



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

GLEISON SILVA OLIVEIRA

**APLICAÇÃO DO PROCESSO DE LIOFILIZAÇÃO NA OBTENÇÃO DE
CAJÁ EM PÓ: AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, FÍSICO-
QUÍMICAS E HIGROSCÓPICAS**

**FORTALEZA
2012**

GLEISON SILVA OLIVEIRA

APLICAÇÃO DO PROCESSO DE LIOFILIZAÇÃO NA OBTENÇÃO DE CAJÁ
EM PÓ: AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, FÍSICO-QUÍMICAS
E HIGROSCÓPICAS

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de Concentração: Controle de Qualidade de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. José Maria Correia da Costa

Co-orientador: Marcos Rodrigues Amorim Afonso

FORTALEZA

2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- O47a Oliveira, Gleison Silva.
Aplicação do processo de liofilização na obtenção de cajá em pó: avaliação das características físicas, físico-químicas e higroscópicas. / Gleison Silva Oliveira. – 2012.
83 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2012.
Área de Concentração: Controle de Qualidade de Alimentos.
Orientação: Prof. Dr. José Maria Correia da Costa.
Coorientação: Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso.
1. Liofilização. 2. Secagem por congelamento. 3. Polpa de fruta. 4. Armazenamento I. Título.

GLEISON SILVA OLIVEIRA

APLICAÇÃO DO PROCESSO DE LIOFILIZAÇÃO NA OBTENÇÃO DE CAJÁ
EM PÓ: AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, FÍSICO-QUÍMICAS
E HIGROSCÓPICAS

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de concentração: Controle de Qualidade de Alimentos.

Aprovada em ___/___/___

BANCA EXAMINADORA:

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

Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso (Co-orientador)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Dr. Gustavo Adolfo Saavedra Pinto.
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

Dra. Francisca Lígia de Castro Machado
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Dr. Edmar Clemente
Universidade Estadual de Maringá - UEM

À Deus,
Aos meus pais, José Nilton e Elisabet,
Às minhas irmãs Gleiciane e Glenda e
sobrinhas Maria Fernanda e Maria Luiza, e
minha namorada Adalva, pelo carinho e
incentivo de todos dispensados a mim até hoje.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Ceará, juntamente com o Centro de Ciências Agrárias e o Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, pela oportunidade de cursar o mestrado.

À Funcap, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia, INCT – Frutos Tropicais, pelo apoio financeiro e participação no grupo de estudos.

Ao Prof. Dr. José Maria Correia da Costa, pela orientação e pelos valiosos conhecimentos compartilhados, além de sua disponibilidade e atenção dispensadas.

Ao Prof. Dr. Marcos Rodrigues pela co-orientação e pela indispensável contribuição para este trabalho.

À Prof. Dra. Sueli Rodrigues, pelo fornecimento da matéria-prima e pela autorização da utilização do Laboratório de Biotecnologia, para algumas análises.

Aos membros da banca Dr. Gustavo Saavedra, Dr. Edmar Clemente e a Dra. Lígia Machado, pelas valiosas sugestões dadas para o melhoramento do trabalho.

Aos meus pais José Nilton e Elisabet, irmãs Gleiciane e Glenda, sobrinhas Maria Fernanda e Maria Luiza, por entenderem minha ausência em alguns momentos em família.

À minha namorada Adalva Machado, maior incentivadora e sempre companheira desde a época da graduação.

À Ana Lúcia, Virgínia Kelly, Diva e Tatiana pela ajuda e amizade construída durante os dois anos.

Aos colegas do mestrado da turma de 2010 e principalmente aos do Laboratório do Controle de Qualidade e Secagem de Alimentos Sanyelle, Alinne, Natália, Haysa, Alexandre, Janaína, Dalany, Katieli, pelos bons momentos vividos e em especial à Gerlândia, Luís Gomes, Érica e Holivânia pela ajuda no trabalho e companheirismo.

RESUMO

O cajá, devido ao seu sabor diferenciado e agradável, é um fruto bastante apreciado e consumido em diversas regiões do país. Mas por apresentar uma elevada perecibilidade, torna-se necessário o uso de técnicas de processamento para estender sua disponibilidade para o consumo durante todo o ano. A desidratação por liofilização apresenta como vantagem uma excelente retenção das características nutricionais e sensoriais do fruto “in natura”. Para um aumento desta retenção e evitar aglomerações no pó, por exemplo, pode ser feita a utilização de adjuvantes de secagem como a maltodextrina. Neste contexto, o trabalho teve como objetivo a aplicação do processo de liofilização para obtenção da polpa de cajá em pó, caracterização física e físico-química da polpa e do pó de cajá, acompanhamento da estabilidade durante o armazenamento e comportamento higroscópico dos ensaios. Com a realização dos ensaios do planejamento experimental, foi escolhido o ensaio de menor umidade, com 17% de maltodextrina e 24 horas de liofilização. A polpa apresentou características semelhantes às reportadas pela literatura, e uma concentração dos constituintes ocorreu com a desidratação da polpa. Quanto ao armazenamento, o ensaio controle (pó integral) teve uma vida útil de 60 dias, diferentemente do ensaio contendo maltodextrina que apresentou boas características durante todo período analisado. Além disso, a maltodextrina exerceu função protetora, evitando maiores perdas de constituintes químicos e reações físicas no produto, como menor taxa de aumento de higroscopicidade, umidade e atividade de água. As isotermas de adsorção foram características às do tipo III. Os modelos matemáticos de BET, GAB e Oswin foram os que melhor se ajustaram aos dados experimentais de sorção de umidade para o pó de cajá integral, e no pó da polpa de cajá com maltodextrina, o modelo de Henderson foi o que melhor se ajustou aos pontos experimentais do trabalho.

Palavras-chave: liofilização, secagem por congelamento, polpa de fruta, armazenamento.

ABSTRACT

The yellow mombin due to its distinctive flavor and pleasant, is a fruit highly appreciated and consumed in various regions of the country. But by presenting a high perishability, it becomes necessary to use processing techniques to extend its availability for consumption throughout the year. Dehydration by freeze-drying has the advantage of an excellent retention of nutritional and sensory characteristics of fresh fruit. To increase retention and to prevent agglomeration of the powder, for example, can be made the use of adjuvants drying such as maltodextrin. In this context, the work aimed at the implementation of the lyophilization process to obtain the pulp of yellow mombin powder, physical characterization and physico-chemical pulp and powder yellow mombin, tracking stability during storage and hygroscopic behavior of the tests. With the tests of the experimental design was chosen to test lower humidity, with 17% maltodextrin and 24 hours of freeze drying. The pulp presented characteristics similar to reported by literature, and a concentration of constituents occurred with the pulp dehydration. As for storage, the test control (dried whole) had a useful life of 60 days, unlike the test containing maltodextrin that showed good characteristics throughout the period analyzed. In addition, maltodextrin exerted protective function, preventing further loss of chemical constituents and physical reactions to the product, such as lower rate of increase of hygroscopicity, moisture and water activity. The adsorption isotherms were the characteristics of type III. The mathematical models of BET, GAB and Oswin were the best fit to experimental data of moisture sorption for the full hog plum powder, and powder of hog plum pulp with maltodextrin, the Henderson model was the best fit to experimental points of work.

Keywords: lyophilization, freeze drying, fruit pulp, storage.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Polpa de cajá disposta em bandeja de aço inoxidável	31
Figura 2 -	Coordenadas do sistema CIE lab de cor	32
Figura 3 -	Pó da polpa de cajá liofilizada integral (A) e com adição de 17% de maltodextrina (B)	42
Figura 4 -	Aspecto “emborrachado” apresentada pelo ensaio controle com 60 dias de armazenamento	48
Gráfico 1 -	Superfície de resposta da umidade (%) do pó de cajá liofilizado, de acordo com tempo de liofilização (h) e concentração de maltodextrina (%)	41
Gráfico 2 -	Isotermas de adsorção do Ensaio controle à 25 °C para diferentes modelos matemáticos	65
Gráfico 3 -	Isotermas de adsorção do Ensaio controle à 30 °C para diferentes modelos matemáticos	66
Gráfico 4 -	Isotermas de adsorção do Ensaio controle à 35 °C para diferentes modelos matemáticos	66
Gráfico 5 -	Isotermas de adsorção do Ensaio controle à 40 °C para diferentes modelos matemáticos	67
Gráfico 6 -	Isotermas de adsorção do Ensaio 1 à 25 °C para diferentes modelos matemáticos	68
Gráfico 7 -	Isotermas de adsorção do Ensaio 1 à 30 °C para diferentes modelos matemáticos	68
Gráfico 8 -	Isotermas de adsorção do Ensaio 1 à 35°C para diferentes modelos matemáticos	69
Gráfico 9 -	Isotermas de adsorção do Ensaio 1 à 40 °C para diferentes modelos matemáticos	69
Gráfico 10 -	Aplicação dos melhores modelos matemáticos das isotermas de adsorção do ensaio Controle em diferentes temperaturas	70
Gráfico 11 -	Aplicação do melhor modelo matemático das isotermas de adsorção do ensaio 1 em diferentes temperaturas	71
Gráfico 12 -	Isotermas de adsorção à 25 °C: melhor modelo em cada ensaio	72
Gráfico 13 -	Isotermas de adsorção à 30 °C: melhor modelo em cada ensaio	72
Gráfico 14 -	Isotermas de adsorção à 35 °C: melhor modelo em cada ensaio	73
Gráfico 15 -	Isotermas de adsorção à 40° C: melhor modelo em cada ensaio	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Características físico-químicas da polpa de cajá <i>in natura</i> (<i>Spondias mombin L.</i>)	17
Tabela 2 -	Definição dos níveis das variáveis independentes na liofilização da polpa de cajá adicionada de maltodextrina	29
Tabela 3 -	Ensaio do planejamento experimental com variação dos parâmetros tempo e concentração de maltodextrina para liofilização da polpa de cajá	30
Tabela 4 -	Classificação dos pós de acordo com sua higroscopicidade	36
Tabela 5 -	Atividade de água a 21,0°C ±2,0 de soluções saturadas	37
Tabela 6 -	Valores de umidade obtidos na liofilização da polpa de cajá com maltodextrina	39
Tabela 7 -	Efeito estimado, erro padrão, coeficiente t e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para umidade do pó obtido por liofilização da polpa de cajá	40
Tabela 8 -	Análise de variância para umidade (%) do pó obtido por liofilização da polpa de cajá	40
Tabela 9 -	Valores médios da caracterização físico-química da polpa de cajá <i>Spondias mombin L.</i> integral e formulada com maltodextrina (n=3)	43
Tabela 10 -	Valores médios da caracterização física e físico-química do pó de cajá obtido por liofilização	46
Tabela 11 -	Valores médios da umidade do pó obtido por liofilização da polpa de cajá, durante o armazenamento (n=3)	49
Tabela 12 -	Valores médios da atividade de água do pó obtido por liofilização da polpa de cajá, durante o armazenamento (n=3)	50
Tabela 13 -	Valores médios da acidez total titulável do pó obtido por liofilização da polpa de cajá, durante o armazenamento (n=3)	51
Tabela 14 -	Valores médios de pH do pó obtido por liofilização da polpa de cajá, durante o armazenamento (n=3)	51
Tabela 15 -	Valores médios de sólidos solúveis (°Brix) do pó obtido por liofilização da polpa de cajá, durante o armazenamento (n=3)	52
Tabela 16 -	Valores médios de açúcares redutores (%) do pó obtido por liofilização da polpa de cajá, durante o armazenamento (n=3)	53

Tabela 17 -	Valores médios de açúcares totais (%) do pó obtido por liofilização da polpa de cajá, durante o armazenamento (n=3)	54
Tabela 18 -	Valores médios de ácido ascórbico do pó obtido por liofilização da polpa de cajá, durante o armazenamento (n=3)	55
Tabela 19 -	Valores médios de carotenóides do pó obtido por liofilização da polpa de cajá, durante o armazenamento (n=3)	56
Tabela 20 -	Valores médios de polifenóis extraíveis totais do pó obtido por liofilização da polpa de cajá, durante o armazenamento (n=3)	57
Tabela 21 -	Valores médios da luminosidade (L*) do pó obtido por liofilização da polpa de cajá, durante o armazenamento (n=3)	58
Tabela 22 -	Valores médios da coordenada a* do pó obtido por liofilização da polpa de cajá, durante o armazenamento (n=3)	59
Tabela 23 -	Valores médios da coordenada b* do pó obtido por liofilização da polpa de cajá, durante o armazenamento (n=3)	59
Tabela 24 -	Valores médios do ângulo Hue (H*) do pó obtido por liofilização da polpa de cajá, durante o armazenamento (n=3)	60
Tabela 25 -	Valores médios de chroma (C*) do pó obtido por liofilização da polpa de cajá, durante o armazenamento (n=3)	61
Tabela 26 -	Valores médios e desvios-padrão da higroscopicidade do pó obtido por liofilização da polpa de cajá, durante o armazenamento (n=3)	62
Tabela 27 -	Resultados dos ajustes dos dados experimentais das isotermas de adsorção dos experimentais de adsorção dos ensaios controle e 1	63

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1	Produção Brasileira de Frutas	14
2.2	A Cajazeira	15
2.3	O Cajá	16
2.4	Desidratação de Alimentos	19
2.5	Liofilização.....	20
2.6	Atividade de água (a_w)	21
2.7	Isotermas de Sorção	22
2.8	Modelos Matemáticos	24
2.8.1	<i>Modelo de BET (Brunauer, Emmet, Teller)</i>	24
2.8.2	<i>Modelo de GAB (Guggenheim, Anderson e de Boer)</i>	25
2.8.3	<i>Modelo de Oswin</i>	26
2.8.4	<i>Modelo de Henderson</i>	27
3	MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1	Preparo da amostra	28
3.1.1	<i>Obtenção e Armazenamento da matéria-prima</i>	28
3.1.2	<i>Adjuvante de secagem</i>	28
3.1.3	<i>Equipamento para secagem</i>	28
3.1.4	<i>Embalagem utilizada para armazenamento dos pós</i>	28
3.2	Delineamento Experimental e Análise Estatística	29
3.3	Processo de liofilização e Obtenção do pó	30
3.4	Métodos	31
3.4.1	<i>Acidez Titulável</i>	31
3.4.2	<i>Sólidos Solúveis Totais</i>	32
3.4.3	<i>Análise de Cor</i>	32
3.4.4	<i>pH</i>	33
3.4.5	<i>Açúcares totais e redutores</i>	33
3.4.6	<i>Polifenóis Extraíveis Totais</i>	33
3.4.7	<i>Umidade</i>	34
3.4.8	<i>Atividade de água (A_w)</i>	34
3.4.9	<i>Sólidos solúveis/Acidez titulável</i>	34

3.4.10	<i>Carotenóides</i>	34
3.4.11	<i>Ácido ascórbico</i>	35
3.4.12	<i>Flavonóides amarelos</i>	35
3.4.13	<i>Higroscopicidade</i>	35
3.4.14	<i>Grau de “caking”</i>	36
3.4.15	<i>Isotermas de sorção</i>	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1	Planejamento Experimental	39
4.2	Determinações físico-químicas da polpa integral e formulada com maltodextrina	42
4.3	Determinações físico-químicas dos pós de polpa de cajá liofilizada ...	45
4.4	Análise de Estabilidade dos pós	48
4.4.1	<i>Umidade</i>	48
4.4.2	<i>Atividade de Água (a_w)</i>	49
4.4.3	<i>Acidez Titulável</i>	50
4.4.4	<i>pH</i>	51
4.4.5	<i>Sólidos Solúveis</i>	52
4.4.6	<i>Açúcares redutores e totais</i>	53
4.4.7	<i>Ácido Ascórbico</i>	54
4.4.8	<i>Carotenóides</i>	55
4.4.9	<i>Polifenóis extraíveis totais (PET)</i>	56
4.4.10	<i>Análise Colorimétrica</i>	57
4.4.10.1	<i>Luminosidade</i>	57
4.4.10.2	<i>Coordenada a</i>	58
4.4.10.3	<i>Coordenada b*</i>	59
4.4.10.4	<i>Hue (H^*) e Chroma (C^*)</i>	60
4.4.11	<i>Higroscopicidade</i>	61
4.5	Isotermas de adsorção	62
5	CONCLUSÃO	74
	REFERÊNCIAS	75

1 INTRODUÇÃO

As frutas desempenham um importante papel na saúde humana, contribuindo para o fornecimento de calorias, sais minerais, vitaminas, fibras e água (SACRAMENTO e SOUZA, 2000). Nos últimos anos os países produtores de frutas têm se preparado para competir no mercado mundial, em virtude do aumento do consumo de frutas, fato associado às crescentes vantagens que a ciência tem apontado com relação à utilização destes alimentos (ALVES, 2006).

A fruticultura brasileira tem se mostrado como o mais dinâmico setor da economia. Ela cresce ano a ano, supera barreiras fitossanitárias e cambiais, e consolida-se como grande vetor de desenvolvimento do país (AGRIANUAL, 2008). O setor possui grande importância mundial, no que se refere aos aspectos social, econômico e alimentar. No entanto, a falta de técnicas adequadas de pós-colheita, transporte e armazenamento desses produtos, que são altamente perecíveis, ocasiona grandes perdas (CHITARRA e CHITARRA, 1990).

O processamento de frutos é uma alternativa para redução das perdas, mas tem como principal objetivo agregar valor ao produto processado, aumentando a competitividade do setor produtivo e propiciando meios alternativos para a comercialização, principalmente de frutos que não estão disponíveis durante o ano inteiro, como é o caso do cajá.

A cajazeira (*Spondias lutea* L.) pertence à família Anacardiaceae e ao gênero *Spondias*, que possui entre 8 e 12 espécies distribuídas em regiões tropicais do mundo, entre as quais se encontram os frutos da ceriguela (*Spondias purpurea* L.), cajarana (*Spondias cytherea* Sonn.), cajá-manga (*Spondias dulcis*) e umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Câm) (BORA *et al.*, 1991; HOEHNE, 1946; SILVA JUNIOR *et al.*, 2004; SOUZA, 1998).

No Brasil, a planta é encontrada principalmente nos Estados do Norte e Nordeste, onde seus frutos recebem diferentes denominações, tais como: cajá, cajá verdadeiro, cajá-mirim ou taperebá. Esses frutos têm participação crescente no agronegócio da região Nordeste, principalmente pela comercialização para consumo como fruta fresca e processamento de polpa, que apresenta grande aceitação no mercado pelo seu sabor exótico, excelente qualidade e valor comercial como matéria-prima no preparo de sucos, picolés, sorvetes, néctares e geléias (SOARES *et al.*, 2006).

Embora exista expectativa de desenvolvimento e expansão de seu cultivo, seus frutos são bastante perecíveis (MATA; DUARTE; ZANINI, 2005). Além da perecibilidade, a sazonalidade também é um fator delimitante no consumo do fruto *in natura*, já que as cajazeiras produzem frutos em um período de 3 a 4 meses durante o ano, entre novembro e

fevereiro. Com isso torna-se necessário que os frutos sejam processados a fim de estender sua disponibilidade.

Como a maioria das frutas, grande parte da colheita do cajá é desperdiçada, devido sua comercialização ser *in natura*. Devido sua perecibilidade, há a necessidade da aplicação de técnicas pós-colheita, ou processos que possibilitem sua armazenagem e comercialização por um longo período de tempo, bem como obtenção de produtos derivados. Dentre os processos mais importantes para a conservação de alimentos por diminuição de sua atividade de água estão as técnicas de secagem. Considerando que a maioria dos frutos frescos são constituídos por mais de 80% de água, a secagem implica em uma considerável redução de volume e indiretamente redução de custos em transportes e manipulação do produto, além de prover um prolongamento de sua vida útil (BRASILEIRO, 1999; GOUVEIA *et al.*, 2003).

Uma das técnicas utilizadas para tal finalidade é a liofilização, que faz com que a água contida no produto, passe do estado sólido (produto congelado) para o estado gasoso sem passar pelo estado líquido, ocorrendo desta forma, o processo de sublimação (MATA *et al.*, 2005). Os produtos liofilizados apresentam alta retenção de características sensoriais e qualidades nutricionais, e possuem uma vida útil maior que 12 meses quando corretamente embalados.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo a aplicação do processo de liofilização da polpa de cajá, caracterização física e físico-química do pó de cajá integral e adicionado de maltodextrina, acompanhamento da estabilidade durante o armazenamento e aplicação dos modelos matemáticos na construção das isotermas de adsorção.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Produção Brasileira de Frutas

Uma maior consciência das populações sobre a importância do consumo de alimentos saudáveis na prevenção de doenças e na melhoria da qualidade de vida, resulta no aumento mundial do consumo de frutas, principalmente, tropicais, o qual é verificado pela sua crescente comercialização (GURJÃO, 2006).

Possuindo uma extensão territorial de 8.512.965 km² o Brasil produz 43 milhões de toneladas de frutas tropicais, subtropicais e de clima temperado, o que proporciona ao país uma grande diversidade de frutas o ano inteiro, sendo muitas delas exclusivas de determinada região (IBRAF, 2011). Com estes números o país encontra-se dentre os três maiores produtores de frutas do mundo, sendo responsável por 5% da produção mundial, ficando atrás apenas da China e Índia (FRESH PLAZA, 2009).

Segundo Fioravanço e Paiva (2002), no Brasil, a fruticultura é realizada em praticamente todos os estados brasileiros, mas sua distribuição e a predominância das espécies em cada região geográfica são distintas. As diferenças, no que se refere às espécies e variedades de frutas cultivadas, devem-se não somente às distintas condições climáticas existentes, mas também a aspectos como tradição no cultivo de frutas, proximidade dos principais centros consumidores, infra-estruturas disponíveis (malha rodoviária e ferroviária, portos, centrais de comercialização, etc.) e perspectivas de comercialização da produção (mercado interno, exportação ou industrialização).

Atualmente a produção brasileira está voltada para frutas tropicais, subtropicais e temperadas, graças a sua extensão territorial, posição geográfica, solo e condições climáticas. O setor emprega 5,6 milhões de pessoas, o que equivale a 27% da mão-de-obra agrícola. Gera oportunidades de dois a cinco postos de trabalho na cadeia produtiva por hectare cultivado e está fundamentado em pequenas e médias propriedades (FRESH PLAZA, 2009). O setor frutícola é um dos mais importantes segmentos do agronegócio brasileiro. Além de sua elevada rentabilidade e expressiva utilização de mão-de-obra, a fruticultura constitui-se em uma valiosa alternativa para o avanço das exportações brasileiras de produtos agrícolas. Trata-se, portanto, de um segmento estratégico dentro da perspectiva de desenvolvimento econômico e social do país (FIORAVANÇO e PAIVA, 2002).

O Nordeste brasileiro apresenta condições climáticas favoráveis ao cultivo de diferentes frutíferas de origem tropical, como se pode verificar pela expressiva diversidade de

espécies nativas encontradas na região, ao lado de outras, exóticas, introduzidas de ecossistemas equivalentes e que se adaptaram bem, comportando-se de modo semelhante ao do material nativo (GURJÃO, 2006).

Cerca de 53% da produção brasileira é destinada ao mercado de frutas processadas e 47% ao mercado de frutas frescas. Existe hoje um mercado externo potencial acessível à fruticultura brasileira de 28,3 milhões de toneladas (FRESH PLAZA, 2009).

O cajá é uma fruta produzida na região Nordeste, onde existem poucos plantios comerciais e como tal, não é uma fruta contabilizada pelos órgãos oficiais de estatística, como o IBGE, no entanto, é consumida em toda a região e exportada para outras regiões do País, na forma de polpa, onde já existe um mercado consumidor assegurado para seu consumo na forma de suco e sorvete (SILVA *et al.*, 2002).

2.2 A Cajazeira

A cajazeira (*Spondias mombin* L.) pertence à família Anacardiaceae. Esta família agrupa os gêneros *Spondias* (MITCHELL e DALY, 1998) do qual se destacam a cajazeira (*S. mombin* L.), o umbuzeiro (*S. tuberosa* Arruda), a cajaraneira (*S. dulcis* Parkinson), a sirigüeleira (*S. purpurea* L.) e a umbu-cajazeira (*Spondias* sp.). A planta é uma árvore frutífera perene, lenhosa, de folhas caducas, tronco revestido por casca grossa e rugosa, que esgalha e ramifica na parte terminal, conferindo um porte alto à planta. A copa é ampla, vistosa e imponente quando em fase de floração e frutificação (LORENZI, 1992; SOUZA, 1998; SOUZA e BLEICHER, 2002).

A espécie encontra condições favoráveis de sobrevivência nos mais variados ecossistemas brasileiros, notadamente, naqueles existentes no Norte e Nordeste, por apresentarem maior estabilidade de temperatura e umidade relativa do ar. As condições climáticas ideais para o desenvolvimento da espécie são: temperatura média anual entre 25 a 28°C, umidade relativa do ar entre 60 a 80% e precipitação pluviométrica entre 700 e 1600 mm, distribuída com certa regularidade nos meses de abril a agosto (BOSCO *et al.*, 2000).

No Ceará o cultivo da cajazeira ocorre com maior frequência nas regiões de precipitação média anual superior a 1.100 mm, ou seja, nas zonas litorâneas próximas à Fortaleza e nas serras de Guaramiranga, Meruoca, Baturité e Ibiapaba (SACRAMENTO e SOUZA, 2000).

Considerada como uma árvore frutífera tropical, a cajazeira situa-se entre as frutíferas perenes, produzindo frutos nutritivos, saborosos e de grande aceitação de mercado,

o que a torna uma das espécies regionais com potencial econômico promissor no cenário agroindustrial do Nordeste brasileiro. Trata-se de espécie que sobrevive de forma silvestre, cuja exploração é feita de modo extrativista, mas com possibilidade de cultivos comerciais mais extensivos (BOSCO *et al.*, 2000; CAVALCANTE *et al.*, 2009; SACRAMENTO e SOUZA, 2000).

O aumento da demanda para frutos da cajazeira vem despertando o interesse para o cultivo da espécie, que ainda é considerada em fase de domesticação, com poucas informações disponíveis para a implantação de pomares comerciais. A sua inserção como espécie frutífera nos modelos agronômicos modernos requer, entretanto, a identificação de materiais propagativos cujos genótipos apresentem elevada capacidade produtiva e características melhoradas (BOSCO *et al.*, 2000).

2.3 O Cajá

No Brasil, os frutos da cajazeira recebem diferentes denominações, tais como: cajá, cajá verdadeiro, cajá-mirim ou taperebá. Esses frutos têm participação crescente no agronegócio da região Nordeste, principalmente pela comercialização para consumo como fruta fresca e processamento de polpa, que apresenta grande aceitação no mercado pelo seu sabor exótico, excelente qualidade e valor comercial como matéria-prima (SOARES *et al.*, 2006).

O cajá é constituído de polpa, casca e semente tendo em vista que, apenas a polpa assume posição de destaque no tocante do aspecto comercial em função do aroma, sabor e palatabilidade que oferece ao ser degustado nas mais variadas formas (BOSCO *et al.*, 2000). Os frutos são caracterizados como drupas de 3 a 6 cm de comprimento, ovóides ou oblongos, achatados na base, com cor variando do amarelo ao alaranjado. A casca é fina, lisa, com polpa pouco espessa também variando do amarelo ao alaranjado, succulenta e de sabor ácido – adocicado (BOSCO *et al.*, 2000; SILVA e SILVA, 1995).

A época de colheita varia nos diversos estados brasileiros, em detrimento do regime pluviométrico peculiar a cada ambiente ou da constituição intrínseca à própria planta (BOSCO *et al.*, 2000). Como exemplo, na região Amazônica, a safra geralmente ocorre de dezembro a fevereiro, no Sudeste da Bahia e no estado do Ceará de janeiro a maio, e na Paraíba entre os meses de maio a julho. A comercialização dos frutos é feita em feiras livres, às margens de rodovias próximas às unidades de produção e nas indústrias de processamento de polpas (CAVALCANTE *et al.* 2009; SACRAMENTO e SOUZA, 2000).

A altura das cajazeiras dificulta a colheita dos frutos na planta, desse modo, os cajás maduros desprendem-se da planta e caem. Na queda, muitos frutos se danificam ao se chocarem com galhos ou mesmo com o solo. Os frutos danificados perdem líquidos e entram em processo de fermentação, além de ficarem expostos ao ataque de patógenos, formigas, insetos e roedores. Desse modo, a colheita, mesmo no chão, deve ser feita pelo menos duas vezes ao dia, para preservar a qualidade. Devido a problemas de colheita, condições de acesso e transporte, estima-se que menos de 30% da produção de cajá seja aproveitada para consumo humano (BOSCO *et al.*, 2000; SACRAMENTO e SOUZA, 2000).

A procura pelos frutos da cajazeira deve-se principalmente às boas características para a industrialização, aliadas ao aroma e sabor agradáveis. É utilizada na fabricação de sorvetes, geléias, polpas congeladas e consumo *in natura*, despertando interesse não apenas para o mercado regional, mas também para outros locais do país (GOUVEIA *et al.*, 2003).

Quanto à composição química do cajá, a Tabela 1 apresenta os valores das características físico-químicas da polpa de cajá *Spondias mombin L.* segundo Mattietto, Lopes e Menezes (2010).

Convém ressaltar que as características físico-químicas das frutas de uma determinada espécie variam com o fator genético, local do cultivo, época de colheita, estágio de maturação, tratos culturais e outros (MATTIETTO, 2005).

Tabela 1 – Características físico-químicas da polpa de cajá *in natura* (*Spondias mombin L.*).

Análises	Resultados
pH	2,53 ± 0,01
Acidez titulável total (% ácido cítrico)	1,86 ± 0,01
Sólidos solúveis (expressos em °Brix a 28°C)	10,09 ± 0,00
“Ratio”	5,42 ± 0,01
Umidade (%)	89,42 ± 0,18
Proteína (%)	0,82 ± 0,01
Lipídios totais (%)	0,26 ± 0,09
Cinzas	0,58 ± 0,02
Fibra dietética (%)	1,18 ± 0,10
Fibra insolúvel (%)	0,43 ± 0,12
Fibra solúvel (%)	0,75 ± 0,12
Açúcares totais (g.100 ⁻¹)	4,54 ± 0,25
Açúcares não redutores (g.100 ⁻¹)	0,29 ± 0,27
Carotenóides totais (µg.g ⁻¹)	28,30 ± 0,18
Taninos (mg.100g ⁻¹)	299,81 ± 0,48
Vitamina C (mg de ácido ascórbico.100g ⁻¹)	23,72 ± 0,08

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

Carvalho *et al.* (2011) citam para a composição da polpa de cajá, valores de 2,28 para pH, 9,35 de sólidos solúveis, acidez titulável de 1,62% em ácido cítrico, 10,09% de carboidratos e 1,16% de lipídeos.

Quanto às propriedades nutritivas do cajá, em 100 gramas de polpa do fruto encontra-se em maior quantidade vitamina B1 (50 µg) e B2 (40 µg), vitamina A (64 µg), C (35,90 mg) e niacina (0,26 mg). Quanto aos minerais, a polpa de cajá apresenta valores de 28,60 a 56 mg para cálcio, 26,21 a 67,0 mg para fósforo, 0,30 a 2,20 mg para ferro e 226,53 mg para potássio (ALBINO *et al.*, 1999; BORA *et al.*, 1991; FRANCO, 1992).

Estudando as propriedades nutricionais da polpa de cajá, Tiburski *et al.* (2011), ressaltam as importantes quantidades de potássio e cobre na polpa, como também citam uma atividade antioxidante e conteúdo de fenólicos totais de 17,5 mmol TEAC g⁻¹ e 260,0 mg GAE.100g⁻¹, respectivamente.

Na polpa do fruto, também encontra-se elevado teor de carotenóides: α-caroteno (0,61 a 2,55 µg.g⁻¹), β-caroteno (1,53 a 2,70 µg.g⁻¹), zeinoxantina (4,62 a 4,85 µg.g⁻¹), β-criptoxantina (5,25 a 10,75 µg.g⁻¹) e luteína (2,88 a 7,24 µg.g⁻¹). O 9-cis-β-caroteno e 13-cis-β-caroteno também são encontrados, porém em concentrações menores (0,26 a 0,81 µg.g⁻¹) (HAMANO e MERCADANTE, 2001).

Segundo Kimura (1989), o cajá (polpa e película comestível) fornece um valor de vitamina A maior que o caju, goiaba e alguns cultivares de mamão e manga. O teor de vitamina A está em torno de 0,4 mg.100g⁻¹.

Os baixos teores em proteínas (na literatura os valores variam entre 0,25 a 0,80 g.100g⁻¹) e lipídios (0,20 g.100 g⁻¹) fazem da polpa de cajá um alimento que fornece um valor energético de aproximadamente 46,0 kcal.100g⁻¹ de fruta (BORA *et al.*, 1991; FRANCO, 1992). O cajá também é um fruto rico em taninos. Segundo Bora *et al.* (1991), na polpa do fruto, em média são encontrados 420 mg.100g⁻¹ de taninos.

Narain *et al.* (2004) estudaram os voláteis da polpa de cajá através de cromatografia gasosa de alta resolução e espectrometria de massa, e a destacam como uma das frutas tropicais mais aromáticas. Foram identificados 33 compostos, com os predominantes pertencendo às classes de ésteres (48,76%), álcoois (21,69%), aldeídos (11,61%) e cetonas (4,19%). Outros compostos aromáticos como γ-octalactona, ácidos butírico e hexanóico ajudam a formar o aroma característico da fruta.

2.4 Desidratação de Alimentos

O principal objetivo da desidratação de frutas e hortaliças é aumentar a sua conservação, além disso, a desidratação resulta numa maior facilidade de transporte, armazenamento e manuseio do produto final, seja este para o consumo na forma direta, ou como ingrediente na elaboração de outros produtos alimentícios (TRAVAGLINI; AGUIRRE; SILVEIRA, 2001).

De um modo geral, o processo de secagem é uma operação na qual calor é fornecido a um dado material que contém água, a fim de evaporar certa quantidade de água, obtendo-se um produto sólido seco. Trata-se de processo com transporte simultâneo de calor e massa, acompanhado de mudança de fase (BARBANTI; MASTROCOLA; SEVERINI, 1994). A transferência de calor ocorre durante a evaporação da água removida da amostra, enquanto que a transferência de massa acontece durante a remoção da água da superfície desta amostra por meio, geralmente, de uma corrente de ar (DINCER e DOST, 1995).

Segundo Ordoñez (2005), os principais objetivos pelos quais as indústrias alimentícias recorrem à secagem podem ser resumidos em: aumentar o período de conservação dos alimentos, inibindo crescimento de microrganismos, a atividade de algumas enzimas e determinadas reações químicas por redução de atividade de água; reduzir o volume dos alimentos para facilitar e baratear os custos de transporte e armazenamento, devido evidentemente, a diminuição do peso e, às vezes, também do volume; facilitar o uso e diversificar a oferta de produtos, permitindo a obtenção produtos de mais fácil utilização e com características sensoriais distintas.

Entre os produtos processados, as frutas desidratadas se destacam por ser normalmente de fácil obtenção, por manter as características do produto natural e por possuírem características que dificultam o desenvolvimento de microrganismos que poderiam promover a deterioração da fruta fresca (RODRIGUES, 2010).

Dentre as técnicas empregadas para a manutenção da qualidade pós-colheita de frutas, a desidratação, além de ser utilizada como método de conservação impedindo a deterioração e perdas do valor comercial, resulta ainda em uma transformação do produto, agregando valor e dando origem a uma nova opção de mercado (SILVA *et al.* 2005).

A qualidade dos produtos desidratados se altera com o tempo de armazenamento, devido a diversas reações de natureza enzimática, oxidativa entre outras. De maneira geral, tais produtos, quando embalados, de forma a serem protegidos para evitar o contato com o oxigênio e o ganho de umidade, apresentam maior vida útil. (SILVA *et al.*, 2005).

2.5 Liofilização

A liofilização, também chamada de criodesidratação, é um tipo particular de desidratação por sublimação. Para realizá-la, congela-se o produto, colocando-o em temperatura e pressão parcial de vapor d'água inferiores as do ponto triplo da água (0,0099°C e 610,5 Pa), proporcionando-lhe o calor latente de sublimação (2,84 MJ kg⁻¹). Os liofilizadores constam dos seguintes elementos básicos: uma câmara de vácuo, onde se introduz o alimento, uma fonte de calor, um condensador e uma bomba de vácuo (ORDOÑEZ, 2005).

Este tipo de processo começou a ser pesquisado no Reino Unido antes de 1950, o que levou ao desenvolvimento do método de liofilização acelerada (AFD – Accelerated Freeze Drying Method). Nesse processo, o alimento congelado é colocado num liofilizador (uma câmara) que opera sob vácuo e remove a umidade por sublimação até um conteúdo de umidade final menor que 3,0 % (base úmida), quando então o alimento é retirado do liofilizador e imediatamente embalado para evitar adsorção da umidade do ambiente (VODOVOTZ e BOURLAND, 2002). A liofilização passou então a ser utilizada nas indústrias de carne, peixe e hortaliças, entretanto, devido ao alto custo do processo, o interesse em produtos liofilizados diminuiu e só retornou na década seguinte, quando, em 1960, foi produzido o primeiro café instantâneo por liofilização (BRENNAN, 1994).

Os primeiros alimentos liofilizados foram usados pela NASA na missão Mercúrio 9, entretanto, somente um terço dos itens foram consumidos, devido a problemas com as embalagens e com o recipiente de água levado pelos astronautas (VODOVOTZ e BOURLAND, 2002). Desde então, a liofilização passou a ser um processo bastante empregado e pesquisado por apresentar uma série de vantagens, tais como altas taxas de reidratação, produtos com um mínimo ou nenhum grau de encolhimento, alta porosidade, e por requerer apenas um aquecimento suave, as características nutritivas e sensoriais do produto final são muito similares às do alimento fresco. Porém, apesar da alta qualidade apresentada pelo alimento liofilizado, este ainda é um processo de maior custo, principalmente quando comparado ao processo de secagem convencional, e sua velocidade de desidratação é mais lenta. (KROKIDA; KARATHANOS; MAROULIS, 1998, ORDOÑEZ, 2005).

A liofilização é uma operação comercialmente importante utilizada para desidratar alimentos que têm aromas ou texturas delicados (como café, cogumelos, ervas e especiarias, sucos de frutas, carnes, frutos do mar, hortaliças e refeições completas para rações militares

ou para expedições) pelos quais os consumidores estão dispostos a pagar preços mais altos por uma qualidade superior (FELLOWS, 2006).

Krokida e Philippopoulos (2006), estudando os voláteis presentes em maçãs desidratadas por secagem convectiva e liofilização, concluíram que a retenção de sabor no material liofilizado foi maior, assim como também uma maior retenção de aroma devido a utilização de temperaturas mais baixas durante o processo.

2.6 Atividade de água (a_w)

A água é o mais importante componente dos alimentos, sendo o agente controlador da deterioração dos mesmos. Mesmo em produtos desidratados, onde ocorre em baixas proporções, é um dos mais importantes, influenciando o período de armazenamento (ARGADOÑA, 2005).

A umidade de um alimento é expressa pelo valor obtido da água total contido nele. Entretanto esse valor não fornece indicações de como a água está distribuída, bem como não permite saber se toda ela está ligada da mesma maneira. Desta forma, o conhecimento da distribuição da água no alimento é mais importante que simplesmente o conhecimento da umidade (GURJÃO, 2006).

A atividade de água (a_w) é uma medida da quantidade de moléculas de água livres ou ativas, geralmente obtida em relação à pressão de vapor da água pura (FERREIRA e PENA, 2003). A importância da determinação dessa medida em alimentos reside no fato de que, por meio dela, podem ser previstas reações químicas, enzimáticas e desenvolvimento de microorganismos, podendo também propor sistemas adequados de embalagens para um produto (GURJÃO, 2006).

De acordo com Azeredo (2004) a atividade de água pode ser obtida através da relação entre a pressão parcial de vapor da água contida no alimento e a pressão de vapor da água, a uma certa temperatura:

$$a_w = \frac{P}{P_0}$$

(1)

Onde:

a_w = atividade de água

P = pressão de vapor da água do produto

P_0 = pressão de vapor da água pura.

Os valores de a_w variam de 0 a 1. Na maior parte dos alimentos frescos, a a_w é superior a 0,95. Existem meios aos quais a a_w dos alimentos pode ser reduzida, como por exemplo, na adição de solutos em que se reduz a pressão parcial de vapor de água no alimento, por remoção de água (desidratação) ou por congelamento (AZEREDO, 2004).

A desidratação do produto diminui a quantidade de água disponível, dessa forma, contribui para a conservação e uso prolongado do mesmo, pois a remoção da água reduz a sua atividade em materiais biológicos, retardando o desenvolvimento de microrganismos e o desencadeamento de reações bioquímicas as quais aceleram o processo degenerativo e, conseqüentemente, levam a perda de qualidade do produto (CORRÊA *et al.*, 2006).

Conforme Argandoña (2005), a escolha da atividade de água ao invés do conteúdo de umidade, como um parâmetro de referência no processamento de alimentos e armazenamento é devido à sua influência no crescimento de microrganismos, reações de degradação química, enzimática e física. Em função da atividade de água os alimentos podem ser classificados em:

- a) Alimentos de baixa a_w : apresentam $a_w < 0,60$ e são microbiologicamente estáveis. Exemplos: mel, frutas secas, açúcar cristalizado;
- b) Alimentos de a_w intermediária: apresentam níveis de $0,60 > a_w < 0,85$ e são sujeitos a processos de deterioração provocados principalmente por bolores e leveduras.
- c) Alimentos de alta a_w : apresentam $a_w > 0,85$ e são alimentos considerados altamente perecíveis por permitirem o crescimento de uma ampla variedade de microrganismos.

Um valor elevado de atividade de água sinaliza que o alimento possui água livre dentro da matriz; portanto, a camada de gás em equilíbrio com o alimento apresentará uma maior pressão parcial de vapor de água. Por exemplo, valores de a_w entre 0 e 0,2 indicam que a água está fortemente ligada, enquanto valores de a_w na faixa de 0,7 e 1,0 expressam que a maioria da água encontra-se livre (VELEZMORO, 1999).

2.7 Isotermas de Sorção

Uma maneira de se conhecer o comportamento higroscópico dos produtos alimentícios em pó é através das isotermas de sorção (PARK; BIN; BROD, 2001). A isoterma é uma relação de equilíbrio que vincula o conteúdo de água de um produto com a temperatura

e umidade relativa do ar circundante, sendo essencial no estudo de alimentos desidratados para estabelecer condições ideais de conservação, transformação e dimensionamento dos equipamentos de secagem e transporte (GURJÃO, 2006).

Segundo Souza (2007), em condições de temperatura constante, o teor de umidade de um alimento modifica-se até que atinge uma situação de equilíbrio com o vapor d'água no ar envolvente. Este ponto corresponde à umidade de equilíbrio do alimento.

Quando se coloca o alimento em ambiente com umidade relativa superior à umidade relativa de seu equilíbrio, ele fixa o vapor de água, tendendo a alcançar o equilíbrio, isto é, absorve água. Se, ao contrário, o alimento é colocado em um ambiente cuja umidade é inferior à umidade relativa de seu equilíbrio correspondente ao conteúdo de água do produto, este cede água mediante o processo chamado de dessorção. Durante esta fase, o alimento desprende a água que estava parcialmente ligada. Contudo, na adsorção, a água captada não tem ou tem menos pontos aos quais se unir devido às interações dos constituintes não-aquosos durante a dessorção, e, por isso, ela se encontra mais livre. Com a mesma quantidade de água, há mais água livre na adsorção, conseqüentemente, maior é a atividade de água (ORDOÑEZ, 2005).

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

A forma da isoterma, segundo Labuza (1975), reflete a maneira como a água está ligada ao alimento e esta pode ser caracterizada em três regiões:

- a) Região monomolecular, com uma atividade de água em torno de 0,2 em que aparece a primeira inflexão. Neste caso, a água está ligada em sítios polares de energia relativamente elevada, tais como grupos iônicos do tipo carboxílico e amínico. A remoção desta água requer energia superior ao calor latente de vaporização;
- b) Região multimolecular, com atividade de água entre 0,2 a 0,6. A água está ligada por pontes de hidrogênio a grupo hidroxílicos e amídicos;
- c) Região de condensação, com atividade de água acima de 0,6. A água é considerada livre e se condensa na estrutura porosa do alimento. Nesta região, a água atua como solvente para diversos solutos.

As isotermas de sorção são ferramentas muito importantes na caracterização dos alimentos e na previsão do comportamento de um alimento antes, durante e depois do seu processamento (DITCHFIELD, 2000).

2.8 Modelos Matemáticos

Os modelos matemáticos facilitam o cálculo do teor de umidade durante a secagem, visto que, neste processo ocorre constantemente variações de temperatura e umidade relativa do ar em contato com o produto, o que acarreta mudanças no teor de umidade de equilíbrio, e, conseqüentemente, é necessário o seu cálculo inúmeras vezes (SILVA *et al.*, 2002). Assim o uso dos modelos matemáticos é relevante tanto no armazenamento quanto na secagem.

Estes modelos permitem que com poucos pontos experimentais seja possível construir isotermas de umidade, a qual pode ser facilmente interpolada ou extrapolada para obtenção de pontos nas regiões de baixas e altas a_w , pontos estes de difícil determinação experimental. Atualmente, vários são os modelos com capacidade de prever uma isoterma (CORRÊA *et al.*, 2006; PENA; RIBEIRO; GRANDI, 1997).

Dentre as diversas equações utilizadas para expressar a atividade de água dos produtos agrícolas, mais especificamente de frutas, em função da temperatura e umidade relativa, as mais comuns, por sua relativa precisão e generalidade são as equações de GAB, BET, Oswin, Smith e Halsey (ALMEIDA *et al.*, 2004).

2.8.1 Modelo de BET (Brunauer, Emmet, Teller)

Em 1918, Langmuir verificou que no equilíbrio, a taxa em que as moléculas se condensam na superfície é igual à taxa em que elas evaporam, conforme demonstrado na seguinte equação (ALMEIDA; FONSECA; GOUVEIA, 1999):

$$\frac{U}{U_m} = \frac{C \cdot a_w}{1 + C \cdot a_w}$$

(2)

Onde:

U = teor de umidade em base seca (g de água por g de sólidos secos);

U_m = teor de umidade na monocamada molecular (g de água por g de sólidos secos);

C = parâmetro que depende da temperatura e da natureza do material;

a_w = atividade de água.

Este conceito foi ampliado pelos pesquisadores Brunauer, Emmet e Teller (1938), o que gerou a equação de BET, de adsorção de água na monocamada molecular, na qual os autores modificaram para camadas polimoleculares:

(3)

X_0 = conteúdo de umidade de equilíbrio, kg kg⁻¹;

X_m = conteúdo de umidade na monocamada molecular, kg kg⁻¹;

a_w = atividade de água;

n - número de camadas moleculares;

C e K - constantes de ajustes dos modelos.

Esta equação tem dois importantes casos especiais: quando $n = 1$, ela fica reduzida à equação de Langmuir e quando n tende a infinito, ela se reduz à equação de BET linearizável:

$$\frac{a_w}{(1 - a_w) \cdot X_{eq}} = \frac{1}{X_m \cdot C} + \frac{a_w \cdot (c - 1)}{X_m \cdot c}$$

(4)

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

Segundo Pezantes (2006), as teorias de adsorção física de Langmuir e BET foram ampliadas por Guggenheim, Anderson e Bôer, resultando numa equação triparamétrica conhecida como equação de GAB, matematicamente adequada para aplicações em engenharia e que permite um ótimo ajuste de dados de sorção de quase todos os alimentos até atividade de água de 0,9 sendo uma faixa de atividade de água mais ampla do que a permitida pela equação de BET. Contudo, a equação de GAB é reduzida a de BET quando K (constante) for igual à unidade (PRADO, 1998). A equação de GAB é de amplo uso em alimentos e

recomendada pelo Grupo de Projetos Europeus COST 90, que trata sobre propriedades físicas de alimentos (GÁLVEZ; ARAVENA; MONDACA, 2006).

$$X = X_0 + \frac{C X_m a_w}{1 - K a_w} \quad (5)$$

Onde:

X_0 = conteúdo de umidade de equilíbrio, kg kg⁻¹;

X_m = conteúdo de umidade na monocamada molecular, kg kg⁻¹;

a_w = atividade de água;

C e K - constantes de ajustes dos modelos.

C e K são as constantes de adsorção com as interações energéticas entre as moléculas da monocamada e as subsequentes em um dado sítio de sorção característica do produto.

Conforme Pezantes (2006), o modelo de GAB tem as seguintes vantagens: ter uma base teórica fundamentada; descreve a sorção de água de todos os alimentos com atividade de água variando de 0 a 0,9; é uma equação matemática de três parâmetros relativamente simples; os parâmetros utilizados têm significado físico no processo de sorção; é capaz de descrever algum efeito da temperatura no processo de sorção. Para calcular os parâmetros X_m , C e K usam-se programas de estimação não linear.

2.8.3 Modelo de Oswin

Na equação proposta por Oswin, há apenas dois parâmetros para estudar o equilíbrio higroscópico dos materiais biológicos, ou seja, duas constantes de fácil linearização. Por isso, apresenta algumas vantagens sobre os modelos de BET e GAB, e é utilizado para analisar isotermas de sorção de diversos alimentos (ALMEIDA; FONSECA; GOUVEIA, 1999; PARK; BIN; BROD, 2001).

$$X_o = a \cdot \left[\frac{a_w}{1 - a_w} \right]^b \quad (6)$$

Onde:

X_0 = umidade de equilíbrio, base seca (b.s.);

a_w = atividade de água;

a e b – parâmetros de ajustes.

Em estudo feito por Corrêa *at al.* (2006) utilizando-se milho como produto, a equação com base no modelo de Oswin foi a que melhor se ajustou aos dados experimentais de equilíbrio higroscópico quando comparada com as equações de Chung-Pfost, Smith e Henderson-Modificada.

2.8.4 Modelo de Henderson

O modelo empírico proposto por Henderson (1952), é um dos modelos mais empregados e descreve bem o comportamento de alimentos com uma ampla faixa de atividade de água (0,1 a 0,75), como grãos, cereais e frutas.

$$X_b = \left[\frac{-\ln(a_w)}{b} \right]^a$$

(7)

Onde:

X_0 = umidade de equilíbrio, base seca (b.s.);

a_w = atividade de água;

a e b – parâmetros de ajustes.

A equação de Henderson tem atingido uma grande difusão no campo da tecnologia de alimentos, reproduzindo bem as isotermas de equilíbrio, para os valores de atividade de água compreendidos entre 0,1 e 0,71 (VIDAL, 1983).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Preparo da amostra

3.1.1 Obtenção e Armazenamento da matéria-prima

As polpas de cajá foram obtidas em uma indústria de processamento, localizada na cidade de Fortaleza-CE. O produto foi obtido na forma congelada em embalagens primárias constituídas de polietileno de 100,0 g, onde cada embalagem secundária possuía 500,0 g.

Em seguida, as polpas foram transportadas em caixas isotérmicas contendo gelo, para manutenção da temperatura de congelamento, e armazenadas em freezer vertical em temperatura de -18°C no Laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará – UFC.

3.1.2 Adjuvante de secagem

Foi utilizado como adjuvante de secagem na formulação da polpa de cajá a maltodextrina com dextrose equivalente (DE) 20.

3.1.3 Equipamento para secagem

Foi utilizado um liofilizador de bancada da marca Terroni, modelo LS3000B, basicamente composto por: painel de controle, câmara de secagem, bandejas de aquecimento, câmara de condensação de vapor, compressor, sistema de vácuo, trocador de calor e saída do dreno.

3.1.4 Embalagem utilizada para armazenamento dos pós

Foram utilizadas embalagens transparentes de polietileno 80G, com gramatura de 100,0 g/m². As dimensões eram de 19,5 cm de altura e 10,0 cm de largura.

3.2 Delineamento Experimental e Análise Estatística

O planejamento experimental foi utilizado para estudar os efeitos das variáveis, tempo de liofilização e concentração de maltodextrina, sobre a resposta (umidade) na secagem da polpa de cajá adicionada de maltodextrina. Foi realizado um planejamento fatorial completo 2^2 , com pontos centrais (nível 0) e pontos axiais (níveis $\pm \alpha$). Dessa forma, cada fator foi estudado em 5 níveis, conforme apresenta a Tabela 2.

Tabela 2 - Definição dos níveis das variáveis independentes na liofilização da polpa de cajá adicionada de maltodextrina.

Variáveis Independentes	Níveis				
	-1,41	-1	0	+1	+1,41
Tempo de liofilização (h) – X_1	14,3	16	20	24	25,7
Concentração de maltodextrina (%) – X_2	4,9	7	12	17	19,1

O planejamento requer a execução de um número mínimo de experimentos. Neste estudo, foram realizados 11 ensaios (Tabela 3), sendo quatro ensaios fatoriais (combinações entre os níveis ± 1), três centrais (duas variáveis independentes no nível 0) e quatro axiais (uma variável independente no nível $\pm \alpha$ e a outra, em 0), gerando um modelo quadrático, onde o valor das variáveis dependentes (umidade) está em função das variáveis independentes (tempo de liofilização e concentração de maltodextrina).

Para a elaboração dos modelos, foi utilizado o software Statistica 7.0 (STATSOFT, 2007), com a finalidade de assegurar a validade dos coeficientes dentro de um nível de confiança de 95%, através de análises estatísticas apropriadas.

Após a análise estatística dos coeficientes, foi realizada uma análise de variância (ANOVA), que consiste na avaliação do coeficiente de determinação (R^2) e do teste F, verificando se o modelo apresenta um ajuste adequado aos dados experimentais.

Tabela 3 - Ensaios do planejamento experimental com variação dos parâmetros tempo e concentração de maltodextrina para liofilização da polpa de cajá.

Ensaio	Variáveis Independentes			
	Real		Codificado	
	Tempo de Liofilização (h)	Maltodextrina (%)	T	%
1	24	17	+1	+1
2	16	17	-1	+1
3	24	7	+1	-1
4	16	7	-1	-1
5	20	12	0	0
6	20	12	0	0
7	20	12	0	0
8	14,3	12	-1,41	0
9	25,7	12	+1,41	0
10	20	4,9	0	-1,41
11	20	19,1	0	+1,41

O efeito dos tratamentos sobre o teor de umidade dos pós de cajá liofilizados, em função do tempo de liofilização e concentração de maltodextrina, foi avaliado por meio da análise de regressão não linear (modelo quadrático) e do método de superfície de resposta. A seleção do ajuste realizada com base na melhor correlação (R^2), desvio padrão e valor de F estatístico, os quais foram obtidos através da utilização do software Statistica versão 7.0 (STATSOFT, 2007).

A otimização do processo de liofilização da polpa de cajá adicionada de maltodextrina foi determinada através da Metodologia de Superfície de Resposta (RSM), de modo a obter menores valores de umidade no produto final.

3.3 Processo de liofilização e Obtenção do pó

As polpas foram descongeladas sob temperatura de refrigeração ($8,0\text{ °C} \pm 2,0\text{ °C}$) e formuladas de acordo com os ensaios (Tabela 3).

Após a formulação, foram dispostos em uma das quatro bandejas (Figura 1), 100g de polpa e então submetidas novamente à congelamento em Ultra-freezer CL90 – 40V da marca Terroni a uma temperatura de $-38,0\text{ °C} \pm 2,0\text{ °C}$ por um tempo de 14,3 a 25,7 horas, de acordo com cada ensaio. Posteriormente, a polpa congelada foi colocada no liofilizador de bandeja por 24 horas.

Finalizado o processo de liofilização, o produto, já desidratado, foi desintegrado e colocado em embalagens de polietileno, seladas e armazenados em temperatura de 25,0 °C por 120 dias.

As embalagens foram devidamente codificadas e a cada 15 dias eram procedidas as análises referentes à estabilidade do pó obtido.

Figura 1 – Polpa de cajá disposta em bandeja de aço inoxidável.



Fonte: Arquivo pessoal.

3.4 Métodos

As polpas e os pós em cada ensaio foram submetidos às análises de acidez total titulável, sólidos solúveis totais, cor, pH, açúcares solúveis redutores e totais, polifenóis extraíveis totais, umidade, atividade de água, relação sólidos solúveis/acidez total titulável, carotenóides, ácido ascórbico, flavonóides amarelos e higroscopicidade, sendo estas realizadas em triplicata.

3.4.1 Acidez Titulável

A acidez titulável foi determinada pela diluição de 1,0 g da polpa ou do pó obtido em 50,0 mL de água destilada titulando-se a amostra com solução de hidróxido de sódio 0,1 N recentemente padronizada, com utilização de solução de fenolftaleína 1,0 % como indicador até a coloração levemente rósea, conforme descrito no método 310/IV das normas do Instituto Adolfo Lutz (2008). Os resultados foram expressos em g ácido cítrico/100 ml.

3.4.2 Sólidos Solúveis Totais

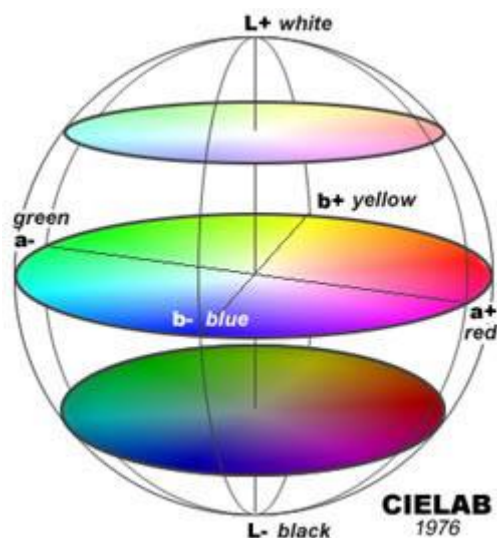
Para a análise de sólidos solúveis foi realizada uma diluição de 1,0 g de pó: 10,0 ml de água destilada, sendo o valor obtido por refratometria, em refratômetro digital portátil modelo r² mini, previamente calibrado com água destilada. Os conteúdos de sólidos solúveis totais foram expressos em °Brix, sendo feitas correções nos cálculos finais de acordo a diluição realizada.

3.4.3 Análise de Cor

A determinação dos parâmetros para análise de cor da polpa e do pó liofilizado foi feita usando um colorímetro Konica Minolta spectrophotometer modelo CR410, com a determinação no modo CIE L*a*b*.

Segundo Alves (2008) a coordenada L* representa o quanto mais clara ou mais escura é a amostra, com valores variando de 0 (totalmente preta) a 100 (totalmente branca). A coordenada de cromaticidade a* pode assumir valores de -80 (verde) a +100 (vermelho) e a coordenada de cromaticidade b* pode variar de -50 (azul) a +70 (amarelo). Para H*, o 0 representa vermelho puro; o 90, amarelo puro; o 180, verde puro; e o 270, azul puro. Com relação ao “chroma”, quanto mais alto o valor de C*; mais viva a cor observada.

Figura 2 – Coordenadas do sistema CIE lab de cor



Fonte: HunterLab (1976).

3.4.4 pH

O potencial hidrogeniônico (pH) foi medido na diluição 1,0:10,0 (pó:água destilada) em potenciômetro da marca Quimis, previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e pH 7,0 conforme o método 017/IV do Instituto Adolfo Lutz (2008). Para a determinação nas polpas, a leitura foi realizada diretamente na amostra.

3.4.5 Açúcares solúveis totais e redutores

Os açúcares totais e redutores foram determinados pelo princípio da redução do DNS (ácido dinitrosalicílico), descrito inicialmente por Miller (1959) com adaptações. O extrato foi obtido diluindo-se 1,0 g de amostra em 40,0 mL de água destilada. Foi levado ao banho-maria por 5 minutos à temperatura de 65 °C, e em seguida as amostras foram transferidas para balão volumétrico de 100,0 mL, aferido com água destilada, homogeneizado e filtrado em papel de filtro qualitativo. Em tubos de ensaio, foi colocado 0,5 mL do extrato e adicionado 1,0 mL do reagente DNS, seguido de agitação vigorosa e aquecimento em banho-maria por 5 minutos em temperatura de 100,0 °C e imediato resfriamento em banho de gelo. A leitura foi realizada em espectrofotômetro em comprimento de onda de 540 nm, sendo os resultados expressos em porcentagem de açúcares redutores.

Para a análise dos açúcares totais, foi tomado 25,0 mL do extrato de açúcares redutores e adicionado 2,0 mL de ácido clorídrico, e levado ao banho-maria por 30 minutos em temperatura aproximada de 75,0 °C e resfriado imediatamente em banho de gelo. Em seguida, a solução foi neutralizada utilizando solução de NaOH 20,0%, com auxílio de potenciômetro. Após neutralização, a amostra foi transferida para balão volumétrica de 50,0 mL, o qual foi aferido com água destilada. Em tubos de ensaio, foi tomada uma alíquota de 1,0 mL do extrato e adicionado 1,0 mL, seguida de agitação vigorosa e aquecimento em banho-maria a 100,0 °C por 5 minutos e resfriado imediatamente em banho de gelo. A leitura foi realizada em espectrofotômetro em comprimento de onde de 540 nm, sendo os resultados expressos em porcentagem de açúcares totais.

3.4.6 Polifenóis Extraíveis Totais

Os polifenóis extraíveis totais foram determinados por meio do reagente Folin-Ciocalteu, utilizando uma curva padrão de ácido gálico como referência, conforme

metodologia descrita por Larrauri, Rupérez e Saura-Calixto (1997) com modificações. A extração foi realizada utilizando 3,0 g do pó de cajá, em seguida adicionando 50,0 mL de solução de álcool etílico 50,0 % (solução extratora) homogeneizando em mixer. Logo em seguida, a mistura foi centrifugada a 2.500 rpm por 5 minutos. Após a centrifugação, foi retirada uma alíquota de 0,2 mL para recipiente âmbar, e adicionado 1,8 mL de água, 10,0 mL da solução de Folin-Ciocalteu e 8,0 mL da solução de carbonato de sódio, ficando em repouso por 2 horas. A leitura do extrato foi feita em espectrofotômetro a 765 nm. Os resultados foram expressos em mg de ácido gálico equivalente (AGE).100g⁻¹.

3.4.7 Umidade

A determinação da umidade das amostras foi obtida por método gravimétrico através da pesagem de 5,0 g da amostra e secagem em estufa à vácuo por seis horas à temperatura de 70,0 °C, segundo o método 309/IV do Instituto Adolfo Lutz (2008). Esta operação foi repetida até a obtenção de peso constante. Os resultados foram expressos em porcentagem de umidade.

3.4.8 Atividade de água (a_w)

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

3.4.9 Relação Brix/Acidez total

A relação Brix/Acidez total foi obtida através do quociente entre essas duas determinações, segundo método 316/IV do Instituto Adolfo Lutz (2008).

3.4.10 Carotenóides

Para a análise dos carotenóides, avaliou-se inicialmente a clorofila pesando 2,0 g da diluição 1:10 (pó:água destilada) e acrescentou-se 18,0 mL de solução de acetona 80,0 %. A amostra foi homogeneizada em mixer, e filtrada posteriormente em ambiente sem iluminação. A leitura do filtrado foi realizada em espectrofotômetro a 663 nm (clorofila a) e

646 nm (clorofila b). Os teores de clorofila foram calculados pelas equações de Lichtenthaler (1987):

$$\text{Clorofila a (Ca)} = 12,25 \times A_{663} - 2,79 \times A_{646} \quad (8)$$

$$\text{Clorofila b (Cb)} = 21,50 \times A_{646} - 5,10 \times A_{663} \quad (9)$$

O teor de carotenóides foi determinado através da leitura do mesmo filtrado citado, alterando-se o comprimento de onda da análise para 470 nm. O teor de carotenóides foi expresso em $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$, calculado através da equação de Lichtenthaler (1987):

$$\text{Carotenóides (C)} = [1000 \times A_{470} - (1,82 \times \text{Ca} + 85,02 \times \text{Cb})]/198 \quad (10)$$

3.4.11 Ácido ascórbico

O teor de ácido ascórbico foi obtido por titulometria usando a solução de DFI (2,6 dicloro-fenol-indofenol (0,02%) até a coloração róseo claro permanente conforme Strohecker e Henning (1967). Inicialmente foi pesado 2,0 g da diluição 1:10 (pó:água destilada) e transferido para um balão volumétrico onde foi adicionado solução de ácido oxálico . Posteriormente, foi transferida desta solução uma alíquota de 5,0 mL para um erlenmeyer e adicionado 45 mL de água destilada, então titulado com DFI até coloração róseo claro persistente. Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico. 100 mL^{-1} de amostra.

3.4.12 Flavonóides amarelos

Foi pesado 1,0 g da diluição 1:10 (pó:água destilada) em um béquer e adicionado 30,0 mL da solução extratora de etanol e HCl 1,5N (na proporção de 85:15, respectivamente). Em seguida, foi realizada uma homogeneização com posterior armazenamento sob refrigeração durante 16 horas e leitura da absorbância em espectrofotômetro e utilizando comprimento de onda de 374 nm, segundo a metodologia de Francis (1982). Os resultados foram expressos em $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ de amostra.

3.4.13 Higroscopicidade

A higroscopicidade dos pós foi determinada seguindo a metodologia descrita por Goula e Adamopoulos, (2010), com modificações. Cerca de 1,0 g de pó foi espalhada

uniformemente sobre uma placa de Petri, e colocada em dessecadores sob as condições de 24,0 °C e 72% de umidade relativa utilizando solução de NaCl, durante 120 minutos, com pesagens em intervalos de 10 minutos.

Com isso, a higroscopicidade foi calculada segundo a equação:

$$\%Higroscopicidade = \frac{(\%WI + \%FW) \times 100}{100 + \%WI} \quad (11)$$

Onde:

$\%FW$ = % de umidade (valor obtido na análise de grau de *caking*)

$$\%WI = \frac{c - b}{b - a} \times 100$$

a = peso da placa (g)

b = peso da placa + pó (g)

c = peso da placa + pó em equilíbrio (g)

Os pós foram caracterizados de acordo com a classificação de GEA Niro Research Laboratory para soro em pó, mas podendo ser aplicada para outros produtos desidratados:

Tabela 4 – Classificação dos pós de acordo com sua higroscopicidade.

Higroscopicidade	
Não higroscópico	<10%
Ligeiramente higroscópico	10,1-15%
Higroscópico	15,1-20%
Muito higroscópico	20,1-25%
Extremamente higroscópico	>25%

Fonte: GEA Niro Research Laboratory (2010).

3.2.14. Grau de *caking*

Após a determinação da higroscopicidade, a amostra úmida foi levada à estufa a vácuo de 70,0 °C, com pesagens em intervalos de 2 horas, até peso constante. Após o resfriamento em dessecador, a amostra foi pesada e transferida para uma peneira de 500 µm. A peneira foi agitada por 5 minutos. O peso do pó restante na peneira foi medido. O grau de *caking* foi calculado conforme Jayas e Das (2004).

$$CD = \frac{100 \times a}{b} \quad (12)$$

Onde:

CD = Grau de *caking* (%);

a = quantidade de pó permanecido na peneira após peneiramento

b = quantidade do pó utilizado.

3.4.15 Isotermas de sorção

As umidades de equilíbrio do pó de cajá liofilizado proveniente do ensaio controle e ensaio 1 sem adição de maltodextrina e com 17 %, respectivamente, foram determinadas por método gravimétrico estático, utilizando-se soluções salinas saturadas em água destilada, para uma determinada faixa de umidade relativa, de acordo com Greespan (1977) (Tabela 5).

Tabela 5 - Atividade de água a 21,0°C ±2,0 de soluções saturadas.

Célula	Soluções saturadas	Atividade de água (a _w)
1	CH ₃ COOK	0,21
2	K ₂ CO ₃	0,44
3	NaBr	0,58
4	SnCl ₂	0,76
5	KCl	0,84
6	BaCl ₂	0,80

Fonte: Greespan (1977).

As amostras em triplicata foram colocadas em cadinhos de alumínio e, em seguida, armazenadas em células herméticas com as respectivas soluções salinas para cada valor de umidade relativa desejada. As células foram acondicionadas em temperatura ambiente, de aproximadamente 25,0 °C.

As amostras com umidade relativa previamente determinada foram pesadas em balança analítica em intervalos regulares de vinte e quatro horas até o ponto de equilíbrio.

Alcançado o equilíbrio, foi determinada a atividade de água das amostras à 25, 30, 35 e 40 °C, e posteriormente foram levadas para estufa a uma temperatura de 70 °C com pesagens sucessivas em intervalos de uma hora para se obter sua massa seca.

As umidades de equilíbrio foram calculadas de acordo com a seguinte equação:

$$X_e = \frac{m_e - m_s}{m_s}$$

(13)

Onde:

X_e = umidade de equilíbrio (g água/g massa seca);

m_e = massa da amostra quando atingido o equilíbrio (g);

m_s = massa seca da amostra (g).

Para o ajuste das isotermas do pó de café, foram testados os modelos bi-paramétricos de Henderson e Oswin, e tri-paramétricos de GAB e BET (Tabela 6) comumente empregados em tal predição. Os ajustes foram realizados por regressão não-linear, com o auxílio do aplicativo Statistica 7.0 (STATSOFT, 2007).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Planejamento Experimental

Os ensaios realizados utilizando como variáveis independentes tempo de liofilização (h) e concentração de maltodextrina apresentaram valores de umidade (variável dependente) representados na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores de umidade obtidos na liofilização da polpa de cajá com maltodextrina.

Ensaio	Tempo de Liofilização (h)	Maltodextrina (%)	Umidade
1	24	17	0,49 ± 0,02
2	16	17	2,06 ± 0,24
3	24	7	1,35 ± 0,24
4	16	7	3,55 ± 0,10
5	20	12	2,22 ± 0,18
6	20	12	2,15 ± 0,06
7	20	12	1,91 ± 0,22
8	14,3	12	3,60 ± 0,19
9	25,7	12	1,02 ± 0,16
10	20	4,9	1,66 ± 0,15
11	20	19,1	0,90 ± 0,16

De acordo com a Tabela 6, os valores de umidade variaram de 0,49 % (ensaio 1) a 3,60 % (ensaio 8). Os resultados de umidade, obtidos a partir da liofilização da polpa de cajá, foram submetidos à análise estatística sendo apresentados na Tabela 7.

Os resultados da análise estatística, aplicados aos dados experimentais de umidade obtidos na liofilização da polpa de cajá, estão apresentados na tabela 7.

Na análise dos efeitos das variáveis utilizadas, apenas os fatores tempo (Q) e a interação entre tempo de liofilização e concentração de maltodextrina, não foram estatisticamente significativas sobre o valor de umidade dos pós de cajá, em um nível de 95 %.

Tabela 7 – Efeito estimado, erro padrão, coeficiente t e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para umidade do pó obtido por liofilização da polpa de cajá.

Fatores	Efeito Estimado	Erro padrão	t (5)	Significância Estatística (p)
Tempo (L)	-1,85	0,16	-11,29	0,00
Tempo (Q)	0,25	0,19	1,27	0,26
Concentração de malto (L)	-0,85	0,16	-5,21	0,00
Concentração de malto (Q)	-0,77	0,19	-3,98	0,01
Tempo de liofilização x Concentração de malto	0,32	0,23	1,36	0,23

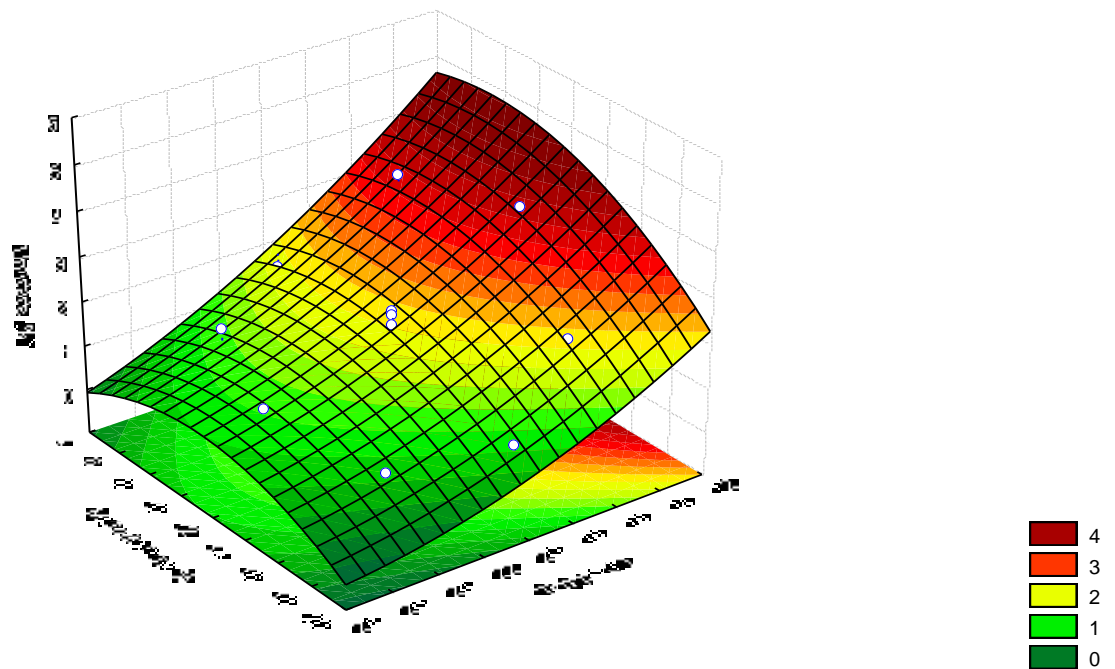
A análise de variância (ANOVA) para o modelo de regressão obtido para umidade está apresentada na Tabela 8. De acordo com a tabela, o valor de F calculado para o modelo umidade (%) foi de 35,74, ou seja, maior que o valor de $F_{5,5}$ tabelado (5,05) no intervalo de 95 % de confiança. Assim, o modelo pode ser considerado estatisticamente significativo, de acordo com o teste F .

Tabela 8 – Análise de variância para umidade (%) do pó obtido por liofilização da polpa de cajá.

Fonte de variação	Soma quadrática	GL	Média quadrática	Valor de F
Regressão	9,66	5	1,93	35,74
Residual	0,27	5	0,054	
Total	9,93	10		
Coeficiente de determinação	97%			
F tabelado (95%)				$F_{5,5} = 5,05$

A análise da superfície de resposta para a umidade da polpa de cajá em pó (Gráfico 1) indica que o tanto o tempo de liofilização quanto a concentração de maltodextrina adicionada nos ensaios, exercem influência para a umidade final das amostras. Foi possível verificar uma diminuição da umidade com o aumento das horas de liofilização e concentração de maltodextrina.

Gráfico 1 – Superfície de resposta da umidade (%) do pó de cajá liofilizado, de acordo com tempo de liofilização (h) e concentração de maltodextrina (%).



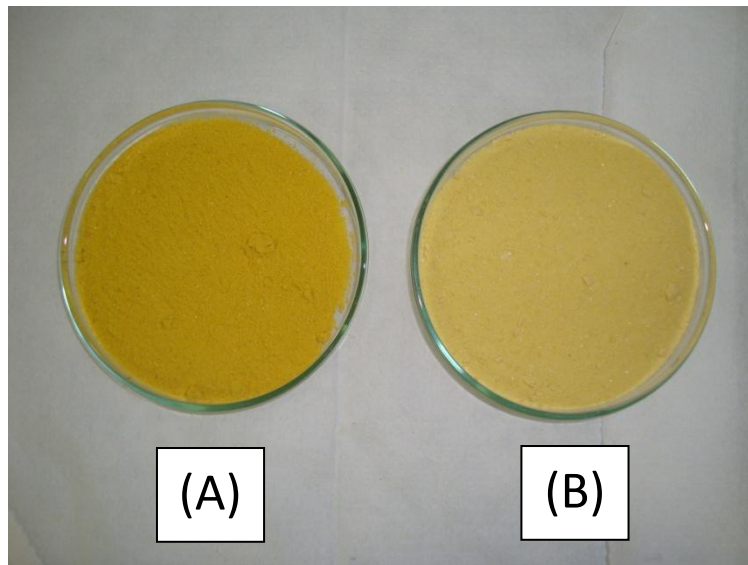
Apesar de o modelo ser estatisticamente significativo ($p \leq 0,05$), nenhum dos ensaios se encontrou na região ótima para a resposta avaliada, já que seria necessário um ensaio com um maior tempo de liofilização. Como se conseguiu valores relativamente baixos de umidade, foi escolhido o de menor valor, ou seja, o ensaio 1, com 17 % de maltodextrina/24 horas de liofilização, já que maiores tempos de liofilização tornam-se inviáveis para o processo de secagem, por encarecê-lo.

Com a escolha do ensaio do ensaio 1 para realização do trabalho, foram definidas as denominações dos ensaios para estabilidade como:

Ensaio controle: polpa de cajá integral sem adição de maltodextrina.

Ensaio 1: polpa de cajá adicionada de 17 % de maltodextrina (Figura 3).

Figura 3 – Pó da polpa de cajá liofilizada integral (A) e com adição de 17% de maltodextrina (B).



Fonte: Arquivo pessoal.

4.2 Determinações físico-químicas da polpa integral e formulada com maltodextrina

A caracterização da polpa de cajá integral e formulada com maltodextrina, de acordo com a metodologia descrita no item 3.4, é apresentada na Tabela 9.

A polpa de cajá integral apresentou valores semelhantes aos citados em literatura consultada e características comuns deste produto como elevada umidade e valor de atividade de água, baixo pH e considerável teor de vitamina C, por exemplo, como mostrado na Tabela 9. Em comparação à polpa formulada, apenas o pH não diferiram significativamente entre os dois ensaios. Quanto a esta característica, o valor de 2,53 e 2,55 encontrados nos ensaios foram similares ao descrito por Gadelha (2009), que avaliando os parâmetros de qualidade físico-químicos de polpa congelada de cajá encontrou pH de 2,49, e inferior ao descrito por Mata, Duarte e Zanini (2005) que foi de 4,16 para a polpa de cajá (*Spondias lutea L.*). A adição de maltodextrina à polpa não ocasionou diferença significativa para este parâmetro.

Em polpa de frutas, baixos valores de pH são desejáveis pois favorecem a conservação das mesmas devido a inibição do desenvolvimento de microrganismos como leveduras e patógenos.

A quantidade de ácidos tituláveis foi de menor valor que reportado por Tiburski *et al.* (2011) que ao estudarem as propriedades nutricionais do cajá, apresentou valor de acidez de 1,46 % e Lira Júnior *et al.* (2005) de 1,66 % para os frutos de cajá umbu. Apesar do menor valor apresentado, a polpa em estudo encontra-se dentro do Padrão de Identidade e Qualidade

que estipula uma acidez mínima de 0,90 % de ácido cítrico para polpa de cajá congelada. (BRASIL, 2000).

Tabela 9 – Valores médios da caracterização físico-química da polpa de cajá *Spondias mombin* L. integral e formulada com maltodextrina (n=3).

Análises	Ensaio controle	Ensaio 1
pH	2,53 ^a ± 0,01	2,55 ^a ± 0,01
Acidez titulável total (% ac. Cítrico)	1,06 ^a ± 0,02	0,84 ^b ± 0,02
Sólidos solúveis (°Brix a 28°C)	9,33 ^b ± 0,06	23,83 ^a ± 0,06
SS/AT	8,80 ^b ± 0,09	28,36 ^a ± 0,1
Umidade (%)	89,76 ^a ± 0,06	77,14 ^b ± 0,02
Atividade de água (a _w)	0,99 ^a ± 0,00	0,98 ^b ± 0,00
Açúcares redutores (%)	5,47 ^a ± 0,05	5,44 ^b ± 0,04
Açúcares totais (%)	5,93 ^b ± 0,07	11,39 ^a ± 0,09
Carotenóides totais (mg.100g ⁻¹)	2,56 ^a ± 0,21	2,36 ^b ± 0,21
Ácido ascórbico (mg ácido ascórbico.100 g ⁻¹)	48,0 ^a ± 0,35	27,27 ^b ± 0,35
Polifenóis (mg GAE.100g ⁻¹)	24,31 ^a ± 0,56	19,87 ^b ± 0,34
Flavonóides amarelos (mg.100g ⁻¹)	7,40 ^a ± 0,12	6,82 ^b ± 0,17
L*	60,14 ^a ± 0,07	57,38 ^b ± 0,10
a*	5,15 ^b ± 0,10	6,63 ^a ± 0,03
b*	42,20 ^a ± 0,38	41,29 ^b ± 0,18

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Uma redução dos ácidos tituláveis totais foi observada na polpa de cajá adicionada de maltodextrina (ensaio 1), sendo esta estatisticamente diferente a nível de 5 % de probabilidade. Comportamento semelhante foi observado por Oliveira, Figueiredo e Queiroz (2006), ao realizarem uma análise comparativa entre a composição de polpa de pitanga integral e formulada com 15 % de maltodextrina, onde explicam que a adição do produto provoca uma redução na concentração dos ácidos orgânicos presentes na polpa.

Os valores de sólidos solúveis totais, encontrados nas polpas integral e formulada, foram significativamente diferentes ($p \leq 0,05$), o que já era esperado devido à adição de maltodextrina DE 20 que eleva este valor na polpa formulada (ensaio 1) . Valores similares foram encontrados nos trabalhos de Gadelha *et al.* (2009) que foi de 9,96, e Sampaio *et al* (2007) que acompanhando as mudanças dos constituintes químicos do cajá durante a maturação, cita valor de 9,60, no estágio pré-climatérico. Com este teor de sólidos solúveis totais a polpa de cajá integral (ensaio controle) atende ao valor mínimo exigido por Brasil (2000), que é de 9,0 °Brix.

Os conteúdos de açúcares redutores diferiram significativamente ($p \leq 0,05$) entre os ensaios. O teor encontrado no ensaio controle supera os citados por Mata, Duarte e Zanini (2005) de 4,50 % e por Santos *et al.* (2010) de 4,12 %. Essa diferença pode ser relacionada à variação comum na composição de frutas que geralmente está associada a fatores como: grau de maturação, influência ambiental, tais como as condições de solo, clima, regime pluvial, entre outros fatores pré e pós-colheita (MOURA, 2010). Quanto a quantidade de açúcares totais, o ensaio 1 apresentou maiores.

Em relação à atividade de água e umidade, as amostras apresentaram características comuns de frutos e polpas, com elevados valores. Analisando a polpa integral de acerola, Diniz, Figueirêdo e Queiroz (2003), citam atividade de água de 0,9833 à 25 °C. O conteúdo de umidade obtido foi semelhante aos valores reportados por Santos *et al.* (2010) que estudando a caracterização e qualidade de umbu-cajá, obtiveram conteúdo de água de 91,3 %, e Canuto *et al.* (2010) que obteve umidade de 91,7 % na polpa de cajá proveniente da Amazônia.

Quanto à relação SS/AT, a Tabela 9 indica um valor de 8,80, sendo este relativamente inferior ao citado por Lira Júnior *et al.* (2005) de 9,05, e superior ao encontrado por Sampaio *et al.* (2007) com 6,74. A polpa formulada apresentou diferença significativa ($p \leq 0,05$) devido ao grande aumento da relação causado pela adição de sólidos solúveis presentes na maltodextrina.

Para Santos *et al.* (2010), a relação SS/AT é considerada uma das melhores formas de avaliação do sabor, sendo mais representativa que a medição isolada de açúcares e de acidez. Contudo a relação é totalmente dependente do mercado consumidor, que no caso do brasileiro, a preferência é por uma relação maior, que é verificada por altos teores de sólidos solúveis e baixa acidez.

O conteúdo de polifenóis extraíveis totais encontrados, diferiram significativamente a nível de 5 % de probabilidade entre os dois ensaios apresentados na Tabela 10. Os valores de 24,31 e 19,87 mg GAE.100g⁻¹, para o ensaio controle e ensaio 1, foram bem abaixo das quantidades citadas na literatura, como Vieira *et al.* (2011), que estudando fenólicos totais de polpas de frutos tropicais, descrevem para o cajá um valor de 70,92 mg GAE.100g⁻¹ e Rufino *et al.* (2010) que citam 72,0 mg GAE.100g⁻¹ ao estudarem os compostos bioativos e capacidade antioxidante de frutos tropicais não-tradicionais brasileiros.

Na análise colorimétrica, a polpa apresenta valores de luminosidade (L*) e da coordenada b* bem próximos aos encontrados por Mattietto (2010), caracterizando físico e físico-quimicamente as polpas de cajá obtidas por diferentes tipos de extratores, que foram

61,02 e 41,50 na polpa de cajá *in natura*. Porém para a coordenada a^* , no entanto, foi inferior para a variável, onde os mesmos citam 14,73, o que caracteriza uma intensidade menor da coloração vermelha. Assim como no estudo citado, o cajá possui coloração amarela forte, tendendo, às vezes, ao alaranjado, resultado das cores vermelho (+a) e amarelo (+b), e conforme esperado, os resultados de b^* foram maiores, indicando a predominância da cor amarela no fruto. Em relação à adição de maltodextrina, notou-se uma redução significativa ($p \leq 0,05$) na luminosidade (L^*) e coordenada b^* , e um aumento significativo para a coordenada a^* .

Uma redução significativa ($p \leq 0,05$) de 7,84 % foi observada no conteúdo de flavonóides amarelos devido à adição de 17% de maltodextrina (ensaio 1). O valor encontrado na polpa integral (ensaio controle) de 7,40 mg.100g⁻¹ é semelhante ao citado por Rufino *et al.* (2010) de 7,41 mg.100g⁻¹ de polpa.

Em relação aos carotenóides totais analisados nos ensaios (Tabela 9), houve uma redução significativa ($p \leq 0,05$) com a adição de maltodextrina de 7,81 %. Os valores são superiores aos reportados Rufino *et al.* (2010) que encontraram 0,7 mg.100g⁻¹ e abaixo do citado por Mattietto (2010) de 3,03 mg.100g⁻¹ na polpa de cajá extraída por equipamento de pás.

O teor de ácido ascórbico teve significativa redução de 43,18 % com a adição de maltodextrina, ocasionado pela distribuição deste constituinte na matriz analisada. Canuto *et al.* (2010), caracterizando a polpa de cajá proveniente da Amazônia, encontrou um teor de ácido ascórbico de 0,3 mg.100g⁻¹. Já Sampaio *et al.* (2007), cita um teor de 13,1 mg.100g⁻¹ em cajá em estágio de maturação inicial. Ambos os resultados citados na literatura, são inferiores ao teor de ácido ascórbico encontrados nas polpas em estudo.

4.3 Determinações físicas e físico-químicas dos pós de polpa de cajá liofilizada

A caracterização do pó de cajá integral liofilizado e adicionado de maltodextrina, de acordo com a metodologia descrita no item 3.0, é apresentada na Tabela 10. De uma maneira geral, com a retirada da água provocada pelo processo de secagem, ocorreu concentração de sólidos na massa restante o que resultou em maiores quantidades de peso nos produtos secos que nos produtos similares frescos. Dentre os parâmetros analisados, apenas a quantidade de açúcares redutores e o pH não diferiram significativamente a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey, entre os dois ensaios.

Os conteúdos de umidade das amostras diferiram estatisticamente entre os ensaios ($p \leq 0,05$). Umidade semelhante ao do pó de cajá com 17 % de maltodextrina, é reportado por Tonon, Brabet e Hubinger (2009), que estudando a influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de maltodextrina sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó, descreve um valor de 0,66 % para as amostras produzidas com 20 % de maltodextrina.

Tabela 10 – Valores médios da caracterização física e físico-química do pó de cajá obtido por liofilização (n=3).

Análises	Ensaio controle	Ensaio 1
pH	2,65 ^a ± 0,01	2,63 ^a ± 0,02
Acidez titulável total (% ác. Cítrico)	9,11 ^a ± 0,16	3,18 ^b ± 0,26
Sólidos solúveis (°Brix a 28°C)	78,0 ^b ± 1,00	92,67 ^a ± 0,58
Umidade (%)	2,05 ^a ± 0,14	0,65 ^b ± 0,17
Atividade de água (a _w)	0,14 ^a ± 0,00	0,04 ^b ± 0,00
Açúcares redutores (%)	26,98 ^a ± 0,25	27,52 ^a ± 2,39
Açúcares totais (%)	27,55 ^b ± 0,28	30,53 ^a ± 1,41
Carotenóides totais (mg.100g ⁻¹)	8,95 ^a ± 0,21	2,84 ^b ± 0,02
Fenólicos (mg GAE.100g ⁻¹)	268 ^a ± 0,8	92,95 ^b ± 0,89
Ácido ascórbico (mg ácido ascórbico)	168,47 ^a ± 1,63	90,46 ^b ± 1,87
Higroscopicidade	12,93 ^b ± 0,66	8,51 ^a ± 0,40
Grau de cacking (%)	33,65 ^a ± 3,52	6,64 ^b ± 1,27
L*	54,43 ^b ± 0,03	58,41 ^a ± 0,20
a*	0,44 ^a ± 0,005	-1,35 ^b ± 0,04
b*	24,09 ^a ± 0,02	21,34 ^b ± 0,02

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

A diminuição de umidade com a adição de maltodextrina apresentou a mesma relação como no trabalho de Oliveira, Figueirêdo e Queiroz (2006), onde fazendo uma análise comparativa da polpa integral e formulada em pó, obteve-se menor umidade para o pó em que houve adição de 15 % de maltodextrina, passando este valor de 8,12 para 7,64 % de umidade. Os valores de umidade dos pós do presente trabalho, encontram-se em conformidade com a legislação vigente que estipula um máximo de 5 % (BRASIL, 2005a).

Assim como na análise de umidade, o valor de atividade de água também foi reduzido com a adição da maltodextrina, sendo estatisticamente diferentes entre os ensaios. Os valores são inferiores ao descrito por Souza (2011), que estudando o efeito da liofilização sobre a qualidade do pó da polpa de cupuaçu, citam atividade de água de 0,414.

Quanto a análise colorimétrica, a luminosidade (L^*) do pó adicionado de maltodextrina apresentou maior valor, o que já era esperado devido a maltodextrina ser de cor branca, deixando a polpa mais clara. Quanto às coordenadas a^* e b^* , pode ser observada uma diminuição nestes parâmetros, como representada na Tabela 10. Esta redução da tonalidade do vermelho e amarelo, também está relacionada à diluição da cor, provocada pela adição do agente carreador utilizado (TONON; BRABET; HUBINDER, 2009).

O pó de cajá com maltodextrina (ensaio 1) apresentou quantidade de fenólicos bastante inferior comparado ao valor encontrado para o pó integral, diferindo estatisticamente entre si ($p \leq 0,05$). Ambos os resultados encontram-se abaixo do reportado por Rufino *et al.* (2010), que encontraram na matéria seca do cajá 579,0 mg GAE.100g⁻¹.

A adição de maltodextrina não modificou o pH do pó. Quanto à acidez, foi observada uma redução dos ácidos em decorrência da adição do agente adjuvante. Comportamento semelhante foi descrito por Canuto (2011) que verificou que com a adição de maltodextrina ocorreu a diminuição do teor de acidez da amostra de mamão liofilizada.

O valor de carotenóides, assim como o de ácido ascórbico, foi reduzido significativamente ($p \leq 0,05$) no ensaio 1, com a adição de maltodextrina, conseqüentemente devido à redução observada na caracterização das polpas integral e adicionada de maltodextrina.

A porcentagem de açúcares redutores não apresentou diferença entre os ensaios. Diferentemente da quantidade de sólidos solúveis que aumentou com a adição de maltodextrina (ensaio 1), devido o agente possui maior quantidade de sólidos.

A higroscopicidade dos pós diferiram significativamente entre os ensaios. De acordo com a classificação de GEA Niro Research Laboratory (2010) o pó do ensaio controle pode ser considerado como ligeiramente higroscópico pois apresenta valor entre 10,1 e 15,0 %. A maltodextrina apresenta uma redução da higroscopicidade do ensaio 1, caracterizando o pó como não higroscópico devido seu valor ser menor que 10,0 %. Segundo Tonon, Brabet e Hubinger (2010), isso deve-se ao fato da maltodextrina ser um material de baixa higroscopicidade e confirma a eficiência do seu uso como agente carreador no sentido de reduzir a higroscopicidade dos produtos desidratados.

O valor de grau de “caking” diferiu significativamente ($p \pm 0,05$) entre os dois ensaios, apresentando menor valor no ensaio contendo maltodextrina (ensaio 1). De acordo com a classificação de GEA Niro Research Laboratory (2010), os ensaios controle e 1 podem ser classificados como pó muito aglomerante e não-aglomerante, respectivamente. Os valores encontram-se de acordo com o desejado para alimentos em pó de 5,0 a 34,0 % como citam

Jaya e Das (2004). Goula e Adamopoulos (2010), variando a quantidade de dextrose equivalente (DE) da maltodextrina na atomização de suco de laranja concentrado, citam valores de grau de “caking” variando de 5,9 a 24,8 %, e atribui a aglutinação dos alimentos ricos em açúcares à absorção de umidade.

4.4 Análise de Estabilidade dos pós

As amostras acondicionadas nas embalagens de polietileno foram analisadas quinzenalmente. O ensaio controle, polpa integral de cajá em pó, apresentou entre 45 e 60 dias, aspecto “emborrachado”, como demonstrado na Figura 4, não sendo mais possível sua análise a partir deste período, devido sua compactação. Comportamento similar foi descrito por Canuto (2011), que observou o mesmo fenômeno, em um mês de acondicionamento do pó da polpa de mamão integral e pó com 5 % de maltodextrina em embalagens de polietileno.

Já o ensaio 1, permaneceu na forma de pó até o período final de armazenamento, ou seja, 120 dias, permitindo a realização das análises que constituíram a caracterização da estabilidade deste pó.

Desta forma, a seguir estão apresentadas as variações ocorridas nos pós dos dois ensaios durante o período de armazenamento.

Figura 4 – Aspecto “emborrachado” apresentada pelo ensaio controle com 60 dias de armazenamento.



Fonte: Arquivo pessoal.

4.4.1 Umidade

As umidades das amostras, representadas na tabela 11, aumentaram ao longo do tempo de armazenamento em ambos os ensaios analisados. No ensaio controle, foi verificado

um valor superior já no tempo inicial quando comparado com o ensaio 1, e partir do 30º dia os valores diferiram significativamente nos tempos posteriores.

No ensaio 1 o pó adquiriu um elevado teor de umidade a partir de 15º dia. Entre 30 e 75 dias, não foi observado diferença significativa, e a partir do 75º dia o valor aumentou gradativamente.

Tabela 11 – Valores médios da umidade do pó obtido por liofilização da polpa de cajá, durante o armazenamento (n=3).

Dias	Umidade (%)	
	Ensaio controle	Ensaio 1
0	2,05 ^{Da} ± 0,14	0,65 ^{Fb} ± 0,17
15	3,99 ^{Da} ± 0,12	1,59 ^{Eb} ± 0,07
30	4,44 ^{Ca} ± 0,27	2,00 ^{Db} ± 0,10
45	5,80 ^{Ba} ± 0,11	2,20 ^{Db} ± 0,13
60	5,89 ^{Aa} ± 0,08	1,99 ^{Db} ± 0,17
75	-	2,60 ^C ± 0,09
90	-	2,91 ^C ± 0,02
105	-	3,57 ^B ± 0,18
120	-	3,94 ^A ± 0,11

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha ou seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Silva *et al.* (2005) descrevem um aumento da umidade das amostras de pó de cajá-umbu armazenadas em embalagens de polietileno, a partir do décimo dia de armazenamento. Este ganho de umidade pode ser atribuído à higroscopicidade das amostras, uma vez que o polietileno de baixa densidade utilizado nas embalagens permite a troca de umidade com o meio ambiente externo (PEREIRA; QUEIROZ; FIGUEIRÊDO, 2006).

Mesmo com o aumento, a umidade final do ensaio 1 encontra-se abaixo do máximo permitido pela legislação brasileira de 5 % de umidade para pós de frutas liofilizadas (BRASIL, 2005a).

4.4.2 Atividade de Água (a_w)

Com os valores demonstrados na Tabela 12, pode-se verificar, que em ambos os ensaios, a quantidade de água livre presente nas amostras apresentou tendência a aumentar. No ensaio controle houve diferença significativa em todos os tempos analisados. Já no ensaio

1, entre 30 e 75 dias os valores não apresentam diferença significativa havendo uma menor variação entre eles.

Tabela 12 – Valores médios da atividade de água do pó obtido por liofilização da polpa de cajá, durante o armazenamento (n=3).

Dias	Atividade de água (a_w)	
	Ensaio controle	Ensaio 1
0	0,1460 ^{Ea} ± 0,00	0,0431 ^{Eb} ± 0,00
15	0,1953 ^{Da} ± 0,00	0,1642 ^{Db} ± 0,01
30	0,2367 ^{Ca} ± 0,00	0,2114 ^{Cb} ± 0,01
45	0,2892 ^{Ba} ± 0,00	0,2189 ^{Cb} ± 0,01
60	0,3355 ^{Aa} ± 0,00	0,2248 ^{Cb} ± 0,01
75	-	0,2311 ^C ± 0,00
90	-	0,2622 ^B ± 0,00
105	-	0,2960 ^A ± 0,01
120	-	0,3003 ^A ± 0,00

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha ou seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Com isso, o comportamento vêm de acordo com o observado no acompanhamento dos valores de umidade das amostras, que elevou-se durante o período de armazenamento.

No armazenamento do pó de cupuaçu liofilizado, houve aumento da atividade de água de 20,4 % durante o armazenamento chegando a um valor 0,510 em 40 dias (SOUZA, 2011). Mesmo com os 120 dias de armazenamento, o pó do ensaio 1 apresentou atividade de água abaixo de 0,6, que segundo a classificação de Argadoña (2005) pode ser considerado com alimentos de baixa atividade de água, que apresentam estabilidade microbiológica.

4.4.3 Acidez Titulável

O percentual de ácido cítrico diminui significativamente em 60 dias de armazenamento, com uma redução de 14,05 % do seu conteúdo inicial no ensaio controle (Tabela 13). Resultados similares foram observados por Silva *et al.* (2005), onde em 60 dias de armazenamento do umbu-cajá em pó em embalagens de polietileno, descreveram uma redução no percentual de acidez de 12 % entre o tempo inicial e final. Este comportamento pode ser atribuído a reações bioquímicas como a oxidação que alteram a concentração de íons de hidrogênio exercendo influência no teor de acidez do produto.

Tabela 13 – Valores médios da acidez total titulável do pó obtido por liofilização da polpa de cajá, durante o armazenamento (n=3).

Dias	Acidez total titulável (% ácido cítrico)	
	Ensaio controle	Ensaio 1
0	9,11 ^{Aa} ± 0,16	3,18 ^{Bb} ± 0,26
15	9,22 ^{Aa} ± 0,16	3,14 ^{Bb} ± 0,07
30	8,10 ^{Ba} ± 0,10	3,17 ^{BCb} ± 0,22
45	8,05 ^{Ba} ± 0,03	3,67 ^{Ab} ± 0,18
60	7,83 ^{Ba} ± 0,19	3,40 ^{ABb} ± 0,17
75	-	3,47 ^{AB} ± 0,19
90	-	3,29 ^{AB} ± 0,01
105	-	3,25 ^{AB} ± 0,01
120	-	3,23 ^{AB} ± 0,01

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha ou seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Já no ensaio 1, foi observado um aumento no valor médio de acidez a partir do 15º dia, voltando a decrescer a partir do 75º dia. No entanto, valor final de acidez titulável não diferiu estatisticamente do tempo inicial.

4.4.4 pH

Os valores de pH analisados durante o armazenamento do pó da polpa de cajá liofilizada, em ambos os ensaios estão representados na Tabela 14.

Tabela 14 – Valores médios de pH do pó obtido por liofilização da polpa de cajá, durante o armazenamento (n=3).

Dias	pH	
	Ensaio controle	Ensaio 1
0	2,65 ^{ABCa} ± 0,01	2,63 ^{Ca} ± 0,01
15	2,66 ^{ABa} ± 0,01	2,60 ^{Cb} ± 0,01
30	2,68 ^{Aa} ± 0,01	2,61 ^{Cb} ± 0,02
45	2,63 ^{BCb} ± 0,01	2,69 ^{Ba} ± 0,01
60	2,62 ^{Cb} ± 0,02	2,71 ^{ABa} ± 0,01
75	-	2,70 ^{AB} ± 0,02
90	-	2,72 ^{AB} ± 0,01
105	-	2,72 ^A ± 0,01
120	-	2,73 ^A ± 0,01

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha ou seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

De acordo com os dados obtidos, o valor de pH do ensaio controle no tempo final (120 dias) não diferiu significativamente ao encontrado no tempo inicial. Este comportamento vai de acordo com o citado por Ramos *et al.* (2008), onde descrevem que não houve variação do pH nos abacaxis desidratados durante 75 dias de armazenamento.

No ensaio 1, foi observado um pequeno aumento do pH final em relação ao inicial, correspondendo a 3,80 %. O valor variou de 2,60 (30° dia) a 2,73 (120° dia) unidades de pH.

4.4.5 Sólidos Solúveis

Os valores médios e desvios-padrão de sólidos solúveis estão representados na Tabela 15. O teor de sólidos solúveis diminuiu durante o armazenamento em ambos os tratamentos. A partir de 90 dias, os valores do ensaio 1 diferem significativamente ($p \leq 0,05$) do tempo inicial.

Durante todo o período analisado, os teores de sólidos solúveis nos ensaios, sofreram uma redução de 4,70 e 5,39 %, respectivamente.

Moreira *et al.* (2011) observaram comportamento similar estudando a estabilidade da polpa de cupuaçu desidratada em estufa. Para Ramos *et al.* (2008), a diminuição no teor de sólidos solúveis em seu estudo, pode ser atribuído ao ganho de umidade dos produtos ao longo do tempo, devido a já citada troca de umidade com o ambiente externo proporcionado pelas embalagens de polietileno.

Tabela 15 – Valores médios de sólidos solúveis (°Brix) do pó obtido por liofilização da polpa de cajá, durante o armazenamento (n=3).

Dias	Sólidos Solúveis (°Brix)	
	Ensaio controle	Ensaio 1
0	78,0 ^{Ab} ± 1,00	92,67 ^{Aa} ± 0,58
15	77,67 ^{Ab} ± 0,58	91,33 ^{ABa} ± 0,58
30	76,33 ^{ABb} ± 0,58	90,67 ^{ABa} ± 0,58
45	74,67 ^{BCb} ± 0,58	88,67 ^{Ba} ± 0,58
60	74,33 ^{Cb} ± 0,58	89,33 ^{ABa} ± 1,53
75	-	89,33 ^{AB} ± 2,89
90	-	88,33 ^B ± 0,58
105	-	87,67 ^B ± 1,53
120	-	87,67 ^B ± 0,58

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha ou seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Uma redução no conteúdo de sólidos solúveis, do pó de acerola proveniente de cultivo orgânico foi observada por Moura (2010), onde os valores variaram de 100,35 a 97,89 °Brix, associando este comportamento, possivelmente, à oxidação de ácidos orgânicos presentes no pó.

4.4.6. Açúcares redutores e totais

Os valores de açúcares redutores no ensaio controle não diferiram significativamente entre si durante o período de armazenamento, o que não ocorreu com o ensaio 1, onde observa-se uma variação de 22,9 % em 30 dias à 27,5 % no tempo inicial, representado na Tabela 16.

Com 60 dias de armazenamento, observa-se uma redução de 4,7 % e 1,7 % nos ensaios controle e ensaio 1, sendo que no último, após 120 dias de estocagem, o conteúdo de açúcares redutores sofreu uma redução de 14,9 % em relação ao tempo inicial.

Avaliando a estabilidade da polpa de umbu em pó, Galdino *et al.* (2003), citam uma redução de 63,6 % nos teores de açúcares redutores das amostras acondicionadas em embalagens de polietileno em 60 dias de acompanhamento.

Tabela 16 – Valores médios de açúcares redutores (%) do pó obtido por liofilização da polpa de cajá, durante o armazenamento (n=3).

Dias	Açúcares redutores (%)	
	Ensaio controle	Ensaio 1
0	26,98 ^{Aa} ± 0,25	27,52 ^{Aa} ± 2,39
15	26,10 ^{Aa} ± 0,71	24,09 ^{Bb} ± 0,86
30	26,17 ^{Aa} ± 2,25	22,93 ^{Bb} ± 0,38
45	26,02 ^{Aa} ± 0,77	27,31 ^{Aa} ± 0,55
60	25,70 ^{Ab} ± 0,74	27,06 ^{Aa} ± 0,60
75	-	26,84 ^A ± 0,60
90	-	23,20 ^B ± 0,13
105	-	22,84 ^B ± 0,21
120	-	23,42 ^B ± 0,74

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha ou seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Redução nos teores de açúcares redutores também foi constatada no estudo do armazenamento de tomate em pó feito por Pereira, Queiroz e Figueirêdo (2006). Os autores atribuem essa diminuição possivelmente ao aumento da umidade nas amostras ou pela

degradação, e/ou transformação dos açúcares redutores em outros açúcares, ou, ainda, por outros componentes.

Em relação à quantidade de açúcares totais, foi observado que em 60 dias de armazenamento, não houve diferença significativa dos teores encontrados no dia 0 de ambos os ensaios. Já no 120º dia de armazenamento do pó do ensaio 1, o valor destes constituintes foi reduzido em 12,6 %, o que era esperado devido a redução similar observada nos açúcares redutores.

Tabela 17 - Valores médios de açúcares totais (%) do pó obtido por liofilização da polpa de cajá, durante o armazenamento (n=3).

Dias	Açúcares totais (%)	
	Ensaio controle	Ensaio 1
0	27,55 ^{Aa} ± 0,28	30,53 ^{Aa} ± 1,41
15	26,31 ^{Ab} ± 1,26	29,13 ^{Ba} ± 0,72
30	26,80 ^{Aa} ± 0,66	27,22 ^{Ba} ± 0,26
45	27,99 ^{Ab} ± 0,54	30,37 ^{Aa} ± 1,96
60	27,56 ^{Ab} ± 0,86	30,36 ^{Aa} ± 0,22
75	-	30,36 ^A ± 0,66
90	-	25,71 ^B ± 0,08
105	-	24,50 ^B ± 0,43
120	-	26,68 ^B ± 0,68

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha ou seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

4.4.7. Ácido ascórbico

Os valores médios e desvios-padrão dos teores de ácido ascórbico nos ensaios estão representados na Tabela 18.

De acordo com os valores, foi observada uma redução dos teores de ácido ascórbico com o decorrer do tempo de armazenamento nos dois ensaios analisados. No ensaio controle, uma redução estatisticamente significativa ($p \leq 0,05$) ocorreu em todos os tempos analisados, chegando no final do armazenamento, 60 dias, a um valor 27,3 % inferior ao tempo inicial (0 dias). Este valor é semelhante ao encontrado por Gomes, Figueirêdo e Queiroz (2004), que acompanhando o armazenamento da polpa de acerola em pó a temperatura ambiente, citam uma redução percentual de 29,72 % em 60 dias de armazenamento.

No ensaio 1, uma redução dos teores de vitamina C também ocorreu com o aumento da duração de armazenamento. No tempo final de armazenamento (120 dias), o valor

reduziu 23,28 % em relação ao valor inicial. Este valor é superior ao reportado por Canuto (2011) que observou que, em 120 dias de armazenamento, o pó de mamão liofilizado contendo 15 % de maltodextrina teve o teor de ácido ascórbico reduzido em 13,8 %. Essa diferença pode ser explicada, pela utilização de embalagem de vidro e sem a incidência da luz na amostra, no estudo do autor citado, o que reduz a troca de gases do alimento com o ambiente e a degradação do ácido ascórbico.

Tabela 18 – Valores médios de ácido ascórbico do pó obtido por liofilização da polpa de cajá, durante o armazenamento (n=3).

Dias	Ácido ascórbico (mg.100g ⁻¹)	
	Ensaio controle	Ensaio 1
0	186,47 ^{Aa} ± 1,63	90,46 ^{Ab} ± 1,87
15	178,45 ^{Ba} ± 1,20	86,67 ^{ABb} ± 3,06
30	164,47 ^{Ca} ± 1,59	87,67 ^{ABb} ± 1,11
45	145,87 ^{Da} ± 1,37	84,48 ^{BCb} ± 1,47
60	135,45 ^{Ea} ± 0,82	80,68 ^{Cb} ± 1,21
75	-	79,47 ^C ± 0,84
90	-	74,07 ^D ± 2,29
105	-	73,33 ^D ± 2,02
120	-	69,40 ^D ± 1,28

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha ou seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Mesmo passados 120 dias de armazenamento, os pós de cajá apresentaram consideráveis teores de vitamina C, podendo ser considerado como uma boa fonte deste nutriente, já que a ingestão diária recomendada (IDR) no Brasil, é de 45 mg (BRASIL, 2005b).

4.4.8 Carotenóides

Os valores de carotenóides, analisados durante o armazenamento, estão apresentados na Tabela 19.

No ensaio controle, o teor de carotenóides apresentou comportamento irregular, sofrendo elevação e redução em seus valores durante os períodos de armazenamento de forma descontínua.

O conteúdo de carotenóides encontrados nos tempos inicial e final não diferiram significativamente a nível de 5 % de probabilidade, em ambos os ensaios.

Tabela 19 – Valores médios de carotenóides do pó obtido por liofilização da polpa de cajá, durante o armazenamento (n=3).

Dias	Carotenóides (mg.100g ⁻¹)	
	Ensaio controle	Ensaio 1
0	8,95 ^{Aa} ± 0,20	2,84 ^{Bb} ± 0,02
15	5,94 ^{Ca} ± 0,55	3,91 ^{Ab} ± 0,17
30	6,81 ^{BCa} ± 0,17	2,18 ^{BCb} ± 0,38
45	7,15 ^{Ba} ± 0,16	2,20 ^{BCb} ± 0,21
60	8,32 ^{Aa} ± 0,60	2,40 ^{Bb} ± 0,41
75	-	2,36 ^B ± 0,74
90	-	2,00 ^{BC} ± 0,08
105	-	1,26 ^C ± 0,31
120	-	1,97 ^{BC} ± 0,25

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha ou seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Em decorrência da presença de insaturações, os carotenóides são sensíveis à luz, temperatura, acidez, bem como reações de oxidação. (AMBRÓSIO; CAMPOS; FARO, 2006). Mas o que se pode observar, é que mesmo utilizando embalagens sem barreira à luz, o pó do ensaio 1 não apresentou redução dos carotenóides com 120 dias de armazenamento.

4.4.9 Polifenóis extraíveis totais (PET)

A análise estatística dos valores obtidos para a variação dos polifenóis extraíveis totais (PET) durante o armazenamento apresentou diferença significativa ($p \leq 0,05$), assim demonstrada na Tabela 20.

No ensaio controle, o conteúdo de polifenóis extraíveis totais encontrados em 60 dias mostrou uma redução de 9,8 % em relação ao conteúdo inicial. No mesmo período, o ensaio 1, apresentou redução de 6,0 %, demonstrando uma vantagem na utilização da maltodextrina na conservação do teor de polifenóis durante o armazenamento. Já no 120º dia, neste mesmo ensaio, foi observada uma redução de 10,7 % em relação ao valor inicial. Analisando o efeito do armazenamento na atividade antioxidante de suco de laranja, Klimezak *et al.* (2007) relatam uma redução do conteúdo de polifenóis totais armazenados por um período de seis meses. Os sucos de laranja armazenados a 28 e 38 °C apresentaram maior degradação dos polifenóis durante o armazenamento quando comparados aos estocados em temperatura de 18 °C. Estes fatores mostraram que tanto a temperatura quanto o tempo de armazenamento também afetam o conteúdo de polifenóis.

Tabela 20 – Valores médios de polifenóis extraíveis totais do pó obtido por liofilização da polpa de cajá, durante o armazenamento (n=3).

Dias	Polifenóis extraíveis totais (mg GAE.100g ⁻¹)	
	Ensaio controle	Ensaio 1
0	266,86 ^{Aa} ± 8,00	98,95 ^{Ab} ± 0,89
15	259,36 ^{Aa} ± 3,89	89,68 ^{Db} ± 1,07
30	254,07 ^{ABa} ± 3,51	91,17 ^{CDb} ± 2,01
45	241,27 ^{Ba} ± 6,48	92,09 ^{BCDb} ± 1,97
60	240,46 ^{Ba} ± 6,42	92,99 ^{BCDb} ± 3,06
75	-	95,85 ^{ABC} ± 2,26
90	-	97,33 ^{AB} ± 1,63
105	-	80,10 ^E ± 0,51
120	-	88,37 ^D ± 2,21

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha ou seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Moura (2010), também observou uma redução em relação ao início do armazenamento no conteúdo de polifenóis extraíveis totais de 12,3 %, quando estudou a estabilidade do pó de acerola proveniente de cultivo orgânico durante 360 dias.

4.4.10 Análise Colorimétrica

4.4.10.1 Luminosidade

Estão representados, na Tabela 21, os valores médios de L* (luminosidade) da polpa de cajá em pó integral e adicionada de maltodextrina, em função do tempo de armazenagem. No ensaio controle, observa-se diminuição no valor da luminosidade com o aumento do tempo, a qual, em termos percentuais e ao final do armazenamento, totalizou 13,7 %, apresentando-se mais escura. Com exceção do dia 0, as reduções foram gradativas e se mantiveram desde o início até o final do armazenamento. Comportamento similar, foi observado por Gomes, Figueirêdo e Queiroz (2004) estudando o armazenamento da polpa de acerola em pó em embalagens de polietileno sob temperatura ambiente, onde houve uma redução da luminosidade em 18,8 % após 60 dias de armazenamento.

Tabela 21 – Valores médios da luminosidade (L^*) do pó obtido por liofilização da polpa de cajá, durante o armazenamento (n=3).

Dias	Luminosidade (L^*)	
	Ensaio controle	Ensaio 1
0	54,43 ^{Ab} ± 0,03	58,41 ^{Aa} ± 0,20
15	54,31 ^{Ab} ± 0,02	59,26 ^{Aa} ± 1,10
30	51,46 ^{Bb} ± 0,04	58,22 ^{Aa} ± 0,07
45	48,76 ^{Cb} ± 0,01	58,51 ^{Aa} ± 0,25
60	46,98 ^{Db} ± 0,10	58,76 ^{Aa} ± 1,31
75	-	57,87 ^A ± 0,05
90	-	58,72 ^A ± 0,77
105	-	58,88 ^A ± 0,46
120	-	58,40 ^A ± 0,57

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha ou seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

No ensaio 1, verificou-se que não houve variações significativas no valor de L^* , sendo o valor encontrado no 120º dia praticamente o mesmo do início do armazenamento. Isso mostra que a presença da maltodextrina no produto evitou o escurecimento da amostra no período do armazenamento.

4.4.10.2 Coordenada a^*

Os valores médios e desvio-padrão para os valores da coordenada a^* dos pós estão apresentados na Tabela 22. De acordo com os dados, para a coordenada a^* , observa-se que em ambos os ensaios houve aumento da intensidade da variável durante o armazenamento. No ensaio controle, a partir do 30º dia, ocorreu um aumento no valor de a^* , significativamente diferentes ao tempo anterior, intensificando a coloração vermelha, o que provocou escurecimento da amostra. No ensaio 1, houve uma menor variação entre os tempos, quando comparado ao ensaio controle, não apresentando diferença significativa após 120 dias de armazenamento.

Silva *et al.* (2005) realizando o acompanhamento do armazenamento do cajá-umbu em pó, verificaram também o aumento deste parâmetro. Segundo Gomes *et al.* (2004), o aumento da intensidade de vermelho (a^*) associado à redução da luminosidade retrata o escurecimento das amostras. O aumento da taxa de escurecimento pode ser justificada e correlacionada à diminuição do teor de ácido ascórbico, que ocorre possivelmente devido ao

processo de degradação oxidativa, caracterizado como escurecimento não enzimático. (SOARES *et al.* 2001).

Tabela 22 – Valores médios da coordenada a* do pó obtido por liofilização da polpa de cajá, durante o armazenamento (n=3).

Dias	Coordenada a*	
	Ensaio controle	Ensaio 1
0	0,44 ^{Da} ± 0,05	-1,35 ^{ABb} ± 0,04
15	0,54 ^{Da} ± 0,01	-1,50 ^{BCb} ± 0,12
30	1,37 ^{Ca} ± 0,03	-1,39 ^{ABb} ± 0,04
45	1,91 ^{Ba} ± 0,02	-1,49 ^{BCb} ± 0,06
60	2,28 ^{Aa} ± 0,08	-1,44 ^{BCb} ± 0,13
75	-	-1,43 ^{BC} ± 0,02
90	-	-1,44 ^{BC} ± 0,08
105	-	-1,60 ^C ± 0,01
120	-	-1,22 ^A ± 0,03

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha ou seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

4.4.10.3 Coordenada b*

Os valores apresentados na Tabela 23 indicam que durante os 120 dias de armazenamento, ambos os ensaios sofreram redução na coordenada b*, demonstrando uma diminuição na coloração amarela.

Tabela 23 – Valores médios da coordenada b* do pó obtido por liofilização da polpa de cajá, durante o armazenamento (n=3).

Dias	Coordenada b*	
	Ensaio controle	Ensaio 1
0	24,09 ^{Aa} ± 0,02	21,34 ^{Ab} ± 0,02
15	25,52 ^{Aa} ± 0,04	21,52 ^{Ab} ± 0,15
30	23,83 ^{Ba} ± 0,02	21,14 ^{Ab} ± 0,03
45	20,37 ^{Ca} ± 0,75	21,26 ^{Aa} ± 0,10
60	19,41 ^{Da} ± 0,03	20,35 ^{BCb} ± 0,11
75	-	20,46 ^B ± 0,17
90	-	19,86 ^D ± 0,37
105	-	19,97 ^{CD} ± 0,13
120	-	19,52 ^D ± 0,08

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha ou seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fazendo-se um comparativo entre o valor de b^* no tempo inicial e com 60 dias de armazenamento, os ensaios controle e 1 apresentaram uma diminuição de 19,4 % e 4,6 %, respectivamente, demonstrando que a adição de maltodextrina contribuiu para a menor variação dos valores no ensaio aplicado. Com 120 dias de armazenamento, o ensaio 1 apresentou uma diminuição de 8,53% do valor inicial. Estes valores foram inferiores ao reportado por Reis *et al.* (2006) para manga desidratada que verificaram uma redução média de 29,0 %.

Ramos *et al.* (2008) atribui a redução da intensidade do amarelo (valor b^*), do abacaxi desidratado em estufa e acondicionado em embalagem de polietileno transparente, à degradação de β -caroteno presente na amostra.

4.4.10.4 Hue (H^*) e Chroma (c^*)

De acordo com a Tabela 24, durante todos os dias analisados, foi observada uma redução estatisticamente significativa nas amostras do ensaio controle, o que permite afirmar que houve uma redução do ângulo de tonalidade (H^*), ocorrendo neste caso, redução da coloração amarela. Em termos percentuais, essa redução foi de 11,8 % no final do armazenamento, quando comparado ao seu valor inicial.

No ensaio 1, não houve diferença significativa entre os valores final e inicial, o que demonstra que não ocorreu diminuição da tonalidade amarela da amostra analisada.

Tabela 24 – Valores médios do ângulo Hue (H^*) do pó obtido por liofilização da polpa de cajá, durante o armazenamento (n=3).

Dias	Ângulo Hue (H^*)	
	Ensaio controle	Ensaio 1
0	93,41 ^{Ab} ± 0,04	93,71 ^{BCa} ± 0,09
15	88,80 ^{Bb} ± 0,03	93,99 ^{ABCa} ± 0,32
30	86,73 ^{Cb} ± 0,05	93,81 ^{BCa} ± 0,04
45	82,68 ^{Db} ± 0,04	94,00 ^{ABCa} ± 0,15
60	82,39 ^{Eb} ± 0,12	94,15 ^{ABa} ± 0,34
75	-	93,99 ^{ABC} ± 0,06
90	-	94,15 ^{C^{AB}} ± 0,24
105	-	94,50 ^A ± 0,06
120	-	93,59 ^C ± 0,10

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha ou seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Quanto à saturação da cor analisada, ambos os ensaios apresentaram diminuição da saturação. Em 60 dias de armazenamento, as reduções observadas no ensaio controle e no ensaio 1 foram de 21,0 e 6,1 %, respectivamente. Isso demonstra que a adição de maltodextrina contribui para uma menor redução da saturação da cor do pó. No final do armazenamento do ensaio 1, houve diminuição de 8,38%, comparado ao valor encontrado inicialmente.

Tabela 25 – Valores médios de chroma (C*) do pó obtido por liofilização da polpa de cajá, durante o armazenamento (n=3).

Dias	Chroma (C*)	
	Ensaio controle	Ensaio 1
0	24,74 ^{Aa} ± 0,29	21,35 ^{Ab} ± 0,02
15	23,53 ^{Ba} ± 0,04	21,58 ^{Ab} ± 0,15
30	23,83 ^{ABa} ± 0,06	21,19 ^{Ab} ± 0,03
45	20,73 ^{Cb} ± 0,78	21,34 ^{Aa} ± 0,10
60	19,54 ^{Db} ± 0,05	20,04 ^{BCDa} ± 0,11
75	-	20,51 ^B ± 0,17
90	-	19,91 ^{CD} ± 0,37
105	-	20,42 ^{BD} ± 0,13
120	-	19,56 ^D ± 0,08

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha ou seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

5.4.11 Higroscopicidade

Estão representados, na Tabela 26, os valores médios de higroscopicidade da polpa de cajá em pó integral e adicionada de maltodextrina, em função do tempo de armazenagem.

Foi verificado que a higroscopicidade dos pós aumentou em ambos os ensaios quando comparados o tempo final ao tempo inicial, mas não houve diferença significativa no ensaio controle.

Tabela 26 – Valores médios e desvios-padrão da higroscopicidade do pó obtido por liofilização da polpa de cajá, durante o armazenamento (n=3).

Dias	Higroscopicidade (%)	
	Ensaio controle	Ensaio 1
0	12,93 ^{Ba} ± 0,40	8,51 ^{Cb} ± 0,66
15	15,44 ^{Aa} ± 0,61	9,53 ^{BCb} ± 0,45
30	14,27 ^{ABa} ± 0,93	11,45 ^{Ab} ± 0,77
45	13,67 ^{Ba} ± 0,33	8,96 ^{BCb} ± 0,31
60	13,78 ^{Ba} ± 0,38	9,53 ^{BCb} ± 0,09
75	-	10,29 ^{ABC} ± 1,20
90	-	9,45 ^{BC} ± 0,38
105	-	10,72 ^{AB} ± 0,82
120	-	10,40 ^{AB} ± 0,51

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha ou seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

A higroscopicidade do ensaio controle variou de 12,93 % no tempo inicial à 15,44 % no 30° dia. Já no ensaio 1 esses valores foram de 8,51% à 10,72. Nos 120 dias de armazenamento, o ensaio 1 apresentou um aumento de 22,20% para a variável avaliada.

4.5 Isotermas de adsorção

Na Tabela 27, encontram-se os parâmetros dos modelos, os erros médios relativos e os coeficientes de correlação de cada ajuste, onde a temperatura variou de 25 a 40°C no pó de cajá integral liofilizado e no pó microencapsulado com 17 % de maltodextrina.

Os modelos matemáticos utilizados tiveram coeficientes de determinação (R^2), superiores a 96 %, com exceção apenas, no modelo de BET para temperatura de 35°C no ensaio 1.

Com exceção dos modelos de BET e Oswin no ensaio1, e Henderson no ensaio controle, os demais modelos tiveram erro relativo abaixo de 10 %. Segundo Silva *et al.* (2006) pode-se considerar um modelo adequado para descrever um fenômeno em estudo quando este obtiver um erro relativo abaixo de 10 %, sendo este parâmetro utilizado para definir os modelos que melhor se adéquam neste estudo.

Tabela 27 – Resultados dos ajustes dos dados experimentais das isotermas de adsorção dos ensaios controle e 1.

Modelo	Ensaio	Temperatura (°C)	Parâmetros			R (%)	E (%)
			X _{mG}	C _G	K		
GAB	Ensaio Controle	25	0,093157	3,706509	0,996546	99,89	4,93
		30	0,097170	3,556875	0,991925	99,88	5,78
		35	0,103441	3,175658	0,983965	99,88	6,08
		40	0,115654	2,490971	0,970578	99,83	7,86
	Ensaio 1	25	0,180074	0,638306	0,833847	99,85	7,67
		30	0,185907	0,633639	0,836847	99,84	8,93
		35	0,160242	0,727058	0,872862	99,82	9,42
		40	0,162242	0,709725	0,889029	99,83	8,18
BET	Ensaio Controle		X _{mB}	C _B	n		
		25	0,082315	5,329566	1,299186	99,90	4,53
		30	0,099812	3,570052	1,368559	99,88	5,66
		35	0,129597	2,241562	1,466524	99,86	6,39
	Ensaio 1	40	0,144500	1,933333	1,494833	99,77	8,48
		25	0,104472	1,293306	1,451972	99,48	13,75
		30	0,104722	1,269222	1,402389	99,46	14,12
		35	0,204056	0,200556	0,357389	94,28	26,22
Henderson	Ensaio Controle	40	0,087000	1,508833	1,156333	99,60	11,12
		25	a	b			
		30	0,686000	2,753875		99,29	12,95
		35	0,694062	2,740687		99,39	12,25
	Ensaio 1	40	0,707375	2,741625		99,45	12,05
		25	0,717877	2,717949		99,52	10,47
		30	0,744750	3,916500		99,89	6,02
		35	0,732547	3,740203		99,90	6,57
Oswin	Ensaio Controle	40	0,714766	3,532734		99,91	6,14
		25	0,692633	3,291305		99,92	4,18
		30	a	b			
		35	0,142730	0,808923		99,82	5,79
	Ensaio 1	40	0,147041	0,799790		99,85	6,55
		25	0,151702	0,787968		99,87	6,55
		30	0,155875	0,785313		99,83	7,77
		35	0,155875	0,785313		99,83	7,77
1	25	0,097339	0,815547		99,55	13,62	
	30	0,099413	0,838046		99,55	13,98	
	35	0,101421	0,869290		99,60	13,21	
	40	0,104474	0,907042		99,65	10,93	

Portanto, para o ensaio controle os modelos de BET forneceu o melhor ajuste para temperatura de 25 e 30 °C, GAB para 35 °C e Oswin para 40 °C, pois obtiveram os menores erros médios. Já no ensaio 1, o modelo de Henderson foi o mais adequado para a predição das isotermas de atividade de água do pó de cajá liofilizado com 17 % de maltodextrina por apresentar maior coeficiente de determinação e menor valor de erro médio relativo. Estudando a atividade de água do cajá em pó microencapsulado com 15 % de maltodextrina, Silva *et al.* (2006) citam o modelo de Henderson modificado por Cavalcanti-Mata como o modelo que melhor representou os dados experimentais para este produto.

Quanto ao valor de X_m (umidade na monocamada) calculado pelo modelos de GAB e BET, o ensaio 1 apresentou maiores valores para este parâmetro em relação ao ensaio controle. O parâmetro X_m corresponde à quantidade de água fortemente adsorvida a sítios específicos na superfície dos alimentos e é considerado um valor crítico, acima do qual, a taxa de algumas reações de degradação aumentam e a estabilidade da matriz alimentar diminui. (COMUNIAN *et al.*, 2011). O ensaio 1 apresentou-se mais estável quanto à exposição à umidade relativa, devido apresentar os maiores valores de umidade na monocamada de GAB (X_{mg}). Houve também aumento na umidade presente na monocamada com o aumento da temperatura em ambos os ensaios, com exceção do ensaio 1 no modelo de GAB. Este não é um comportamento comum e, segundo Ferreira e Pena (2003), pode ser explicado por modificações na estrutura física do produto, devido ao aumento da temperatura, disponibilizando maior número de sítios ativos com afinidade por moléculas de água, ou um aumento na solubilidade de solutos intrínsecos ao produto, fazendo com que maior número de moléculas de água fique retido na monocamada.

O valor da constante K representa uma medida das interações entre as moléculas de multicamadas com o adsorvente. (CATELAM; TRINDADE; ROMERO, 2011). Uma redução nesta constante foi observada com a adição de maltodextrina. O mesmo comportamento foi citado por Canuto (2011), onde os valores foram reduzidos com o aumento da concentração de maltodextrina.

Todos os parâmetros mencionados para os modelos de Henderson e de Oswin (Tabela 4) se encontram dentro do esperado, uma vez que Blahovec (2004) afirma que o modelo de Henderson deve apresentar $a > 0$ e $b \geq 1$ e, para o modelo de Oswin, $a > 0$ e $1 \geq b > 0$. Ter referidos parâmetros dentro desses intervalos, indica que não há ponto de inflexão na curva e, sendo assim, não há mudanças na concavidade das funções; logo, esses parâmetros possuem consistência matemática e física (Alcântara *et al.*, 2009).

Nos gráficos 2 a 5, estão apresentadas as isotermas de adsorção de umidade para o pó de cajá do ensaio controle nas temperaturas de 25,30, 35 e 40 °C, respectivamente. As isotermas apresentaram forma característica do tipo III, de acordo com a classificação da IUPAC (1985). As mesmas formas de isotermas foram obtidas por Silva, Silva e Pena (2008), estudando o comportamento higroscópico do açaí e cupuaçu em pó, onde justificam que este comportamento é característico de materiais ricos em carboidratos.

Gráfico 2 – Isotermas de adsorção do Ensaio controle à 25 °C para diferentes modelos matemáticos.

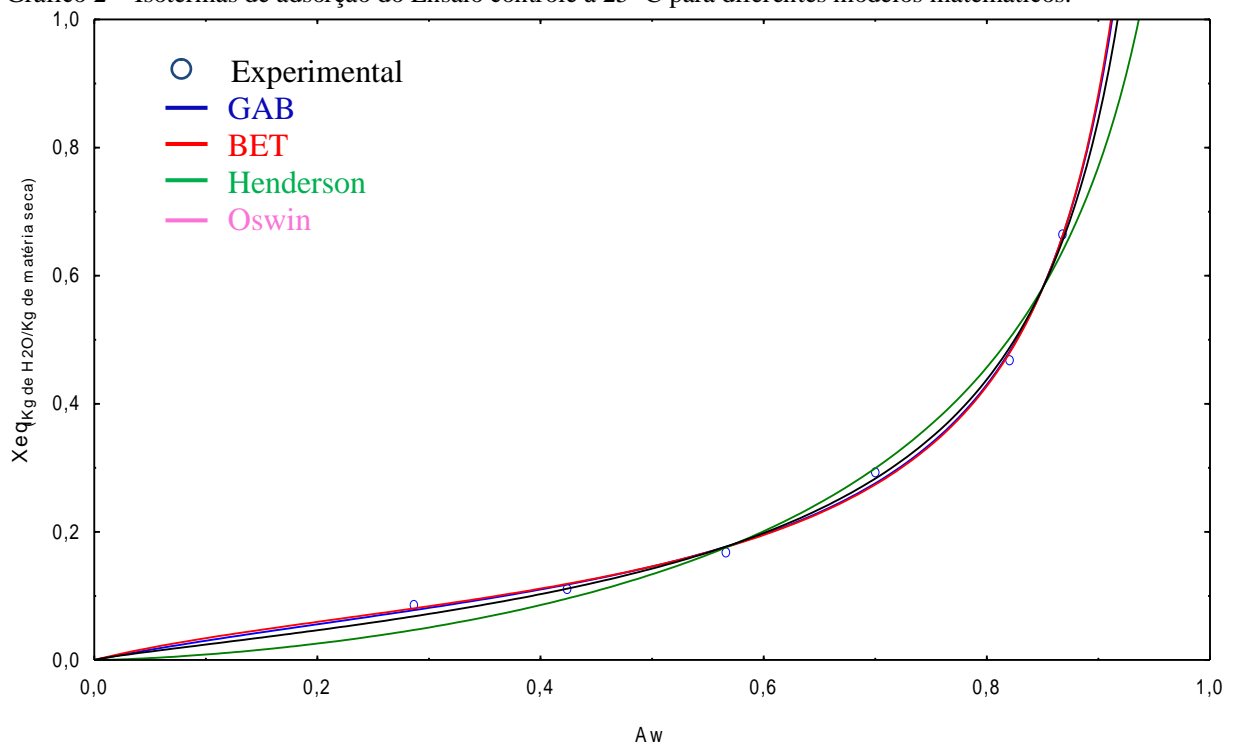


Gráfico 3 – Isotermas de adsorção do Ensaio controle à 30 °C para diferentes modelos matemáticos.

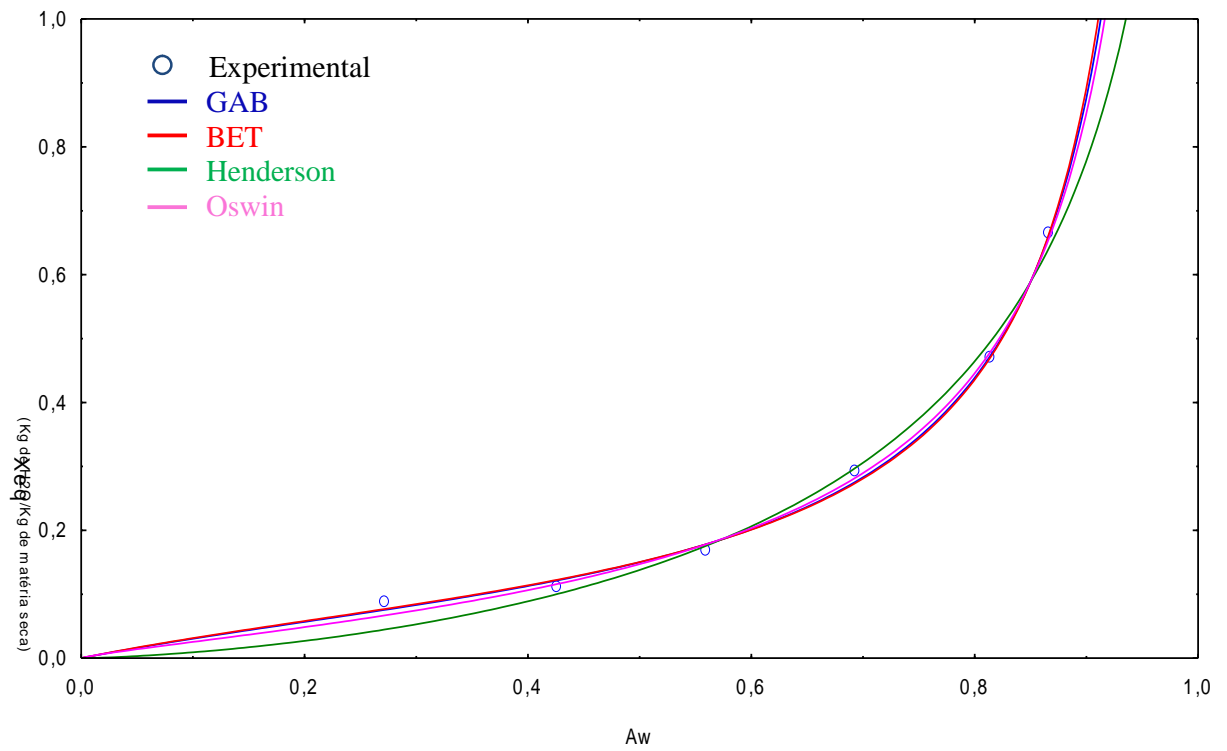


Gráfico 4 – Isotermas de adsorção do Ensaio controle à 35 °C para diferentes modelos matemáticos.

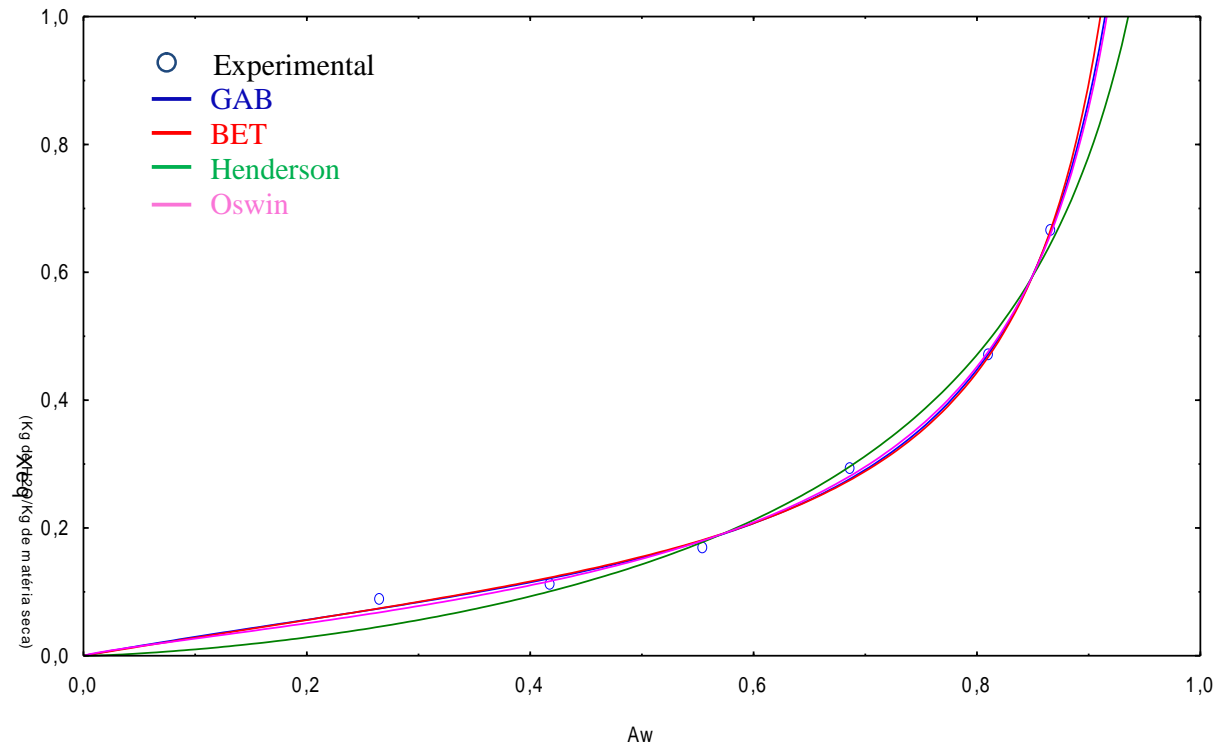
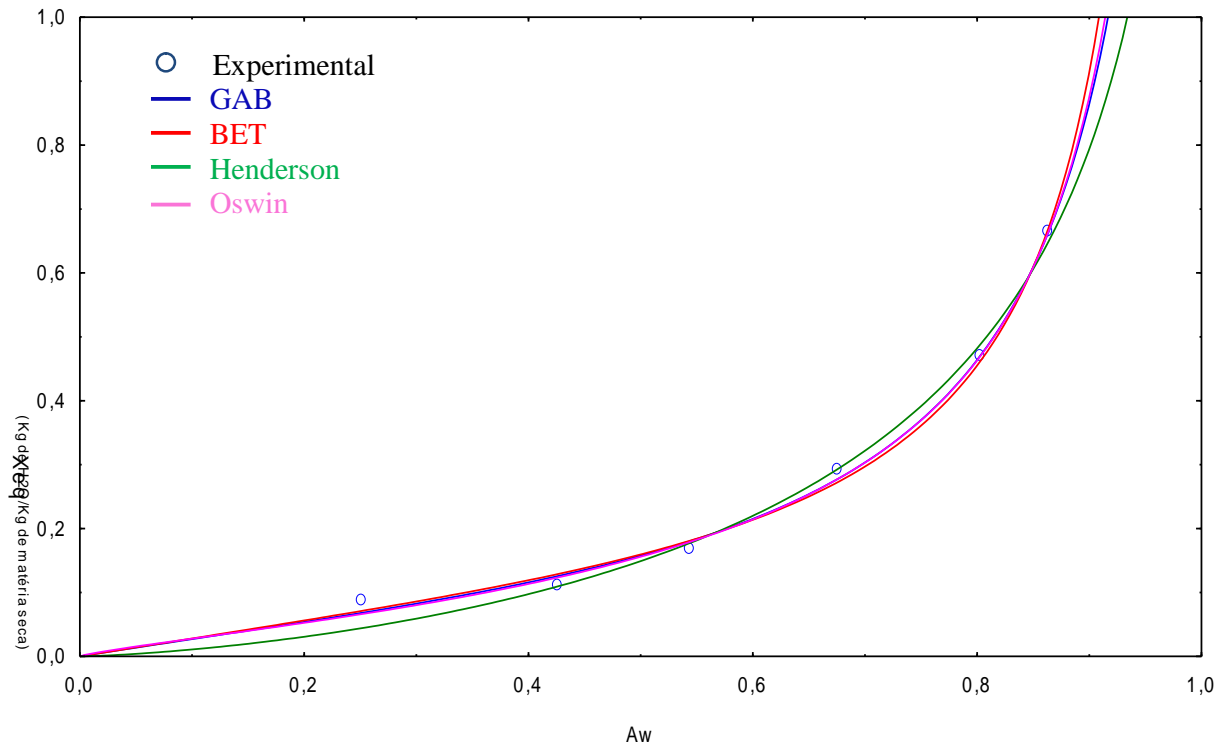


Gráfico 5 – Isotermas de adsorção do Ensaio controle à 40 °C para diferentes modelos matemáticos.



As isotermas de adsorção do ensaio 1, assim como as do ensaio controle, podem ser classificadas como sendo do tipo III segundo IUPAC (1985), como representadas nos Gráficos 6 a 9. Em ambos os ensaios, ocorreu um aumento os valores experimentais da umidade de equilíbrio (X_{eq}) dos pós de cajá, com o aumento da atividade de água em temperatura constante. A partir de atividade de água em torno de 0,8, os modelos comportam-se diferentemente entre si.

Gráfico 6 – Isotermas de adsorção do Ensaio 1 à 25 °C para diferentes modelos matemáticos.

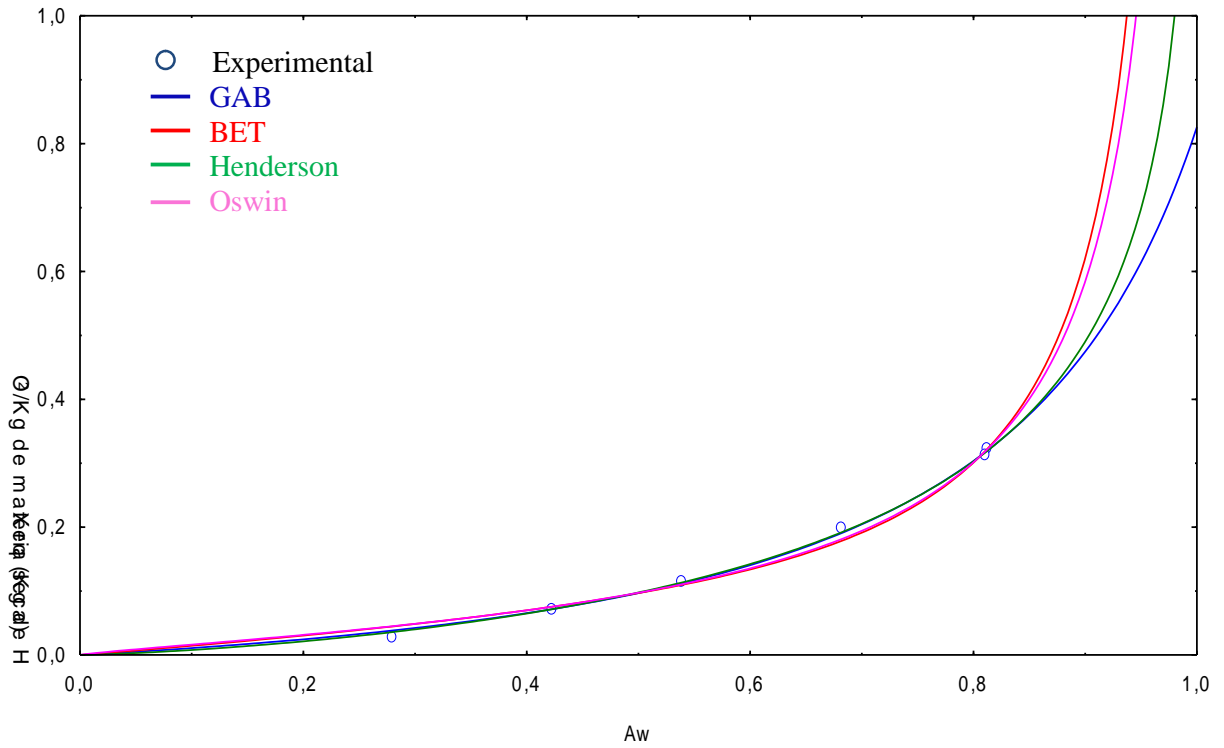


Gráfico 7 – Isotermas de adsorção do Ensaio 1 à 30 °C para diferentes modelos matemáticos.

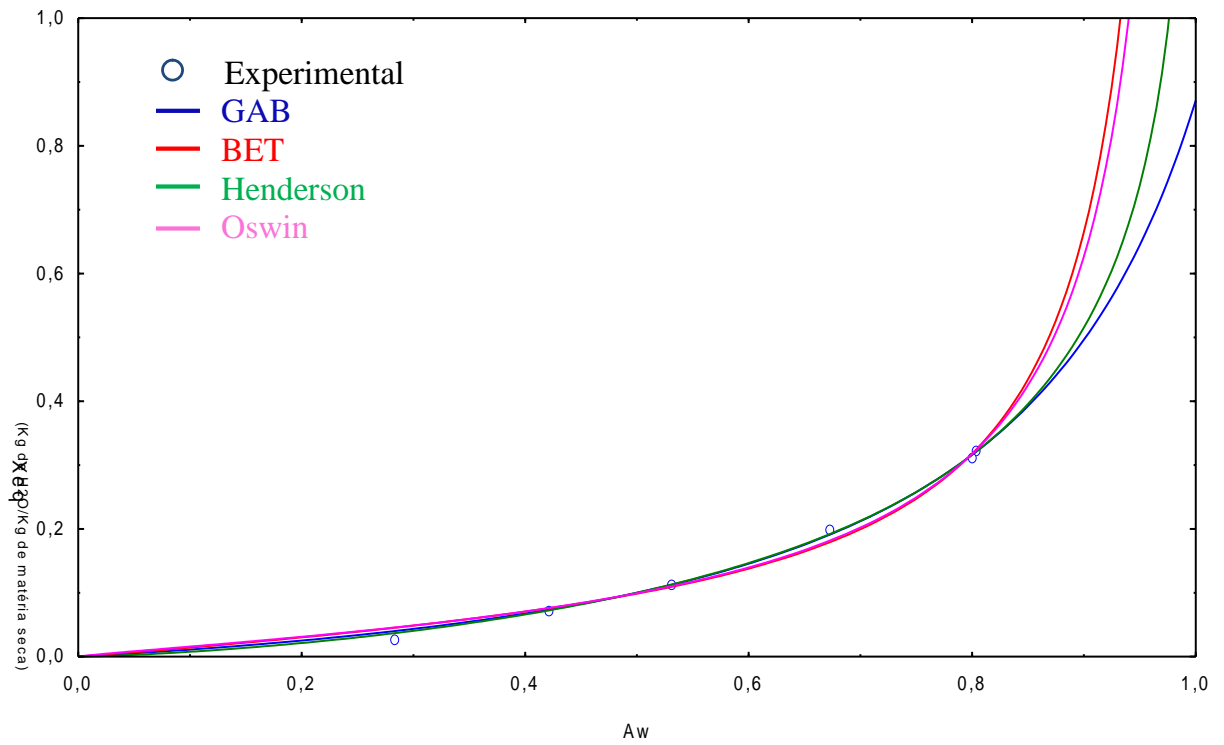


Gráfico 8 – Isotermas de adsorção do Ensaio 1 à 35°C para diferentes modelos matemáticos.

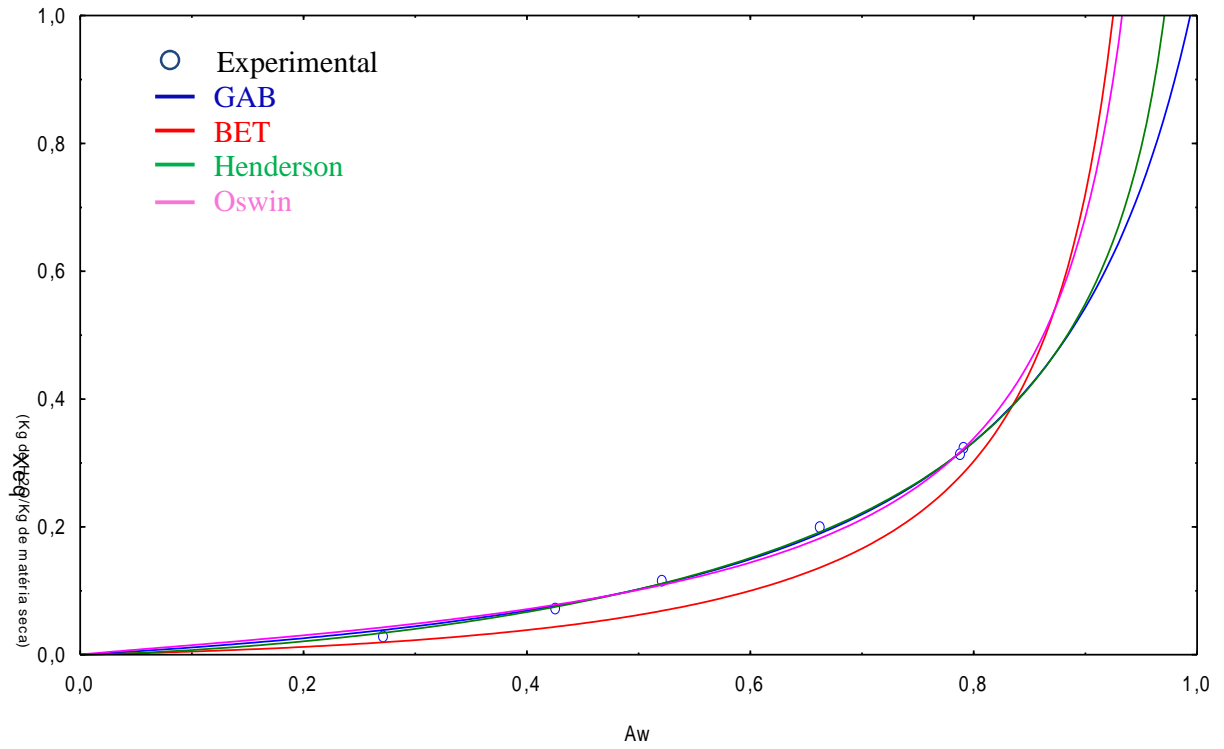
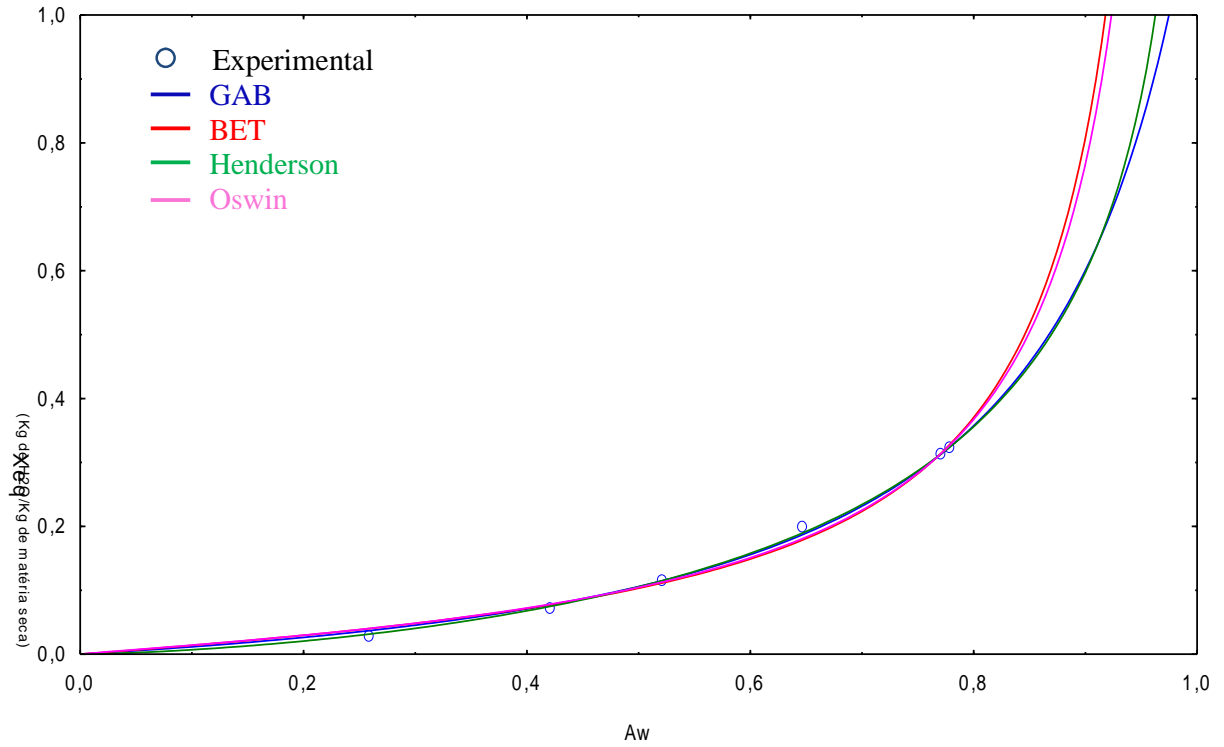


Gráfico 9 – Isotermas de adsorção do Ensaio 1 à 40 °C para diferentes modelos matemáticos.



No Ensaio controle, a partir de uma atividade de água em torno de 0,45 a temperatura começa a exercer efeito sobre as isotermas, observando-se um aumento da umidade de equilíbrio com o aumento da temperatura (Gráfico 10). Enquanto no Ensaio 1, o efeito da temperatura foi evidenciado a partir de uma atividade de água em torno de 0,55 (Gráfico 11). Essa diferença pode ocorrer devido à adição de maltodextrina ao produto.

A partir destes pontos observa-se que as isotermas passam a apresentar um efeito exponencial, com o aumento progressivo da quantidade de umidade retida pelos produtos. Isto mostra que torna-se necessário um maior cuidado no armazenamento em ambientes com umidade relativa superiores em torno de 50 %, recomendando-se a utilização de embalagens que ofereçam resistência à passagem de umidade, evitando o ganho excessivo de umidade pelos produtos.

Gráfico 10 – Aplicação dos melhores modelos matemáticos das isotermas de adsorção do ensaio Controle em diferentes temperaturas.

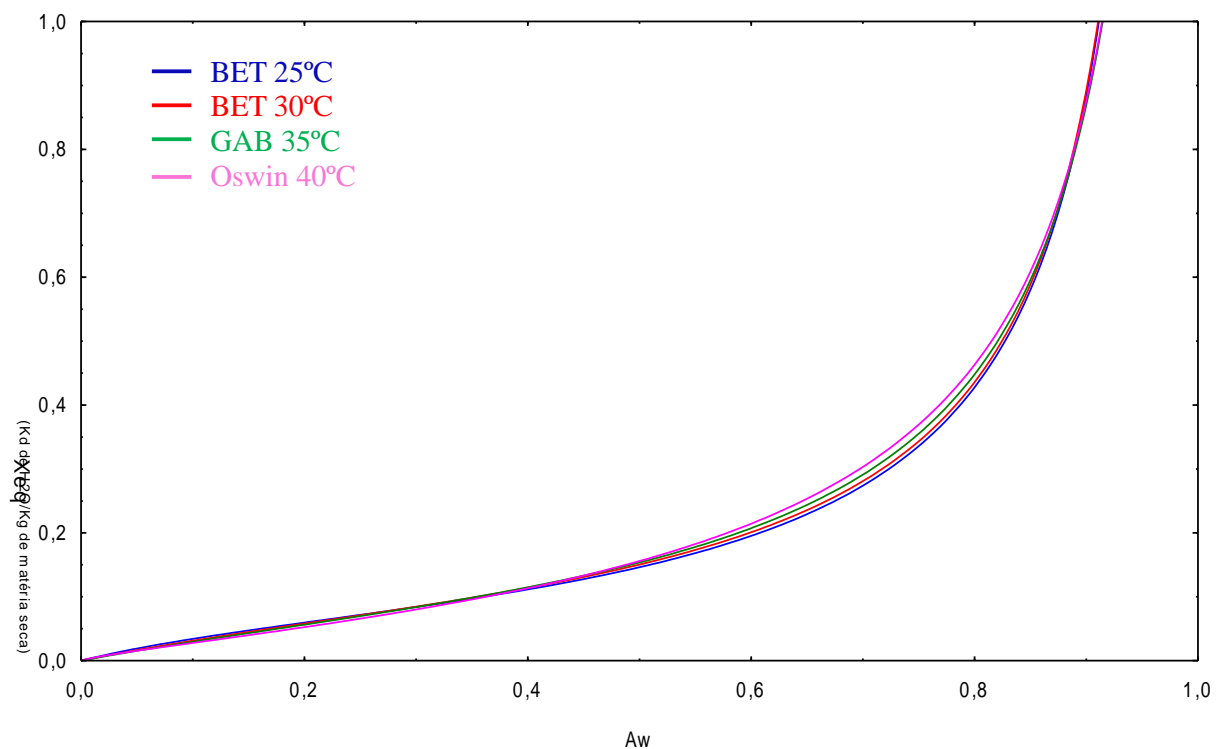
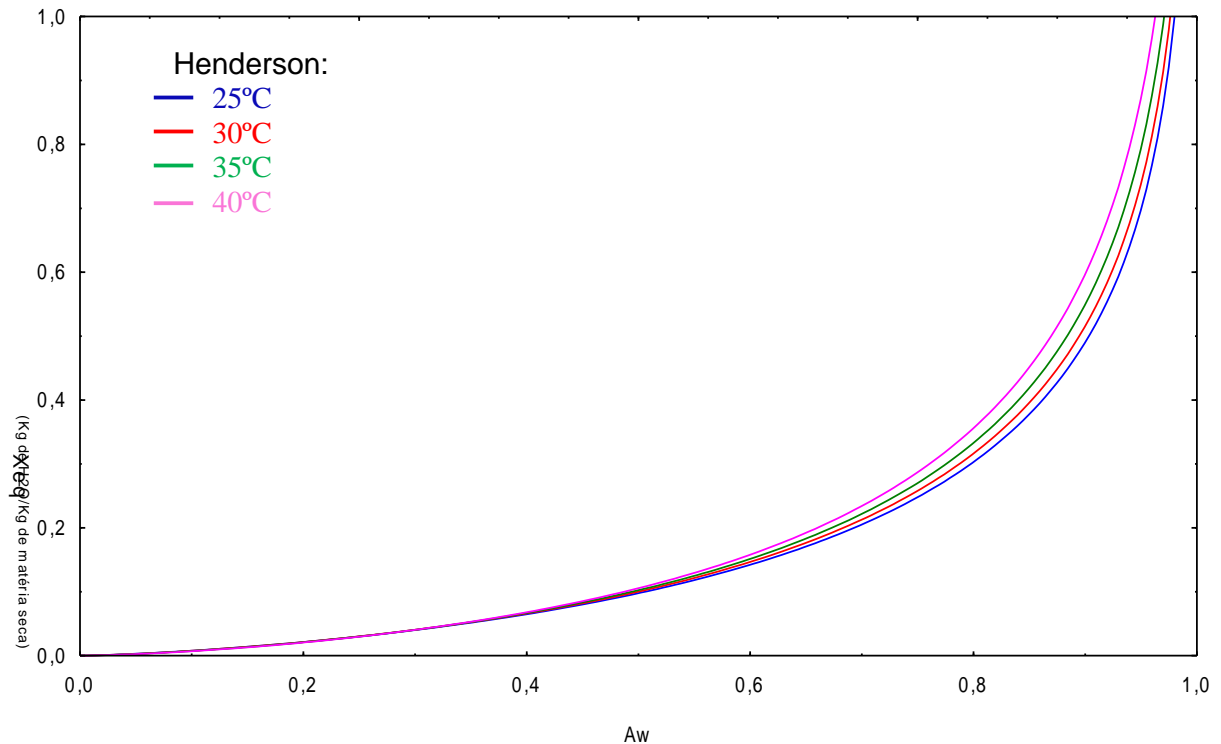


Gráfico 11 – Aplicação do melhor modelo matemático das isotermas de adsorção do ensaio 1 em diferentes temperaturas.



Determinando a higroscopicidade do cajá em pó, com 10% de maltodextrina e 5 % de amido modificado, por meio da secagem por spray dryer, Anselmo *et al.* (2006) relataram que quanto menor a temperatura, para uma mesma umidade relativa do ar ou atividade de água, maior foi o teor de água do cajá em pó, assim como também no estudo de Catelam, Trindade e Romero (2011), que utilizaram maltodextrina e outros aditivos na desidratação da polpa de maracujá por spray dryer e liofilização. Este comportamento foi evidenciado nos ensaios até atividade de água próxima a 0,4, onde a partir desta faixa, mudou tal comportamento, ocorrendo um aumento na umidade de equilíbrio com o aumento da temperatura.

Analisando os as curvas apresentadas nos Gráficos 12 a 15, observa-se que em uma mesma atividade de água os valores de X_{eq} obtidos no ensaio 1, são menores que os do ensaio controle, sendo este comportamento evidenciado em todas as faixas de atividade de água. Acompanhando o comportamento do mamão em pó liofilizado, Canuto (2011) observou os valores de X_{eq} decresceram com o aumento da concentração de maltodextrina, demonstrando assim que a adição deste agente carreador reduz a higroscopicidade proporcionalmente à sua concentração. Wang e Zhou (2012) também atribuem a redução da higroscopicidade do pó de molho de soja à adição de maltodextrina ao produto.

As isotermas dos pós de cajá apresentaram um comportamento semelhante entre os ensaios independente da temperatura analisada.

Gráfico 12 – Isotermas de adsorção à 25 °C: melhor modelo em cada ensaio.

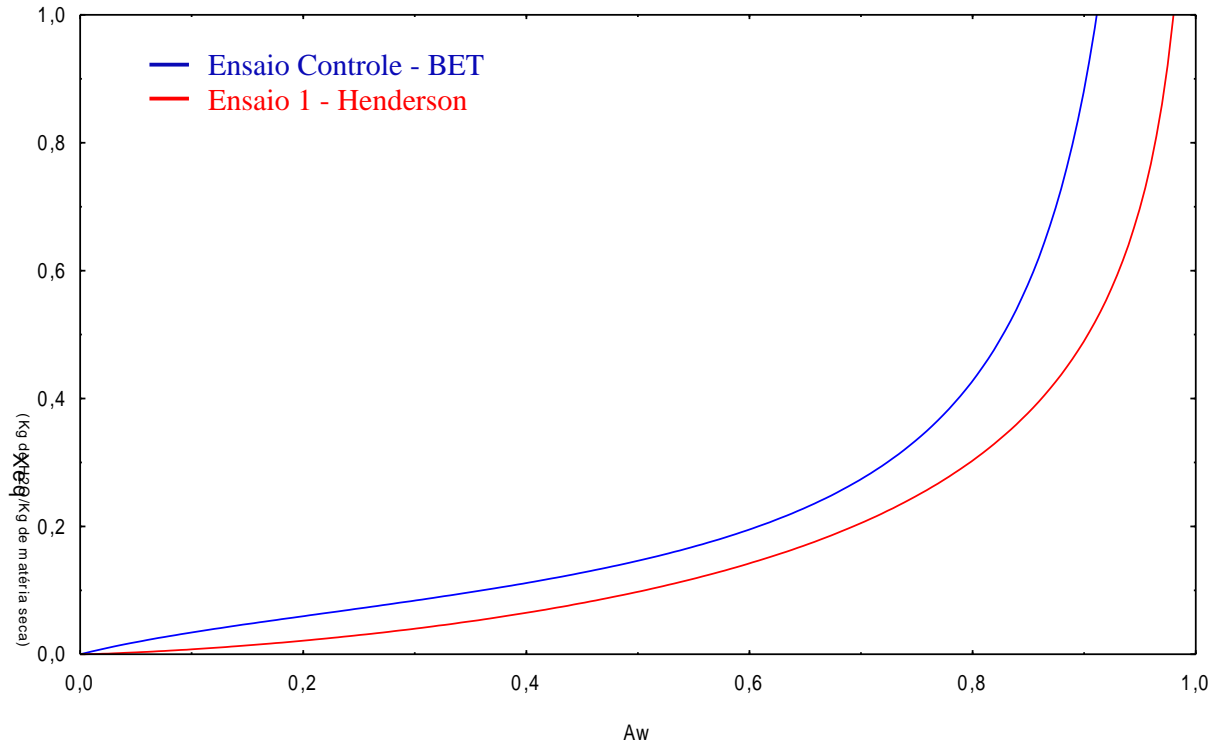


Gráfico 13 - Isotermas de adsorção à 30 °C: melhor modelo em cada ensaio.

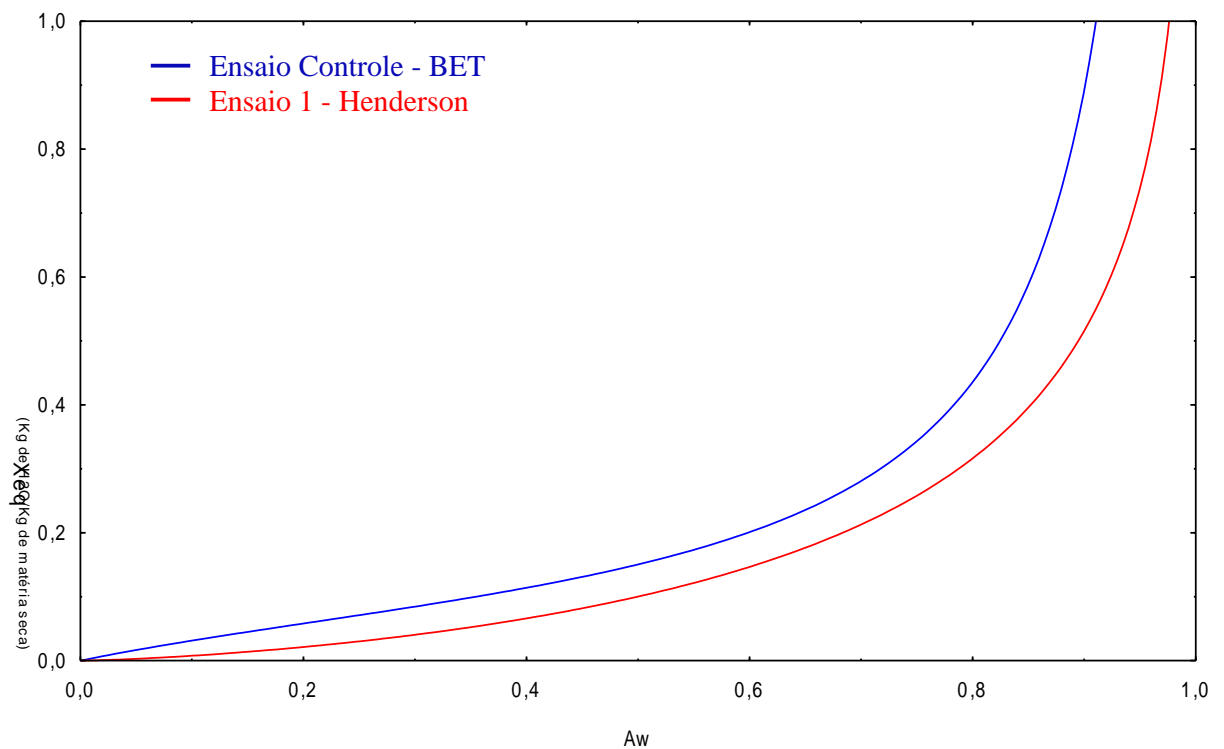


Gráfico 14 - Isotermas de adsorção à 35 °C: melhor modelo em cada ensaio.

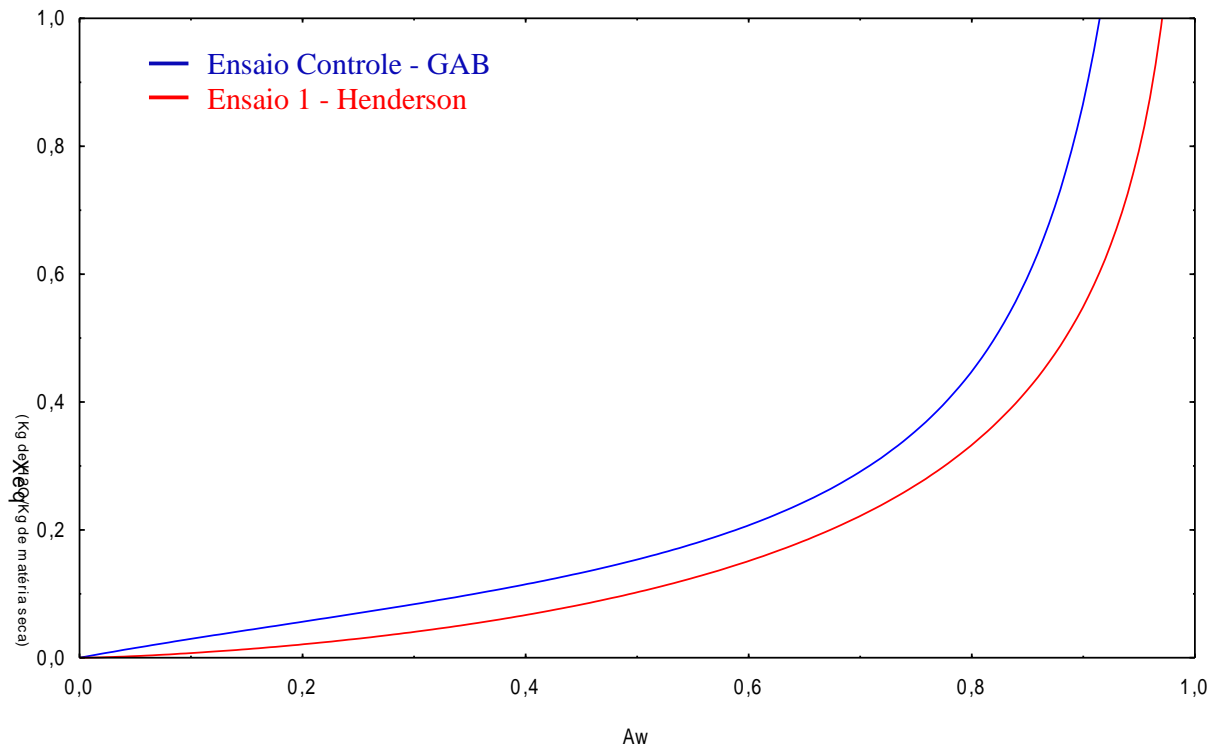
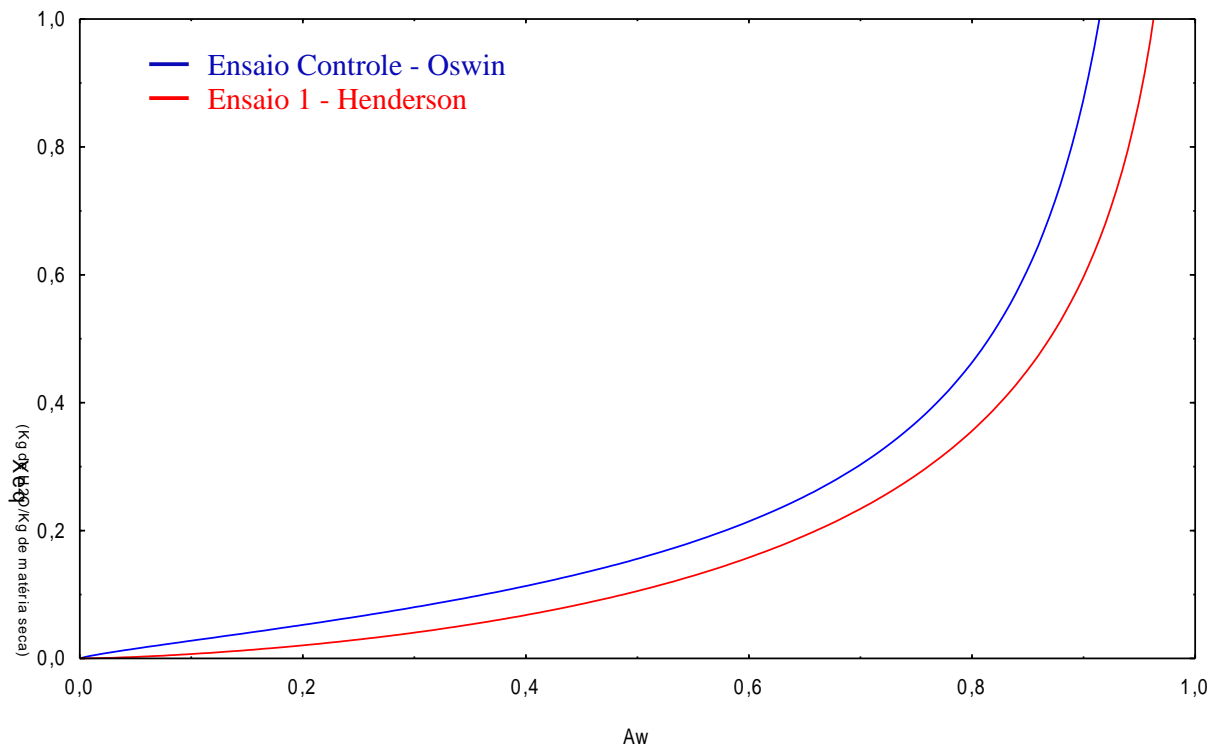


Gráfico 15 – Isotermas de adsorção à 40° C: melhor modelo em cada ensaio.



5 CONCLUSÃO

O ensaio 1 foi o que apresentou menor umidade, sendo utilizadas no processo 24 horas de liofilização e 17 % de maltodextrina .

A polpa de cajá pode ser considerada ácida devido seu baixo pH e elevada acidez, com consideráveis teores de carotenóides totais e ácido ascórbico.

O pó de cajá liofilizado, em ambos os ensaios, apresentou baixos valores de umidade e atividade de água. E quanto às características físicas, o ensaio 1, obteve menor higroscopicidade e grau de “caking”.

O ensaio controle apresentou estabilidade de 60 dias de armazenamento, diferentemente do ensaio 1, que manteve boas características em todo período estudado.

Durante o armazenamento foi observado aumentos na atividade de água, umidade, valor da coordenada a^* e higroscopicidade, em ambos os ensaios. Já em conteúdos como polifenóis extraíveis totais, ácido ascórbico, açúcares redutores, acidez total titulável, houve redução destes valores em função do tempo.

A utilização do agente adjuvante proporcionou menores perdas percentuais de constituintes físico-químicos, mantendo uma melhor estabilidade quando comparado ao pó integral.

As isotermas de adsorção para o cajá em pó apresentaram um comportamento típico de isotermas do tipo III.

Os modelos de BET, GAB e Oswin podem ser utilizados com boa precisão na predição dos dados de adsorção do pó de cajá integral (Ensaio controle), enquanto o modelo de Henderson apresentou-se como o melhor modelo matemático para ajustes nas isotermas do pó de cajá adicionado de maltodextrina (Ensaio 1).

REFERÊNCIAS

AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira**. FNP Consultoria e Comércio: São Paulo, 2008. 136 p.

ALBINO, E. *et al.* Análise da concentração de potássio em alguns frutos cultivados no nordeste. **Higiene Alimentar**. v.13, n.62, p.34-36, 1999.

ALCÂNTARA *et al.* Isotermas de adsorção do pedúnculo seco do caju. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.13, n.1, p. 81-87, 2009.

ALMEIDA, F.A.C.; FONSECA, K.S.; GOUVEIA, J.P.G. Influência da embalagem e do local de armazenamento na qualidade fisiológica de semente de gergelim. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v.3, n.2, p. 195-2001, 1999.

ALMEIDA, F.A.C. *et al.* Comparação de modelos matemáticos do calor isostérico de dessecção em polpa de goiaba. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa-MG, v.29, n.1, p. 28-34, 2004.

ALVES, C.C.O. *et al.* Estabilidade da microestrutura e do teor de carotenóides de pós obtidos da polpa de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) liofilizada. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.28, n.4, p.830-839, 2008.

ALVES, R.E. **Benefícios para a saúde: nova tendência para a fruticultura tropical**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2006.

AMBRÓSIO; C.L.B. CAMPOS., F.A.C.S., FARO, Z.P. Carotenóides como alternativa contra a hipovitaminose A. **Revista Nutrição**, Campinas, v.19, n.2, p.233-243, 2006.

ANSELMO, G. C. S. *et al.* Determinação da higroscopicidade do cajá em pó por meio da secagem por atomização. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, v. 06, n. 02, p. 58-65, 2006.

ARGADOÑA, E.J.S. **Goiabas desidratadas osmoticamente e secas: Avaliação de um sistema osmótico semicontínuo, da secagem e da qualidade**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2005.

AZEREDO, H.M.C. **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. – Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2004. 195p

BARBANTI, D.; MASTROCOLA, D.; SEVERINI, C. Air drying of plums. A comparison among twelve cultivars. **Sciences des Aliments**, n. 14, p. 61 – 73, 1994.

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

BORA, P.S. *et al.* Changes in Physical and Chemical Composition during Maturation of Yellow Mombin (*Spondias mombin*) Fruits. **Food Chemistry**. v.41, p.341-348, 1991.

BOSCO, J. *et al.* **A cultura da cajazeira.** João Pessoa: EMEPA, 2000. 29p.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa Nº 1 de janeiro de 2000, que dispõe sobre o Regulamento Técnico geral para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpa de fruta. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2000.

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

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005, que dispõe sobre o Regulamento Técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais, **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2005b.

BRASILEIRO, I.M.N. **Cinética de secagem de acerola in natura em monocamada.** Campina Grande: UFPB, 1999. 80p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1999.

BRENNAN, J.G. **Food Dehydration:** a dictionary and guide. Woodhead Publishing, New York, USA, 1994, 196 p.

BRUNAUER, S.; EMMET, T.H.; TELLER, F. Adsorption of gases in multimolecular layers. **Journal of American Chemistry Society**, v.60, n.2, p.309, 1938.

CANUTO, G.A.B. *et al.* Caracterização físico-química de polpas de frutos da Amazônia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 32, n. 4, p. 1196-1205, 2010.

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

CARVALHO, A.V. *et al.* Avaliação do efeito da combinação de pectina, gelatina e alginato de sódio sobre as características de gel de fruta estruturada a partir de “mix” de polpa de cajá e mamão, por meio da metodologia de superfície de resposta. **Acta Amazônica**. Manaus - AM, v. 41, n. 2. 2011.

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

CAVALCANTE, L.F. *et al.* Componentes qualitativos do cajá em sete municípios do brejo Paraibano. **Acta Scientiarum**. Maringá - PR, v. 31, n. 4, p. 627-632, 2009.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: Fisiologia e manuseio**. [s.n.]. Lavras: ESAL/FAEPE, 1990. 320 p.

COMUNIAN, T.A. *et al.* Assessment of production efficiency, physicochemical properties and storage stability of spray-dried chlorophyllide, a natural food colourant, using gum Arabic, maltodextrin and soy protein isolate-based carrier systems. **International Journal of Food Science and Technology**. v. 46, p. 1259-1265. 2011.

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

SILVA, Y.C. *et al.* Atividade de água do cajá em pó microencapsulado com diferentes materiais de parede. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.8, n.1, p.53-60, 2006.

DINCER, I.; DOST, S. An analytical model for moisture diffusion in solid objects during drying. **Drying Technology**, vol. 13, n. 1/2, p. 425-435, 1995.

DITCHFIELD, C. **Estudo dos métodos para a medida da atividade de água**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

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

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

FIORAVANÇO, J.C.; PAIVA, M.C. Competitividade e fruticultura brasileira. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.32, n.7, p. 24-40, 2002.

FRANCIS, F.J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. (Ed). **Anthocyanins as food colors**. New York: Academic Press, p. 181-207, 1982.

FRANCO, G. **Tabela de Composição Química dos Alimentos**. 9ª ed. Rio de Janeiro: Atheneu Editora, 1992. 307p.

FRESH PLAZA. **Brasil é o terceiro maior produtor de frutas do mundo**, 2009. Disponível em: < http://www.freshplaza.es/news_detail.asp?id=23223>. Acesso em: 28 jul. 2010.

GADELHA A.J.F. *et al.* Avaliação de parâmetros de qualidade físico-químicos de polpas congeladas de abacaxi, acerola, cajá e caju. **Revista Caatinga**, Mossoró-RN, v. 22, n. 1, p. 115-118, 2009.

GALDINO, P.O. *et al.* Avaliação da estabilidade da polpa de umbu em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande-PB, v. 5, n. 1, p. 73-80, 2003

GÁLVEZ, A. V.; ARAVENA, E. L.; MONDACA, R. L. Isotermas de adsorción em

harina de maíz (*Zea mays L.*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas-SP, v. 26, n. 4, p. 821-827, out.-dez., 2006.

GEA Niro Research Laboratory. **GEA Niro analytical methods**. Disponível em: <<http://www.niro.com/methods>>. Acesso em: 12 dez. 2010.

GOMES, P.M.A., FIGUEIRÊDO, R.M.F., QUEIROZ, A.J.M. Armazenamento da polpa de acerola em pó a temperatura ambiente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas-SP, n. 24, v. 3, p. 384-389, 2004.

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

GOUVEIA, J.P.G. *et al.* Determinação das curvas de secagem em frutos de cajá. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande-PB, v. especial, n. 1, p. 65-68, 2003.

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

GURJÃO, K.C.O. **Desenvolvimento, armazenamento e secagem de tamarindo (*Tamarindus indica L.*)**. 2006. Tese (Doutorado em Agronomia) – Departamento de Fitotecnia e Ciências Ambientais. Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2006.

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

HUNTERLAB. **Color Measurement of Translucent Materials**. Hunter Associates Laboratory, Incorporated 9529. Lee Highway, Fairfax Va. 22030, USA. 1978.

HENDERSON, S.M. A basic concept of equilibrium moisture. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, v. 33, n. 1, p. 29-32, 1952.

HOEHNE, F.C. **Frutas Indígenas**. Secretaria de Agricultura, Indústria e Comércio. São Paulo. Instituto de Botânica. p.17-19, 1946.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: IAL, 2008.

IBRAF. Instituto Brasileiro de Frutas. **Frutas Brasileiras em Ascensão**. Disponível em: http://www.ibraf.org.br/0909_FrutasBrasileirasAscensao.asp. Acesso em: 14 ago. 2011.

IUPAC. International union of pure and applied chemistry. Reporting physisorption data for gas/solid systems. **Pure and Applied Chemistry**, v. 57, n. 4, p. 603-619, 1985.

JARDIM, D.C.P.; GERMER, S.P.M. **Atividade de água em alimentos**. ITAL, 1997. 164 p.

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

KIMURA, M. **Reavaliação de métodos analíticos e determinação da composição de carotenóides e valor da vitamina A em mamão e cajá**. 1989. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 1989.

KLIMEZAK, I. *et al.* Effect of storage on the content of polyphenols, vitamin C and the antioxidant activity of orange juices. **Journal of Food Composition and Analysis**. v. 20, p. 313-322, 2007.

KROKIDA, M.K.; KARATHANOS, V.T.; MAROULIS, Z.B. Effect of freeze-drying conditions on shrinkage and porosity of dehydrated agricultural products. **Journal of Food Engineering**, v. 35, p. 369-380, 1998.

KROKIDA, M.K.; PHILIPPOPOULOS, C. Volatility of apples during air and freeze drying. **Journal of Food Engineering**, v. 73, n. 2, p. 135-141, 2006.

LABUZA, T.P. Interpretation of sorption data in relation to the state of constituent water. In: DUCKWORTH, R.B. **Water relations of foods**. London, Academic Press. p 155-173, 1975.

LARRAURI, J.A.; RUPÉREZ, P.; SAURA-CALIXTO, F. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, p. 1390-1393, 1997.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**, v. 148, n. 22, p. 346-382, 1987.

LIRA JÚNIOR, J.S. *et al.* Caracterização física e físico-química de frutos de cajá-umbu (*Spondias* spp.) **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas-SP, v. 25 n. 4, p. 757-761, 2005.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa. Plantarum, 1992. 370p.

MATA, M.E.R.M.C. *et al.* Obtenção de graviola em pó pelo processo de liofilização. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. Campina Grande-PB, v. 7, n. 2, p. 165-172, 2005.

MATA, M.E.R.M.C; DUARTE, M.E.M.; ZANINI, H.L.H.T. Calor específico e densidade da polpa de cajá (*spondias lutea* l.) com diferentes concentrações de sólidos solúveis sob baixas temperaturas. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal-SP, v. 25, n. 2, p. 488-498, 2005.

MATTIETTO, R.A. **Estudo tecnológico de um néctar misto de cajá (*Spondias lutea* L.) e umbu (*Spondias Tuberosa*, Arruda Câmara)**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

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

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

MITCHELL, J.D.; DALY, D.C. The “tortoise’s cajá”- a new species of *Spondias* (Anacardiaceae) from southwestern Amazonia. **Brittonia**, New York, v. 50, n. 4, p. 447-451, 1998.

MOREIRA, J.S.A. *et al.* Estudo da estabilidade microbiológica e físico-química de polpa de cupuaçu desidratada em estufa. **Revista Caatinga**, Mossoró-RN, v. 24, n. 2, p. 26-32, 2011.

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

NARAIN, N. *et al.* Compostos voláteis dos frutos de maracujá (*Passiflora edulis* forma *Flavicarpa*) e de cajá (*Spondias mombim* L.) obtidos pela técnica de *headspace* dinâmico. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas-SP, v. 24, n.2, p. 212-216, 2004.

OLIVEIRA, F. M. N.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Análise comparativa de polpas de Pitanga Integral, Formulada e em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 8, n. 1, p. 25-33, 2006.

OLIVEIRA, M.M. *et al.* Isotermas de dessorção da coroa do abacaxi. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**. João Pessoa-PB, v. 3, n. 1, p. 47-52, 2009.

ORDOÑEZ, J.A. **Tecnologia de Alimentos**, v.1 – Componentes dos Alimentos e Processos. Porto Alegre: Atmed, 2005. 294p.

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

PENA, R.S.; RIBEIRO, C.C.; GRANDI, J.G. Influência da temperatura nos parâmetros de modelos bi-paramétricos que predizem isotermas de adsorção de umidade do guaraná (*Paullinia cupana*) em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas-SP, v. 17, n. 3, p. 229-232, 1997.

PEREIRA, I.E.; QUEIROZ, A.J.M.; FIGUEIRÊDO, R.M.F. Características físico-químicas do tomate em pó durante o armazenamento. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 1, 2006.

PEZANTES, D.V. **Estudo das operações combinadas da desidratação osmótica a vácuo, defumação líquida e secagem em filés de Bonito (*Sarda sarda*)**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

PRADO, M. E. T. **Secagem de tâmaras (*Phoenix dactylifera* L.) para obtenção de tâmara passa**. 1998. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 1998.

RAMOS, A.M. *et al.* Efeito do tipo de embalagem e do tempo de armazenamento nas qualidades físico-química e microbiológica de abacaxi desidratado. **Alimentos e Nutrição**. Araraquara-SP, v. 19, n. 3, p. 259-269, 2008.

REIS, R.C. *et al.* Almacenamiento de mango secado: análisis fisicoquímico, microbiológico, color y sensorial. **Ciencia y Tecnología Alimentaria**, año/vol. 5, n. 3, Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de Alimentos. Reynosa, México. p. 214-225. 2006

RODRIGUES, M.G.V. **Produção e mercado de frutas desidratadas**. Disponível em: <<http://www.todafruta.com.br/portal/icNoticiaAberta.asp?idNoticia=6687>> Acesso em: 02 ago 2010.

RUFINO, M.S.M. *et al.* Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 121, p. 996–1002, 2010.

SACRAMENTO, C.K.; SOUZA, F.X. de. **Cajá (*Spondias mombin* L.)**. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 42p.

SAMPAIO, S.A. *et al.* Postharvest respiratory activity and changes in some chemical constituents during maturation of yellow mombin (*Spondias mombin*) fruit. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas-SP, v. 27, n. 3, p. 511-515, 2007.

SANTOS, M.B. *et al.* Caracterização e qualidade de frutos de umbu-cajá (*Spondias tuberosa* X *S. mombin*) provenientes do Recôncavo Sul da Bahia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal-SP, v. 32, n. 4, 2010.

SILVA, A.E.; SILVA, L.H.M.; PENA, R.S. Comportamento higroscópico do açaí e cupuaçu em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas-SP, n. 28, v. 4, p. 895-901, 2008.

SILVA, A.Q.; SILVA, H. Cajá, uma frutífera tropical. **Informativo SBF**, Itajaí-SC, v. 14, n. 4, 1995.

SILVA JUNIOR, J.F. *et al.* Collecting, *ex situ* conservation and characterization of “cajá umbu” (*Spondias mombin* x *Spondias tuberosa*) germplasm in Pernambuco State, Brazil. **Genetic Resources and Crop Evolution**. v. 51, p. 343-349, 2004.

SILVA, M. *et al.* Resfriamento e propriedades termo físicas do cajá (*Spondias lutea* L.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande-PB, n. 2, v. 4, p. 175-185, 2002.

SILVA, R.N.G. *et al.* Armazenamento de umbu-cajá em pó. **Ciência Rural**. Santa Maria-RS, v. 35, n. 5, p. 1179-1184, 2005.

SOARES, E.B. *et al.* Caracterização física e química de frutos de cajazeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal-SP, v. 28, n. 3, p. 518-519, 2006.

SOARES, E.C. *et al.* Desidratação da polpa de acerola (*Malpighia emarginata D.C.*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas-SP, v. 21, n. 2, p. 164-170, 2001.

SOUZA, A.P. **Comportamento higroscópico, avaliação física, físico-química e mineral do preparado sólido para refresco nos sabores manga, laranja, maracujá e abacaxi**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

SOUZA, F.X.; BLEICHER, E. Comportamento da cajazeira enxertada sobre umbuzeiro em Pacajus-CE. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal-SP, v. 24, n. 3, p. 790-792, 2002.

SOUZA, F.X., de. **Spondias agroindustriais e os seus métodos de propagação**. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT: SEBRAE-CE, 1998. 28 p.

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

STATSOFT. STATISTICA for Window - Computer programa manual. Versão 7.0 Tulsa: Statsoft Inc. 2007.

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

TIBURSKI, J.H. *et al.* Nutritional properties of yellow mombin (*Spondias mombin L.*) pulp. **Food Research International**, v. 44. p. 2326–2331. 2011

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

TRAVAGLINI, D.A.; AGUIRRE, J.M.; SILVEIRA, E.T. Desidratação de frutas. In: **Desidratação de frutas e hortaliças – Manual técnico**. Campinas: ITAL, 2001.

VIEIRA, L.M.; SOUSA, M.S.B.; MANCINI-FILHO; LIMA, A. Fenólicos totais e capacidade antioxidante *in vitro* de polpas de frutos tropicais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.33, n.3, 2011.

VELEZMORO, C. E. **Modelagem e predição de atividade de água em fluidos alimentícios**. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

VIDAL, D. **Estudio de la maduración artificial y deshidratación de dátiles españoles**. Tese (Doutorado). E.T.S.I.A. Universidad Politécnica de Valencia, España, 1983.

VODOVOTZ, Y.; BOURLAND, CH. T. Preservation methods utilized for space food. In WELTI-CHANES, J.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V.; J. M. AGUILERA (Eds.), **Engineering and food for the 21st century**, New York: CRC Press, 2002.

WANG, W.; ZHOU, W. Characterization of spray-dried soy sauce powders using maltodextrins as carrier. **Journal of Food Engineering**. v.109, n.3, p.399-405. 2012.