada de espuma.

Variáveis independentes	Valores
Tempo (min.)	331,5
Temperatura (°C)	78,5
Concentração de albumina (%)	5,1

Fonte: Autor (2015).

Sendo assim, a secagem em camada de espuma da polpa de goiaba foi realizada a partir das condições definidas para a máxima concentração de ácido ascórbico, apresentada na Tabela 21.

4.4 Caracterização do pó na condição escolhida

Os resultados da caracterização físico-química do pó da polpa de goiaba e os valores previstos (apenas para os parâmetros em que as variáveis independentes foram significativas na análise do planejamento experimental) estão descritos na Tabela 22.

Ao comparar esses resultados com os da polpa de goiaba (Tabela 7), nota-se que houve um aumento nos valores dos açúcares redutores e totais, acidez, pH, solubilidade. Isso ocorre porque a secagem reduz o teor de umidade do produto, e assim, são concentrados os solutos presentes na amostra, além da adição de albumina que contribui para o aumento do pH

do produto, segundo Fernandes *et al.* (2014). A polpa na forma de pó acarreta o aumento no teor de sólidos solúveis totais na amostra.

Tabela 22 - Caracterização físico-química do pó da polpa de goiaba na condição escolhida

Parâmetros	Média ± desvio padrão	Previstos
Umidade (%)	3,28 ± 0,2	2,68
Acidez (g de ácido cítrico/100g)	2,54 ± 0,1	
pH	4,84 ± 0,02	
Açúcares redutores (%)	6,79 ± 0,98	
Açúcares totais (%)	10,95 ± 0,63	
Higroscopicidade (g/100g)	9,57 ± 0,1	
Ácido ascórbico (mg/100g)*	89,54 ± 3,15	95,33
L*	52,22 ± 0,01	
Cor a*	4,04 ± 0,01	4,70
b*	7,82 ± 0,01	
Solubilidade	59,06 ± 0,68	

*base seca.

Fonte: Autor (2015).

Observa-se que durante a secagem houve perda de ácido ascórbico, pois na polpa de goiaba (Tabela 7) a quantidade da vitamina era maior (920,29 mg/100g) que na forma em pó (89,54 mg/100g) (Tabela 22). Além disso, a espuma formada devido à presença da albumina pode ter contribuído para a redução do ácido ascórbico ao compararmos a polpa com o pó da polpa de goiaba.

Fernandes *et al.* (2014) citaram que a formação da espuma devido à adição de albumina pode acarretar uma maior exposição dos constituintes da polpa, incluindo o ácido ascórbico, a luz e ao calor, ocasionando a perda desses compostos.

Santos *et al.* (2014) analisaram o pó de polpa de goiaba atomizada adicionada com 10% de maltodextrina, e obtiveram valores superiores de conteúdo de umidade (5,69%), açúcares totais (34,64%) e açúcares redutores (20,25%) e valores inferiores de pH (3,88), acidez (0,24 mg de ácido cítrico/100g) e ácido ascórbico (3,79 mg/100g de ácido ascórbico).

Oliveira, Costa e Afonso (2011) encontraram valores superiores de pH (5,58), açúcares totais (51,99%), açúcares redutores (36,09%), umidade (12,30%) para sapoti liofilizado ao serem comparados com os resultados apresentados na Tabela 22. Essas diferenças podem ser devido aos frutos possuírem características diferentes e ao processo de

secagem utilizado, liofilização. Esse método de secagem preserva melhor os componentes dos alimentos, por ser realizado a baixas temperaturas.

Observa-se que houve um aumento na coordenada de cor L^* do pó, sendo que este parâmetro varia em uma escala de 0 (preto) a 100 (branco), em que o pó apresentou valores médios e superiores (Tabela 22) ao da polpa de goiaba (Tabela 7). Segundo Silva *et al.* (2008), tal comportamento é devido à adição de aditivo para formação da espuma no processo, já que a formulação tende a ficar mais clara, favorecendo assim o aumento da coordenada L^* . Houve uma diminuição das coordenadas a^* e b^* do pó (Tabela 22) também com relação a polpa (Tabela 7). Tonon *et al.* (2009) explicaram que a redução da tonalidade do vermelho e do amarelo também é devido a diluição da cor, provocada pelo agente carreador utilizado, neste caso, a albumina.

Fernandes *et al.* (2014) verificaram a redução de vitamina C da polpa de tomate em pó com relação a polpa de tomate *in natura*, para as temperaturas de 60 e 80°C, respectivamente, obtendo valores de 63 e 75% para secagem sem albumina e valores de 73 e 82% com a adição de albumina. A redução da concentração de ácido ascórbico ocorre devido à natureza sensível dessa substância ao calor durante os processos de secagem (KADAM; WILSON; MANISHA, 2012).

Oliveira, Costa e Afonso (2014) verificaram valores de higroscopicidade de 12,93 e 8,51% para polpa de cajá integral e com 17% de maltodextrina liofilizados, respectivamente, sendo o valor da polpa de cajá com maltodextrina próximo ao do pó da polpa de goiaba (9,57%) (Tabela 22).

Para a secagem de polpa de graviola pelo método de camada de espuma, foram obtidos valores de solubilidade que variaram de 68,43 a 86,97% (GURGEL *et al.*, 2015). Cruz (2013) registra para o pó da polpa de goiaba adicionado de 2,5 e 5% de emulsificante, valores de solubilidade de 89%, em diferentes temperaturas (60, 70 e 80°C), todos estes valores são superiores ao da solubilidade do pó da polpa de goiaba descrita na Tabela 22.

4.5 Resultados da cinética de secagem dos pós de polpa de goiaba

Os modelos ajustados de acordo com as Equações 3, 4, 5 e 6 foram avaliados através do coeficiente de determinação (R^2) e o erro médio estimado (SE). Foram avaliadas duas concentrações de albumina, 4 e 8%, nas temperaturas de 75, 80 e 85°C. Os resultados estão apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 – Avaliação dos modelos para ajuste da cinética de secagem de polpa de goiaba pelo método de camada de espuma.

Modelos	Temperatura (°C)	Concentração albumina (%)	R ²	SE
Lewis	75	4	0,941	0,0802
		8	0,941	0,0814
	80	4	0,929	0,0881
		8	0,936	0,0843
	85	4	0,922	0,0950
		8	0,943	0,0801
Page	75	4	0,994	0,0255
		8	0,993	0,0287
	80	4	0,993	0,0285
		8	0,990	0,0326
	85	4	0,989	0,0353
		8	0,996	0,0225
Midilli	75	4	0,998	0,0144
		8	0,997	0,0191
	80	4	0,998	0,0162
		8	0,996	0,0198
	85	4	0,997	0,0185
		8	0,997	0,0179
Logarítmico	75	4	0,994	0,0259
		8	0,991	0,0320
	80	4	0,994	0,0256
		8	0,992	0,0301
	85	4	0,994	0,0275
		8	0,986	0,0403

Fonte: Autor (2015).

Dentre os modelos analisados na Tabela 23, observa-se que foram obtidos os maiores coeficientes de determinação (R²) e os menores erros médios estimados (SE) para os modelos de Page, Midilli e Logarítmico, mas o modelo que apresentou o melhor ajuste para as temperaturas estudadas foi o de Midilli. Não foram obtidos ajustes satisfatórios para o modelo de Lewis, pois este apresentou os maiores erros médios estimados (SE) e os menores coeficientes de determinação (R²). De todos os modelos, o de Midilli foi o que apresentou os menores erros médios estimados (SE). Os demais modelos também podem ser usados na predição da cinética de secagem em camada de espuma de polpa de goiaba, pois apresentaram coeficientes de determinação (R²) superiores a 90% e baixos erros médios estimados.

Resultados semelhantes, em que o modelo matemático de Midilli foi o que melhor descreveu o comportamento da secagem, foram encontrados para secagem de ceriguela pelo

método de camada de espuma (FURTADO *et al.*, 2010); modelagem matemática da secagem da pimenta Cumari do Pará (REIS *et al.*, 2011); produção de polpa de abóbora em pó pelo processo de secagem em camada de espuma (CARVALHO, 2014).

Na Tabela 24, observam-se os parâmetros dos modelos de Lewis, Page, Midilli e Logaritmico para as concentrações de albumina e temperaturas estudadas neste trabalho, no qual o parâmetro “k” representa a constante da taxa de secagem, e o parâmetro “n” reflete a resistência interna à secagem. E os parâmetros “a”, “b” e “c” são os ajustes matemáticos dos modelos (PEREZ *et al.*, 2013).

Tabela 24 – Parâmetros dos modelos matemáticos para a descrição da cinética de secagem de polpa de goiaba pelo método de camada de espuma.

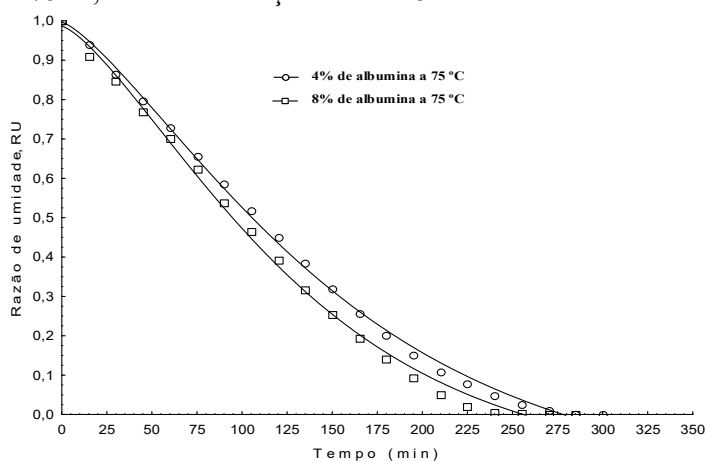
Modelo	Albumina (%)	Temperatura (°C)	Parâmetros dos modelos				
			k	n	a	b	c
Lewis	4%	75	7,932E-3	-	-	-	-
		80	9,970E-3	-	-	-	-
		85	1,049E-2	-	-	-	-
	8%	75	8,925E-3	-	-	-	-
		80	1,136E-2	-	-	-	-
		85	1,306E-2	-	-	-	-
Page	4%	75	5,580E-4	1,535	-	-	-
		80	5,000E-4	1,612	-	-	-
		85	4,970E-4	1,635	-	-	-
	8%	75	5,320E-4	1,579	-	-	-
		80	7,690E-4	1,564	-	-	-
		85	7,500E-4	1,625	-	-	-
Midilli	4%	75	1,089E-3	1,361	0,9968	-3,56E-4	-
		80	1,330E-3	1,359	1,002	-4,87E-4	-
		85	1,222E-3	1,386	0,9955	-5,84E-4	-
	8%	75	1,063E-3	1,400	0,9867	-3,15E-4	-
		80	1,338E-3	1,406	0,9853	-3,72E-4	-
		85	0,981E-3	1,546	0,9886	-1,43E-4	-
Logaritmico	4%	75	4,210E-3	-	1,531	-	-0,4878
		80	4,637E-3	-	1,601	-	-0,5556
		85	4,445E-3	-	1,703	-	-0,6642
	8%	75	5,033E-3	-	1,452	-	-0,4118
		80	6,203E-3	-	1,420	-	-0,3810
		85	9,199E-3	-	1,272	-	-0,2065

k - constante de secagem (min^{-1}); a, b, c - constantes dos modelos; n – resistência interna.
Fonte: Autor (2015).

As Figuras 21, 22 e 23 estão apresentados os resultados da cinética de secagem em camada de espuma para o modelo de Midilli da polpa de goiaba nas concentrações de 4 e 8% de albumina a 75, 80 e 85 °C respectivamente.

Observa-se na Figura 21 que a polpa de goiaba com 8% de albumina atingiu a razão de umidade de 0,49 após 100 minutos de secagem, enquanto que para a polpa de goiaba com 4% de albumina, o tempo de secagem para atingir a mesma razão de umidade foi maior (em torno de 110 minutos). Para o tempo de 150 minutos, a polpa de goiaba a 8% de albumina corresponde a razão de umidade de 0,25, enquanto nesse mesmo período a polpa de goiaba a 4% corresponde a uma razão de umidade maior de 0,31.

Figura 21 – Curvas de secagem em camada de espuma da polpa de goiaba com ajustes pelo modelo de Midilli a 75°C, nas concentrações de 4 e 8% de albumina.



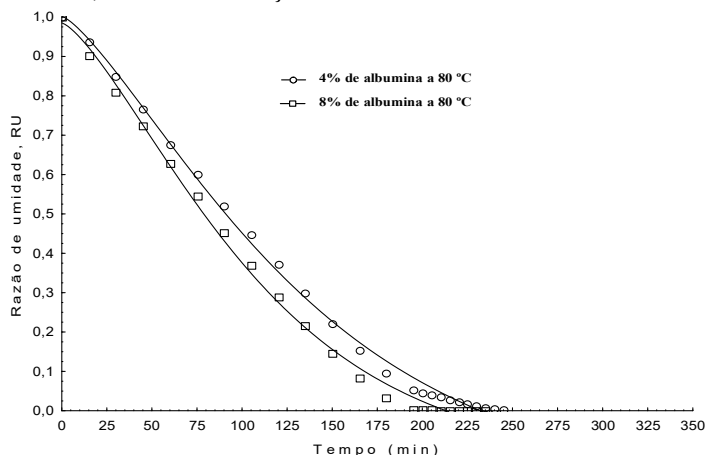
Fonte: Autor (2015).

O período de maior taxa de secagem para a polpa de goiaba nas duas concentrações foi a partir do tempo de 25 minutos até 250 minutos para a polpa de goiaba a 8% de albumina e 275 minutos para a polpa de goiaba a 4% de albumina (Figura 21).

Observa-se na Figura 22 que a polpa de goiaba a 8% de albumina atingiu a razão de umidade de 0,49 após 80 minutos de secagem, enquanto o tempo foi maior para a polpa de goiaba a 4% de albumina atingir a mesma razão de umidade (90 minutos). Para o tempo de 150 minutos a polpa de goiaba a 8% atingiu a razão de umidade de 0,16 e a polpa de goiaba a 4% no mesmo período correspondeu a razão de umidade de 0,23.

O período de maior taxa de secagem tem início no tempo de 25 minutos até aproximadamente 220 minutos para a polpa de goiaba com 8% de albumina e 240 minutos para a polpa de goiaba com 4% de albumina (Figura 22).

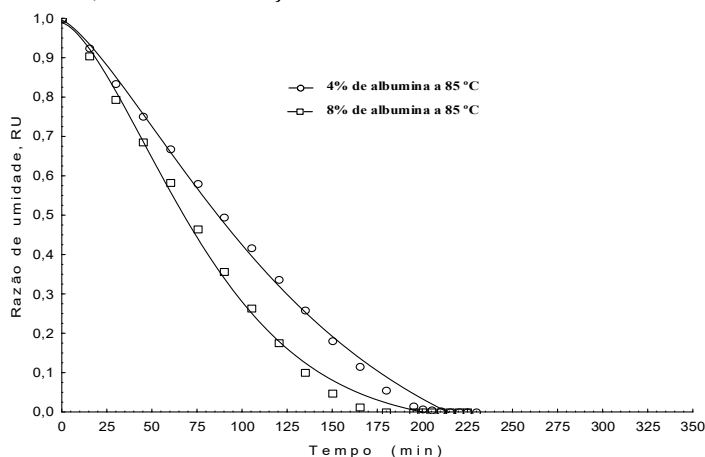
Figura 22 – Curvas de secagem em camada de espuma da polpa de goiaba com ajustes pelo modelo de Midilli a 80°C, nas concentrações de 4 e 8% de albumina.



Fonte: Autor (2015).

Para a Figura 23, observa-se que a polpa de goiaba a 8% de albumina atingiu a razão de umidade de 0,49 após 70 minutos de secagem e a polpa de goiaba a 4% de albumina para a mesma razão de umidade após 90 minutos. Para o tempo de 150 minutos a polpa de goiaba a 8% corresponde a razão de umidade de 0,08, enquanto a outra polpa para o mesmo período atingiu a razão de umidade de 0,19.

Figura 23 – Curvas de secagem em camada de espuma da polpa de goiaba com ajustes pelo modelo de Midilli a 85°C, nas concentrações de 4 e 8% de albumina.



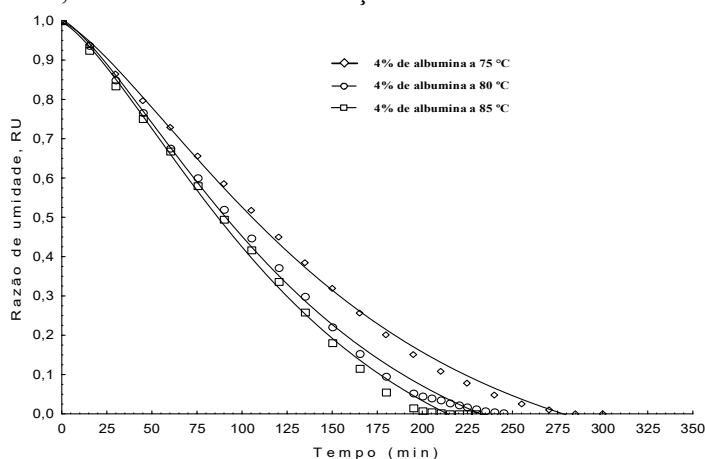
Fonte: Autor (2015).

Pode-se verificar com os ajustes do modelo de Midilli que a concentração de albumina influenciou na velocidade da secagem, pois com a maior concentração de albumina o tempo de secagem foi menor (Figura 21, Figura 22 e Figura 23). Isso se deve ao fato de que

a albumina em maior concentração, faz com que haja a maior incorporação de ar, e assim, favoreça a formação de poros na espuma, o que facilita a saída de água do produto.

A Figura 24 estão apresentados os resultados das curvas de cinética de secagem do modelo de Midilli para a polpa de goiaba a 4% de albumina em diferentes temperaturas de secagem.

Figura 24 – Curvas de secagem em camada de espuma da polpa de goiaba com ajustes pelo modelo de Midilli a 75, 80 e 85 °C na concentração de 4% de albumina.



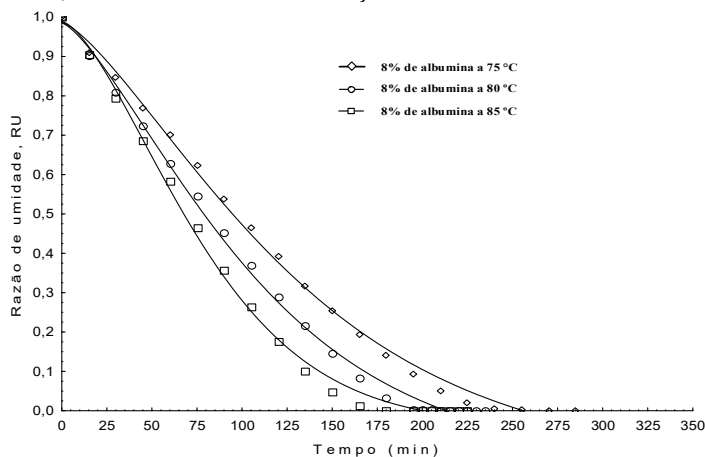
Fonte: Autor (2015).

Para a Figura 24, observa-se que a curva com menor período de secagem corresponde a maior temperatura (85 °C). Para a obtenção da razão de umidade de 0,35, os tempos de secagem são 150, 120, 110 minutos para 75, 80 e 85 °C, respectivamente. Fernandes *et al.* (2014) ao estudarem a adição de albumina e da temperatura de secagem nas características de polpa de tomate em pó, observaram que com a formação da espuma, o tempo para atingir a umidade de equilíbrio foi reduzido, para as temperaturas de 60 e 80 °C os tempos de secagem foram respectivamente de 400 minutos e 180 minutos.

A Figura 25 estão apresentados os resultados das curvas da cinética de secagem do modelo de Midilli para a polpa de goiaba a 8% de albumina em diferentes temperaturas de secagem.

Na Figura 25, para a curva de secagem de 85 °C, o período de secagem foi menor. Para a razão de umidade (RU) de 0,35, os tempos de secagem foram 125, 105 e 85 minutos para 75, 80 e 85 °C, respectivamente. Madureira *et al.* (2011) observaram que ao elevar a temperatura em 10 °C, para secagem de figo da índia em estufa com circulação de ar acarretou reduções nos tempos de secagem.

Figura 25 – Curvas de secagem em camada de espuma da polpa de goiaba com ajustes pelo modelo de Midilli a 75, 80 e 85°C na concentração de 8% de albumina.



Fonte: Autor (2015).

O aumento da temperatura influenciou na redução do tempo de secagem, sendo assim, o tempo de secagem foi menor na temperatura de 85°C para as duas concentrações de albumina (Figura 24 e Figura 25).

4.6 Resultados das isotermas de adsorção dos pós de polpa de goiaba

Na Tabela 25 estão apresentados os modelos ajustados das isotermas de adsorção para os pós da polpa de goiaba obtidos pelo método em camada de espuma nas concentrações de 4 e 8% de albumina.

Verifica-se na Tabela 25 que o modelo de GAB apresentou o melhor ajuste, pois os erros foram menores que 10% para as todas as temperaturas e concentrações de albumina. Os coeficientes de determinação estão próximos de 99%. Segundo Lomauro *et al.* (1985), os valores de erros médios abaixo de 10% são bons para definir os modelos que melhor se adequam aos estudos propostos.

Oliveira, Costa e Afonso (2014) consideram o modelo de BET como o de melhor ajuste para o pó da polpa de cajá, tendo como referência o erro médio relativo abaixo de 10% e um alto valor do coeficiente de determinação (R^2). Para os demais modelos deste trabalho, houve erros médios relativos (E) acima de 10%, em que o modelo de BET para 4 e 8% de albumina a 25°C, observa-se erros médios relativos (E) de 19,93 e 17,64%, respectivamente, ambos com o coeficiente de determinação (R^2) de 0,96 e o modelo de Henderson na mesma temperatura e respectivas concentrações de albumina apresentou valores de erros médios relativos (E) de 13,96 e 11,19%, com um coeficiente de determinação (R^2) de 0,97. Já o

modelo de Oswin obteve-se erros acima de 10% na temperatura de 35°C, sendo os erros médios relativos (E) de 11,76 e 15,93% para 4 e 8% de albumina respectivamente, ambos com o coeficiente de determinação (R^2) de 0,98.

Tabela 25 – Resultados dos ajustes das isotermas de adsorção dos pós da polpa de goiaba obtidos por secagem em camada de espuma.

Modelos	Parâmetros	4% Albumina			8% Albumina		
		25 °C	35 °C	45 °C	25 °C	35 °C	45 °C
GAB	X_m	0,1134	0,1172	0,1607	0,1158	0,1821	0,2143
	C	0,8048	0,9663	0,5939	0,6547	0,7119	0,4598
	K	0,8806	0,8637	0,8933	0,8217	0,7754	0,8288
	R^2	0,998	0,996	0,995	0,995	0,993	0,997
	E (%)	4,05	6,45	7,64	5,83	7,73	6,31
BET	X_m	0,2816	0,3808	0,5071	0,3356	0,4824	0,5411
	C	0,1075	0,1308	0,1075	0,1075	0,1200	0,09992
	n	9,80	5,32	5,55	7,87	4,42	4,98
	R^2	0,960	0,987	0,994	0,960	0,987	0,993
	E (%)	19,93	10,05	8,43	17,64	8,41	8,97
Henderson	a	0,5656	0,7774	0,6665	0,6140	0,8440	0,7036
	b	3,25	4,61	3,35	3,44	5,11	3,75
	R^2	0,974	0,996	0,994	0,978	0,993	0,995
	E (%)	13,96	4,93	9,38	11,19	8,16	7,89
Oswin	a	0,07078	0,09039	0,09472	0,07854	0,09587	0,09081
	b	0,9949	0,7288	0,9349	0,9269	0,6763	0,8916
	R^2	0,988	0,991	0,992	0,99	0,983	0,995
	E (%)	6,54	11,76	7,01	8,15	15,93	5,45

Descrição das variáveis: X_m -conteúdo de umidade na monocamada molecular (g de água por g de sólidos secos); R^2 - coeficiente de determinação; E (%) - erro médio relativo; C, K - constante de sorção da camada molecular; n - número de camadas moleculares; a, b - parâmetros de ajuste.

Fonte: Autor (2015).

Bezerra *et al.* (2011) citaram o modelo de GAB e Oswin como satisfatórios para os ajustes da predição das isotermas de adsorção de manga em pó, com coeficiente de determinação (R^2) a 0,96 e erros médios relativos (E) inferiores a 10%. O modelo de Oswin, para este trabalho, apresentou erros médios relativos (E) acima de 10% para o pó da polpa de goiaba a 4 e 8% de albumina a 35 °C (Tabela 25), não sendo satisfatório para representar as isotermas de adsorção dos pós estudados.

Sousa, Costa e Faria (2015) também avaliaram que o melhor modelo matemático para representar as isotermas do corante de pitaya em pó foi o de GAB. Moreira *et al.* (2013) estudaram o comportamento do pó de polpa de manga liofilizada e citaram o modelo de GAB como o de melhor ajuste aos dados experimentais, em que as isotermas apresentaram o formato tipo III, com erros médios (E) entre 4,092 e 5,175%, com coeficientes de determinação (R^2) de 0,99.

A estimativa dos valores do conteúdo de umidade da monocamada (X_m), pelo modelo GAB, é importante uma vez que a deterioração de produtos alimentícios é muito pequena quando são armazenados com teor de umidade abaixo dos valores da monocamada (X_m). Isso ocorre porque a água é fortemente ligada ao produto abaixo do conteúdo da monocamada e não está envolvida em qualquer reação de deterioração seja como solvente ou como um dos substratos (COSTA, 2010).

Na Tabela 25, observa-se que com o aumento da temperatura, houve uma elevação dos valores do conteúdo de umidade na monocamada molecular (X_m) e uma redução nos valores da constante K nas temperaturas de 25 para 35°C para o modelo de GAB nas concentrações estudadas. Os valores de K são menores que 1,0, sendo adequados para o referido modelo, pois segundo Timmermann (2003), valores da constante K do modelo de GAB maiores que 1,0 são considerados inadequados, tornando a sorção infinita. Moreira *et al.* (2013) encontraram comportamento semelhante ao estudarem as isotermas de adsorção para manga liofilizada e Pena *et al.* (2010) para açaí em pó.

Feitosa *et al.* (2013) observaram o comportamento contrário ao estudarem as isotermas de adsorção de umidade de fatias de goiaba desidratadas pré-tratadas com solução de ácido ascórbico, em que houve uma redução da umidade da monocamada (X_m) do modelo de GAB e um aumento dos valores da constante de sorção K, com o incremento da temperatura. Moreira *et al.* (2013) citaram que o aumento do conteúdo de umidade da monocamada (X_m) com a elevação da temperatura, não é uma característica comum a todos os alimentos. Este aumento pode alterar a estrutura física do produto, liberando sítios ativos com afinidade por moléculas de água ou elevar a solubilidade de solutos presentes, retendo moléculas de água na monocamada (FERREIRA; PENA, 2003). Desta forma, para os pós da polpa de goiaba, o aumento da temperatura elevou a solubilidade dos açúcares presentes, e assim aumentou o valor de X_m , pois reteve um número maior de moléculas de água na monocamada.

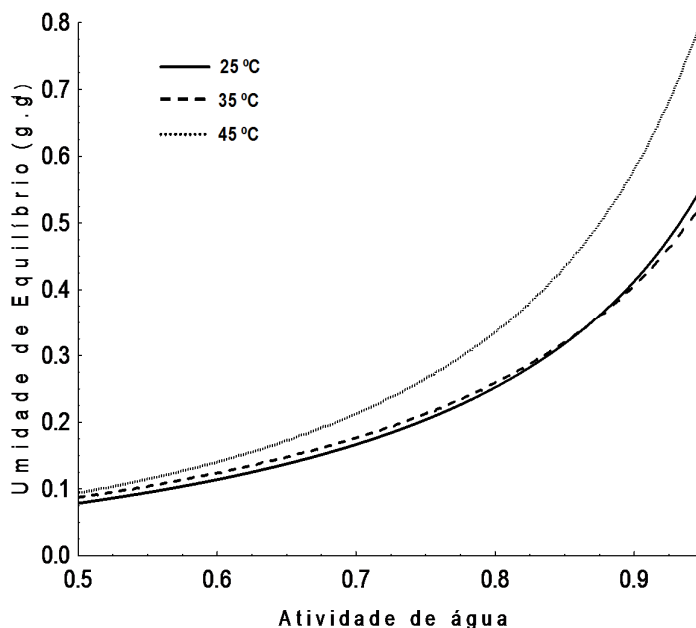
Os valores de X_m foram maiores para o pó de polpa de goiaba com 8% de albumina com relação ao de 4%, pois a albumina ligou-se a água com mais facilidade, retendo mais moléculas de água.

Os valores da constante C diminuíram nas temperaturas de 35 para 45°C para os modelos de GAB e BET (Tabela 25), essa redução é esperada visto que, de acordo com Gabas *et al.* (2007) as baixas temperaturas aumentam os valores da constante C, pois favorecem as forças de interação entre adsorvato-adsorvente.

O modelo de GAB, de maneira geral foi o único que apresentou erros menores de 10% para todas as temperaturas e concentrações de albumina, dessa forma as isotermas de sorção dos pós da polpa de goiaba estão representados com o referido modelo.

As Figuras 26 e 27 representam as isotermas de adsorção dos pós da polpa de goiaba a 4 e 8% de albumina, respectivamente. A partir destas podemos verificar que há um aumento da atividade de água com o aumento da umidade de equilíbrio, a uma temperatura constante para ambos os pós. As curvas apresentam um comportamento típico de isotermas tipo III conforme a IUPAC (1985). Segundo Moreira *et al.* (2013) este comportamento é característicos de alimentos com muitos compostos solúveis (açúcares).

Figura 26 – Isotermas de adsorção do pó da polpa de goiaba a 4% de albumina obtida pelo método de camada de espuma nas temperaturas experimentais de 25, 35 e 45 °C previstas pelo modelo de GAB.



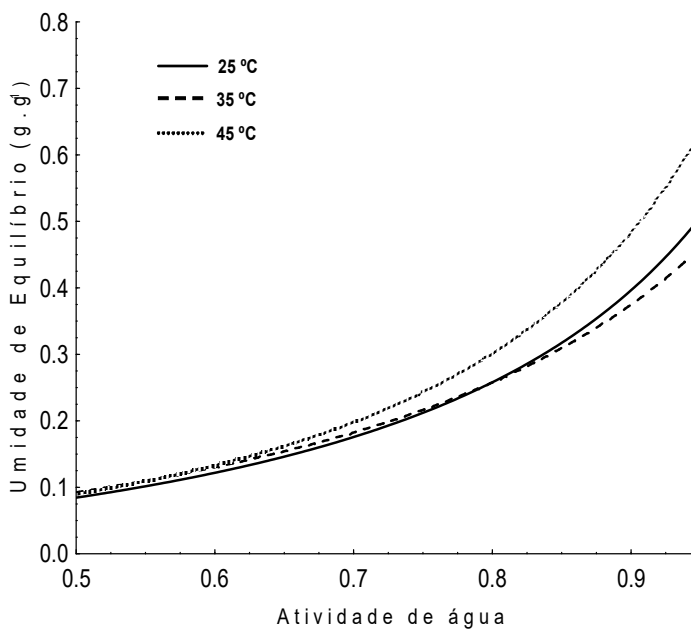
Fonte: Autor (2015).

Para uma atividade de água (0,7) constante a umidade de equilíbrio aumenta com o aumento da temperatura indicando que o pó de polpa de goiaba torna-se mais higroscópico (Figura 26).

Ocorreu a inversão do efeito da temperatura entre as isotermas de 25 e 35 °C, sobre a umidade de equilíbrio do pó na faixa de atividade de água entre 0,8 e 0,9, ou seja, a partir dessa faixa de atividade de água, pode-se observar que com o aumento da temperatura, para a mesma atividade de água, houve uma redução na umidade de equilíbrio (Figura 26). Al-Muhtaseb, McMinm e Magee (2004) e Goula *et al.* (2008) ao estudarem o comportamentos das isotermas em pó de amido de batata e polpa de tomate em pó, respectivamente, observaram comportamento semelhante.

Dessa forma, a temperatura afeta a mobilidade das moléculas de água e o equilíbrio entre o vapor e a fase adsorvida. De modo geral, a elevação da temperatura acarreta uma redução na umidade de equilíbrio. Esse fato pode ser atribuído as mudanças físicas e/ou químicas que reduzem os sítios ativos disponíveis para ligações com moléculas de água (GOULA *et al.*, 2008; MOREIRA *et al.*, 2013).

Figura 27 – Isotermas de adsorção do pó da polpa de goiaba a 8% de albumina obtida pelo método de camada de espuma nas temperaturas experimentais de 25, 35 e 45 °C previstas pelo modelo de GAB.



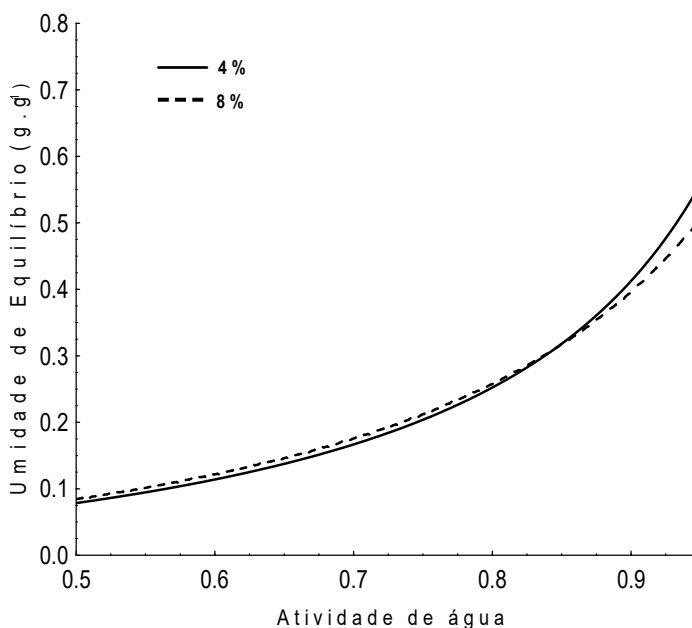
Fonte: Autor (2015).

Na Figura 27, observa-se que para a atividade de água constante (0,7) a umidade de equilíbrio aumenta com o aumento da temperatura. Ocorreu a inversão do efeito da

temperatura entre as isotermas de 25 e 35 °C, sobre a umidade de equilíbrio do pó na faixa de atividade de água entre 0,7 e 0,85, ou seja, a partir dessa faixa de atividade de água, pode-se observar que com o aumento da temperatura, para a mesma atividade de água, houve uma redução na umidade de equilíbrio. Comportamentos semelhantes as isotermas do pó de polpa de goiaba a 4% de albumina (Figura 27).

Nas Figuras 28, 29 e 30 estão apresentados o efeito das concentrações de albumina (4 e 8%) sobre as isotermas de adsorção para os pós de polpa de goiaba nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C, respectivamente.

Figura 28 – Isotermas de adsorção dos pós da polpa de goiaba a 4 e 8% de albumina obtida pelo método de camada de espuma na temperatura experimental de 25 °C prevista pelo modelo de GAB.



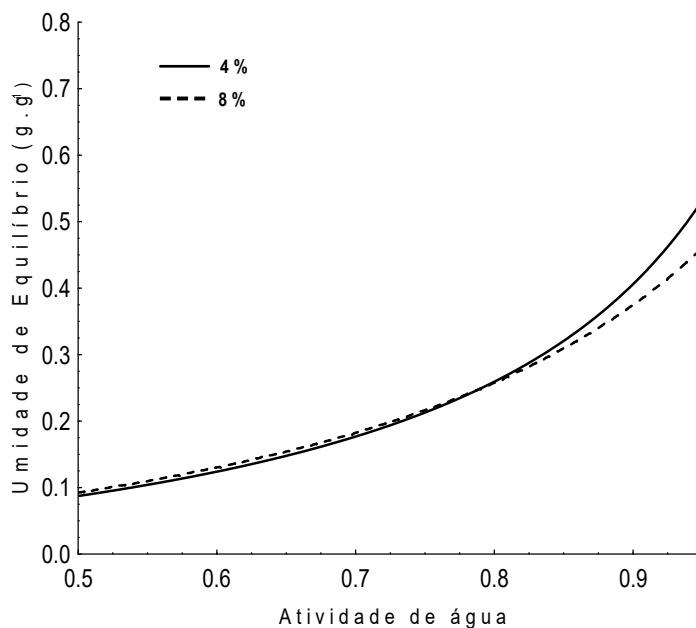
Fonte: Autor (2015).

Na Figura 28, observa-se que há um aumento da umidade de equilíbrio com o aumento da atividade de água. A higroscopicidade dos pós apresentaram uma similaridade no comportamento durante a construção das isotermas de adsorção, onde a maior capacidade higroscópica foi observada nos valores de atividade de água de 0,8.

Entre a faixa de atividade de água 0,8 e 0,9 ocorreu uma inversão entre as isotermas, mostrando que houve um aumento na umidade de equilíbrio na concentração de 4% albumina na mesma atividade de água. Fernandes *et al.* (2014) afirmaram que a adição de albumina reduz a influência dos compostos altamente hidrofílicos os quais contribuem para absorção de umidade que são os açúcares e ácidos orgânicos. Desta forma, o pó da polpa de

goiaba com maior concentração de albumina tende a ser menos higroscópico a baixos valores de umidade de equilíbrio, a partir da atividade de água de 0,8, com relação a concentração de 4% de albumina, como observado na Figura 28.

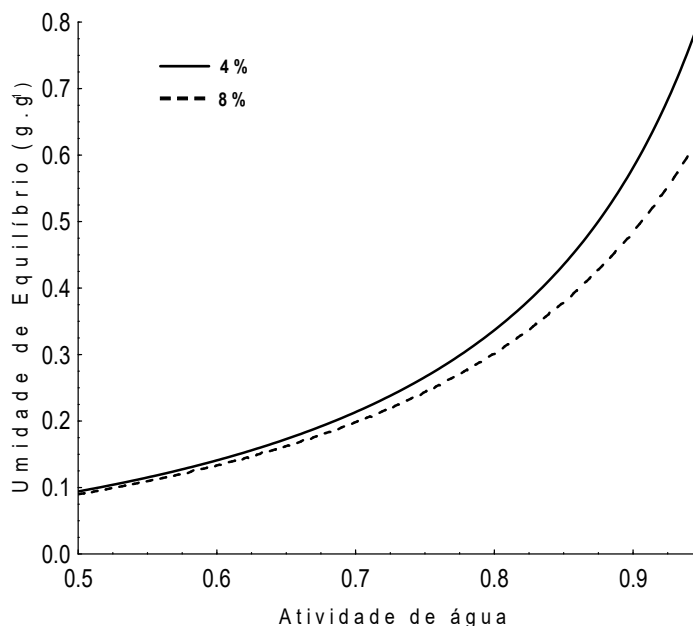
Figura 29 – Isotermas de adsorção dos pós da polpa de goiaba a 4 e 8% de albumina obtida pelo método de camada de espuma na temperatura experimental de 35 °C prevista pelo modelo de GAB.



Fonte: Autor (2015).

Na Figura 29, observa-se um comportamento semelhante ao da Figura 28, em que há uma similaridade no comportamento das isotermas de adsorção dos pós e uma inversão das mesmas nos valores de atividade de água entre 0,7 e 0,85, para temperatura constante de 35 °C.

Figura 30 – Isotermas de adsorção dos pós da polpa de goiaba a 4 e 8% de albumina obtida pelo método de camada de espuma na temperatura experimental de 45 °C prevista pelo modelo de GAB.



Fonte: Autor (2015).

Na Figura 30, observa-se um aumento da umidade de equilíbrio com um aumento da atividade de água. O pó de polpa de goiaba a 8% é menos higroscópico devido a maior concentração de albumina que interfere na capacidade hidrofílica dos açúcares. Nota-se que as maiores umidades de equilíbrio estão a partir dos valores de atividade de água de 0,8.

4.7 Estabilidade do pó da polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma

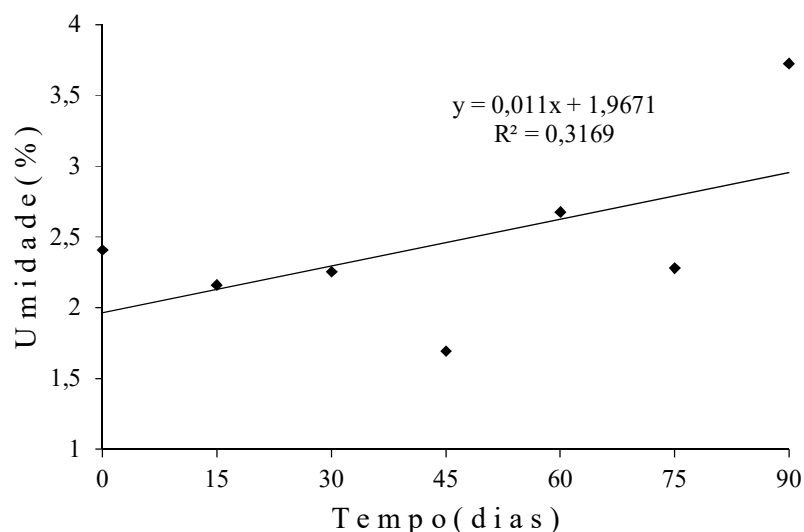
A amostra do pó da polpa de goiaba obtido na condição escolhida do planejamento experimental, permaneceu na forma de pó até o final do período da estabilidade estudado. A seguir, são apresentadas as tabelas e os gráficos referentes aos resultados das análises da estabilidade que foram realizadas a cada quinze dias, durante um período de 90 dias.

Umidade

Na Figura 31 estão apresentados os valores médios da umidade do pó da polpa de goiaba em função do tempo de armazenamento. Verificou-se para o comportamento da

umidade que houve uma tendência ao aumento ao comparar os pontos inicial e final do período da estabilidade.

Figura 31 – Comportamento da umidade do pó de polpa de polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma durante a estabilidade.



Fonte: Autor (2015).

A equação da reta na Figura 31, apresenta um coeficiente angular positivo (0,0118), o que indica que a reta é crescente, comprovando assim a tendência da umidade a aumentar com o tempo de armazenamento. O valor do coeficiente de determinação (R^2) foi baixo (0,3169), tendo em vista a oscilação dos valores durante o período estudado.

A embalagem laminada utilizada para o armazenamento do pó de polpa de goiaba, possui como característica baixa permeabilidade, porém ocorreu uma variação de 54,77% da umidade entre o início e o final do armazenamento. Essa variação do teor de umidade pode ter ocorrido devido a falhas durante a selagem da embalagem.

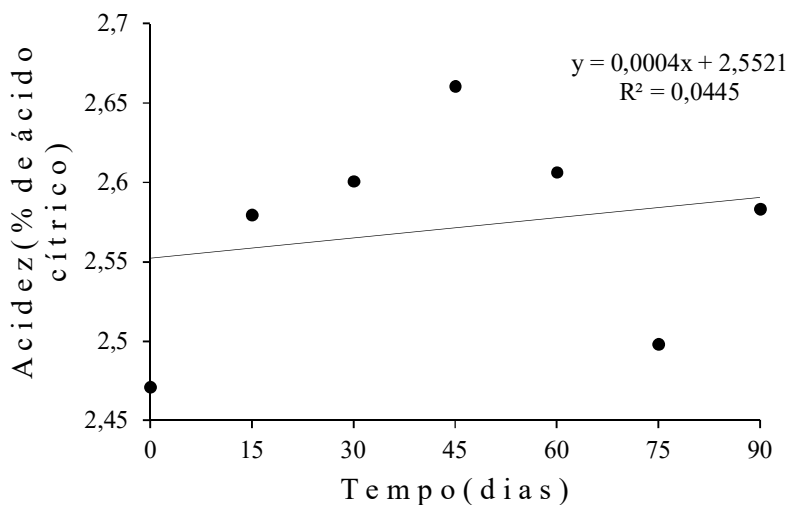
Silva *et al.* (2005) relataram que durante o estudo da estabilidade de umbu-cajá em pó obtido pelo método de secagem em camada de espuma, as amostras em pó armazenadas em embalagens laminadas tiveram um aumento no teor de água a partir dos 50 dias de armazenamento. Alexandre *et al.* (2014) também constataram uma tendência ao aumento da umidade a partir dos 30 dias de armazenamento de pitanga em pó obtida pelo processo de camada de espuma em embalagem multifoliada, provavelmente devido ao fato de haver troca de umidade com o ambiente, pois esta embalagem não é totalmente impermeável.

Loureiro *et al.* (2013) ao estudarem o efeito das embalagens, de polietileno e laminada, para o buriti em pó com secagens a temperaturas de 50, 60 e 70°C, durante 90 dias, constataram que houve um aumento do conteúdo de umidade em todas as amostras armazenadas em embalagens de polietileno, e o pó de buriti desidratado a 50°C acondicionado em embalagem laminada, permaneceu inalterado durante 75 dias do armazenamento, e para as temperaturas de 60°C e 70°C não houve alterações das amostras secas durante os 90 dias na referida embalagem.

Acidez total titulável

Na Figura 32 estão apresentados os valores médios da acidez total titulável do pó da polpa de goiaba em função do tempo de armazenamento.

Figura 32 - Comportamento da acidez do pó de polpa de polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma durante a estabilidade.



Fonte: Autor (2015).

Verifica-se pequenas oscilações nos seus valores médios, mas sem diferenças significativas durante o período de 90 dias. Desta forma, acidez não sofreu alterações importantes durante o período estudado. Observa-se uma variação de 4,5% nos valores da acidez total titulável entre o início e o fim do período (Figura 32).

Na equação da reta na Figura 32, o coeficiente angular (0,0004) é positivo e muito baixo, comprovando que há uma tendência da reta a ser constante para o período de

armazenamento estudado. Isso mostra que a acidez total titulável pode ser considerada estável durante o período de 90 dias. O valor do coeficiente de determinação (R^2) para acidez apresentou-se muito baixo (0,0445), logo, não houve um bom ajuste dos dados experimentais a reta (Figura 32).

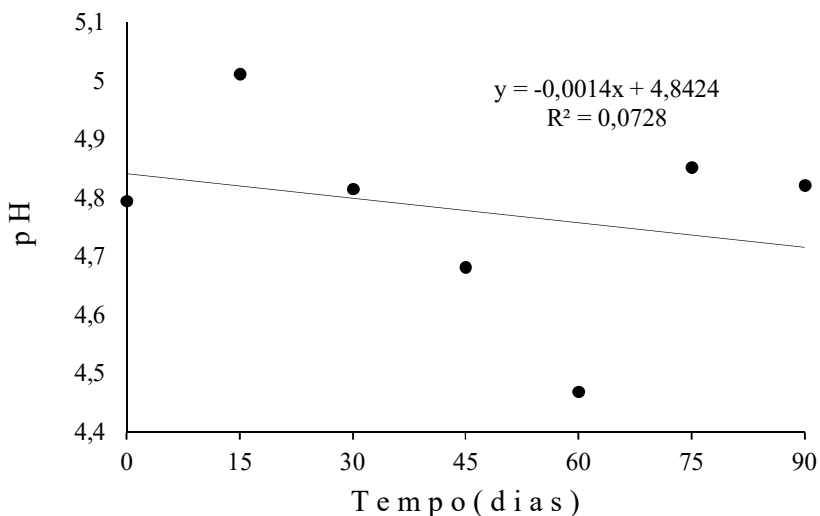
Para o armazenamento de buriti em pó em embalagem laminada, desidratado a 50°C, não houve alterações na acidez total titulável durante os 90 dias de armazenamento, porém para as temperaturas de 60 e 70 °C houve uma tendência a redução da acidez durante o período estudado (LAUREIRO *et al.*, 2013).

Lisbôa, Figueirêdo e Queiroz (2012) obtiveram o valor da acidez no início do armazenamento de figo da índia em pó inferior (1,24% de ácido cítrico) ao deste trabalho (2,47% ácido cítrico). Moreira *et al.* (2011) citaram valores médios dos teores de acidez para o início e final da estabilidade de polpa de cupuaçu desidratada, em diferentes tempos de secagem: de 46, 52 e 58 horas, obtendo valores de 1,80 e 1,92% de ácido cítrico; 1,89 e 2,2% de ácido cítrico; 2,1 e 2,5% de ácido cítrico, respectivamente.

pH

Na Figura 33 estão apresentados os valores médios do pH do pó da polpa de goiaba em função do tempo de armazenamento.

Figura 33 - Comportamento do pH do pó de polpa de polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma durante a estabilidade.



Fonte: Autor (2015).

Os valores de pH do pó da polpa de goiaba oscilaram entre 4,47 e 5,01, havendo uma leve tendência linear a diminuir com o tempo (Figura 33). O valor médio do pH do pó da polpa de goiaba ao longo dos 90 dias de armazenamento foi de 4,78, com uma variação de 0,42%, considerando, neste último, o primeiro e o último dia da estabilidade.

Na equação da reta da Figura 33, observa-se o coeficiente angular negativo (0,0014), indicando uma reta decrescente e assim, comprovando a tendência do pH a diminuir durante o tempo de armazenamento. Essa variação dos valores do pH podem ter ocorrido devido à calibração do pHmetro utilizado ou a embalagem que, embora seja a laminada, foi selada sem vácuo. Devido a oscilação dos dados experimentais não houve um bom ajuste o que gerou um coeficiente de determinação (R^2) baixo (0,0728) (Figura 33).

Durante o armazenamento de buriti em pó em dois tipos de embalagens, Loureiro *et al.* (2013) verificaram que o pH das amostras secas a 50°C e armazenadas em embalagens de polietileno, permaneceu inalterado durante os primeiros 30 dias, após esse período, este fator teve uma leve redução com o tempo, da mesma forma com a embalagem laminada, não houve alterações no pH durante os 45 dias iniciais, e posteriormente apresentou uma leve redução. Esse mesmo autor explica que essa redução do pH pode ser uma indicação de deterioração devido à presença de bactérias que produzem ácidos, gerando assim diminuições no pH da amostra. Alexandre *et al.* (2014) verificaram que os valores do pH da polpa de pitanga em pó obtida por secagem em camada de espuma, tiveram uma tendência a aumentar a partir dos 30 dias de armazenamento, conferindo um aumento de 3,6% ao final de 60 dias de armazenamento, sendo explicado em função da embalagem multifoliada que evitou as alterações no pH do pó.

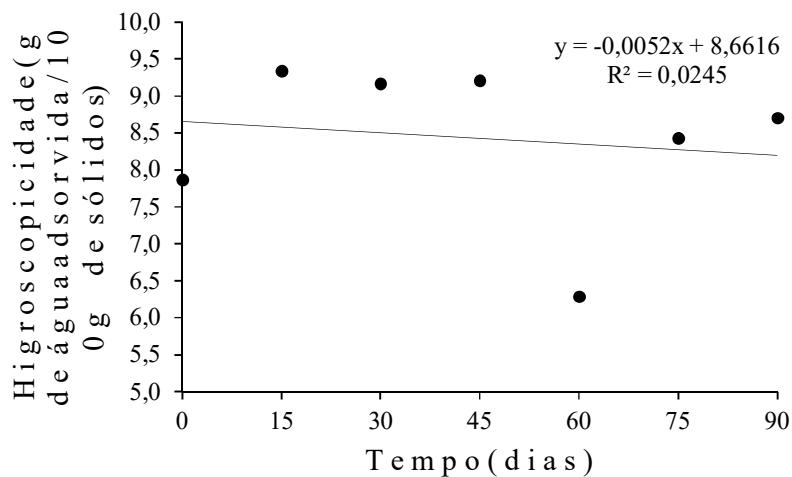
Higroscopicidade

A Figura 34 apresenta os valores médios da higroscopicidade do pó da polpa de goiaba em função do tempo de armazenamento.

O comportamento da higroscopicidade do pó da polpa de goiaba durante o período de armazenamento teve uma variação de 3,44%, podendo ser explicado pela baixa permeabilidade da embalagem laminada (Figura 34). A tendência da umidade, como já observado no Figura 31, foi de aumentar, e conseqüentemente, a higroscopicidade tende a diminuir, como verifica-se na Figura 34.

No tempo de armazenamento de 60 dias obteve um resultado não esperado, provavelmente devido a falhas na selagem, em que a amostra absorveu umidade (Figura 31), gerando a redução da higroscopicidade, neste mesmo tempo.

Figura 34 – Comportamento da higroscopicidade do pó de polpa de polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma durante a estabilidade.



Fonte: Autor (2015).

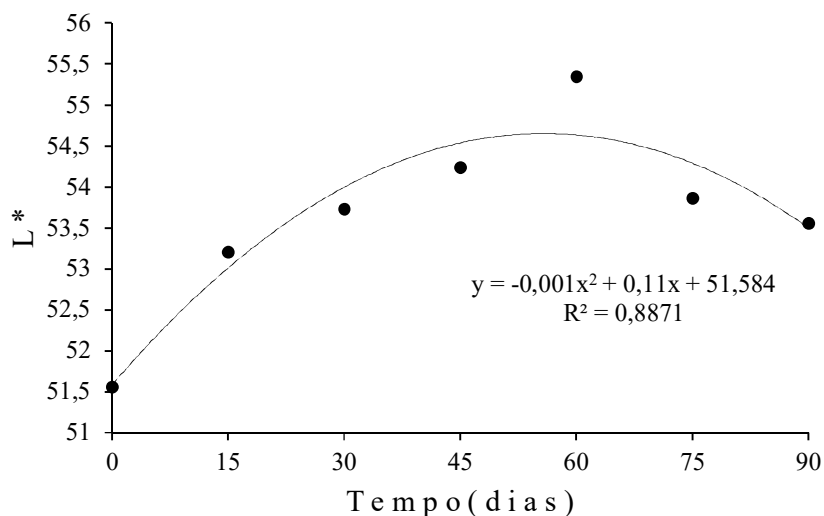
A equação da reta (Figura 34), observa-se o coeficiente angular negativo (0,0052), gerando a reta decrescente, o que confirma a tendência da higroscopicidade a diminuir com o tempo de armazenamento. E o valor do coeficiente de determinação (R^2) apresentou-se baixo (0,0245) devido à falta de ajuste dos dados experimentais a reta.

Coordenada de cor L^*

Na Figura 35 estão apresentados os valores médios da coordenada L^* do pó da polpa de goiaba em função do tempo de armazenamento e avaliado quanto a mudança de cor. Esta coordenada mede a luminosidade ou grau de claridade.

Verifica-se um aumento da luminosidade da amostra nos 60 dias iniciais, havendo posteriormente uma tendência a diminuição deste parâmetro. A presença da albumina, por ser de cor clara, pode ter causado esse aumento na luminosidade. A redução da luminosidade a após os 60 dias de armazenamento pode ter ocorrido devido a oxidação dos pigmentos carotenóides ou a reação de Maillard levando a formação de pigmentos escuros (Figura 35).

Figura 35 – Comportamento da coordenada L* do pó de polpa de polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma durante a estabilidade.



Fonte: Autor (2015).

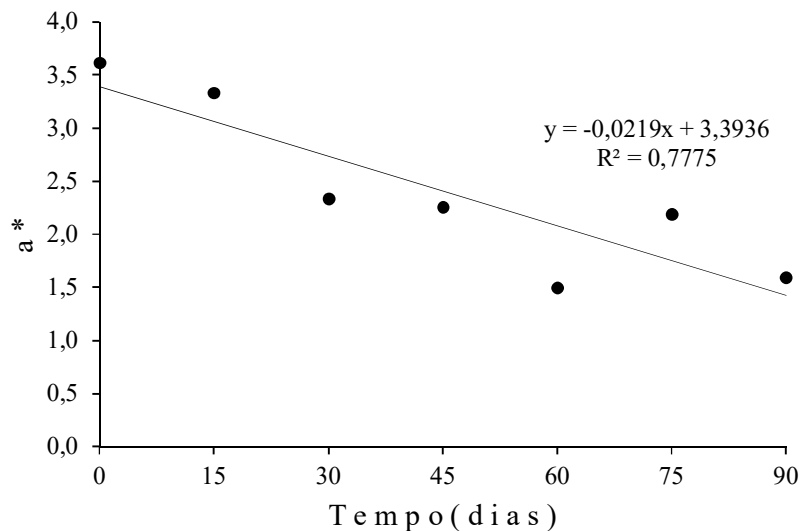
A equação da Figura 35 gerou uma parábola de concavidade para baixo devido ao coeficiente quadrático ser negativo (0,001). O valor do coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,8871, mostrando que houve um bom ajuste dos dados experimentais a curva.

Ao estudar o armazenamento da polpa de mandacaru em pó formulado com 10% de maltodextrina nas dextroses equivalentes de 10 e 14 e acondicionados em embalagens laminadas durante 50 dias em condições controladas de temperatura (25°C) e umidade relativa (57,7%), Oliveira *et al.* (2015) observaram que houve uma redução do parâmetro L*, pois o produto escureceu ao longo do armazenamento. Kader (2010) cita que o valor da luminosidade (L*) é um indicador de escurecimento ao longo de período de armazenamento que pode ser causado tanto por reações de oxidação quanto pelo aumento da concentração de pigmentos.

Coordenada de cor a*

Na Figura 36 estão apresentados os valores médios da coordenada a* em função do tempo de armazenamento. Verificou-se que há uma tendência de redução da intensidade do vermelho no período estudado, o que pode ter ocorrido devido à degradação de pigmentos carotenoides, responsáveis pela coloração avermelhada da polpa da goiaba (Figura 36).

Figura 36 – Comportamento da coordenada a^* do pó de polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma durante a estabilidade.



Fonte: Autor (2015).

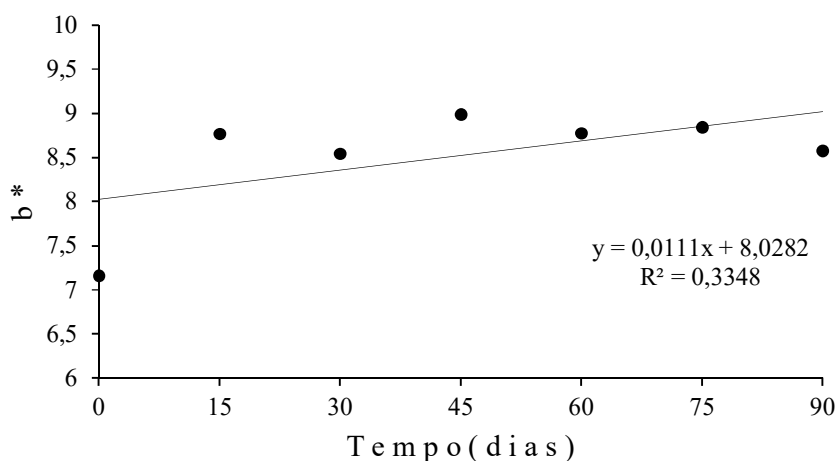
O coeficiente angular da reta (Figura 36) por ser negativo (0,0219) gera uma reta decrescente, comprovando a tendência a redução da intensidade do vermelho com o tempo de armazenamento. Para o valor do coeficiente de determinação (R^2) pode-se considerar que houve um bom ajuste dos dados experimentais a reta.

Silva *et al.* (2010) ao avaliarem a vida de prateleira durante 45 dias do tomate seco em secador de cabine, pré-tratado por desidratação osmótica, observaram que houve uma redução na intensidade do vermelho devido a degradação dos compostos avermelhados ou alaranjados (carotenoides) em compostos amarelados. Uma redução semelhante foi citada por Alexandre *et al.* (2014) com a diminuição da intensidade do vermelho para polpa de pitanga em pó, com uma variação de 30,29% entre o tempo inicial e o tempo final (60 dias), e essa redução pode ser explicada pela exposição da amostra a luz, calor, umidade, devido à transparência da embalagem. Moura (2010) avaliou durante 360 dias, a estabilidade de acerola em pó oriunda de cultivo orgânico, e notou que houve um aumento da coordenada a^* de 2,02 para 2,94 com o tempo de armazenamento.

Coordenada de cor b^*

Na Figura 37 estão apresentados os valores médios da coordenada b^* para o pó da polpa de goiaba em função do tempo de armazenamento. Verifica-se uma tendência ao aumento da intensidade do amarelo devido as degradações de pigmentos vermelhos.

Figura 37 – Comportamento da coordenada b^* do pó de polpa de polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma durante a estabilidade.



Fonte: Autor (2015).

O coeficiente angular da equação da reta, na Figura 37, é positivo (0,0111), gerando uma reta crescente, o que comprova a tendência da coordenada de cor b^* a aumentar em função do tempo de armazenamento. O valor do coeficiente de determinação (R^2) pode ser considerado baixo devido à falta de ajuste dos dados experimentais a reta.

Silva *et al.* (2010) citaram que a medida que os compostos avermelhados estão sendo degradados, os amarelos também estão, mas em taxas de variação distintas. De fato, de acordo com Scotter (1995) os compostos amarelos são mais estáveis que os vermelhos nos carotenóides. Alexandre *et al.* (2014) observaram uma redução nos valores médios do parâmetro de cor b^* da polpa de pitanga, nos dois últimos tempos do armazenamento, pois durante os primeiros 40 dias a intensidade do amarelo permaneceu inalterada.

4.8 Análises físicas dos pós de polpa de goiaba

Na Tabela 26 estão apresentados os resultados para a tensão de cisalhamento (σ_c) do pó de polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma, em duas concentrações distintas. Segundo Carneiro *et al.* (2012), a tensão de cisalhamento está relacionada com a taxa de deformação, então, quanto maior a tensão de cisalhamento, maior a deformação.

Segundo Lopes Neto *et al.* (2009), a tensão de consolidação é a capacidade do produto de se tornar mais compacto devido à existência de um maior número de regiões de contato, devido aos rearranjo das partículas e as deformações plásticas a que o produto foi submetido.

Tabela 26 – Valores da tensão de cisalhamento para o pó da polpa de goiaba nas concentrações de 4 e 8% de albumina.

σ_p (kPa) para 4% de albumina	σ_c (kPa) para 4% albumina	σ_p (kPa) para 8% de albumina)	σ_c (kPa) para 8% albumina
0,023	0,000	0,026	0,000
1,587	0,309	1,937	0,322
3,429	0,436	4,461	0,498
7,301	0,770	9,232	1,145
13,339	1,825	19,594	1,965
30,717	3,954	38,956	4,621

σ_c . tensão de cisalhamento; σ_p – tensão de consolidação.

Fonte: Autor (2015).

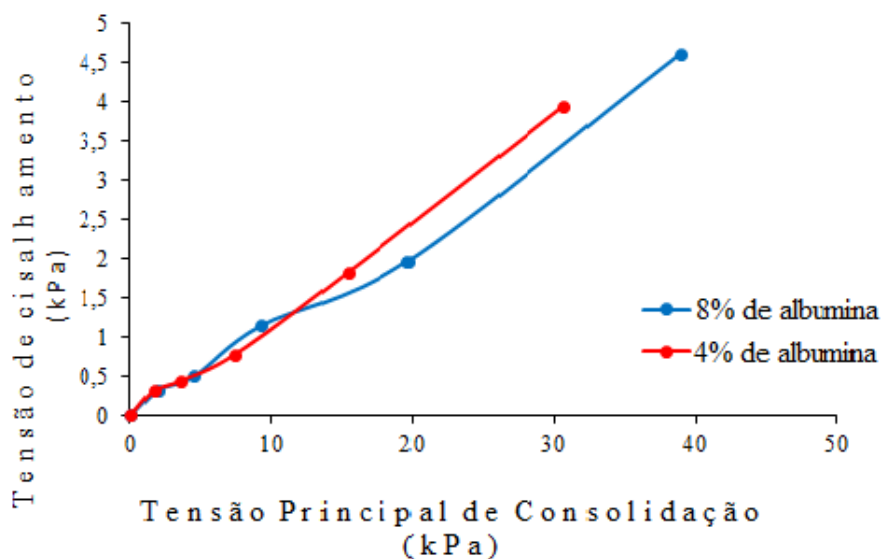
Resultados maiores foram observados para a tensão de cisalhamento do pó com 8% de albumina, devido as maiores tensões de consolidação aplicadas ao pó. O contrário é notado para o pó a 4% de albumina, no qual ocorreu reduções nas tensões de consolidação aplicadas, obtendo-se assim, tensões de cisalhamento menores.

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

Na Figura 38, observa-se os fluxos de escoamento dos pós nas concentrações a 4 e 8% de albumina. Lopes Neto *et al.* (2007) citaram que a curva da função do fluxo de escoamento quanto mais próxima do eixo horizontal, há uma tendência do produto a escoar com facilidade, e quanto mais próxima do eixo vertical, há uma maior resistência ao escoamento.

Observa-se na Figura 38, uma tendência dos pós a escoar com facilidade, provavelmente devido a formação da espuma, a qual gera uma maior superfície de contato durante a secagem, fazendo com que a perda de umidade do produto seja maior, e assim, forma-se pós mais secos e fáceis de escoar.

Figura 38 – Fluxo de escoamento para os pós de polpa de goiaba obtidos pelo método de camada de espuma, nas concentrações de 4 e 8% de albumina.



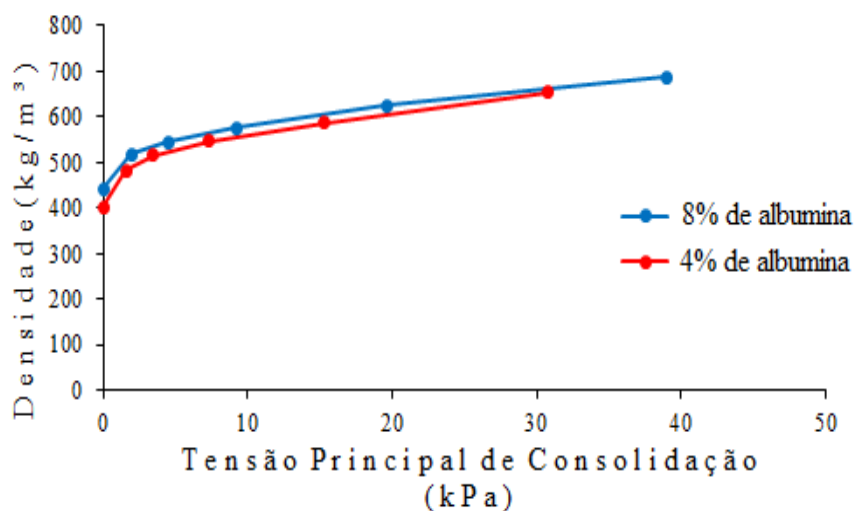
Fonte: Autor (2015).

A presença da albumina alterou a composição química e a Transição vítrea do pó da polpa de goiaba, sendo assim, o pó da polpa de goiaba com a maior concentração (8%) mostrou-se menos higroscópico, como observado na Figura 38.

Na Figura 39 estão expostos as densidades dos pós de polpa de goiaba em função da tensão de consolidação. Abdullah e Geldart (1999) classificam a densidade consolidada como densidade *bulk* e esta depende da forma como as partículas são empacotadas, devido à compactação ou consolidação.

Na Figura 39, observa-se que a densidade do pó a 8% de albumina foi maior do que para a concentração a 4%, provavelmente devido à massa de sólidos ser maior, gerando uma massa específica superior, e assim uma densidade maior. Conforme foi observado na microscopia eletrônica de varredura, o pó da polpa de goiaba com 8% de albumina (Figura 41 c) apresentou visivelmente albumina em sua superfície o que pode ter contribuído para os valores de densidade maiores.

Figura 39 – Densidade dos pós da polpa de goiaba nas concentrações de 4 e 8% obtidos através do equipamento *powder flow test* (PFT).



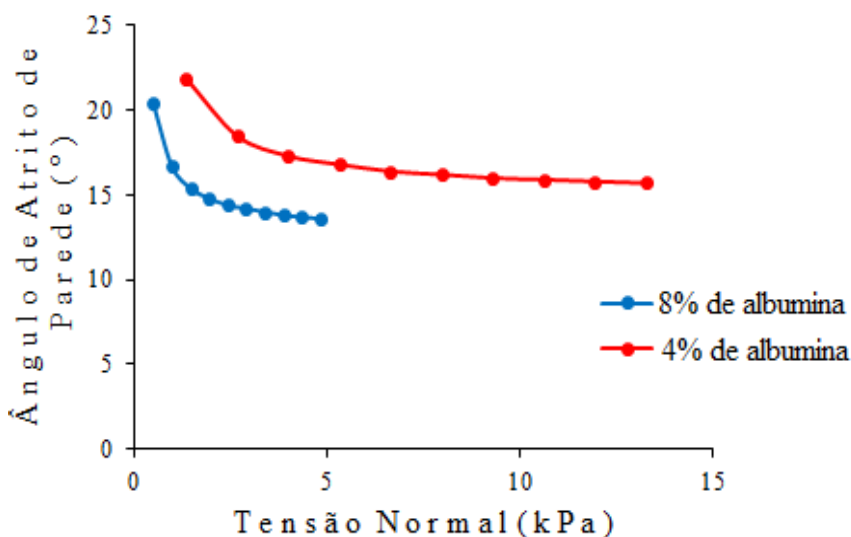
Fonte: Autor (2015).

Na Figura 40 estão apresentados os ângulos de atrito de parede dos pós de polpa de goiaba nas concentrações de 4 e 8% de albumina. Sendo que os menores valores dos ângulos de atrito correspondem ao pó de maior concentração (8%).

Segundo Campos (2012) quanto maior o ângulo de atrito, maior a adesão a parede do local em que houver o escoamento, e esse ângulo não depende das propriedades intrínsecas do produto, e sim, das propriedades da parede em que as partículas estão em contato e da interação delas com a superfície.

Devido ao pó da polpa de goiaba a 8% de albumina corresponder a valores de ângulos de atrito de parede menores, há uma menor adesão a parede em que está em contato e assim o escoamento ocorrerá mais facilmente que o pó a 4% de albumina. No entanto, ambos apresentam ângulos de atrito próximos, à medida que ocorre o aumento da tensão normal. Por exemplo, para uma tensão normal de 1,5 kPa, os ângulos de atrito de parede são de aproximadamente 15° e 22° respectivamente, para 8% e 4% de albumina (Figura 40).

Figura 40 – Ângulo de atrito de parede dos pós de polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma, nas concentrações de 4% e 8% de albumina.



Fonte: Autor (2015).

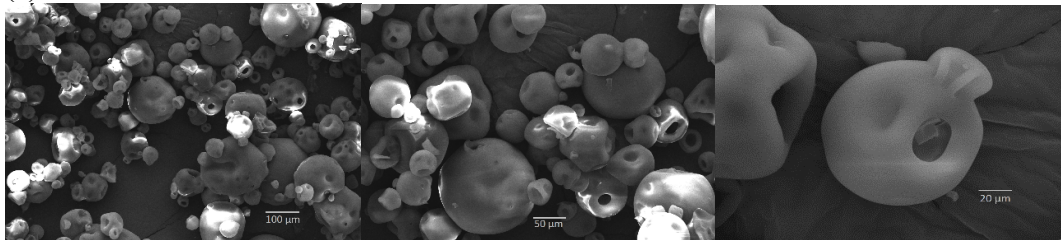
4.9 Microscopia eletrônica de varredura (MeV) dos pós

As micrografias de cada material particulado (pó de polpa de goiaba sem a adição de albumina, albumina, pó de polpa de goiaba com 4% de albumina, pó de polpa de goiaba com 8% de albumina) com magnitudes distintas e obtidas através do microscópio eletrônico de varredura, podem ser visualizadas na Figura 41.

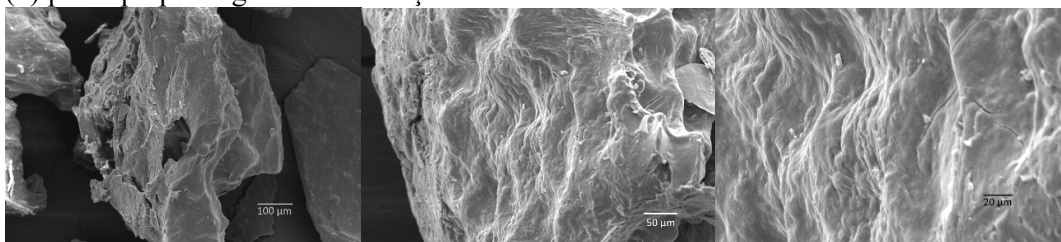
Observa-se que a albumina apresenta-se em forma de grânulos arredondados, superfície lisa, apresentando orifícios, provavelmente devido ao processo de secagem a que foi submetida, esses orifícios auxiliam na incorporação de ar durante o processo de agitação (a). Para os pós da polpa de goiaba sem albumina (b) e com albumina (c, d), nota-se uma estrutura semelhante: partículas irregulares e com superfície rugosa, provavelmente devido ao tipo de secagem (lenta e baixa temperatura), e posteriormente o processo de moagem. Nas micrografias com presença de albumina (c, d) foi possível visualizar a influência da adição de albumina na estrutura dos pós de polpa de goiaba na forma de pontos brancos.

Figura 41 – Micrografias eletrônicas de varredura das partículas.

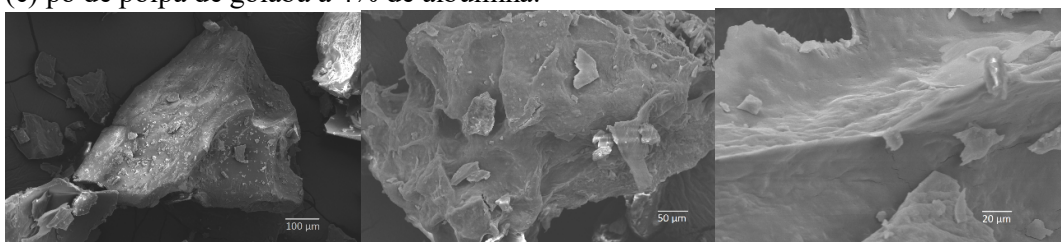
(a) albumina.



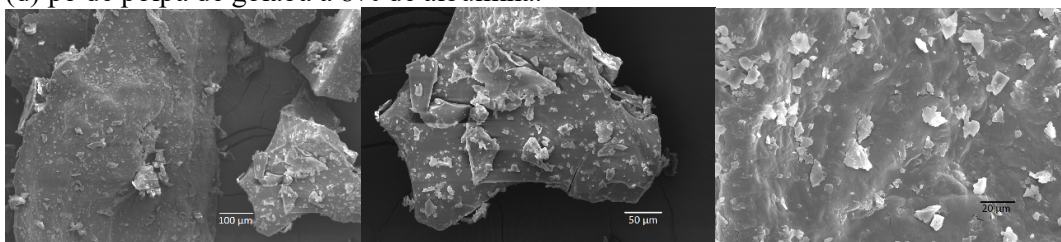
(b) pó de polpa de goiaba sem adição de albumina.



(c) pó de polpa de goiaba a 4% de albumina.



(d) pó de polpa de goiaba a 8% de albumina.



Fonte: Autor (2015).

5 CONCLUSÃO

A partir do planejamento experimental foi possível obter as melhores condições da secagem para a obtenção do pó de polpa de goiaba obtido pelo método de camada de espuma, no qual as condições foram: 78°C (temperatura), 5,1% de albumina (concentração) e 331,5 minutos (tempo). Estes dados foram baseados na máxima concentração de ácido ascórbico dentro dos limites estabelecidos no planejamento.

O pó de polpa de goiaba na condição escolhida é um pó de baixa umidade, baixa higroscopicidade e baixa acidez. A adição de albumina influenciou nos parâmetros de cor do pó, diluindo a amostra, com redução da luminosidade (L^*) após 45 dias do período da estabilidade, diminuindo a tonalidade do vermelho (a^*) e aumentando a tonalidade do amarelo (b^*).

Quanto a cinética de secagem, o melhor modelo foi o de Midilli, por apresentar os ajustes com R^2 elevados e baixos erros médios estimados (SE). A concentração de albumina teve influência na velocidade de secagem, pois a polpa com maior concentração (8%) apresentou um tempo de secagem inferior a de menor concentração (4%). Porém, os outros modelos também podem ser usados para prever a cinética de secagem dos pós estudados.

Para os resultados das isotermas de adsorção, concluiu-se que o melhor modelo foi o de GAB, por apresentar os melhores ajustes, erros inferiores a 10% e R^2 elevados. Os demais modelos apresentaram alguns dos erros médios acima de 10% e não podem ser utilizados para prever as isotermas de adsorção dos referidos pós.

Com o estudo da estabilidade do pó, concluiu-se que a umidade teve uma tendência a aumentar, a acidez permaneceu estável, o pH e a higroscopicidade apresentaram tendência a aumentar, as coordenadas de cor L^* e a^* mostraram uma tendência a diminuir com o tempo e a coordenada b^* de aumentar, devido à degradação dos carotenóides.

Observou-se que a presença de albumina influenciou nos resultados das análises físicas dos pós. Os pós, apresentaram tendência ao escoamento livre. O pó de polpa de goiaba com 8% de albumina teve os menores ângulos de atrito de parede. O pó da polpa de goiaba a 8% escoou mais facilmente do que o pó a 4% de albumina.

As micrografias das partículas estudadas revelaram que os pós de polpa de goiaba sem e com a presença de albumina apresentaram formas irregulares e superfície rugosa. A diferença entre os pós é a presença da albumina na forma de pontos brancos.

REFERÊNCIAS

ABDULLAH, E. C.; GELDART, D. The use of bulk density measurements and flowability indicators. **Powder Technology**, v. 102, n. 1, p. 151 - 165, 1999.

ADECE – Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará - **Exportações do Ceará no ano de 2013, com foco no agronegócio**, Disponível em: <
<http://www.adece.ce.gov.br/index.php/downloads/category/2-balanco-de-exportacoes>>.
Acesso em: 10 ago. 2014.

ADECE – Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará. **Exportações de frutas avançam 4% em 2015 no Ceará**. Disponível em: <
<http://www.adece.ce.gov.br/index.php/sala-de-imprensa/noticias/44324-exportacoes-de-frutas-avancam-4-em-2015-no-ceara>>. Acesso em: 20 fev. 2016.

AGENCIA PRODETEC. **Cultivo, preço e mercado para a goiaba**. Disponível em: <
<http://www.agenciaprodetec.com.br/inicio/359-cultivo-preco-e-mercado-para-goiaba.html>>.
Acesso em: 20 fev. 2016.

ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIREDO, R. M. F. DE; QUEIROZ, A. J. M.; OLIVEIRA, E N. A. DE. Armazenamento de pitanga em pó. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 1, p. 83 - 91, 2014.

ALI, Z.M.; LAZAN, H. Guava. In: MITRA, S.K. (Ed.). Postharvest physiology and storage of tropical and subtropical fruits. New York: **CAB International**, p. 145 - 165, 2001.

ALMEIDA, M. A. de. Transglutaminase e albumina de ovo em reestruturados cozidos congelados de frango. 2010. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2010.

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. **J. of Food Eng.**, v. 61, p. 297 - 307, 2004.

ALVES, P.M.; LEITE, P.H.A.S.; PEREIRA, J.V.; PEREIRA, L.F.; PEREIRA, M.S.V.; HIGINO, J.S.; LIMA, E.O. Atividade antifúngica do extrato de *Psidium guajava* Linn.(goiabeira) sobre leveduras do gênero *Candida* da cavidade oral:uma avaliação *in vitro*. **Rev. Bras. de Farmacogn**, v. 16, n. 2, p. 192 - 196, 2006.

ALVES, C. C. de O.; RESENDE, J. V. de; CRUVINEL, R. S. R; PRADO, M. E. T. Estabilidade da microestrutura e do teor de carotenóides de pós-obtidos da polpa de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) liofilizada. **Ciênc. Tecnol. Aliment. Campinas**, v. 28, n. 4, p. 830 - 839, 2007.

AMARAL, F. M. M.; RIBEIRO, M. N. S.; BARBOSA-FILHO, J. M.; REIS, A. S.; NASCIMENTO, F. R. F.; MACEDO, R. O. Plants and chemical constituents with giardicidal activity. **Rev. Bras. Farmacogn**, v. 16, n. 1, p. 696 - 720, 2006.

ANDRADE, P. F. de S. **Análise da conjuntura agropecuária safra 2011/12**. Departamento de Economia rural, Secretaria da Agricultura e do Abastecimento, Estado do Paraná, p. 9, 2012.

ANDRADE, E. T. ; BORÉM, F. M. ; HARDOIM, P. R. Cinética de secagem do café cereja, bóia e cereja desmucilado, em quatro diferentes tipos de terreiros. **Rev. Brasileira de Armazenamento**, v. 7, p. 37 - 43, 2003.

ANDRADE, E. T. de; CORREA, P. C.; TEIXEIRA, L. P.; PEREIRA, R. G.; CALOMENI, J. de F. Cinética de secagem e qualidade de sementes de feijão. **Engevista**, v. 8, n. 2, p. 83-95, 2006.

ANSELMO, G. C. S; MATA, M. E. R. M. C.; ARRUDA, P. C. de; SOUSA, M. C. Determinação da higroscopicidade do cajá em pó por meio da secagem por atomização. **Rev. de Biologia e Ciências da terra**, v. 6, n. 2, 2006.

A.O.A.C. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists** 15th (1990).

ARAÚJO, A. D. A.; COELHO, R. M. D. C; COSTA, J. M. C. da; RODRIGUES, S. In: Higroscopicidade do suco de acerola desidratado em leito de jorro. **In: XX congresso brasileiro de engenharia química**. Florianópolis – S.C., 2014.

AVIARA, A. N.; ONUOHA, L. N.; FALOLA, O. E.; IGBEKA, J. C. Energy and exergy analyses of native cassava starch drying in a tray dryer. **Energy**, v. 73, n. 1, p. 809 – 817, 2014.

AZZOLINI, M.; JACOMINO, A.P.; BRON, I.U.; KLUNGE, R.A.; SCHIAVINATO, M.A. **Ripening of “Pedro Sato” guava: study on its climateric or no-climateric nature**. **Brazilian J. Plant Physiology**, v.17, n.3: 299-306, 2005.

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

BEZERRA, T. S.; COSTA, J. M. C. da; AFONSO, M. R. A.; CLEMENTE, G. A. M. Avaliação físico-química e aplicação de modelos matemáticos na predição do comportamento de polpas de manga desidratadas em pó. **Rev. Ceres**, v. 58, n. 3, p. 278 - 283, 2011.

BOX, G. E P.; WETZ, J. **Criteria for judging adequacy of estimation by an approximating response function**. Departamento of statistics – University of Wisconsin, Madison, 1973.

BRAGANTE. **Desidratação de alimentos**. Disponível em: <<http://bragante.br.tripod.com/desidratacao.html>>. Acesso em: 10 ago. 2014.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC n. 272, 22/09/2005. Regulamento técnico para produtos de vegetais, produtos de frutas e cogumelos comestíveis. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2005.

_____. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 01, de 7 De Janeiro de 2000**. Regulamento Técnico Geral para fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para polpa de fruta. 2000.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2012/2013 a 2022/2023**. Assessoria de Gestão Estratégica. Brasília: Mapa/ACS, 2013. 96 p., 2013.

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

CAMPBELL, M.K. **Bioquímica**. Trad. FERREIRA, H.F. et al., 3ª. ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2005.

CAMPOS, M. M. DE. **Análise da escoabilidade de pós**. 2012 . 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2012.

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

CAPPA C.; LAVELLI, V.; MARIOTTI, M. **Fruit candies enriched with grape skin powders: physicochemical properties**. Department of Food, Environmental and Nutritional Sciences (DeFENS), Università degli Studi di Milano, via G. Celoria 2, 2013 Milan, Italy, 2014.

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

CARVALHO, H.A. **Utilização de atmosfera modificada na conservação pós-colheita da goiaba 'Kumagai'**. 1999. 115p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Ciência de Alimentos, Universidade Federal de Lavras, 1999.

CARVALHO, H.A; CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B.; CARVALHO, H.S. Efeito da atmosfera modificada sobre componentes da parede celular da goiaba. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, n. 3, p. 605 - 615, 2001.

CARVALHO, M. S. **Produção de polpa de abóbora em pó pelo processo de secagem em leite de espuma**. 2014. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa - Programa de Pós- Graduação em Engenharia Agrícola, Viçosa- MG, 2014.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de secagem de alimentos**. – Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 51 p., 2010.

CERQUEIRA, T. S. **Recobrimentos comestíveis em goiabas cv. “Kumagai”**. Piracicaba, 2007. 70 p. Dissertação (Mestrado em Ciências de Alimentos) – Universidade de São Paulo – USP, 2007.

CHOUDHURY, M.M.; ARAÚJO, J. L. P.; GONZAGA NETO, L.; RESENDE, J. M.; COSTA, T. S. DA; SCAGGIANTE, G. **Goiaba: pós-colheita**. Brasília: EMBRAPA, 2001. 45p. (Série Frutas do Brasil).

CORREA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M.; GONELI, A. L.D.; CARVALHO, F. M. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Rev. Ceres.**, v. 57, n. 5, p. 595 - 601, 2010.

COSTA, C. M. L. **Caracterização e análise experimental do recobrimento de sementes de jambu (*Spilhanthes oleracea*) em leite fluidizado**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Engenharia de Processos - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

COSTA, J. M. C. da. **Grau de caking e higroscopicidade de leite de coco em pó (*Cocos nucifera* L.) atomizado**. 1989. 102 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Lavras, MG. ESAL: 1989.

COULTATE, T.P. **Alimentos: a química de seus componentes**. Trad. FRAZZON, J. et al., 3^a ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 368p.

CRUZ, W. F. da. **Obtenção de polpa de goiaba (*Pisidium guajava* L.) pelo método de secagem em camada de espuma**. 2013. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de alimentos) - Programa de pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

CNA- Confederação da agricultura e pecuária do Brasil. **Balanco 2015 e perspectivas 2016, parte 2**. Disponível em:<http://www.canaldoprodutor.com.br/sites/default/files/02%20Balanco2015%20Perspectivas2016_panorama_cadeiasProdutivas.pdf>. Acesso em 11 dez. 2015.

DURIGAN, J. F. Colheita, conservação e embalagens. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A CULTURA DA GOIABEIRA, 1., Jaboticabal, 1997. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, p. 152-154.

FARAONI, A. S.; RAMOS, A. M.; GUEDES, D. B.; OLIVEIRA, A. N.; LIMA, T. H. S. F. de.; SOUSA, P. H. M. de. Desenvolvimento de um suco misto de manga, goiaba e acerola utilizando delineamento de misturas. **Ciê. Rural**, [online], 2012.

FEITOSA, R. M.; FIGUÊIREDO, R. M. F. de; QUEIROZ, A. J. M.; GOMES, J. P. Isotermas de adsorção de umidade de fatias de goiabas desidratadas pré tratadas com solução de ácido ascórbico. In: VII Congresso Ibérico de Agroingenieria y ciencias Hortículas. Madrid, 26 a 29 ago., 2013.

FELLOWS, P.J. **Tecnologia do processamento de alimentos** – Princípios e práticas. São Paulo, SP, Editora Artmed, 2006. 602p.

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

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

FERRARI, C. C.; RIBEIRO, C. P.; AGUIRRE, J. M. de. Secagem por atomização de polpa de amora-preta usando maltodextrina como agente carreador. **Braz. J. of food technol.** Campinas, v. 15, n. 2, p. 157 - 165, 2012.

FERREIRA, A. P. R.; SOUSA, S. L.; LIMA, D.M.; COSTA, J. M. C.da. Caracterização da polpa de cajá em pó obtida pelo método de secagem em leite de jorro. **In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química e Iniciação Científica**. 2014.

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

FREITAS, V.; ROSSETO, V.; ROSA, G. S. Caracterização da casca e polpa de butiás *in natura* e liofilizadas: umidade e antocianinas. **In: X Congresso Brasileiro de Engenharia Química e Iniciação Científica**. Vassouras – R.J., v. 1, n. 1, dez. 2014.

FURTADO, G. F.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; SANTOS, P. dos. Secagem de polpa de ceriguela pelo método de camada de espuma. **Rev. Bras. de Prod. Agroind.**, v. 12, n. 1, p. 9 - 14, 2010.

GABAS, A. L.; TELIS, V. R. N.; SOBRAL, P. J. A.; TELIS-ROMERO, J. Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. *Journal of Food Engineering*, v. 82, n. 1, p. 246 – 252, 2007.

GOMES, P. M. de A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de; QUEIROZ, A. J. de M. Caracterização e isotermas de adsorção de umidade da polpa de acerola em pó. **Rev. Bras. de Produtos Agroind.**, v. 4, n. 2, p. 157 - 165, 2002.

GOMES, P. M. de A.; FIGUEIREDO, R.M.S.; QUEIROZ, A. J. de M. Armazenamento da polpa de acerola em pó a temperatura ambiente. **Ciênc. e Tecnol. de Alimentos**, v. 24, n. 3, p. 384 - 389, 2004.

GONDIM, A. N. S.; OLIVEIRA, V. R.; SILVA, L. R.; SILVA, B. A.; CONDE-GARCIA, E. A. Complete atrioventricular block on isolated guinea pig heart induced by an aqueous fraction obtained from *Psidium guajava* L. leaf. **Rev. Bras. Farmacogn.** v. 16: n. 1, p. 312 - 316, 2006.

GORINSTEIN, S.; ZEMSER, M.; HARUENKIT, R.; CHUTHAKORN, R.; GRAUER, F.; MARTIN-BELLOSO, O.; TRAKHTENBERG, S. Comparative content of total polyphenols and dietary fiber in tropical fruits and persimmon. **J. of Nutrit. Biochemist.**, v. 10, p. 367 - 371, 1999.

GOULA, A.; ADAMAPOULOS, K. Effect of maltodextrina addition during spray dryin of tomato pulp in dehumified air: I. Drying kinetics and recovery. **Dry Technol.**, v. 26, n. 6, p. 714 - 725, 2008.

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

GREENSPAN, L. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. **J. of Research of the National Bureau of Standards**, v. 81, n. 1, p. 89-96, 1977.

GURGEL, C. E. M. R.; DIEB, J. T.; MACHADO, A. K. T.; MEDEIROS, M. F. D. Secagem da polpa de graviola (*Annona muricata L.*) em camada de espuma: avaliação dos parâmetros de secagem. **In: XXVIII ENEMP – Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados.** 2015.

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

ITO, Y.; Kurata, M.; Suzuki, K.; Hamajima, N.; Hishida, H.; Aoki, K. Cardiovascula disease mortality and serum carotenoid levels: a Japanese populationbased follow-up study. **J. of Epidemiol.**, v. 16, n. 4, p. 154 – 160, 2006.

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.

JARDIM, D. C. P.; GERMER, S. P. M. **Atividade de água em alimentos.** Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1997.

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

KADAM, D. M.; PATIL, R. T.; KAUSHIK, P. **Foam mat drying of fruit and vegetableproducts.** In *Handbook of Drying of Foods, Vegetables and Fruits.* eds. Jangam, S.V., C. L. Law, and A. S. Mujumdar, v. 1, p. 111 - 124, 2010.

KADAM, D. M.; WILSON, R. A.; MANISHA, K. S. Influence of foam mat drying on quality of tomato powder. **Int. J. of Food Properties**, v. 15, n. 1, p. 211 - 220, 2012.

KADER, A. A. Future of modified atmosphere research. **Acta Hort.**, v. 857, p. 212 - 217, 2010.

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

KUROZAWA, L. E.; EL-AOUAR, A. A.; MURR, F. E. X. Obtenção de isothermas de dessorção de cogumelo *in natura* e desidratado osmoticamente. **Ciê. Tecn. Aliment.**, v. 25, n. 4, p. 828 – 834, 2005.

- LERMEN, F. H.; MATIAS, G. S.; RÖDER, R.; BOIKOR, T. J. P. Teste de consumidores e análise de aparência, sabores e cores para o desenvolvimento de novos produtos: o case do projeto de broinhas de milho saboreadas. **Rev. Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, v. 3, n. 4, p. 97 – 109, 2015.
- LIMA, N. D.; MOURA, R. L.; RABELO, G. B. O.; GUIMARAES, F. R.; ROCHA, F. O.; BARBOSA, A. V. O. Determinação da concentração de vitamina C em diferentes marcas e tipos de suco de goiaba comercializado na cidade de Quixeramobim - Ce. **Higiene Alimentar**, v. 27, p. 1503 - 1506, 2013.
- LISBÔA, C. G. C. DE; ROSSANA M. F. DE FIGUEIRÊDO, R. M. F. DE; QUEIROZ, A, J. M. Armazenamento de figo-da-índia em pó. **Rev. Bras. de Eng. Agríc. e Amb.**, v. 16, n. 2, p. 216 – 221, 2012.
- LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I: Fruit, vegetable and meat products. *Lebensmittel- Wissenschaft & Technologie*, v.18, p.111-117, 1985.
- LOPES NETO, J. P.; NASCIMENTO, NASCIMENTO, J. W. B. do; SILVA, V. R. da; LOPES, F. F. M. Propriedade de fluxo e característica de escoabilidade de rações avícolas para dimensionamento de silos. **Ciênc. Agrotec.**, v. 31, n. 3, p. 851 – 859, 2007.
- LOPES NETO, J. P.; SILVA, V. R. da; NASCIMENTO, J. W. B. do. Propriedades de fluxo de produtos pulverulentos alimentícios. **Rev. Bras. de Eng. Agr. e Amb.**, v. 13, n. 5, p. 639 – 644, 2009 .
- LOUREIRO, M. N.; FIGUÊIREDO, R. M. F. de; QUEIROZ, A. J. M.; OLIVEIRA, E. N. A. de. Armazenamento de buriti em pó: efeito da embalagem nas características físicas e químicas. **Biosci. J.**, v. 29, n. 5, p. 1092 - 1100, 2013.
- MACHADO, A. K. T.; GURGEL, C. E. M. R.; MEDEIROS, M. F. D. de. Estudo de secagem das polpas de caju, goiaba, graviola e manga, pelo processo foam-mat, com e sem a adição de leite. **In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química e Iniciação Científica**. 2015.
- MACHADO, A. V.; OLIVEIRA, E. L. de; SANTOS, SANTOS, E. S. dos; OLIVEIRA, J. A. de; FREITAS, L. M. de. Estudo cinético da secagem do pedúnculo de caju e um secador convencional. **Rev. Verde**, v. 5, n. 1, p. 36 - 42, 2010.
- MACHADO, I. P.; DELMIRO, T. M.; MACHADO, A. K. T.; MEDEIROS, M. F. D. Secagem em leito de jorro da mistura d graviola e leite. Avaliação dos efeitos das variáveis de operação sobre parâmetros de produção, taxa de secagem e eficiência térmica. **In: XXVIII ENEMP – Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados**. 2015.
- MADUREIRA, I. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de; QUEIROZ, A. J. DE M.; SILVA FILHO, E. D. DA. Cinética de secagem da polpa de figo da índia. **Rev. Bras. de Prod. Agroindust.**, v. 13, n. Especial, p. 345 - 354, 2011.

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

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Exportações do agronegócio cresceram 8% em volume em janeiro deste ano. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/comunicacao/noticias/2016/02/exportacoes-do-agronegocio-cresceram-8porcento-em-volume-em-janeiro-deste-ano>>. Acesso em: 20 fev. 2016.

MATA, M.E.R.M.C.; DUARTE, M.E.M.; ALSEMO, G.C.S.; RODRIGUES, E.; GUEDES, M.A.; CAVALCANTI, A.S.R.R.M.; OLIVEIRA, C.C.A. Obtenção de graviola em pó pelo processo de liofilização. **Rev. Bras. de Prod. Agroind.**, v. 7, n. 2, p. 165 - 172, 2005.

MATOS, E. N. V.; SAMPAIO, R. M.; PAULA, M. L. de. Determinação das isotermas de adsorção e do calor de sorção de farinha de babaçu comercial. **Cad. Pes.**, v. 21, n. especial, 2014.

MATTIETTO, R. A.; V. M. MATTA. Utilização de um delineamento composto central rotacional para avaliação microbiológica de polpas de açaí pasteurizadas. **In: XIX Congresso brasileiro de engenharia química**. 2012.

MELO, K. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de; QUEIROZ, A. J. M.; FERNADES, T. K. S.; BEZERRA, M. C. T. Secagem em camada de espuma da polpa do fruto do mandacaru: experimentação e ajustes de modelos matemáticos. **Rev. Caatinga**, v. 26, n. 2, p. 10-17, 2013

MENDONÇA, V. **Goiaba: histórico e informações gerais**. 2012. Disponível em: <<http://www.todafruta.com.br/noticia/26618/GOIABA%3A+HIST%3ARICO+E+INFORMA%C7%D5ES+GERAIS>>. Acesso em: 01 jun. 2014.

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

MISRA, R.; MANGI, S.; JOSHI, S.; MITTAL, S.; GUPTA, S. K.; PANDEY, R.M. LycoRed as an alternative to hormone replacement therapy in lowering serum lipids and oxidative stress markers: a randomized controlled clinical trial. **J. of Obstetrics and Gynaecology Research**, v. 32, n. 3, p. 299 – 304, 2006.

MORAES, C. **Frutas na mesa: Goiaba delicia nacional**. Frutas e Derivados. IBRAF Instituto Brasileiro de Frutas. Ano 2. Edição 07. set. 2007.

MORAIS, Rogério. **Agro valor**. Disponível em: <http://agrovalor.com.br/agrovalor/alerta-no-setor-de-frutas.606/>>. Acesso em 11 dez. 2015.

MOREIRA, J. S. A.; SOUZA, M. L. de; ARAÚJO NETO, S. E. de; SILVA, R. F. da. Estudo da estabilidade microbiológica e físico-química de polpa de cupuaçu desidratada em estufa. **Rev. Caatinga**, v. 24, n. 2, p. 26 - 32, 2011

MOREIRA, T. B.; ROCHA, E. M. F. F.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. da. Comportamento das isotermas de adsorção do pó da polpa de manga liofilizada. **Rev. Bras. de Eng. Agr. e Amb.**, v. 17, n. 10, p. 1093 – 1098, 2013.

MOURA, R. L.; RABELO, G. B. O.; LIMA, N. D; GUIMARAES, F. R.; FREITAS, R. M.; SANTOS, J. M. S. Avaliação da qualidade físico-química de diferentes marcas de doce cremoso de goiaba comercializadas em Quixeramobim - Ce. **Higiene Alimentar**, v. 27, p. 1364-1366, 2013.

MOURA, S. M. de. **Estabilidade de acerola em pó oriunda de cultivo orgânico**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos). - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

MUNHOZ, C. L; SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J.; SOAREZ JÚNIOR, M. S. Extração de pectina de goiaba desidratada. **Ciênc. Tecn. Alim.**, v. 30, n. 1, 2008.

MUTHUKUMARAN, A.; RATTI, C.; RAGHAVAN, V. Foam-mat freeze drying of egg white and mathematical modeling Part I optimization off egg white foam stability. **Drying technology**, v. 26, n. 3, p. 508 - 512, 2008.

OLIVEIRA, A. S.; FIGUÊIREDO, R. M. F. de; QUEIROZ, A. J. M.; BRITO, J. G. de. Estabilidade da polpa do *Cereus jamacaru* em pó durante o armazenamento. **Rev. Bras. de Eng. Agri. e Ambiental**, v. 9, n. 2, p. 147 - 153, 2015.

OLIVEIRA, E. N. A. de; SANTOS, D. C.; SOUSA, F. C. de; MARTINS, J. N.; OLIVEIRA, S. P. A. de. Obtenção de ubaia desidratada pelo processo de liofilização. **Rev. Bras. de Tecnol. Agroind.**, v. 4, n. 2: p. 235 - 242, 2010.

OLIVEIRA, G.S.; COSTA, J. M. C. da; AFONSO, M. R. A. Caracterização e comportamento higroscópico do pó da polpa de cajá liofilizada. **Rev. Bras. de Eng. Agr. e Amb.**, v. 18, n. 10, p. 1059 – 1064, 2014.

OLIVEIRA, I. P. de; OLIVEIRA, L. C.; MOURA, C. S. F. T. de; LIMA JÚNIOR, A. F. de; ROSA, S. R. A. da. Cultivo da goiabeira: do plantio ao manejo. **Rev. Faculdade Montes Belos**, v. 5, n. 4, 2012.

OLIVEIRA, R. C. de; ROSSI, R. M.; BARROS, S. T. D. de. Estudo do efeito da temperatura sobre o comportamento reológico das polpas de gabioba e goiaba. **Acta Scientiarum**, v. 33, n. 1, p. 31 – 37, 2011.

OLIVEIRA, V. S. de; COSTA, J. M. C. da; AFONSO, M. R. A. Caracterização físico-química e comportamento higroscópico do sapoti liofilizado. **Rev. Ciênc. Agro**, v. 42, n. 2, p. 342 - 348, 2011'

PADULA, M.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Characterisation of the carotenoids and assessment of the vitamin A value of Brazilian guavas (*Psidium guajava* L.). **Food Chemistry**, v. 20, n. 1, p. 11 - 19, 1986.

PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A. DE; PARK, K. J. B. **Conceitos de processos e equipamentos de secagem**. 2007, 127 p.

- 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. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v. 21, n. 1, p. 73 - 77, 2001.
- PARK, K. J. B.; PARK, K. J.; CORNEJO, F. E. P.; FABRO, I. M. D. Considerações termodinâmicas das isotermas. **Rev. Bras. de Prod. Agroind.**, v. 10, n. 1, p. 83 - 94, 2008.
- PENA, R. S.; MENDONÇA, N. B.; ALMEIDA, M. D. C. de. Comportamento higroscópico do açaí em pó. **Rev. Bras. de Prod. Agroind.**, v. 12, n. 2, p. 153 - 161, 2010.
- PENA, R.S.; RIBEIRO, C.C.; GRANDI, J.G. Aplicação de modelos matemático bi e tripamétricos na predição das isotermas de adsorção de umidade de guaraná (*Paullinia cupuna*) em pó. **Ciênc. e Tecnol. de Alim.**, v. 20, n. 1, p. 8 - 11, 2000.
- PEREIRA, A.C.S. **Qualidade e atividade antioxidante total de frutas tropicais oriundas de cultivares comerciais produzidas no Ceará.** 2009. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2009.
- PEREZ, L. G.; OLIVEIRA, F. M. N. de; ANDRADE, J. S.; MOREIRA FILHO, M. Cinética de secagem da polpa cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) pré desidratada por imersão-impregnação. **Rev. Ciênc. Agron.**, v. 44, n. 1, p. 102 - 106, 2013
- POMMER, C. V.; MURAKAMI, K. R. N. **A goiaba no mundo.** O agrônomo, Campinas, p. 22 - 26, fev. 2006.
- QUEIROZ, V.A.V. **Teores de Na, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu e Se em frutas consumidas na região Norte Fluminense.** 2004. 73 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), 2004.
- QUEIROZ, V.A.V.; FERREIRA, K.S.; MONNERAT, P.H.; QUEIROZ, L.R.; DOLINSKI, C. Na, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu and Se contents in fruits consumed in Brazil. **Nutrire**, v.31, n. 1, p. 61 - 73, 2006.
- RADUNZ, L. L.; AMARAL, A. S. do; MOSSI, A. J.; MELO, E. de C.; ROCHA, R. P. **Avaliação da cinética de secagem de carqueja.** Engenharia na agricultura, v. 19, n. 1, p. 19 - 27, 2011.
- RADUNZ, L. L.; MOSSI, A. J.; ZAKRZEVS, C. A.; AMARAL, A. S. do; GRASSMANN; L. Análise da cinética de secagem de folhas de sálvia. **Rev. Bras. Eng. Agric. Ambiental**, v. 14, n. 9, p. 979 - 986, 2010.
- RAJKUMAR, P.; KAILAPPAN R.; VISWANATHAN, R.; RAGHAVAN G. S. V.; Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer. **J. Food Eng.**, v. 79, n. 1, p. 1452-1459, 2007.
- RAMIREZ, C. E.; BELLMUND, S; GARDINALI, P. R. A simple method for routine monitoring of glyphosate and its main metabolite in surface waters using lyophilization and LC-FLD + MS/MS. Case study: canals with influence on Biscayne National Park. **Science of the Total Environment**, v. 496, p. 389 - 401, 2014.

RAMOS, A. R. P.; BARBOSA, A. C. A.; SILVA, E. F. da; SOUZA, E. M. de; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Conservação de goiaba cv. 'Paluma' com utilização de biofilme comestível. **Cascavel**, v. 6, n. 3, p. 143 - 154, 2013.

RAUPP, D. da S.; GARDINGO, J. R.; SCHEBESKI, L. dos S.; AMADEU, C. A.; BORSATO, A. V. Processamento de tomate seco de diferentes cultivares. **Acta Amazonica**, Universidade Estadual de Ponta Grossa, v. 39, n. 2, p. 415 – 422, 2009.

REIS, R. C.; BARBOSA, L. S.; LIMA, M. L. de; REIS, J. S.; DEVILLA, I.A.; ASCHERI, D. P. R. Modelagem matemática da secagem da pimenta Cumari do Pará. **Rev. Bras. de Eng. Agríc. e Ambient.**, v. 15, n. 4, p.347- 353, 2011

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; RIBEIRO, D. M. Isotermas e calor isostérico de sorção do feijão. **Ciênc. Tecnol. Aliment.** v. 26, n. 3, p. 626 - 631, 2006.

RESENDE, O.; CORRÊA, P.C.; GONELI, A.L.D.; BOTELHO, F.M.; RODRIGUES, S. Modelagem matemática do processo de secagem de duas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris L.*). **Rev. Bras. de Prod. Agroind.**, v. 10, n. 1, p. 17 - 26, 2008.

RESENDE, O.; FERREIRA, L. U.; ALMEIDA, D. P. Modelagem matemática para descrição da cinética de do feijão adzuki (*Vigna angularis*). **Rev. Bras. de Prod. Agroind.**, v. 12, n. 2, p. 171 - 178, 2010.

RIBEIRO, V.G.; ASSIS, J.S; SILVA, F.F.; SIQUEIRA, P.P.X.; VILARONGA, C.P.P. Armazenamento de goiabas 'Paluma' sob refrigeração e em condição ambiente, com e sem experimento com cera de carnaúba. **Rev. Bras. de Fruticult.** v. 27, n. 02, p. 203 – 206, 2005.

ROCHA, E. M. F. F.; SOUSA, S. L.; COSTA, J. P. da; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. da. Obtenção de suco de caju atomizado através do controle das condições de secagem. . **Rev. Bras. de Eng. Agr. e Amb.**, v. 18, n. 6, p. 646 – 651, 2014.

RODRIGUES, I. **Engenharia Alimentar, processamento geral de alimentos: Liofilização.** ESAC.2008. 16 p.

ROSA, E.D.; TSUKADA, M.; FREITAS, L.A.P. **Secagem por atomização na indústria alimentícia: fundamentos e aplicações.** 12 p. Disponível em: <<http://www.fcf.usp.br/Ensino/Graduacao/Disciplinas/Exclusivo/Inserir/Anexos/LinkAnexos/secagem%20de%20materiais.pdf>>. Acesso em 28 nov. 2012.

SANKAT, C. K.; CASTAIGNE, F. Foaming and drying behaviour of ripe bananas. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v. 37, n. 1, p. 217 - 525, 2004.

SANTOS, A. A. C. dos; FLORÊNCIO, A. K. G. D.; ROCHA, E. M. F.; COSTA, J. M. C. da. Avaliação físico-química e comportamento higroscópico de goiaba em pó obtida por spray-dryer. **Rev. Ciênc. Agr.**, v. 45, n. 3, p. 508 - 514, 2014.

SANTOS, C. T.; BONOMO, R. F.; CHAVES, M. A.; FONTAN, R. da C. I.; BONOMO, P. Cinética e modelagem da secagem de carambola (*Averrhoa carambola L.*) em secador de bandeja., **Acta Scientiarum. Technol.**, v. 32, n. 3, p. 309-313, 2010.

- SANTOS, G. dos; SOUZA, D. S.; CASTRO, A. A. Cinética de secagem convectiva e liofilização de ramos de coentro (*Coriandrum sativum L.*): estudo da influência dos processos em sua coloração. **Rev. Bras. de Prod. Agroind.**, v. 14, n. 4, p. 329 – 335, 2012.
- SANTOS, M. L.; MACHADO, A. V.; ALVES, F. M. S.; COSTA, A. P. L. de M. Estudo físico-químico de maçã desidratada em secador convectivo. **Rev. Verde**, v. 8, n. 1, p. 30 – 37, 2013.
- SCOTTER, M. J. Characterisation of the coloured thermal degradation products of bixin from annatto and a revised mechanism for their formation. **Food Chemist.**, v. 53, n. 2, p. 177 - 185, 1995.
- SHI, J.; LE MAGUER, M.; BRYAN, M. Lycopene from tomatoes. **In:** J. Shi, G. Mazza, M. Le Maguer (Eds.), *Functional foods-biochemical and processing aspects*. p.135–168. USA: CRC Press, 2002.
- SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos: Métodos químicos e biológicos**. 3.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002. 235p.
- SILVA, A. S.; GURJÃO, K. C. de O.; ALMEIDA, F. de A. C.; BRUNO, R. de L. A.; PEREIRA, W. E. Desidratação da polpa de tamarindo pelo método de camada de espuma. **Ciênc. agrotec.** v. 32, n. 6, p. 1899 - 1905, 2008.
- SILVA, P. I.; STRINGHETA, P. C.; TEÓFILO, R. F.; OLIVEIRA, I. R. N. de. Parameter optimization for spray-drying microencapsulation of jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) peel extracts using simultaneous analysis of responses. **J. of Food Engineer.**, v. 117, n. 1, p. 538–544, 2013.
- SILVA, R. N. G.; FIGUEIREDO, R. M. F. DE; QUEIROZ, A. J. M.; GALDINO, P. O. Armazenamento de umbu-cajá em pó. **Ciência Rural**, v. 35, p. 1179 - 1184, 2005.
- SILVA, V. K. L. da; PINHEIRO, E. S.; DOMINGUES, M. A. F.; AQUINO, A. C. de; FIGUEIREDO, E. A.; COSTA, J. M. C. da; CONSTANT, P. B. L. Efeito da pressão osmótica no processamento e avaliação da vida de prateleira de tomate seco. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 55 - 66, 2010.
- SPIESS, W.E.L.; WOLF, W. Critical evaluation of methods to determine moisture sorption isotherms. In ROCKLAND, L.B.; BEUCHAT, L. R. (ed.) **Water activity: theory and applications to food**. New York: Marcel Dekker, p.215-233, 1987.
- SOARES, R. D.; CHAVES, M. A.; SILVA, A. A. L. DA; SILVA, M. V. DA; SOUZA, B. dos S. Influência da temperatura e velocidade do ar na secagem de manjeriço (*Ocimum basilicum L.*) com relação aos teores de óleos essenciais e de linalol. **Ciênc. agrotec.**, v. 31, n. 4, p. 1108 - 1113, 2007.
- SOUZA, E. M. P. W. J. P. COSTA, L. J. G. FARIA. Higroscopicidade do corante de pitaya (*hilocereus costaricensis*) em pó. **In:** XXVIII ENEMP – Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados. 2015.

SOUSA, K. A. de; RESENDE, O.; CHAVES, T. H.; COSTA, L.M. Cinética de secagem do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). **Rev. Ciênc. Agro.**, v. 42, n. 4, p. 883-892, out-dez, 2011.

TANAKA, D. L. **Influência da desidratação por *spray drying* sobre o teor de ácido ascórbico no suco de acerola (*malpighia ssp*)**. Dissertação (Mestrado em alimentos e Nutrição) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, UNESP- Universidade Estadual Paulista “Professor Júlio de Mesquita Filho”, Araraquara, 2007. 56p.

TAVARES, J. T. Q.; SANTOS, C. M. G.; TEIXEIRA, L. J.; SANTANA, R. S.; PORTUGAL, A. M. Estabilidade do ácido ascórbico em polpa de acerola submetida a diferentes tratamentos. **Magistra on line**. v. 15, n. 2, 2003.

TEMÓTEO, J. L. M.; GOMES, E. M. S.; SILVA, E. V. L.; CORREIA, A. G. S.; SOUSA, J. S. Avaliação de vitamina C, acidez e pH em polpas de acerola, cajá e goiaba de uma marca comercializada em Maceió – Alagoas. **In: VII CONNEPI – Congresso Norte e Nordeste de pesquisa e Inovação**. 2012.

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

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

THUWAPANICHAYANAN, R.; PRACHAYAWARAKORN, S.; SOPONRONNARIT, S. Drying characteristics and quality of banana foam mat. **J. of Food Engineer.**, v. 86, p. 573 – 583, 2008.

TRAVAGLINI, D. A.; AGUIRRE, J. M.; SILVEIRA, E. T. **Desidratação de frutas**. In: Desidratação de frutas e hortaliças – Manual Técnico. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 40 p., 2001.

UBOLBI, M. **Desidratação por camada de espuma (“foam mat”)**. 1971. 32f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1971.

VARGAS, C. S.; FERNANDES, R. H.; LUPION, R. Prevalência de uso dos suplementos nutricionais em praticantes de atividade física de diferentes modalidades. **Rev. Bras. de Nutrição Esportiva**, v. 9, n. 52, p. 343 – 349, 2015.

VILELA, C. A. A.; ARTUR, P. O. Secagem do açafrão (*Curcuma longa* L.) em diferentes cortes geométricos. **Ciênc. Tecnol. Aliment.** v. 28, n. 2, p. 387 - 394, 2008.

VISSOTTO, F. Z.; MONTENEGRO, F. M.; SANTOS, J. M. dos; OLIVEIRA, S. J. R. DE. Avaliação da influência dos processo de lecitinação e de aglomeração nas propriedades físicas de achocolatado em pó. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v. 26, n. 3, p. 666 - 671, 2006.

WANG, Y.; ZHAOXIN, L.; FENGXIA, L.; XIAOMEI, B. Study on microencapsulation of curcumin pigments by spray drying. **Eur. Food Res. Technol.**, v. 229, p. 391 – 396, 2009.

WEIJERS M.; SAGIS L.M.C.; VEERMAN C.; SPERBER B.; VAN DER LINDEN E.
Rheology and structure of ovalbumin gels at low pH and low ionic strength. **Food Hydrocolloids**, v. 3, n. 16, p. 269 - 276, 2002.

WILBERG, V.C.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. HPLC quantitation of major carotenoids of fresh and processed guava, mango and papaya. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v.28, p. 474 - 480, 1995.

ZEA L. P.; YUSOF, Y. A.; AZIZ, M. G.; LING, C. N.; AMIN, N. A. M. Compressibility and dissolution characteristics of mixed fruit tablets made from guava and pitaya fruit powders. **Powder Technol.**, v. 247, p. 112 – 119, 2013.

ZHANG, J.; DHAKAL, I.; STONE, A.; NING, B.; GREENE, G.; LANG, N. P.; KADLUBAR, F. F. Plasma carotenoids and prostate cancer: a population-based case-control study. **Arkansas. Nutrition and Cancer**, v. 59, n. 1, p. 46 – 53, 2007.