



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

DEUSA DO SOCORRO TEIXEIRA COSTA

**ESTUDO DA ESTABILIDADE DA POLPA DE TUCUMÃ (*ASTROCARYUM*
VULGARE MART.) LIOFILIZADA**

Belém-Pará

2014



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

DEUSA DO SOCORRO TEIXEIRA COSTA

**ESTUDO DA ESTABILIDADE DA POLPA DE TUCUMÃ (*ASTROCARYUM*
VULGARE MART.) LIOFILIZADA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientadora: Profa. Dra. Nadia Cristina Fernandes Corrêa

Co-orientadora Dra. Laura Figueiredo Abreu

Belém-Pará
2014

DEUSA DO SOCORRO TEIXEIRA COSTA

**ESTUDO DA ESTABILIDADE DA POLPA DE TUCUMÃ (*ASTROCARYUM
VULGARE MART.*) LIOFILIZADA**

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Nadia Cristina Fernandes Corrêa
(PPGCTA/ITEC/UFPA – Orientadora)

Dra. Laura Figueiredo Abreu
(EMBRAPA-CPATU – Co-orientadora)

**Profa. Dra. Lucia de Fátima Henriques
Lourenço**
(FEA/ITEC/UFPA - Membro)

Profa. Dra. Orquídea Vasconcelos dos Santos
(UEPA-Membro Externo)

Profa. Dra. Alessandra Santos Lopes
(PPGCTA/ITEC/UFPA – suplente)

Avaliada em: ____/____/ 2014

Conceito _____

*"A palavra está junto de ti, na tua boca e no teu coração; esta é a palavra da fé, que pregamos. Se com a tua boca confessares ao senhor Jesus, e em teu coração creres que Deus o ressuscitou dentre os mortos, serás salvo. Visto que com o coração se crê para a justiça, e com a boca se faz confissão para a salvação. Porque a escritura diz: **Todo aquele que nele crer jamais será envergonhado.** Porquanto ele não faz diferença entre nenhum de seus filhos; porque ele é o Senhor de todos, rico para com todos os que o invocam. E todo aquele que invocar o nome do senhor será atendido".*

Romanos 10:8-12

Aos maiores presentes que recebi de Deus na minha vida, meus filhos Vinícius e Lorenzo Leitão, que embora não tivessem conhecimento disto, iluminaram de maneira especial os meus pensamentos me levando a buscar mais conhecimentos.

Ao meu querido e amado esposo, Lindolfo Leitão, que de forma especial me deu força e coragem, me apoiando quando precisei,

A minha querida e adorada mãe Sodrélia, a quem eu rogo todas as noites a minha existência.

Aos meus queridos e amados irmãos Denize, André e Sergio, por acreditarem sempre em mim.

A minha amiga Francília, pela ajuda, companheirismo nas várias horas de estudo e trabalho, pela força, incentivo e puxões de orelha nas horas certas. Sem você provavelmente isso não seria possível.

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida e graça concedida, por me fortalecer quando me sentia fraca, por me dar paz no momento da angústia, por me fazer sorrir quando me sentia triste, por me dar esperança e confiança, por iluminar meus passos durante esta caminhada, assim como em tudo que já realizei até aqui, o que seria de mim sem a fé que eu tenho nele.

À Universidade Federal do Pará pela oportunidade.

Ao Programa de Pós Graduação de Ciência e Tecnologia de Alimentos.

À EMBRAPA pela oportunidade e pela estrutura oferecida para a realização deste trabalho.

A CAPES, pelo apoio financeiro.

Ao LAOS e ao LAPESCA pela realização das primeiras análises.

À professora Nadia Correa, obrigada por aceitar ser minha orientadora, por fazer parte da minha vida, pela força, apoio, companheirismo, cumplicidade, amizade, disponibilidade em ajudar, convivência e aprendizado serei eternamente grata, por tudo que fez por mim. Você é uma pessoa muito especial vai permanecer pra sempre em meu coração

A Dr^a Laura Abreu, pesquisadora da EMBRAPA, por ter aceitado a co-orientação deste trabalho, um agradecimento especial a esta pessoa maravilhosa, és mais que minha co-orientadora, és uma pessoa muito especial na minha vida que guardo com todo carinho e admiração no meu coração. Só tenho a agradecer por tudo que fez para meu crescimento profissional e pessoal e agradecer pelos ensinamentos, paciência, confiança, carinho, dedicação, incentivo, pelas noites e feriados que ficou comigo para que eu pudesse desenvolver minhas análises, e, principalmente por depositar sua confiança em mim e acreditar que eu poderia ser capaz, quando nem eu mesma acreditava. Obrigada por tudo que fez e sei que foi com muito amor.

A amiga Nádia Paracampo, pelo incentivo através das palavras “O que você faz de 24:00hs às 05:00hs, você dorme? Enquanto isso muita gente esta correndo atrás do que quer”. Estas palavras fizeram toda diferença em minha vida, foi ai que decidi fazer a prova de seleção para o mestrado.

Ao professor Dr. Luiz França pela importante contribuição dada na leitura e avaliação deste trabalho.

As professoras Dr^a Alessandra Lopes, Lucia Lourenço e Orquídea Santos, pela grande colaboração prestada a este trabalho, mas principalmente pelas constantes palavras de força e incentivo.

Aos pesquisadores da EMBRAPA-PA Dra. Ana Vânia, Dr. Marcos Ene e Antônio Pedro e Dra. Rafaella Mattietto pela contribuição.

Aos professores da pós-graduação que contribuíram com seus conhecimentos

A amiga Nete do Marajó que inicialmente cedeu à matéria prima para realização de testes preliminares.

As amigas, Andréa, Cristiane, Francemeri, Natássia, Suzie pela força, parceria, incentivo, e contribuição para realização deste trabalho, mas me especial a amiga Fabielle, por sua dedicação, carinho e disposição para me atender sempre que precisei, por ter se oferecido para me ajudar, na formatação do mesmo, agradeço de coração por tudo que fizeram por mim.

Aos colegas do mestrado em especial Adriano, Bruno, Danilo, Jaqueline, Luã, Lúcia, Maiara, Paula, Rafael, Renan e Thaise,

Aos estagiários do Laboratório da agroindústria-Embrapa na pessoa dos alunos Alcilene, Alessandra, Ediene, Ewila, Danielle, Luciane, Jefferson, Tricia, Williane, e Jobson, pela colaboração.

As técnicas de laboratório da Embrapa, Ana, Conceição e Lorena, pelo auxílio na realização das análises, muito obrigada a ajuda de vocês foi muito importante.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

O tucumã, fruto do tucumanzeiro (*Astrocaryum vulgare*, Mart.), apresenta polpa com elevado teor de carotenóides com potencial de pró-vitamina A. Em virtude dos carotenoides apresentarem características de compostos termosensíveis é importante que estudos colaborem com o conhecimento de condições adequadas de processamento e de armazenamento visando a sua conservação. Neste estudo foi feita a avaliação da vida-de-prateleira da polpa liofilizada de tucumã utilizando uma única embalagem em duas temperaturas de armazenagem. A polpa de tucumã foi separada do fruto e submetida a processo de liofilização. Em seguida, acondicionada em embalagem metálica flexível de filme laminado e armazenada em estufas com demanda bioquímica de Oxigênio (BOD) nas temperaturas de 30 e 40 °C com umidade relativa de aproximadamente 84%. As polpas *in natura* e liofilizada foram caracterizadas físico-quimicamente. O acompanhamento da avaliação da vida de prateleira foi realizada em intervalos de 0, 15, 30, 60,90 e 120 dias de armazenagem através da determinação dos parâmetros de atividade de água, carotenoides, análise instrumental de cor e atividade enzimática. Todos os parâmetros físico-químicos da polpa liofilizada apresentaram valores superiores quando comparados aos da polpa *in natura*, com exceção do teor de carotenoides. Para avaliar o comportamento higroscópico do produto foram construídas isotermas de adsorção de umidade a 30 e 40°C, onde seis modelos matemáticos foram testados, sendo que o modelo Mizrahi mostrou-se mais apropriado. As isotermas foram classificadas tipo III e o produto caracterizado como hidrosférico. Em relação à vida-de-prateleira, o produto armazenado a 40 °C teve seu grau de qualidade crítico alcançado em 107 dias, quando atingiu atividade de água 0,6, considerado, neste estudo, como limite crítico da estabilidade. No armazenamento a 30°C, apresentou boa estabilidade química durante os 120 dias de armazenagem. De acordo com o teste acelerado de vida de prateleira foi possível prever que o grau de qualidade crítico do produto acondicionado em embalagem laminada de filme flexível a 30 °C foi de 168 dias .

Palavras-chave: Tucumã, frutos da Amazônia; vida-de-prateleira; polpa liofilizada.

ABSTRACT

The tucumã, fruit of tucumanzeiro, (*Astrocaryum vulgare* Mart) presents pulp with high content of carotenoid, with potential pro-vitamin A. Carotenoids are thermosensitive compounds, therefore demanding the processing method establishment that preserves this micronutrient. In this study the shelf- life evaluation of ou lyophilized tucumã pulp using a single package in two storage temperatures was made. For this, we started with the fruit in natura where the pulp separation was performed and submitted to freezevp-drying . The freeze-dried pulp was packed in flexible metal packaging of laminated film and stored in BOD chamber at temperatures of 30 and 40 ° C with relative humidity of about 84 % ou In natura and lyophilized pulps were characterized physico-chemically . The shelf-life evaluation monitoring was performed at intervals of 0, 15 , 30 , 60, 90 and 120 days of storage by determining the parameters of water activity , carotenoids , instrumental color analysis and enzyme activity . The physico-chemical characteristics of lyophilized pulp showed higher values when compared to the pulp in natura, except carotenoids content. To evaluate the performance of the hygroscopic product, moisture adsorption isotherms were constructed at 30 and 40 ° C, where six mathematical models were tested and the Mizrahi model was more appropriate. The isotherms were classified type III and the product was characterized as hygroscopic . Regarding the shelf- life, the product submitted to 40 ° C had his life ended in 107 days , when it reached 0.6 water activity, considered as the limit for the stability end. At 30 °C showed good chemical stability during the 120 days of storage. According to the accelerated shelf-life test was possible to predict the end time of the product useful life that was 168 days packaged in laminated packaging of flexible film at 30 °C .

Keywords : Tucuma , Amazonian fruits ; shelf- life ; lyophilized pulp.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Palmeira do tucumã	17
Figura 2 - Cacho de Tucumã.....	18
Figura 3 - Fruto tucumã	19
Figura 4 - Estrutura química de alguns carotenoides	21
Figura 5 - Isotermas de adsorção e dessorção	33
Figura 6 - Distribuição percentual do fruto	46
Figura 7 –Percentual granulométrico da polpa de tucumã liofilizada.	52
Figura 8 - Isoterma de adsorção da polpa de tucumã liofilizada a 30°C e a 40°C	56
Figura 9 - Isoterma de adsorção da polpa de tucumã liofilizada, com os ajustes do modelo de MIZRAHI, para temperaturas de 30 e 40°C.....	59
Figura 10- Isoterma de adsorção da polpa de tucumã liofilizada com os ajustes do modelo de Oswin, para temperaturas de 30 e 40°C.....	60
Figura 11 - Atividade enzimática de peroxidase da polpa liofilizada	66
Figura 12 - Atividade de água na polpa liofilizado para 30 e 40°C	67
Figura 13 – Variação da cor da polpa de tucumã liofilizado	69
Figura 14 - Carotenoides na polpa de tucumã liofilizado para temperaturas de 30 e 40°C	68

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Teor de β -caroteno no epicarpo, mesocarpo e óleo extraído de tucumã .	19
Tabela 2 -Modelos matemáticos utilizados na predição das isotermas de adsorção	42
Tabela 3-Características Biométricas do fruto de tucumã.....	45
Tabela 4 -Características físico-químicas da matéria-prima polpa de tucumã.....	48
Tabela 5 –Distribuição granulométrica da polpa de tucumã liofilizada	51
Tabela 6 -parâmetros físico-químicos da polpa <i>in natura</i> e liofilizada	52
Tabela 7 -Teor de carotenoides e parâmetros de cor para polpa de tucumã	54
Tabela 8 -Parâmetros da modelagem matemática das isotermas de desorção da polpa lioilizada	58
Tabela 9 -Atividade na polpa de tucumã liofilizada durante o armazenamento.....	61
Tabela 10- Características colorimétricas da polpa de tucumã liofilizada durante o armazenamento.....	64

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	VI
RESUMO	VIII
ABSTRACT	IX
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	X
LISTA DE TABELA	XI
1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS	16
2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA	17
2.1 TUCUMÃ (<i>Astrocaryum vulgare</i> Mart.)	17
2.2 COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL	19
2.2.1 Carotenoides	20
2.2.1.1 Características gerais dos carotenoides	20
2.2.1.2 Formula estrutural dos carotenoides	20
2.2.1.3 Classificação dos carotenoides	22
2.2.1.4 Alterações de carotenóides durante processamento e armazenamento de alimentos	24
2.2.2 Fibras	25
2.2.3 Ácidos graxos	26
2.3 LEGISLAÇÃO PARA POLPA LIOFILIZADA	26
2.4 PROCESSOS DE REMOÇÃO DA ÁGUA	27
2.5 ESTABILIDADE E EMBALAGEM DE ALIMENTOS	28
2.5.1 Atividade de água	31
2.5.2 Isotermas de sorção de água e higroscopicidade do alimento em pó	32
2.5.3 Embalagens	35
3 MATERIALI E MÉTODOS	36
3.1 MATERIAIS	36
3.1.1 Matéria-prima	36
3.1.2 Embalagem	36
3.2 MÉTODOS	36
3.2.1 Coleta dos frutos	36
3.2.2 Transporte e higienização dos frutos	36
3.2.3 Biometria dos frutos do tucumã	37
3.2.4 Obtenção da polpa de tucumã	37

3.2.5 Caracterização física e físico-química da polpa do fruto.....	37
3.2.6 Análise instrumental de cor	38
3.2.7 Atividade enzimática	39
3.2.8 Liofilização da polpa de tucumã	39
3.2.9 Moagem e análise granulométrica da polpa de tucumã liofilizada	40
3.2.10 Caracterização da polpa do tucumã liofilizada.....	40
3.2.11 Ensaio do estudo da estabilidade.....	40
3.2.12 Estimativa da estabilidade do produto.....	41
3.2.13 Estudo do equilíbrio higroscópico	41
3.2.13.1 Predição das isotermas de sorção	41
3.2.14 Análise Estatística.....	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1 CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS DO TUCUMÃ.....	44
4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DA POLPA DE TUCUMÃ.....	47
4.3 CARACTERÍSTICAS DA POLPA DE TUCUMÃ LIOFILIZADA	51
4.3.1 Granulometria.....	51
4.3.2 Característica físico-química da polpa <i>in natura</i> e liofilizada.....	52
4.3.3 Teor de carotenóides e parâmetros de cor	53
4.4 ISOTERMA DE ADSORÇÃO DE UMIDADE.....	55
4.4.1 Modelagem das isotermas de adsorção de umidade.....	57
4.5 AVALIAÇÃO DA VIDA DE PRATELEIRA.....	60
4.5.1. Atividade enzimática da polpa liofilizada	65
4.5.2 Atividade de água da polpa liofilizada.....	67
4.5.3 Variação da cor e dos carotenóides da polpa liofilizada	68
5 CONCLUSÕES	71
REFERÊNCIAS.....	72
APÊNDICE.....	85
APÊNDICE A.....	85

1 INTRODUÇÃO

A Amazônia é mundialmente conhecida pela sua enorme biodiversidade, contendo inúmeras espécies frutíferas nativas, as quais se destacam pelo seu alto potencial agronômico, tecnológico, funcional, nutricional e econômico, despertando assim, o interesse científico em diversificadas áreas da ciência e da indústria (CLEMENT et al., 2005).

O tucumzeiro é uma das espécies nativas da Amazônia, de ocorrência principal no estado do Pará, principalmente a espécie *Astrocaryum vulgare* Mart podendo também ser encontrado nos estados do nordeste e do centro-oeste do Brasil. O fruto, denominado de tucumã é pouco consumido pela população brasileira, porém bem conhecido e apreciado em suas regiões de ocorrência (BRASIL, 2002; YUYAMA et al., 2005; LORENZI et al., 2006; ABREU et al., 2008; DAMASCENO et al., 2008; VASCONCELOS, 2010; OLIVEIRA; OLIVEIRA; ABREU, 2011; BONY et al., 2012).

A polpa de tucumã pode ser uma matéria-prima de grande importância econômica para as localidades produtoras, por suas características químicas ricas em nutrientes e atributos funcionais apreciáveis, como fonte de antioxidantes, carotenoides, fibras, aminoácidos importantes, ácidos graxos essenciais, além de propriedades anti-inflamatórias, estes componentes despertam interesse para o setor alimentício, farmacêutico e cosmético. As características deste fruto podem resultar em produtos alimentícios de alto valor agregado como polpas pasteurizadas, polpas desidratadas, sucos comercialmente estéreis, doces, cremes, suplementos alimentares, bebidas energéticas para esportistas, sorvetes, farinhas, azeite, padrões cromatográficos de diferentes carotenoides dentre outros (CAVALCANTE, 1991; BARBOSA et al., 2009; OBOH, 2009).

Existe um grande interesse da indústria e, principalmente do consumidor em produtos industrializados muito próximo ou similar ao natural, para tanto é preciso uma atenção especial, no sentido da adoção de técnicas, que permitam torná-los um veículo adequado de nutrientes e vitaminas. Diante do elevado valor nutricional e comercial da polpa de tucumã esta poderia ser usada para enriquecer produtos existentes no mercado ou ocasionando a criação de novos produtos isentos de

conservantes, para possibilitar a obtenção de alimentos com qualidade nutricional e com elevado tempo de prateleira (SILVA et al., 2010).

Por se tratar de um produto rico em carotenoides, que são moléculas altamente insaturadas e muito instáveis, são susceptíveis a isomerização e oxidação, resultando em perda de cor e da atividade biológica, além da formação de compostos voláteis que podem atribuir aromas e sabores desejáveis ou indesejáveis em alguns alimentos, é de suma importância que se realize o monitoramento dos teores destes compostos ao longo do processamento e do armazenamento, principalmente no que se refere a produtos desidratados, os quais são mais susceptíveis a ação do oxigênio atmosférico (RODRIGUEZ-AMAYA, 1999; DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010; AZEREDO, 2012).

Devido à susceptibilidade destes pigmentos às reações de degradação torna-se importante avaliar as alterações causadas por processamentos térmicos diversos, o que tem despertado interesse de alguns pesquisadores. Sendo assim a escolha de um método de processamento e armazenamento, que preservem melhor as características iniciais da polpa, pode ser a chave para o sucesso da operação (COSTA; PENTEADO, 1996; BIANCHINI; PENTEADO, 1998; AZEREDO, 2012).

De acordo com Marques et al., (2006), as técnicas de secagem utilizadas na preservação de frutas são, a secagem ao sol, secagem conectiva, microondas, desidratação osmótica, "spray-drying", liofilização e leite fluidizado. Segundo Gava, (2005); Silva; Queiroz, (2002), o método de secagem em estufa é o mais tradicional, porém a desidratação por liofilização, por utilizar desidratação a frio e sob vácuo, tem sido bastante utilizada, em especial para produtos que apresentam alta sensibilidade ao calor. As condições da operação da liofilização fornecem produtos desidratados com alta qualidade nutricional e poucas modificações nas características sensoriais (SILVA, 2000; RATTI, 2001; GEORGE; DATTA, 2002).

1.1 OBJETIVOS

Geral: Avaliar a estabilidade da polpa de tucumã liofilizada visando a conservação de seus carotenoides.

Específicos:

- Conhecer as características biométricas, físicas e físico-químicas do fruto tucumã;
- Obter a polpa de tucumã liofilizada;
- Conhecer as características físicas e físico-químicas da polpa liofilizada;
- Estudar o comportamento higroscópico da polpa liofilizada;
- Estudar a estabilidade da polpa liofilizada.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 TUCUMÃ (*Astrocaryum vulgare* Mart.)

A palmeira do tucumã (Figura 1) é considerada pioneira e invasora de pastos, mas também é encontrada em capoeiras e florestas. Desenvolve-se bem em solos pobres de terra firme. Regenera-se facilmente e alcança, em média, de 10 a 15 metros de altura e com 15 a 20 cm de diâmetro, possuindo espinhos na metade superior do tronco (LIMA; TRASSATO; COELHO, 1986; CAVALCANTE 1991; LIMA; COSTA, 1997; SHANLEY; MEDINA, 2005).

Figura 1 - Palmeira do tucumã



Fonte: (Adaptado de Ferreira *et al.*, 1987).

Villachica (1996); Shanley; Medina, (2005); Bacelar-Lima; Mendonça; Barbosa, (2006) relatam que o tucumã é originário do norte da América do Sul, estendendo-se até a Guiana Francesa e Suriname. O gênero *Astrocaryum* apresenta distintas variações de espécimes, tais como: *Astrocaryum vulgare* Mart., *A. aculentum* Meyer., *A. acaule* Mart., entre outras. Nos estados do Pará e Amapá, a espécie frequentemente encontrada é o *A. vulgare* Mart.

Segundo Cavalcante (1991); Shanley; Medina, (2005) o tucumã-do-pará (*Astrocaryum vulgare* Mart.) é uma espécie nativa do norte da América do Sul, possivelmente do Estado do Pará e ocorre em todo o leste da Amazônia brasileira. A árvore de tucumã é solitária e espinhosa, possui geralmente, 10-25m de altura e 30 centímetros de diâmetro e produz cachos com numerosos frutos de formato ovoide.

Shanley; Medina (2005) relatam que em geral uma palmeira característica produz cerca de 50 quilos de frutos por ano, mesmo em solos pobres. Produzem de 2 a 3 cachos anualmente, mas podem chegar a mais de 5, sendo que cada cacho (figura 2) pesa entre 10 a 30 quilos e contém de 200 a 400 ou mais frutos, estando maduro, o fruto tem cor alaranjada com polpa fibrosa e pegajosa. A frutificação tem início entre 4 e 8 anos, quando as árvores medem de 1,5 metro até 5 metros de altura. Floresce entre março e julho e frutifica na época chuvosa, ou seja, de janeiro a abril. Contudo, Oliveira, et al., (2003) afirmam que a palmeira floresce e frutifica durante quase todo o ano.

Figura 2 - Cacho de Tucumã



Fonte: SILVA (2008).

Cavalcante (1991); Villachica et al., (1996); Clement et al., (2005); Bichara, (2007); Yuyama et al., (2008) citam que várias são as formas de utilização da palmeira e de seus frutos pela população rural e urbana de baixa renda, sendo suas potencialidades econômicas centradas nas folhas, com a extração de fibras de alta resistência, na elaboração de biojóias, e os frutos, ricos em vitamina A, são consumidos *in natura*, ou na forma de vinho sendo, ocasionalmente empregados na fabricação de licor e de sorvetes, o óleo extraído do mesocarpo é considerado comestível, possui cor amarela e características organolépticas e nutritivas de alto valor para a indústria de alimentos e cosmética.

2.2 COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL

Segundo Ferreira et al., (2008); Yuyama et al., (2008, 2011) o fruto do tucumazeiro (figura 3) caracteriza-se por apresentar elevada concentração de lipídios, valor energético, fibra alimentar e presença de elementos minerais como o potássio e selênio. Sendo seu grande potencial a concentração significativa de β -caroteno (provitamina A), que no fruto *in natura* é em média 102,87 $\mu\text{g/g}$, na polpa desidratada, 120,63 $\mu\text{g/g}$ e no óleo bruto, 218,43 $\mu\text{g/g}$.

Figura 3 - Fruto tucumã



Fonte: A autora (2013)

Ferreira et al., (2008) relataram que o tucumã apresenta rendimento médio de 25% de polpa e que o maior destaque para este fruto está na elevada concentração de β -caroteno. Os teores médios deste nutriente no epicarpo, mesocarpo e no óleo bruto extraído do fruto estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Teor de β -caroteno no epicarpo, mesocarpo e óleo extraído de tucumã

	β -Caroteno ($\mu\text{g}/100\text{g}$)	Vitamina A (RAE/100g)
Epicarpo	14.769,28 \pm 760,93b	1.230,77 \pm 63,41b
Mesocarpo	11.616,58 \pm 580,82c	968,05 \pm 48,40c
Óleo bruto	21.842,74 \pm 932,02 ^a	1.820,23 \pm 77,67 ^a

RAE = Retinol activity Equivalent, onde 1 RAE = 1 μg de retinol = 12 μg β -caroteno. Médias comparadas na mesma coluna, seguidas de letra diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

2.2.1 Carotenoides

2.2.1.1 Características gerais dos carotenoides

Os carotenoides são compostos hidrofóbicos, solúveis em solventes como acetona, álcool, éter e clorofórmio. São amplamente distribuídos na natureza, com diversas estruturas químicas e atividades biológicas. Conferem coloração de amarelo a laranja ou vermelho de muitas frutas, hortaliças, gema de ovo, crustáceos e alguns peixes. São também substâncias bioativas, com efeitos benéficos a saúde. Alguns deles apresentam atividade pro-vitáminica A (RODRIGUEZ-AMAYA, et al., 2008). Embora as principais fontes sejam as frutas e hortaliças, também podem ser encontrados em animais e microrganismos (OLSON; KRINSKY, 1995; OLIVER; PALOU, 2000; DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

Aproximadamente 20 carotenoides estão presentes em tecidos e no plasma humano, dos quais apenas seis em quantidades significativas: α -caroteno, β -caroteno, β -criptoxantina, licopeno, luteína e zeaxantina. Entre estes, somente os três primeiros são metabolizados e transformados em vitamina A. Pois, o metabolismo humano não é capaz de produzir estas substâncias e depende da alimentação para obtê-la e converte-las em vitamina A no organismo (ZERAIK; YARIWAKE, 2008).

Uenojo et al., (2007); Rodriguez-Amaya et al., (2008); Azeredo, (2012) afirmam que os carotenoides são compostos lipossolúveis responsáveis pela coloração atraente e característica de muitos alimentos. A cor é conferida por um cromóforo, que consiste numa cadeia de ligações duplas conjugadas, responsáveis por suas propriedades e funções tão especial, cuja coloração se intensifica à medida que o número de duplas conjugadas aumenta.

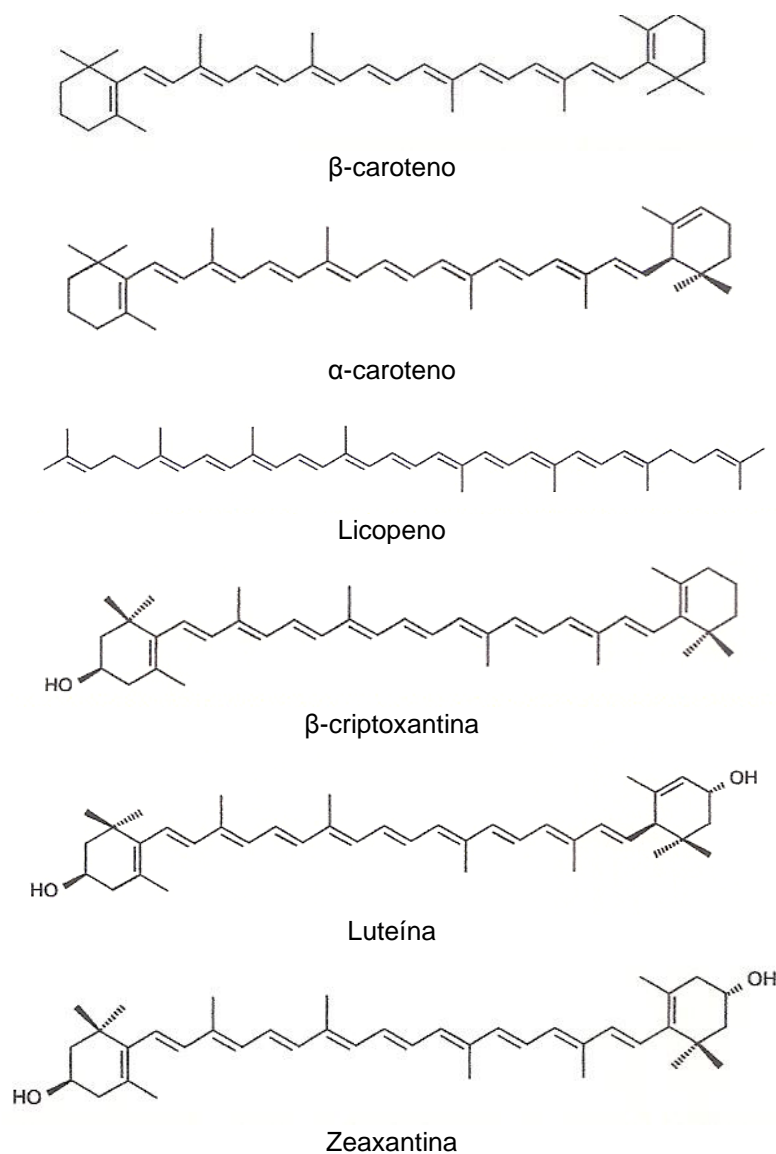
2.2.1.2 Formula estrutural dos carotenoides

Todos os carotenoides possuem uma estrutura química poliisoprenoídes, uma longa cadeia de ligações duplas conjugadas. A hidrogenação, dehidrogenação, ciclização, oxidação ou combinação desses processos são essencialmente responsáveis pelos diferentes tipos de carotenoides. A propriedade chave dos carotenoides é quelar o oxigênio “singlete” e os radicais livres. Esta capacidade esta

relacionada com número de duplas ligações conjugadas presente na sua estrutura química (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

Belitz; Grosh, (1992); Britton, (1992); Azeredo, (2012) relataram que a forma estrutural dos carotenoides (figura 4) atribui inúmeras propriedades, que caracterizam suas diversas funções e ações nos organismos vivos. São hidrocarbonetos poliênicos, formados por até oito unidades de isoprenóides (tetraterpenos), possuem um esqueleto com 40 átomos de carbono, conferindo cor amarela, laranja ou vermelha.

Figura 4 - Estrutura química de alguns carotenoides



Fonte: Rodriguez- Amaia; Kimura (2004).

2.2.1.3 Classificação dos carotenoides

Quimicamente os carotenoides estão divididos em dois grupos: Hidrocarbonetos e derivados oxigenados. Os membros do primeiro grupo são conhecidos como carotenos e os do segundo grupo chamados de xantofilas, estas apresentam grupos substituintes com oxigênio, como hidroxilas, grupos ceto e epóxi. Os carotenoides existem na natureza basicamente ou exclusivamente como isômeros *all-trans*, entretanto também pode assumir a conformação *cis*, sua forma menos estável (RODRIGUEZ-AMAYA, 1999; BARTON; NAKANISHI, METH-COHN, 1999; OLIVIER; PALOU, 2000; FRASER; BRAMLEY, 2004).

O β -caroteno é o mais abundante dentre os carotenoides e possui ação antioxidante, ele é considerado como um precursor da vitamina A em mamíferos. Além do β -caroteno outros carotenoides, como α -caroteno e β -criptoxantina também apresentam atividade pró-vitamina A, mas em quantidades menores. A vitamina A adquire grande importância principalmente em regiões onde a vitamina A pré-formada é raramente ingerida pela maior parte da população, das regiões menos desenvolvidas do Brasil (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001; CAMPOS et al., 2006).

Nutricionalmente, Thane; Reddy (1997); Damodaran; Parkin; Fennema, (2010) reportam que os carotenos podem ser agrupados entre os que apresentam ou não atividade pró-vitamina A, ou seja, aqueles que podem ser convertidos em vitamina A no organismo humano. Entre os primeiros estão o α -caroteno e β -caroteno, e entre os últimos, licopeno e luteína.

De acordo com Gomes (2007); Leung (2008) o grande interesse em relação a estes compostos está voltado a sua ação antioxidante que reduz o estresse oxidativo do organismo, opera na prevenção de determinados tipos de câncer, de doenças cardiovasculares, bem como sobre o sistema imunológico, sua outra importância está relacionado à sua atividade pró-vitamina A.

A vitamina A é um micronutriente essencial obtido de carotenoides como o β -caroteno. A bioatividade de outros carotenoides é um campo de pesquisa de grande interesse, que surgiu inicialmente por conta de sua atividade antioxidante. A deficiência de vitamina A leva a uma variedade de sintomas no homem, incluindo desenvolvimento e crescimento retardado, secura da pele, olhos, membranas e mucosas; cegueira noturna, um sintoma precoce usado no diagnóstico de deficiência de vitamina A, ou seja, além de serem corantes naturais dos alimentos, os

carotenoides apresentam efeitos benéficos à saúde humana como atividade de provitamina A, redução do risco de doenças cardiovasculares e doenças degenerativas como câncer, degeneração macular e a catarata (NELSON; COX, 1985; SENTANIN; RODRIGUEZ-AMAYA, 2007; DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

Segundo Mariath; Lima; Santos, (1989); Manorama; Rukmini, (1991); Canfield; Kaminsky, (2000); Ambrósio et al., (2006); Rodriguez; Rodriguez-Amaya (2007); Damodaran; Parkin; Fennema, (2010), vários alimentos são fontes de carotenoides, exemplos notáveis é o tomate (licopeno), a abóbora (β -caroteno), cenoura (α e β -caroteno), manga, batata doce, espinafre, mostarda, couve, entre outros. Contudo, o buriti (*Mauritia vinifera*) e o dendê (*Elaeis guineensis*), que são frutos de palmeiras, se destacam como as fontes mais ricas de provitamina A encontradas no Brasil.

As polpas de frutos pouco conhecidos, até mesmo pela população brasileira, estão disponíveis na região amazônica e vêm sendo estudadas com resultados promissores quanto ao teor e perfil de carotenoides, além de outros componentes. Dentre estes frutos destacam-se o tucumã (*Astrocaryum aculeatum*), a pupunha (*Bactris gasipaes*), o buriti (*Mauritia flexuosa*), o patauá (*Oenocarpus bataua*), a bacaba (*Oenocarpus bacaba*), macaúba (*Acrocomia aculeata*) e o pequi (*Caryocar brasiliense*). O enriquecimento de alimentos como fontes naturais de provitamina A, como estas polpas podem ser usadas, como alternativa eficiente para combater hipovitaminose A no Brasil. (DAMASCENO; BATISTA, 2009; SALTZMAN *et al.*, 2013)

O papel dos carotenoides na saúde humana está relacionado com a atividade pró-vitáminica A e antioxidante. Funcionam como reguladores de resposta do sistema imune e redução do risco de doenças degenerativas, como câncer, doenças cardiovasculares, catarata e degeneração macular (RODRIGUEZ-AMAYA, 2002; RODRIGUEZ-AMAYA; KIMURA, 2004). Edwards et al., (2003), constataram que a ingestão de suco de melancia aumentou as concentrações plasmáticas, tanto de licopeno como de β -caroteno em adultos. Zhao et al., (2006) indicam que a suplementação de carotenoides reduz a injúria no DNA e que a combinação de carotenoides (β -caroteno e licopeno) ingeridos e alcançados pela dieta ou em largas

doses de carotenoides individuais (12mg) poderiam proteger contra a injúria no DNA.

2.2.1.4 Alterações de carotenóides durante processamento e armazenamento de alimentos

Segundo Rodriguez-Amaya, (1999, 2002); Rodriguez-Amaya et al., (2008, 2011); Azeredo, (2012) os carotenoides se degradam facilmente, sua estabilidade depende de vários fatores, como temperatura, disponibilidade de O₂, transmissão de luz do material de embalagem, atividade de água, presença de metais, enzimas e peróxidos, e é inibida por antioxidantes. Devido a sua alta insaturação, as principais reações que acontecem com os carotenoides, durante o processamento e a estocagem de alimentos ocorrem por remoção física (por exemplo, descascamento), isomerização geométrica e oxidação enzimática e não enzimática, podendo levar a alterações ou parcial destruição dos pigmentos e perda da atividade pró-vitamina A. Isto é resultado da isomerização da forma *all-trans*, mais estável, à *cis*, que pode ocorrer durante o processamento e armazenamento do produto que contém estes carotenoides.

Segundo Valderrama; Marangoni; Clemente, (2001); Bindschedler et al., (2002); Damodaran; Parkin; Fennema, (2010) Dentre os diversos tipos de degradação de carotenoides esta a atividade enzimática, pois um dos grandes desafios do processamento de frutas e hortaliças é a significativa susceptibilidade ao escurecimento enzimático. Tal escurecimento ocorre principalmente após danos causados aos tecidos durante os processos de colheita, transporte, ou quando são expostos ao ar após terem sido cortados, fatiados, esmagados, e, principalmente na etapa de processamento, permitindo o contato entre a enzima e o oxigênio.

O escurecimento enzimático está relacionado à ação das enzimas, que lideram a degradação oxidativa utilizando compostos fenólicos como substratos e provocam alterações indesejáveis. O grau de escurecimento depende da presença de oxigênio, substancia redutoras, íons metálicos, pH, temperatura e atividade de diferentes enzimas, especialmente a polifenoloxidase (PPO) e peroxidases (POD). A menos que as enzimas sejam inativadas por calor, radiação, compostos químicos ou outros meios, elas mantêm sua atividade durante o período de estocagem, catalisando reações químicas em alimentos, promovendo alterações na cor, sabor e

aroma dos vegetais e de seus respectivos produtos (VALDERRAMA; MARANGONI; CLEMENTE, 2001; BINDSCHEDLER et al., 2002; LOPEZ-NICOLAS et al., 2007; AZEREDO, 2012).

Azeredo, (2012) afirma que genericamente, pode-se dizer que as enzimas mais importantes em alimentos, são completamente inativas em atividade de água inferior a 0,85. Rodriguez-Amaya, (1999), relata que dentre as diversas formas de alimentos processados, os produtos desidratados são os mais predispostos à degradação de carotenoides durante a estocagem, devido ao aumento da área superficial. No caso de produtos liofilizados, estes são os que apresentam maior porosidade, por tanto, maior contato com o oxigênio e maior facilidade de rehidratação. Entretanto Lavelli et al., (2007) afirmam que a faixa de A_w , de maior estabilidade de carotenoides é de 0,31 a 0,54.

2.2.2 Fibras

Segundo Turano et al., (2000) as fibras alimentares são componentes importantes da dieta humana e apresentam diversos efeitos fisiológicos, sendo que muitos países industrializados é recomendado o incremento do consumo de fibra e a redução da ingestão de gordura. O consumo de fibra alimentar pode prevenir doenças intestinais, como constipação, hemorroidas, câncer de cólon, entre outras, além de contribuir na prevenção, tratamento e redução do colesterol sanguíneo, também diminui doenças cardiovasculares e diabetes. Caruso et al., (1999) reportam que para uma dieta balanceada o ideal, seria consumir no mínimo 20g de fibras alimentares diariamente.

Ferreira et al., (2008) descreve que o fruto de tucumã é uma importante fonte de fibra alimentar, quando comparado a outros alimentos, pois em seus estudos apresentou a concentração de fibra bruta no fruto do tucumã *in natura*, de 10,93% e na torta de 18,63% . Considerando que a recomendação de ingestão diária para um homem adulto deste macronutriente é de 20g, o consumo de 100g do fruto de tucumã ou da torta supre em 50,64 e 93,15%, respectivamente, as necessidades diárias.

2.2.3 Ácidos Graxos

Os ácidos graxos podem ser sintetizados pelo nosso organismo, no entanto, certos ácidos graxos poliinsaturados não podem ser produzidos endogenamente, por isso são chamados de essenciais, ou seja, são adquiridos somente através da dieta alimentar. Os ácidos graxos essenciais (AGE) possuem duas importantes famílias: $\omega 6$ (ácido linoléico e γ - linoléico) e $\omega 3$ (ácido α – linoléico). Além de possuírem alto valor energético, os AGE tem grande importância pelo papel funcional que desempenham (WAITZBERG, 2004).

O óleo de tucumã apresenta característica bastante adequada para o consumo alimentar em virtude de sua composição de ácidos graxos saturados (29,28%) e insaturados (68,77%), quando comparado a outros óleos de espécies habitualmente utilizados nas regiões Norte e Nordeste como fonte lipídica, tais como: palma (36,5 - 56,9%; 43,1 - 63,5%), palmiste (77,5 - 85,9%; 14,1- 22,5%), babaçu (73,4 - 89,6%; 10,4 - 26,6%) e coco (87,0- 93,5%; 6,5 - 13,0%), sendo necessário por tanto estudos para determinar sua aceitabilidade comercial, além da sua estabilidade e prazo de validade (CLEMENT; LLERAS; VAN LEEUWEN, 2005; BRASIL, 2005; FERREIRA et al., 2008; VASCONCELOS, 2010).

2.3 LEGISLAÇÃO PARA POLPA LIOFILIZADA

Fruta liofilizada é o produto obtido pela desidratação quase completa da fruta madura, inteira ou em pedaços, pelo processo tecnológico denominado "liofilização", sendo o produto é designado pelo nome da fruta que lhe deu origem, seguido da palavra "liofilizada". Podendo ser classificadas de acordo com a sua apresentação em: frutas liofilizadas inteiras ou em pedaços, frutas liofilizadas em pó (BRASIL, 1978).

Segundo Brasil, (1978) em relação às características gerais, o produto deverá ser preparado com frutas maduras, sãs e limpas, isentas de matéria terrosa, de parasitos e de detritos animais ou vegetais, não podendo conter substâncias estranhas à sua composição normal, exceto as previstas nesta norma. Já em relação às características sensoriais o produto deve ter aspecto de frutas liofilizadas em pedaços ou em pó, cor própria; cheiro próprio; sabor próprio. Quando se trata das características físicas e químicas o teor de umidade do produto dever ser no máximo 5% p/p.

2.4 PROCESSOS DE REMOÇÃO DA ÁGUA

Azeredo, (2012) reporta que os métodos de conservação de alimentos têm sido transformados, para diminuir o grau de severidade causado pelos métodos tradicionais, para melhorar a qualidade de produtos e sua aceitação pelo consumidor, que buscam alimentos convenientes, porém, mais frescos, naturais e seguros.

Em geral estes métodos estão fundamentados em diferentes procedimentos capazes de prevenir ou retardar quaisquer que sejam os tipos de agentes de deterioração. Alguns métodos se baseiam na mobilização da água, modificando a atividade de água do meio, pois a quantidade de água presente é responsável pela estabilidade do material. Outros se baseiam no retardo ou paralisação da ação microbiana. Dentre os métodos que atuam diminuindo a mobilidade da água pode-se citar: congelamento, supercongelamento, liofilização, desidratação, salga e adição de açúcar segundo o grau de estabilidade que se queira obter (SILVA, 2000; ANDRADE, 2006; AZEREDO, 2012).

A secagem e o congelamento são os métodos mais comuns para preservar frutas e legumes. Entretanto, as características próprias do material fresco como textura, cor, suculência, sabor e aroma são consideravelmente reduzidos. Segundo Yuyama et al., (2008) a desidratação da polpa do tucumã é uma das alternativas viáveis de aproveitamento e conservação do fruto.

Segundo Fellows, (2006); Azeredo (2012) o princípio de vários métodos de desidratação e concentração de alimentos baseia-se na remoção da maioria da água e/ou na sua interação com outros compostos, através da aplicação de calor sob condições controladas (ou no caso da liofilização, por sublimação), evitando assim o desenvolvimento de microrganismos, bem como a redução de alterações químicas e enzimáticas, redução de custos com embalagem, transporte e distribuição, além de conveniência. Sendo seu o objetivo principal prolongar a vida de prateleira do produto por meio da redução da atividade de água.

O processo de liofilização engloba o congelamento da água presente num material, seguido de desidratação por sublimação do gelo a vácuo, e posterior remoção da água ligada do alimento, até a produção de um material estável. Para isto faz-se necessário que a temperatura e a pressão parcial de vapor d'água sejam

inferiores às do ponto triplo, isto é, 0,0099°C e 4,58 mmHg (PEREDA, 2005; ANDRADE, 2006).

Este processo apresenta diversas vantagens quando comparado com o processo convencional de secagem: mínimo encolhimento, a rápida reidratação do produto devido à estrutura porosa e a elevada retenção de compostos voláteis que conferem o sabor e o aroma dos alimentos. Como o processo é realizado a baixas temperaturas, a degradação térmica dos nutrientes é mínima e o produto obtido apresenta elevada qualidade nutricional e características bastante similar ao original. É um método onde o teor de água no alimento é praticamente inexistente, e este reduz a água livre e também da água ligada, diminuindo drasticamente a atividade de água do produto evitando assim todos os processos de deterioração microbiana e química com exceção do ranço oxidativo, promovendo assim um aumento da estabilidade do produto durante a estocagem (PEREDA, 2005; ANDRADE, 2006; AZEREDO, 2012).

Está técnica é utilizada para desidratar alimentos com dificuldades na secagem convencional, que têm aromas e textura delicados tais como: café, ervas e especiarias, cebola, sopas, sucos de frutas, hortaliças e certos produtos do mar. Este processo produz alimentos desidratados de alta qualidade e permite uma melhor utilização e preservação dos características originais dos produtos como tamanho, textura, vitaminas, sais minerais, ácidos graxos, proteínas, antioxidantes, sabor, aroma, etc. Podendo então ser considerado como uma excelente alternativa de conservação da polpa de tucumã (LIAPIS, 1987; FELLOWS, 2006; AMRANI; BRIGUI, 2007; MENEZES et al, 2009).

2.5 ESTABILIDADE E EMBALAGEM DE ALIMENTOS

Azeredo (2012) afirma que os alimentos de forma geral sofrem níveis variados de deterioração durante a estocagem, e que a taxa de perda da qualidade é determinada por fatores como composição e caracterização do produto; condições de processamento; características e efetividade do sistema de embalagem; condições ambientais às quais o produto é exposto durante a estocagem.

O processamento de um alimento visa, em geral, que o método resulte em algumas alterações no produto, tais como mudanças no sabor, cor ou textura, inativação de microorganismos ou enzimas, ou ainda um aumento de sua vida útil.

Para se determinar um processo com um objetivo específico, é necessário se conhecer a taxa na qual o atributo desejado muda com o tempo. Esta taxa, em geral, é dependente de vários fatores, como umidade, pH, temperatura e presença de catalisadores no meio (MIZRAHI, 2004).

A vida-de-prateleira de um alimento é o período em que o produto com alta qualidade inicial, permanece adequado ou com alterações que são, até certo ponto, consideradas aceitáveis, devendo levar em consideração aspectos de segurança alimentar, nutricionais, aceitação pelo consumidor e pela legislação vigente. Quando se trata de um alimento desidratado, a vida de prateleira depende de fatores extrínsecos (sistema de embalagem), condições ambientais de estocagem (umidade, concentração de oxigênio, luz e temperatura), transporte e manuseio, e também de fatores intrínsecos (composição química do alimento), tipo e concentração de aditivos. (VITALI; QUAST, 2004; KOWALSKA; LENART, 2005; CANO-CHAUCA et al., 2005; AZEREDO, 2012).

De acordo com Labuza, (1972,1982); Mori, (2004); Netto, (2004); Azeredo, (2012) o estudo de vida-de-prateleira de produtos alimentícios não é um trabalho simples e de resultado preciso, pois consiste em submeter várias amostras a vários testes e examiná-las durante um período de tempo até o limite de aceitação. São observadas as alterações na qualidade do produto e o tempo que ele leva para se deteriorar até o limite que o torna impróprio para o consumo. É sempre útil ter o máximo de informações sobre o produto alimentício a ser conservado, conhecendo-se de preferência o mecanismo e a cinética das principais reações de deterioração. A identificação dos atributos que se alteram e a definição quantitativa desse atributo são maneiras de monitorar a perda de qualidade durante o armazenamento. Estas estão relacionadas com diversos fatores, entre eles a presença de microrganismos patogênicos e deterioradores, alterações nutricionais e sensoriais. A previsão da vida útil de um produto é informação estratégica de uma empresa, que pode gerenciar melhor sua distribuição e informar, de forma segura, as condições de sua conservação aos consumidores.

Quando se deseja avaliar a estabilidade de alimentos nos quais a deterioração é provocada por reações químicas, é necessário ter o conhecimento da ordem de reação (n). Por exemplo, quando a mudança na concentração C de um

composto de interesse é monitorada em um produto, a cinética de reação pode ser expressa pela Equação (1):

$$\pm \frac{dC}{dt} = KC^n \quad (01)$$

Onde K é a constante de reação, t é o tempo e o sinal \pm esta relacionado com o aumento ou à diminuição do composto em questão.

No caso da perda de um atributo de qualidade, nas cinéticas de reação de ordem zero ($n = 0$), o composto de interesse diminui linearmente com o tempo. Esse tipo de cinética geralmente é observado em reações como degradação enzimática, escurecimento não-enzimático e oxidação lipídica. Já nas cinéticas de primeira ordem ($n = 1$), o atributo de qualidade decresce de maneira exponencial com o tempo. Esse tipo de cinética é observado em reações que envolvem a perda de vitaminas e nutrientes, bem como o crescimento microbiano (SINGH, 1994).

Segundo Singh, (1994); Vitali; Quast, (2004), Teixeira Neto; Vitali; Quast, (2004), a dependência das taxas de reação em relação à temperatura pode ser descrita pelo fator Q_{10} , utilizado nos teste de estabilidade acelerada, sendo este utilizado quando o tempo de estocagem é muito longo precisa-se de resultados em um tempo mais curto.

Basicamente, os testes acelerados consistem em avaliar a estabilidade de alimentos expostos a condições extremas de estocagem, a fim de reduzir o tempo requerido para se determinar a vida de prateleira, Sendo assim, é possível se realizar o teste em temperaturas mais altas, que acelerem o processo de degradação, e extrapolar os resultados para temperaturas mais baixas, como as encontradas durante a distribuição e o armazenamento do produto (LABUZA; SCHMIDL, 1985; VITALI; QUAST, 2004)

Embora muitos métodos de processamento, conservação e embalagem sejam considerados eficientes para aumentar a estabilidade de alimentos, muitas vezes não se consegue evitar que eles sofram certas transformações em função do tempo, levando-os, por exemplo, a alterações sensoriais que podem comprometer ou reduzir a aceitação dos produtos. Para tanto se faz necessário o estudo da estabilidade dos mesmos. Este estudo é de fundamental importância, para os produtos alimentícios, para as indústrias, para os órgãos que defendem os

interesses dos consumidores e principalmente para os consumidores (VITALI; QUAST, 2004; AZEREDO, 2012).

2.5.1 Atividade de água

Quando se examina a composição da maioria dos alimentos, a água é encontrada como o principal componente dos alimentos e um dos mais importantes, afetando todas as suas propriedades físicas devido à sua interação com o meio, envolvendo a estrutura física, bem como a composição química do alimento (PARK; BIN; BROD, 2001; DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

As informações sobre as propriedades dos alimentos é fundamental para otimização de processos e funcionalidades, bem como para reduzir custos, especialmente no caso de pós produzidos ou usados em indústrias farmacêuticas e alimentícias. Propriedades como umidade, atividade de água e higroscopicidade são essenciais. Pois a determinação destas é uma das medidas mais importantes no processamento e na análise dos materiais biológicos, devido a sua importância no que diz respeito à qualidade, estabilidade e o armazenamento dos produtos desidratados, enquanto a solubilidade e a molhabilidade estão diretamente relacionadas à sua reconstituição, que são as características mais valorizadas pelos consumidores (BARBOSA-CÁNOVAS; JULIANO, 2005; HUBINGER et al., 2009; AZEREDO, 2012).

O conhecimento da atividade de água (a_w) de um alimento, por exemplo, é fundamental para determinação do processamento, da conservação, do tipo de embalagem e armazenamento destes alimentos, uma vez que esta propriedade quantifica o grau de ligação da água contida no produto e, conseqüentemente, sua disponibilidade para agir como solvente e participar das transformações químicas, bioquímicas e microbiológicas (GRANT, 2004; DAMODARAN et al., 2010)

Este conhecimento poderia ser mais importante para a avaliação da qualidade e da estabilidade de um alimento do que a quantidade de água presente no mesmo, pois a escolha da a_w , ao invés do teor de umidade, como um parâmetro de referência para muitos estudos sobre o processamento e armazenamento, é um fator determinante para o crescimento de microorganismos; está relacionada com a maioria das reações de degradação de natureza química, enzimática e física dos alimentos; a migração da água nos alimentos obedece a a_w e não o conteúdo de

umidade; a a_w é mais fácil de ser medida do que o teor de umidade, além de ser uma medida não destrutiva, entre outros. (LABUZA, 1968; MALTINI et al., 2003; GRANT, 2004; DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

Os alimentos desidratados, durante o armazenamento prolongado, tendem a adquirir umidade e de acordo com Arslan e Togrul (2005), esta resposta pode ser usada como um critério crítico para a análise da qualidade de alimentos industrializados, pois existe uma estreita relação entre o teor de água livre no alimento e sua conservação, uma vez que a grande maioria destes podem se degradar na presença de umidade, não apenas pelas taxas de alterações microbiológicas, como também pela influencia nas reações químicas (PARK; YADO; BROD, 2001; AZEREDO, 2012).

2.5.2 Isotermas de sorção de água e higroscopicidade do alimento em pó

Oliveira et al., (2011) afirmam que para frutas desidratadas na forma de pó, é importante estudar as isotermas de equilíbrio higroscópico do produto que tem por finalidade estabelecer se as mesmas sob determinadas condições de temperatura e umidade relativa do ar tende a sorver ou dissorver água. Diante do conhecimento do valor da atividade de água (a_w) de um produto podem ser previstas reações químicas e enzimáticas, e desenvolvimento de microrganismos. A partir do conhecimento da a_w pode-se, também, propor sistemas adequados de embalagem para um determinado produto.

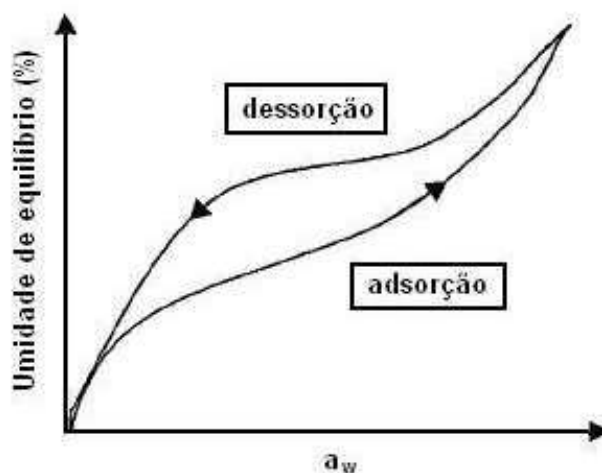
As isotermas de sorção de umidade de alimentos mostram a relação entre a umidade de equilíbrio e a a_w correspondente do produto, a temperatura e pressão constantes. Estas são consideradas ferramentas muito importantes para as indústrias alimentícias e para a ciência e tecnologia de alimentos, fornecendo informações bastante úteis para otimização de processos, para a solução de problema na seleção de embalagens, na modelagem das alterações na umidade do produto durante a estocagem e nos estudos de *shelf life*, muito importantes no caso de produtos em pó (LOMAURO; BAKSHI; LABUZA, 1985; JAMALI et al., 2006; ASSUNÇÃO; PENA, 2007; PENG et al., 2007; DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

Estas isotermas são obtidas a partir de dados de adsorção (ganho de umidade) e dessorção (perda de umidade); e podem ser preditas através de

modelos matemáticos utilizados com essa finalidade, e vastamente encontrados na literatura (NILSSON et al., 2005; ASSUNÇÃO; PENA, 2007; PENG et al., 2007).

O estudo da higroscopicidade pode ser feito através das isotermas de sorção, que consistem em curvas que descrevem a relação entre o conteúdo de umidade e a atividade de água (a_w) de um produto, à temperatura e pressão constantes. As isotermas de sorção podem ser obtidas em duas direções: durante a hidratação do material (adsorção) ou durante a sua secagem (dessorção). Segundo Labuza (1968), essas curvas, que teoricamente são idênticas, não se sobrepõem na prática, sendo comum haver diferenças entre as isotermas de dessorção e adsorção com os valores obtidos por determinações experimentais (Figura 5). Esse fenômeno é denominado de histerese.

FIGURA 5 - Isotermas de adsorção e dessorção



Fonte: Labuza (1968)

De acordo com Labuza (1968), uma isoterma de sorção pode ser dividida em três regiões, dependendo do estado físico da água presente. A primeira região cobre uma faixa de atividade de água entre zero e 0,35 e representa a adsorção de um filme de água monomolecular. A segunda região compreende uma faixa entre 0,35 a 0,60 de a_w e representa a adsorção das camadas adicionais de água acima da monocamada. A terceira região, acima de 0,60, representa a água condensada nos poros do material seguida pela dissolução de materiais solúveis presentes.

A isoterma de sorção indica o conteúdo de água retida pelo alimento em função da umidade relativa do ambiente (UR_{amb}) em que se encontra, no equilíbrio

e para uma determinada temperatura e pressão (GABAS, 2002). Esta relação de equilíbrio depende da composição química dos alimentos, como sua quantidade de gordura, amido, açúcar e proteínas (PARK; BIN; BROD, 2001). Para Gabas, (2002) essa relação de equilíbrio possui inúmeras aplicações no estudo de alimentos *in natura* ou processados, por exemplo, mediante a isoterma de sorção de um alimento, é possível, dado seu conteúdo de umidade, saber sua atividade de água.

O comportamento das isotermas de sorção é ainda necessário para que se possa conhecer bem a sua relação com as características físicas, químicas e de estabilidade dos produtos desidratados ou parcialmente desidratados, sendo importante na predição de alterações que o material possa sofrer quando condicionado em determinada umidade relativa do ambiente, sendo possível fazer prognóstico das condições finais de misturas de diversos ingredientes em alimentos formulados, projetar secadores, embalagens, simular alterações de umidade que ocorrem durante a estocagem, além da predição da estabilidade e vida de prateleira do produto (GABAS, 2002; HUBINGER et al., 2009).

Existem muitas equações matemáticas que têm sido propostas para estudar os dados de equilíbrio entre a umidade do produto e a umidade relativa do ambiente para sistemas alimentícios. Os diferentes modelos propostos (empírico, semi-empírico, ou teóricos) têm demonstrado sucesso em reproduzir os dados de conteúdo de umidade de equilíbrio de certo tipo de alimento a uma dada faixa de atividade de água (MOURA; GERMER, 1997).

As equações de Halsey e Oswin são utilizadas para analisar isotermas de sorção de diversos alimentos, sendo que o modelo de Halsey mostra um bom ajuste para produtos ricos em amido, tais como milho, batata e trigo. O modelo de Henderson é um dos mais empregados e descreve bem as isotermas em uma ampla faixa de a_w (0,10 a 0,75), para grãos, cereais e frutas.

A equação de BET, amplamente usada para fornecer uma estimativa da monocamada do alimento, é baseada no conceito de Langmuir de adsorção de água na monocamada molecular, modificada para multicamadas (BRUNAUER et al., 1938).

A equação de GAB é uma modificação do modelo de BET, e é o que tem se mostrado mais versátil na predição para ajuste de muitos alimentos, oferecendo vantagens de apresentar boa fundamentação teórica e descrever o comportamento

de sorção de grande parte de alimentos em uma extensa faixa de atividade de água (0-0,90) (IGLESIAS; CHIRIFE, 1982; KUROZAWA; EL-AOUAR; MURR, 2005).

2.5.3 Embalagens

As mudanças na aparência de um produto durante o armazenamento pode ser ocasionada pela perda de massa fresca e o uso de embalagem pode promover a redução desta perda e aumentar de 50 a 400% a vida-útil dos frutos, reduzir as perdas econômicas e facilitar a distribuição dos produtos a longas distâncias sem comprometer a qualidade, para tanto é necessário que se considerem as características e os requisitos do tri pé produto-embalagem-ambiente como um todo. (KOSHI, 1988; FARBER, 1991; AZEREDO, 2012)

Segundo Labuza et al., (1970); Eiroa, (1981); Alves, (2001); Azeredo, (2012) preservação da qualidade de produtos desidratados está diretamente relacionada com um sistema alimento-embalagem-ambiente. A função de proteção é considerada a mais importante, tendo relação direta com a segurança do consumidor. Por tanto, a embalagem tem por objetivo promover maior período de vida-de-prateleira do produto, evitando principalmente a reidratação. O ganho de umidade leva a alterações na textura e acarreta aumento da atividade de água, favorecendo as reações de escurecimento enzimático e não enzimático e ao desenvolvimento de microrganismos.

Segundo Soares et al., (2001); Silva, (2005) embalagens laminadas têm sido mais efetivas em relação às embalagens de polietileno, no prolongamento de vida útil de produtos desidratados, conforme demonstram alguns resultados da literatura, devido à maior proteção contra oxidação e absorção de umidade.

De acordo com Azeredo, (2012) as embalagens metálicas constituem excelente barreira contra a passagem de luz, umidade e gases minimizando, com isso, as reações oxidativas, desde que garantida a hermeticidade do sistema de fechamento, a permeação através da embalagem é desprezível.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Matéria-prima

Os frutos do tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.), utilizados foram provenientes de quatro acessos do Banco de Germoplasma de Tucumã da Embrapa Amazônia Oriental (BAG-Tucumã) do município de Belém/PA (Processo/Ibama nº 02001.003368/2013-78), cujas coordenadas geográficas são: S – 01° 25' 24.1" W – 048° 24' 12.7"; S – 01° 25' 22.5" W – 048° 24' 10.1"; S – 01° 25' 23.3" W – 048° 24' 09.9" e S – 01° 25' 24.7" W – 048° 24' 13.3.

3.1.2 Embalagem

Os produtos submetidos ao estudo de estabilidade foram acondicionados em embalagem flexível de filme laminada com as seguintes especificações: Sacos Tradpouch® (60 MZ), laminados de PET/Met//PE, onde, o PET é metalizado com alumínio, PE é uma blenda de PEAD(15%), PEBD(40%), e PELBD(45%), com zíper não impresso, da marca Tradbor. Tamanho 60 x (83 + 17) mm.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Coleta dos frutos

Foram coletados em média 8 meses após a abertura da bráctea e exposição da inflorescência, período este em que ocorre a completa maturação dos frutos de acordo com Lopes; Oliveira (2013).

3.2.2 Transporte e higienização dos frutos

O transporte foi realizado em sacos de polietileno até o Laboratório de Agroindústria da Embrapa Amazônia Oriental, onde os frutos foram imediatamente selecionados, higienizados e armazenados. A seleção obedeceu ao padrão de frutos sadios íntegros, sem defeitos, isentos de parasitas e que não apresentaram grau de maturação avançado; a lavagem foi feita com água potável corrente; a sanitização feita com uma solução de cloro a 200mg/L por 30 minutos e posterior enxágue em

água corrente potável. Os frutos higienizados foram colocados em bandejas com papel toalha para retirada do excesso de água, em seguida acondicionados em saco de polietileno e armazenados em câmara fria a -18°C , para posterior análise e processamento.

3.2.3 Biometria dos frutos do tucumã

A análise biométrica foi aplicada em 100 frutos separados aleatoriamente e avaliados individualmente. Para isto, foram considerados os parâmetros: comprimento (L) (em relação à coroa) e diâmetro (D) do fruto inteiro, massa do fruto (m_f), massa do epicarpo (m_{ep}), massa do mesocarpo (m_m) e massa do endocarpo (m_{en}). O despulpamento foi feito manualmente com auxílio de faca de aço inoxidável, as massas foram aferidas em balança analítica e para medidas de comprimento, diâmetro e espessura foi utilizado paquímetro digital.

3.2.4 Obtenção da polpa de tucumã

A separação da polpa (mesocarpo mais epicarpo) do tucumã, previamente branqueado, foi feita em equipamento de aço inoxidável, cujo estudo do despulpamento está em processo de patente solicitado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA-PA. A polpa obtida foi acondicionada em sacos de polietileno e armazenada em câmara fria a -18°C .

Os frutos de tucumã foram branqueados segundo metodologia usada por Yuyama et al., (2008), com modificações na temperatura ($85^{\circ}\text{C}/3$ minutos).

3.2.5 Caracterização física e físico-química da polpa do fruto

As análises físico-químicas realizadas na polpa do fruto foram realizadas em triplicata seguindo as metodologias oficiais.

- **Umidade:** Realizada segundo o método padrão nº 934.06 da A.O.A.C. (2002).
- **Lipídeos Totais:** Realizada segundo o método padrão da A.O.C.S. Ba 3-38 (Official Methods, 1998).
- **Proteínas:** Realizado pelo método Kjeldahl A.O.A.C 920.152 (2002). O teor proteico (%N) foi calculado empregando fator de conversão do nitrogênio 6,25.

- **Teor de Cinzas:** Realizado pelo método A.O.A.C. 940.26 (2002).
- **Carboidratos Totais:** Serão calculados por diferença (100 g - gramas totais de umidade, proteínas, lipídeos, fibras e cinzas), segundo a Resolução RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003 (BRASIL, 2003) conforme a Equação 2:

$$E = 100 - (A + B + C + D) \quad (02)$$

Onde: A = Proteína; B = Lipídeos; C = Umidade; D = Cinzas; E = Carboidratos

- **Fibra detergente ácido (FDA):** protocolo experimental descrito por VAN SOEST et al., (1965);
- **Valor Calórico:** foi realizada de acordo com a Equação 3, segundo Anderson et al. (1988) e a Resolução RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003 (BRASIL, 2003).

$$\text{Valor calórico (Kcal/100g)} = [(A \times 4) + (E \times 4) + (B \times 9)] \quad (03)$$

- **Carotenoides:** expresso em teor de β -caroteno em espectrofotometria a 450 nm conforme a metodologia descrita por Rodriguez-Amaya (1976).
- **Atividade de água:** obtida por leitura direta no termo-higrômetro (Marca AQUA LAB - Modelo 4TE), com temperatura controlada de $25,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$.

3.2.6 Análise instrumental de cor

A avaliação da cor foi realizada na Embrapa Amazônia Oriental por colorimetria *Tristímulo* utilizando colorímetro *Hunterlab* modelo *color quest* XE, através dos parâmetros de L^* , a^* , b^* , em três leituras, onde: L^* representa a Luminosidade, em uma escala de 0 (Preto) a 100 (Branco); a^* : +a (Intensidade do vermelho) e -a (Intensidade do verde); b^* : +b (Intensidade do amarelo) e -b (Intensidade do azul). Os valores de delta (ΔL^* , Δa^* e Δb^*) indicam o quanto a amostra diferiu do padrão para L^* , a^* e b^* , e são frequentemente utilizados no controle de qualidade e ajustes de formulações, além de serem utilizados para o cálculo da diferença total da cor (ΔE) conforme equação 4 (HUNTERLAB, 1996).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (04)$$

O croma C^* se refere à saturação da cor, ou seja, é a intensidade da cor de uma amostra percebida pelos seres humanos. Foi calculado de acordo com a Equação 5.

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (05)$$

O valor do ângulo de tonalidade, que descreve o atributo pelo qual uma amostra é identificada como verde, amarelo, vermelho, etc., foi calculado através da Equação 6, é quantificado como um ângulo medido em graus (ângulo de tonalidade). Os valores do ângulo de tonalidade indicam a cor da amostra, onde um ângulo de tonalidade de 0° coincide com a cor vermelha, 90° com a cor amarela, 180° com a cor verde e 270° com a cor azul (LITTLE, 1975).

$$h^\circ = \cos^{-1} \frac{a}{(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}} \quad (06)$$

3.2.7 Atividade enzimática

A determinação da atividade enzimática em termos de polifenoloxidase e peroxidase foi feita na polpa *in natura* e durante o estudo da estabilidade polpa liofilizada.

A metodologia utilizada foi adaptada de Oktay et al., (1995) e Lima (1999). Foram usadas 2,0722 g para polpa *in natura* e 1,0327 g de polpa liofilizada. Para cada amostra foram adicionados 25 mL de solução de tampão fosfato 0,05 M, pH 6,0, em seguida centrifugadas a 10.000 rpm x 10 minutos. O precipitado foi descartado e o sobrenadante foi utilizado como extrato enzimático.

3.2.8 Liofilização da polpa de tucumã

O processo de liofilização foi realizado, inicialmente, pelo congelamento da polpa do tucumã em *freezer* vertical a -18°C por 24 horas, conforme instrução do manual do equipamento, em bandejas de aço inoxidável própria do equipamento. Em seguida, a polpa de tucumã congelada levada para o liofilizador (Marca LIOTOP - Modelo L101), na pressão de $78 \mu\text{mHg}$, e o condensador na temperatura de -52°C , permanecendo até completa liofilização.

3.2.9 Moagem e análise granulométrica da polpa de tucumã liofilizada

A polpa seca foi submetida à moagem para redução do tamanho das partículas em moinho (Marca TECNAL, Modelo WILLYE TE – 650) durante cinco minutos, para obtenção de um produto homogêneo.

A análise granulométrica foi determinada utilizando a metodologia nº 965.22 da AOAC (2002), com auxílio de um conjunto de peneiras série WS Tyler e agitador de peneiras. Com diâmetro da malha variando de 0,60 a 1,20 mm. O tempo de agitação empregado foi de aproximadamente 10 minutos.

3.2.10 Caracterização da polpa do tucumã liofilizada

A caracterização da polpa liofilizada foi realizada quanto ao teor de umidade, proteínas, cinzas, lipídios, carboidratos e valor energético, fibra Insolúvel e carotenoides, seguindo as metodologias citadas no tópico 3.2.4, e análise colorimétrica conforme item 3.2.5.

3.2.11 Ensaio do estudo da estabilidade

Para o estudo da estabilidade da polpa de tucumã liofilizada foi utilizado estufas com Demanda bioquímica de oxigênio (DBO), na temperatura de trabalho de 30 e 40°C, com variação de $\pm 1^\circ\text{C}$.

Inicialmente foi feito o acondicionamento de 12 gramas de polpa liofilizada em embalagem flexível de filme laminado (PET/MET/PE), numeradas e seladas, e levadas aos respectivos dessecadores com umidade controlada e sob vácuo. Para isto, o dessecador foi previamente preparado com uma solução saturada de cloreto de potássio, para simular uma umidade relativa de aproximadamente 83% para ambas as temperaturas utilizadas nos ensaios.

Para determinar a vida de prateleira da polpa de tucumã liofilizada, foram realizadas análises programadas para o intervalo de tempo 0, 15, 30, 60, 90 e 120 dias de armazenamento. A estabilidade do produto foi avaliada em termos dos valores de atividade de água (Aa), cor, carotenoides e atividade enzimática durante 0, 15, 30, 60, 90 e 120 dias de armazenamento nas condições estudadas. Para cada tempo três amostras eram retiradas para realização das análises em triplicatas.

3.2.12 Estimativa da estabilidade do produto

Para estimativa da vida de prateleira do produto baseou-se na metodologia descrita por VITALI; QUAST, (2004), onde foi aplicado o fator Q10, através da equação 07.

$$Q_{10} = \frac{K_{(t+10)}}{K_{(t)}} \quad (07)$$

O fator *Q10* indica o aumento ou a diminuição na taxa de uma reação, quando o produto é estocado em uma temperatura 10°C maior. Sendo avaliadas: atividade de água, carotenoides, atividade enzimática e parâmetros de cor. No atributo de atividade de água, neste trabalho adotou-se que valores superiores a 0,6 seriam considerados como limite crítico para qualidade do produto, sendo o segundo parâmetros avaliados foi teor de carotenoides, considerando 50% de perda desse micronutriente como o final da vida útil do referido produto.

3.2.13 Estudo do equilíbrio higroscópico

Foram construídas isotermas de adsorção de umidade de acordo com o estudo de Ferreira; Pena, (2010). Durante os ensaios de adsorção as amostras foram submetidas à inspeção visual, para acompanhar alterações perceptíveis, tais como: aglomeração e escurecimento. A partir dos dados obtidos foram construídas as isotermas de adsorção de umidade.

3.2.13.1 Predição das isotermas de sorção

Foram testados seis modelos matemáticos (Tabela 2) na predição dos dados de adsorção. Nos ajustes utilizou-se análise de regressão não linear, com auxílio do aplicativo Statistica 7.0 (StatSoft, USA) (STATSOFT INC., 2000). Metodologia de estimativa de Levenberg- Marquardt e critério de convergência de 10^{-6} .

Tabela 2 - Modelos matemáticos utilizados na predição das isotermas de adsorção

EQUAÇÃO	MODELOS	REFERENCIAS
Mizrahi	$a_w = \frac{(a + m)}{(b + m)}$	Chirife; Iglesias (1978)
BET	$m = \frac{m_0 \cdot c \cdot a_w}{1 - a_w} \left(\frac{1 - (n + 1) \cdot a_w^n + n \cdot a_w^{n+1}}{1 - (1 - c) \cdot a_w - c \cdot a_w^{n+1}} \right)$	Figueira et al., (2004)
GAB	$m = \frac{(m \cdot c \cdot k \cdot a_w)}{[(1 - k \cdot a_w) \cdot (1 + (c - 1) \cdot k \cdot a_w)]}$	Maroulis et al., (1988)
Oswin	$m = a \cdot \left[\frac{a_w}{a} \right]^b$	Chirife; Iglesias, (1978)
Smith	$m = a - b \cdot h(I - a_w)$	Chirife; Iglesias, (1978)
BET modificada	$m = \frac{a \cdot b \cdot a_w}{[(1 - c \cdot a_w) \cdot (1 + (b - 1) \cdot c \cdot a_w)]}$	Jaafar; Michalowski, (1990)

m = teor de umidade (g/100 g b.s); a_w = atividade de água; a , b , m_0 , k e c são parâmetros a serem estimados pela modelagem.

Os parâmetros utilizados para avaliar os ajustes foram: coeficiente de determinação (R^2), desvio médio relativo (P) (Equação 3) e correlação entre os valores de umidade, experimental ($m_{\text{observado}}$) e predito (m_{predito}).

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|M_{\text{exp}} - M_{\text{pre}}|}{M_{\text{exp}}} \quad (08)$$

onde: M_{exp} e M_{pre} são umidades experimentais e preditas, respectivamente e n é o número de observações.

Valores de P menores que 10% foram considerados por Peng et al. (2007) como indicadores de bons ajustes para isotermas de sorção, para propósitos práticos, e foram tomados como referência na análise dos ajustes.

3.2.14 Análise Estatística

Os resultados experimentais foram avaliados de acordo com a Análise de Variância (ANOVA), com nível de 5% de significância estatística e Teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Para isto, foi utilizado o programa software Statistica 7.0 (StatSoft, USA) (STATSOFT INC., 2000).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS DO TUCUMÃ

Na Tabela 3 encontram-se os resultados médios mais os respectivos desvios padrão das análises biométricas do fruto de tucumã, comparados aos dados da literatura.

Tabela 3 - Características Biométricas do fruto de tucumã.

Parâmetros	**Médias	**Faixa de Valores	*Ferreira et al., (2008)	*Simões (2010)	*Vasconcelos (2010)
Comprimento (mm)	40,05 ± 5,81	32,20 – 50,70	38,50 ± 2,14	37,75 ± 2,14	42,00 ± 2,70
Diâmetro (mm)	31,31 ± 4,91	20,90 – 38,67	31,23 ± 1,12	32,32 ± 1,12	33,00 ± 2,10
Peso do Fruto (g)	22,07 ± 6,11	14,01 - 36,29	22,01 ± 2,19	24,86 ± 2,19	23,23 ± 4,42
Peso do Mesocarpo (g)	5,21 ± 4,36	3,90 – 9,07	5,68 ± 0,57	3,64 ± 0,57	5,65 ± 1,00
Peso do Epicarpo (g)	6,03 ± 4,58	4,97 – 11,15	6,75 ± 1,00	6,90 ± 1,00	10,09 ± 1,91
Peso do Endocarpo (g)	10,83 ± 3,5	6,86 – 14,08	10,03 ± 1,19	10,00 ± 1,19	13,53 ± 1,76
Mesocarpo (%)	23,60 ± 4,36		25,00 ± 0,57	23,00 ± 0,57	35,00
Epicarpo (%)	27,32 ± 4,58		29,40 ± 1,00	28,23 ± 1,00	19,00
Endocarpo (%)	49,08 ± 3,5		45,60 ± 1,19	48,77 ± 1,19	46,00

- Análises biométrica do fruto *in natura* de tucumã

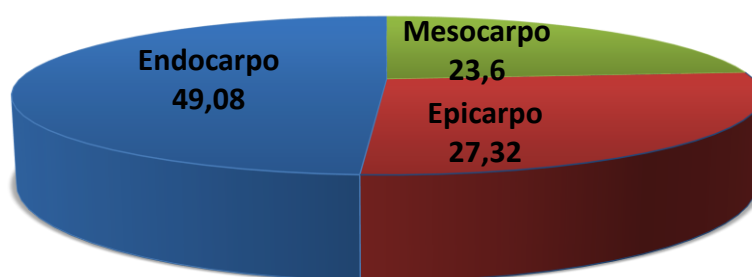
* Médias analisadas em 100 frutos

** Analisada em 100 unidades do fruto

Nota-se que as características do tucumã oriundos do BAG-Tucumã, massa, comprimento e diâmetro estão próximos aos valores encontrados por Ferreira et. al, (2008), Simões, (2010), e Vasconcelos, (2010) para a mesma espécie (*Astrocaryum vulgare*).

A distribuição percentual do epicarpo, mesocarpo e endocarpo (Figura 6) mostra que cerca de 51% representa a parte comestível do fruto, indicando o seu potencial mercadológico.

Figura 6 - Distribuição percentual do fruto



Fonte: Autora

Segundo Guedes, (2006) a quantificação dos principais ácidos graxos presente no óleo de tucumã mostrou que a sua composição apresenta 31,56% de ácidos graxos saturados e 68,44% de ácidos graxos insaturados tendo como principal representante o ácido oleico que constituiu 63,47% da composição química, o que justificaria sua utilização para fins alimentícios. Valor semelhante de ácido oleico 64,14% foi encontrado por Vasconcelos, (2010), para mesma espécie de tucumã.

O endocarpo (caroço) representa aproximadamente 49% do fruto, entretanto, mesmo com um valor expressivo esta porção do fruto ainda apresenta pouca utilização. Damasceno et al., (2008) reportaram a possibilidade do óleo obtido do endocarpo serem usados para produção biodiesel, bem como para outros fins, como cosméticos e alimentícios, pois os teores de lipídeos determinados em seus estudos, encontra-se acima de 30%.

4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DA POLPA DE TUCUMÃ

A polpa de tucumã *in natura* estudada apresentou elevada umidade com valor de $56,42 \pm 0,58$ e atividade de água de $0,97 \pm 0,02$, e como constituinte majoritário, os carboidratos, considerável quantidade de fibras, e, baixo teor de cinzas, lipídeos e proteínas quando comparados às literaturas citadas. Os resultados das análises física e físico-químicas estão apresentados na Tabela 4. O fruto de tucumã apresenta ainda alta concentração de β -caroteno.

Tabela 4 - Características físico-químicas da matéria-prima polpa de tucumã

	Média dos ensaios (base Úmida)	Média dos ensaios (base seca)	Bichara (2007)	Ferreira et al., (2008)	Simões (2010)
Umidade (%)	56,42 ± 0,58	56,42 ± 0,06	53,26 ± 0,52	44,90 ± 0,30	46,6 ± 30,0
Proteínas totais (%)	1,76 ± 0,05	4,05 ± 0,02	4,42 ± 0,03	3,54 ± 0,07	3,33 ± 0,07
Cinzas (%)	1,34 ± 0,02	3,07 ± 0,01	2,34 ± 0,06	2,53 ± 0,05	1,37 ± 0,05
Lipídeos totais (%)	10,07 ± 0,07	23,10 ± 0,04	40,40 ± 0,03	40,49 ± 0,54	28,7 ± 0,50
Fibra (%)	5,53 ± 0,07	16,52 ± 0,57	15,76 ± 30,0	10,93 ± 0,10	10,13 ± 0,10
Carboidratos	28,96 ± 0,59	63,82 ± 0,61	-	8,54 ± 0,61	19,98 ± 0,61
Energia (Kcal)	219,31 ± 0,61	497,36 ± 0,62	-	412,73	351,5 ± 2,10
Atividade de água	0,97 ± 0,02		-	-	-

Média de três determinações ± desvio

Conforme a Tabela 4 é possível observar que em relação ao teor de umidade valor semelhante foi observado por Bichara, (2007); entretanto, Ferreira et al.,(2008); Simões, (2010) reportam valores inferiores, $44,90 \pm 0,30$ e $46,6 \pm 30,0$ respectivamente. Este comportamento provavelmente se deve a características de clima, solo, diferentes estádios de maturidade, etc.

O conteúdo de umidade do produto é um dado importante, principalmente, para o processo de secagem, pois fatores como temperatura e tempo de secagem podem degradar componentes termossensíveis presentes no fruto, além do gasto de energia e aumento do custo do processo. O teor de umidade, em torno de 50%, é semelhante ao que ocorre na maioria das polpas de frutos oleaginosos, tais como o dendê e a pupunha (CLEMENTE, 2005).

O tucumã apresentou um elevado valor de atividade de água, comprovando com isso a importância de processos para redução dessa propriedade, visando à conservação do produto, uma vez que o mesmo encontra-se susceptível a deterioração microbiológica. Em relação à deterioração de alimentos com base no fator água, o atributo mais importante é sua atividade de água, e não seu teor de umidade, uma vez que o simples teor de umidade não se baseia numa quantificação da água termodinamicamente disponível (GRANT, 2004).

Observa-se que o teor de lipídeos encontra-se abaixo daqueles citados na literatura (ver tabela 4). Isto provavelmente se deve à origem de coleta dos frutos que foi feita em quatro acessos do BAG-Tucumã Amazônia Oriental. Segundo Oliveira et al., (2003), características do clima, solo, adubo e ainda variações da genética do fruto podem ter contribuído para esse comportamento. Entretanto, quando convertidos para base seca, o valor de $23,10 \pm 0,04$ encontra-se dentro da faixa de $13,53 \pm 0,25$ a $50,72 \pm 0,31$ em base seca encontrada no estudo de Damasceno et al., (2008).

Segundo a Portaria nº 27 de 1998 – Regulamento Técnico Referente à Informação Nutricional Complementar (BRASIL, 1998), um alimento é considerado rico em fibras quando possui uma quantidade maior a 6g/100g de alimentos sólidos. Embora o valor de fibra encontrado neste estudo de $16,52 \pm 0,57$ (em base seca), estar abaixo dos valores encontrados por Bichara (2007), Ferreira et al.,(2008) e Simões (2010) (Tabela 4), pode-se dizer que o tucumã é classificado como alimento rico em fibras. Contudo, sabe-se que esta

informação está diretamente ligada a vários fatores como procedência da matéria-prima, grau de maturação dos frutos, tipo e eficiência da etapa de despulpamento do fruto, entre outros.

Os carboidratos foram calculados por diferença, e apresenta valor de $63,82 \pm 0,61$ (base seca). Estudos demonstram que a polpa de tucumã em geral possui teores elevados de carboidratos, podendo ser considerado como fonte de hidratos de carbono. Este valor encontrado é superior ao encontrado por Ferreira et al., (2008), de $8,54 \pm 0,61$, contudo, semelhantes aos valores determinados Damasceno et al., (2008) onde os teores de carboidratos realizados no BAG-Tucumã da Embrapa Amazônia Oriental variaram entre 33,16 e 71,03% em base seca, já Fernandes et al (2007), encontrou valores entre 45,12 e 74,22%,.

Observa-se que a polpa do fruto *in natura* apresentou valor calórico de $497,36 \pm 0,62$ Kcal em 100g em base seca, pode ser considerado um alimento calórico, sendo este valor justificado principalmente pelos teores de lipídeos, em virtude de seu fator de conversão Kcal/g. Segundo análise biométrica apresentada na Tabela 3, cada fruto contém em média 48 Kcal.

O conteúdo proteico de 4,05 % confirma que o tucumã estudado não apresenta quantidade proteica expressiva, quando comparado ao teor de outras espécies da Amazônia, como a Castanha-do-Brasil que apresenta média de 15,6% (YUYAMA et al 1998; SANTOS et al, 2012). Os resultados encontrados neste estudo são também inferiores aos reportados por Guedes (2006), Bichara (2007), Ferreira et al. (2008) e Simões (2010) (Tabela 4). Sabe-se que fatores tais como coleta, preparo da amostra, alterações intrínsecas do fruto, variação genética, qualidade de solos, entre outros, podem ter contribuído para esse comportamento.

Com relação aos carotenoides, a polpa de tucumã pode ser considerada uma fonte promissora desse micronutriente, sendo o valor encontrado neste estudo de $243,94 \pm 19,34$ $\mu\text{g/g}$. Estes foram superiores aos encontrados por Rodriguez-Amaya (1996), que reporta o valor de β -caroteno, 107 ± 31 $\mu\text{g/g}$, Marinho; Castro (2002) de $99,00$ $\mu\text{g/g}$, e por Guedes, (2006) de 167 ± 2 $\mu\text{g/g}$, para a mesma espécie de tucumã. Esta concentração de carotenoides na polpa é também superior quando comparado com outras frutas palmáceas como o Umari ou mari (*Poraqueibasericea*) $99\mu\text{g/g}$ e Bocaiúva / macaúba (*Acrocomia*

aculeata) 59µg/g. Semelhante somente ao buriti (*Mauritia vinífera*) que apresenta uma faixa de valores de 110,46 a 364 µg/g, sendo que o buriti é considerado o produto alimentar detentor de maior concentração conhecida de β-carotenos dentro da ampla gama já analisada de alimentos brasileiros (RODRIGUEZ-AMAYA et al., 2008). Os valores de carotenoides encontrados no tucumã supriram a dose diária necessária para crianças e adultos, comprovando a viabilidade de utilização da mesma (LIMA, TRASSATO, COELHO, 1986; SILVA, 1993; YUYAMA et al., 2005).

Os resultados observados reforçam a importância nutricional deste fruto, bem como os aspectos funcionais que podem ser ocasionados, pela presença dos macro e micronutrientes acima das recomendações diárias estabelecidas, com funções que, além de suprir as necessidades nutricionais, são capazes de desempenhar efeitos protetores ao organismo humano.

4.3 CARACTERÍSTICAS DA POLPA DE TUCUMÃ LIOFILIZADA

4.3.1 Granulometria

A análise granulométrica na polpa de tucumã liofilizado foi realizada pela necessidade de uniformização do material e os percentuais das frações das partículas estão apresentados na Tabela 5.

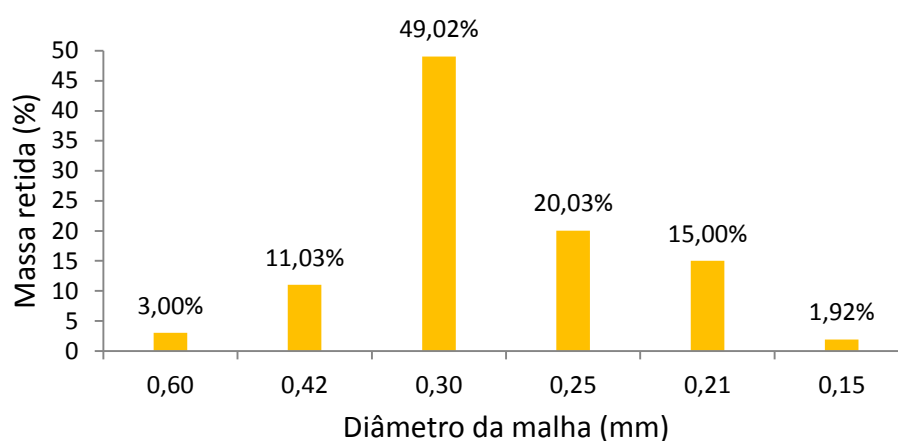
Tabela 5 – Distribuição granulométrica da polpa de tucumã liofilizada

Peneiras (Tyler)	Diâmetro das malhas (mm)	Massa Retida (g) Polpa de tucumã liofilizada	Porcentagem retida (%)
28	0,6	3,00 ± 0,08	3
35	0,42	11,03 ± 0,03	11
48	0,297	49,02 ± 0,01	49
60	0,25	20,03 ± 0,05	20
65	0,210	15,00 ± 0,20	15
100	0,149	1,92 ± 0,03	2
Fundo		0,025 ± 0,02	0

Os valores foram obtidos por meio da média ± desvio padrão de três repetições

Observa-se que cerca de 80 % da amostra encontra-se na faixa de 0,42 a 0,25 mm (Figura 7). A variação no tamanho das partículas pode influenciar na absorção de água pelo produto com a consequente diferença no tempo de vida útil dos mesmos. Partículas menores absorvem água mais rapidamente e terão seu processo de degradação acelerado. A ANVISA não estabelece padrão de tamanho de partículas para frutas liofilizadas em pó (BRASIL, 1978).

Figura 7 – Percentual granulométrico da polpa de tucumã liofilizada.



Fonte: Autora

4.3.2 Característica físico-química da polpa *in natura* e liofilizada

Em virtude da ausência de dados na literatura, os parâmetros físico-químicos da polpa liofilizada (Tabela 6) são comparados com aqueles determinados para a polpa *in natura*.

Tabela 6 - parâmetros físico-químicos da polpa *in natura* e liofilizada

PARÂMETROS	Polpa <i>in natura</i>	Polpa Liofilizada
Umidade* (%)	56,42 ± 0,06 ^a	3,16 ± 0,47 ^b
Proteínas (%)	4,05 ± 0,02 ^b	4,40 ± 0,15 ^a
Cinzas (%)	3,07 ± 0,01 ^b	3,32 ± 0,01 ^a
Lipídeos (%)	23,10 ± 0,04 ^b	26,76 ± 0,14 ^a
Fibra (%)	16,52 ± 0,57 ^a	17,43 ± 1,34 ^b
Carboidratos	63,82 ± 0,61 ^b	70,16 ± 0,30 ^a
Energia (Kcal)	497,36 ± 0,62 ^b	536,60 ± 0,23 ^a

*Calculado em base úmida

Como já esperado a umidade da polpa diminui significativamente quando é submetida a qualquer processo de desidratação. Neste caso, observa-se uma perda de 94% de água quando a polpa foi liofilizada, este resultado é semelhante ao obtido por Oliveira et al., (2011) estudando o comportamento higroscópico de sapoti liofilizado que reduziu 83% e Moreira et al., (2013) obteve 96% de redução para a manga liofilizada.

Para sistemas alimentícios que contêm água como componente majoritário, a redução de água está relacionada entre outros fatores, com sua estabilidade, qualidade e composição, e pode afetar o armazenamento, embalagens e processamento (CHAVES et al., 2004; DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

A umidade do pó liofilizado (3,16 %) se mantém dentro dos padrões estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA para produtos desidratados. A Resolução RDC nº 272 de 22 de setembro de 2005 da ANVISA preconiza que produtos de frutas secos ou desidratados devem apresentar no máximo 25% de umidade (BRASIL, 2005).

Quanto aos demais parâmetros físico-químicos, observa-se, através do teste de Tukey a 5% de significância, um pequeno aumento nos valores determinados antes e após a liofilização. Esse comportamento, provavelmente, se deve às condições mais brandas de temperatura e exposição ao oxigênio usadas no processo de liofilização, considerando-se que na análise da polpa *in natura* esta é submetida a temperatura e tempo de secagem maiores para a retirada da água da amostra a ser analisada.

4.3.3 Teor de carotenóides e parâmetros de cor

Os valores determinados para teor de carotenóides e parâmetros de cor para a polpa de tucumã *in natura* e liofilizado são mostrados na Tabela 7.

Tabela 7 - Teor de carotenoides e parâmetros de cor para polpa de tucumã

PARÂMETROS	Polpa <i>in natura</i>	Polpa Liofilizada
Carotenoides (µg/g)	531,42 ± 14,24 ^a	375,33 ± 4,71 ^b
L*	61,93 ± 1,72 ^a	56,84 ± 1,01 ^b
a*	16,52 ± 0,48 ^b	18,80 ± 0,25 ^a
b*	42,05 ± 1,09 ^a	36,27 ± 3,26 ^a
C*	45,18 ± 1,91 ^a	40,86 ± 1,84 ^a
h*	68,56 ± 0,62 ^a	62,58 ± 0,83 ^b

Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de significância

Observa-se que ocorreu uma redução no processo de desidratação significativa de aproximadamente 29 % no teor de carotenóides. Este fato se deve provavelmente em função das etapas de processamento para obtenção da polpa liofilizada (branqueamento, despulpamento, congelamento), em virtude da sensibilidade do caroteno a luz, oxigênio e calor.

Considerando que a razão de conversão seja de 1 µg de β-caroteno equivalendo a 0,167 µg de Equivalente de Retinol (RE) e sabendo-se que recomendação de ingestão diária para um adulto é de 600 RE (ANVISA RDC 269 22/09/2005). Logo, o consumo de 14,73 g (apenas dois 02 fruto de tucumã) da parte comestível poderia suprir essa recomendação.

Ainda na Tabela 7 pode-se verificar que a polpa liofilizada possui coloração amarelo forte, tendendo, às vezes, ao alaranjado, resultado das cores vermelho (+a) e amarelo(+b).

Na análise da cor da polpa *in natura*, segundo os parâmetros L*, a* e b* verificou-se predominância da cor amarela (b* = 42,05) sobre a vermelha (a* = 16,52), ocorrendo o mesmo na polpa liofilizada (ver tabela 7).

Em relação à luminosidade houve diferença significativa (p < 0,05) entre os valores para polpa *in natura* e a liofilizada. De acordo com os parâmetros de L* a polpa *in natura* apresentou cor clara (L* = 61,93), uma suave tendência à coloração vermelha (a* = 16,52) e conforme esperado, os valores de b* foram maiores (b* = 42,05), evidenciando a predominância da cor amarela no fruto, indicando maior concentração de carotenoides na polpa *in natura*. A mesma tendência de coloração também foi observada por Vasconcelos (2010).

A diminuição significativa do parâmetro L^* (luminosidade) se deve, provavelmente, às condições de processo para obtenção da polpa liofilizada (branqueamento, despulpamento e congelamento).

Avaliando-se o Croma (C^*), percebe-se que não houve diferença significativa entre as amostras, logo a intensidade da cor não foi alterada.

Quanto ao valor do ângulo de tonalidade, houve diferença significativa entre a amostra *in natura* e a polpa liofilizada, respectivamente ($h^\circ = 68,56$ e $62,57$), indicando tendência à cor amarela, pois se aproximou de 90° .

4.4 ISOTERMA DE ADSORÇÃO DE UMIDADE

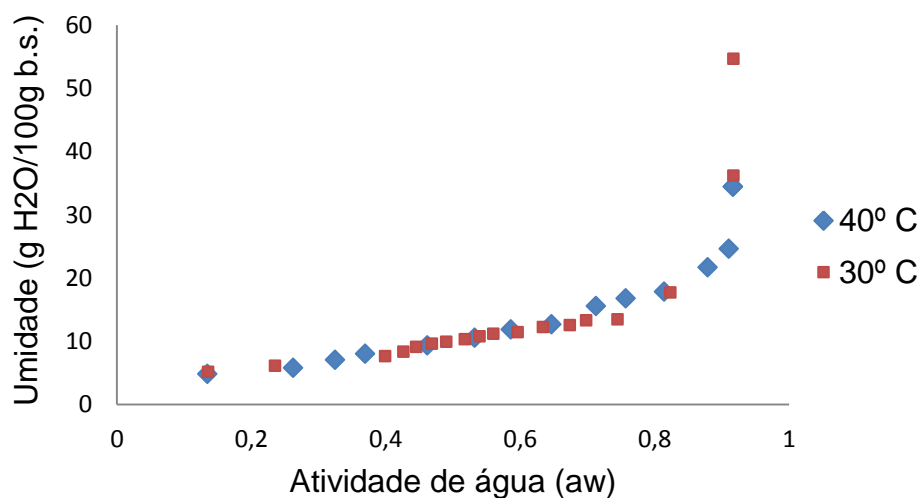
As isotermas de adsorção foram obtidas traçando os teores de água de equilíbrio da polpa de tucumã liofilizada em função da atividade de água. Os dados de adsorção de umidade estão apresentados no Apêndice A.

Durante os ensaios de adsorção não foram observadas mudanças visuais nas amostras, como aglomeração e escurecimento. De acordo com os dados de adsorção, a polpa de tucumã liofilizada ($a_w \leq 0,6$) a 30°C e 40°C , cujas umidades foram inferiores a 11,352 e 12,131 g $\text{H}_2\text{O}/100$ g b.s., respectivamente, deve ter maior estabilidade.

Verifica-se que à temperatura constante, as umidades de equilíbrio (U_{eq}) aumentam com o aumento da atividade de água (a_w) (ver apêndice A), no entanto, esta umidade de equilíbrio diminui com o aumento da temperatura. Este comportamento é semelhante ao encontrado por Pena; Ribeiro; Grande (2000), em guaraná em pó, Goula et al. (2008) no pó da polpa de tomate, assim como Moreira et al., (2013), ao avaliarem o comportamento das isotermas de adsorção do pó da polpa de manga liofilizada.

Na Figura 8 estão apresentadas as isotermas de adsorção de umidade da polpa de tucumã liofilizada. Os valores experimentais obtidos mostram que o comportamento das isotermas foi do tipo exponencial, sendo classificadas como isotermas tipo III, de acordo com a IUPAC (1985).

Figura 8 - Isoterma de adsorção da polpa de tucumã liofilizada a 30°C e a 40°C



Fonte: Autora

Pode-se observar que as isotermas (30 e 40 °C) apresentam condições de atividade de água e umidade de equilíbrio muito próximas devido à estreita faixa de temperatura avaliada. Este comportamento também foi observado por Alcântara et al. (2009) nas isotermas do pedúnculo de caju seco feitas a 25 e 40 °C e por Moreira et al., (2013) no estudo sobre o comportamento das isotermas de adsorção do pó da polpa de manga liofilizada nas temperaturas de 25, 30 e 35° C.

Goula et al.,(2008) relata que este comportamento pode ser atribuído à redução do número total de sítios ativos disponíveis para ligação com a molécula de água em virtude das mudanças de ordem física e/ou química. A temperatura afeta a mobilidade das moléculas de água e o equilíbrio entre o vapor e a fase adsorvida; em geral, um aumento na temperatura ocasiona uma diminuição na umidade de equilíbrio.

Dentro da primeira parte das isotermas de adsorção onde a a_w varia de 0,1 a 0,4 observa-se um pequeno aumento do teor de água com um grande aumento da a_w , mostrando que nesta faixa de a_w a polpa liofilizada foi pouco higroscópica. É importante lembrar que a adsorção da água nos alimentos desidratados é influenciada por vários fatores, como, natureza química dos componentes orgânicos do produto, tais como açúcares (principalmente nos frutos), a existência de forças inter-moleculares do tipo Van der Waals, da

capacidade de grupos hidroxílicos para formar ligações com moléculas de água e do tipo de processo usado na desidratação (PEREIRA, 2006).

Na faixa onde a a_w varia de 0,4 a 0,7 observa-se um aumento relativamente importante do teor de água em função do aumento da a_w . Valores de a_w inferiores a 0,60 não possibilitam deterioração microbiana, pois não permitem o crescimento de microrganismos, embora eles ainda possam sobreviver (ALZAMORA et al., 2003). Entretanto, a partir da $a_w = 0,7$, a isoterma apresentou um aumento exponencial indicando que o produto requer de mais atenção quando manipulado ou armazenado em ambientes com umidade relativa superior a 70%, pois ganhará água com maior facilidade, deixando-o mais susceptível a deteriorações e proliferação de microrganismos. Quando armazenado nessas condições é recomendável que o produto seja acondicionado em embalagens impermeáveis ao vapor de água, para que lhe seja garantida uma maior estabilidade.

Na última parte das isotermas de adsorção onde a a_w varia de 0,8 a 0,9 observa-se um forte aumento do teor de água, causado provavelmente pela presença de compostos solúveis e da porosidade presentes na polpa de tucumã liofilizada.

4.4.1 Modelagem das isotermas de adsorção de umidade

Os parâmetros dos modelos matemáticos, juntamente com os valores dos coeficientes de determinação (R^2) e dos desvios médios relativos (P%), referentes aos tratamentos dos dados de adsorção de umidade da polpa de tucumã liofilizada são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Parâmetros da modelagem matemática das isotermas de adsorção

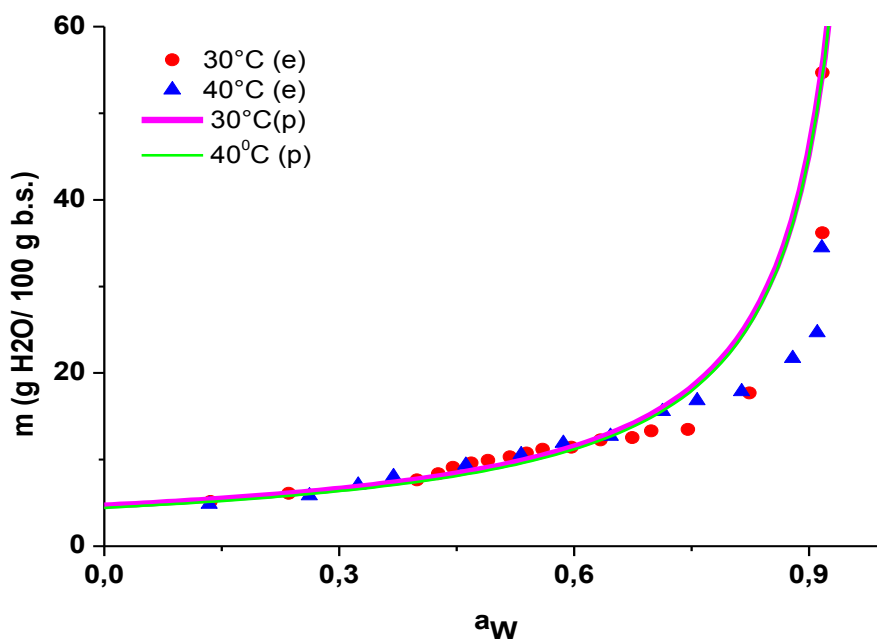
Modelos matemáticos	Nº de parâmetros	Parâmetros da equação	R ²	P (%)
30°C	Smith	a= -1,992; b= 16,3943	0,9006	13,3484
	Oswin	a= 8,61184; b= 0,681307	0,9433	19,6266
	Mizrahi	a= -4,67386; b= -0,12575	0,9786	6,9783
	BET modificada	a= 4,29146; b= 5667220,0; c= 0,98600	0,9538	7,4146
	BET	m ₀ = 20,583; c= 0,7240; n= 3,1187	0,9624	6,0965
	GAB	m ₀ = 4,2915; c= 592459,9; k= 0,98571	0,9538	7,4145
40°C	Smith	a= 2,160583; b= 11,03340	0,9629	5,4783
	Oswin	a= 9,610771; b= 0,484495	0,9719	4,0696
	Mizrahi	a= -4,42825; b= 0,079303	0,9769	7,8961
	BET modificada	a= 5,02067; b= 119,0440; c= 0,913706	0,9695	5,4152
	BET	m ₀ = 16,719; c= 0,785; n= 4,216562	0,9733	12,5882
	GAB	m ₀ = 5,0207; c= 130,2869; k= 0,913706	0,9787	5,4152

Faixa de aw para a adsorção (0,134 – 0,917); R² – coeficiente de determinação; P – desvio médio relativo.

Observa-se que os modelos tiveram valores de R^2 variando de 0,9006 a 0,9787 e P de 5,4152 a 19,6266. Considerando-se que Peng (2007) estabelece que para propósitos práticos, valores de $P < 10\%$ indicam bons ajustes para modelos de sorção de umidade. Logo, os modelos matemáticos que melhor representaram as isotermas de adsorção da polpa liofilizada foram o bi-paramétrico de Mizrahi ($R^2 = 0,9786$ e $P = 6,9783$) e ($R^2 = 0,9769$ e $P = 7,896$) para 30 e 40°C, respectivamente. O modelo bi-paramétrico de Oswin ($R^2 = 0,9719$ e $P = 4,0696$) foi adequado somente para a temperatura de 40°C.

Por possuir apenas dois parâmetros, o modelo de Mizrahi é facilmente linearizado, o que simplifica as suas soluções matemáticas. De acordo com a Figura 9, pode-se observar que as isotermas preditas por esse modelo apresentou um desvio mais acentuado para baixos níveis de a_w .

Figura 9 - Isoterma de adsorção da polpa de tucumã liofilizada, com os ajustes do modelo de MIZRAHI, para temperaturas de 30 e 40°C

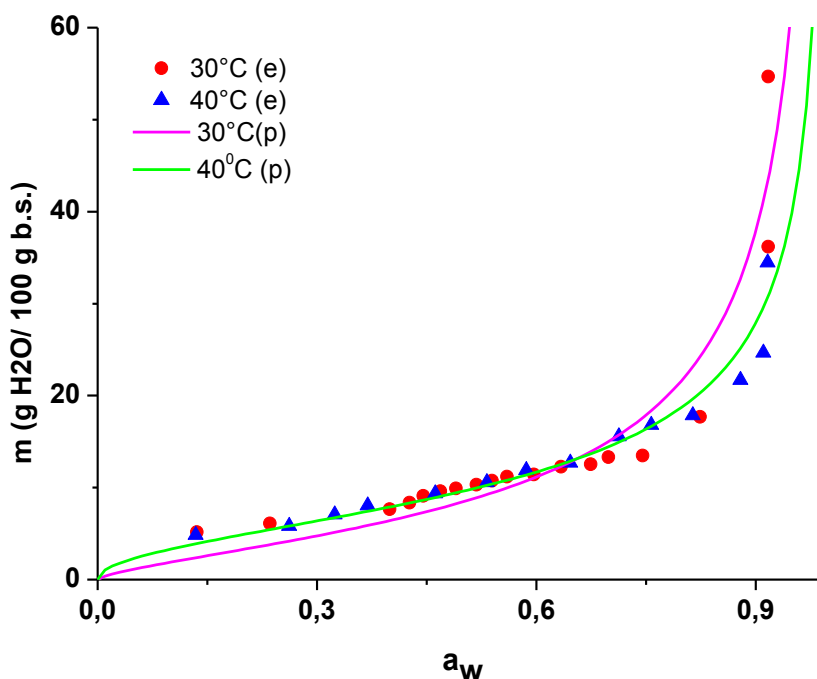


Fonte: Autora

O modelo de Oswin com dois parâmetros, que é empírico e baseia-se na expansão matemática para curvas de formato sigmoidal, apresentou ajustes

satisfatórios aos dados experimentais na temperatura de 40 °C, conforme pode ser visualizado na Figura 10.

Figura 10- Isoterma de adsorção da polpa de tucumã liofilizada com os ajustes do modelo de Oswin, para temperaturas de 30 e 40°C



Fonte: Autora

O valor de coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9719$) foi inferior aos encontrados por Pena; Ribeiro; Grande (1997), ao utilizarem a mesma equação para determinação das isotermas de adsorção de umidade do guaraná em pó, nas temperaturas de 15, 25 e 35°C e obtiveram valores dos coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,99.

4.5 AVALIAÇÃO DA VIDA DE PRATELEIRA

Os valores de atividades de água e teor de carotenóides da polpa de tucumã liofilizada estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Atividades de água e teor de carotenóides da polpa de tucumã liofilizada durante o armazenamento.

Análises	Tempo (dias)					
	0	15	30	60	90	120
Atividade de água						
30°C	0,16±0,01 ^{Ea}	0,20±0,01 ^{Da}	0,21±0,04 ^{Da}	0,36±0,03 ^{Ca}	0,40±0,00 ^{Ba}	0,45±0,01 ^{Aa}
40°C	0,16±0,01 ^{Fa}	0,23±0,01 ^{Eb}	0,32±0,03 ^{Db}	0,38±0,00 ^{Ca}	0,56±0,01 ^{Bb}	0,65±0,03 ^{Ab}
Carotenoides(µg/g)						
30°C	375,32±14,25 ^{Aa}	347,52±14,48 ^{Aa}	206,34±8,98 ^{Ba}	198,10±7,27 ^{Ba}	154,25±3,81 ^{Ca}	121,65±5,93 ^{Ca}
40°C	375,32±14,25 ^{Aa}	218,19±9,92 ^{Bb}	165,67±4,87 ^{Cb}	97,87±3,55 ^{Db}	79,56±16,24 ^{Db}	44,90±3,18 ^{Eb}

**Letras maiúsculas e minúsculas iguais na mesma linha e coluna, respectivamente, não diferem significativamente pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A atividade de água aumentou significativamente ($p < 0,05$) durante o tempo de estocagem, exceto os tempos de 15 e 30 dias na condição de 30°C. Aumento observado também por Braga et al., (2005) no estudo da Atividade de água dos cogumelos em função do tempo de armazenagem e do tipo de embalagem.

Soares et al., (2001) observaram um aumento de umidade em pó de acerola que foram armazenados em embalagens de polietileno laminada, demonstrando que embora a permeabilidade da mesma seja baixa e recomendada pela literatura para uso em alimentos desidratados, a selagem é difícil e pode ter comprometido a sua hermeticidade contribuindo para alguma absorção de água durante o armazenamento, Silva et al., (2005) também observou o aumento da umidade utilizando embalagem semelhante no estudo de vida útil de umbu-cajá em pó.

Observa-se, também, que o aumento da temperatura de 30 para 40°C contribuiu para o aumento da atividade de água. Comportamento já esperado, pois, de acordo com condições de armazenamento (umidade relativa, embalagem, temperatura do ambiente), é natural que ocorra à migração de água para o produto, ou do produto para o ambiente com o passar do tempo, sendo este fenômeno acentuado em temperaturas mais elevadas, devido ao fato da permeabilidade dos filmes aumentarem com a temperatura (TEIXEIRA NETO; VITALI; QUAST, 2004; ENDO, et al., 2007).

Nas propriedades fundamentais para tecnologia de alimentos o conhecimento da atividade de água é extremamente benéfico para elaboração de produtos, pois as alterações relacionadas à absorção de água ocorrida no produto em pó, além de prejudicarem seu escoamento durante a manipulação, tornam o produto inadequado para o consumo, pois têm seus atributos sensoriais e sua reconstituição prejudicada por várias reações degradativas como alterações das taxas microbiológicas e alterações químicas (TEUNOU, et al., 1999, 2000; AZEREDO, 2012).

Quanto aos carotenóides, observa-se a sua degradação durante o tempo de estocagem nas duas temperaturas estudadas. A estrutura da polpa liofilizada pode ter contribuído para a maior exposição dos carotenóides ao oxigênio. Sabe-se que os carotenóides, são em sua grande maioria

termolábeis, e uma das maiores causas da perda da cor durante a estocagem é a oxidação dos mesmos, que é acelerada pela luz, temperatura e presença de catalisadores metálicos. Sua natureza não saturada o torna susceptível à isomerização e oxidação resultando em perda de cor, que é mais pronunciada, seguida de oxidação (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

De modo geral, observa-se que os parâmetros de cor (Tabela 10) decresceram durante a estocagem.

Tabela 10- Características colorimétricas da polpa de tucumã liofilizada durante o armazenamento.

Análises	Tempo (dias)					
	0	15	30	60	90	120
L*						
30°C	61,39±1,02 ^{Aa}	56,7±0,38 ^{Ca}	56,46±0,22 ^{Ca}	57,72±0,36 ^{Ba}	57,92±0,12 ^{Ba}	59,04±0,99 ^{Ba}
40°C	61,39±1,02 ^{Aa}	57,90±0,45 ^{Bb}	58,26±0,09 ^{Bb}	57,16±0,39 ^{BCa}	57,46±1,70 ^{BCa}	55,74±0,54 ^{Cb}
a*						
30°C	11,79±0,25 ^{Ca}	15,81±0,38 ^{Aa}	13,73±0,63 ^{Ba}	12,18±0,66 ^{Ca}	12,20±0,75 ^{Ca}	12,89±0,23 ^{BCa}
40°C	11,79±0,25 ^{Ba}	14,33±0,28 ^{Ab}	12,71±0,36 ^{Ba}	12,01±0,56 ^{Ba}	11,88±0,97 ^{Ba}	11,36±0,55 ^{Bb}
b*						
30°C	45,27±1,20 ^{Aa}	35,17±0,42 ^{Ba}	37,39±0,27 ^{Ba}	37,13±1,08 ^{Ba}	37,15±1,03 ^{Ba}	36,80±1,244 ^{Ba}
40°C	45,27±1,20 ^{Aa}	38,18±0,24 ^{Bb}	38,24±1,13 ^{Ba}	34,21±2,28 ^{Cb}	35,82±0,35 ^{BCb}	28,88±0,643 ^{Db}

**Letras maiúsculas e minúsculas iguais na mesma linha e coluna, respectivamente, não diferem significativamente pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade, em que: L*= luminosidade; a*= variação de verde a vermelho; e b*= variação de azul a amarelo.

A diminuição dos valores nos parâmetros de cor provavelmente ocorreu em virtude da degradação dos carotenóides. Além disso, pode ter ocorrido a indução de reações de escurecimento, muito provavelmente de ordem não-enzimática, ocorrida pelo aumento da atividade de água (TEIXEIRA NETO, 2001).

De acordo com Azeredo (2012), a cor determina a vida útil de muitos alimentos, já que afeta muito a aceitação do produto pelo consumidor, exercendo, assim, importante papel mercadológico.

Muitas vezes, a manutenção da cor natural de alimentos representa certa dificuldade, já que o processamento, a estocagem do produto, a presença da ação enzimática acelerada pela pressão de oxigênio, frequentemente resultam em degradação, e conseqüente mudança de coloração dos pigmentos (AZEREDO, 2012).

Ainda que tenha havido perda da cor após o processo de liofilização, a polpa analisada ainda manteve um padrão de cor com forte tendência a cor amarela.

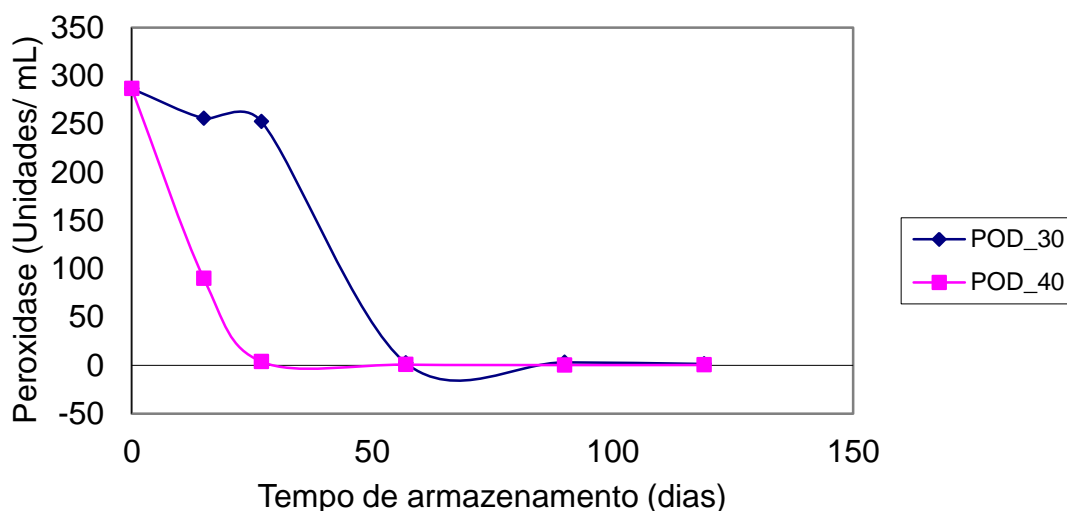
4.5.1. Atividade enzimática da polpa liofilizada

A atividade enzimática foi avaliada em três momentos distintos: polpa *in natura* antes do branqueamento a Polifenoxidase (PFO) foi de 5,1 unidades /ml e Peroxidase (POD) foi 788,13 unidades /ml); polpa *in natura* após branqueamento PFO 0,05 unidades /ml e POD 179 unidades /ml e a polpa liofilizada no tempo zero de armazenamento PFO 0,0443 unidades /ml e POD 286,61 unidades /ml). Este comportamento indica o efeito positivo do branqueamento que parece ter contribuído para a redução da atividade enzimática.

Observa-se, no entanto que a peroxidase da polpa liofilizada aumentou após o processo de liofilização, o que pode ter ocorrido em virtude de uma provável regeneração ou renaturação da enzima podem se tornar novamente ativas após a inativação térmica, o qual ocorre com algumas enzimas depois de cessado o agente causador da desnaturação, no caso o tratamento térmico. É fato conhecido que essa tendência é maior quando o resfriamento que segue o tratamento térmico é lento (FURTUNATO, 2002; ABREU, 2005).

Durante o tempo de armazenamento (15, 30, 60 90 e 120 dias) a enzima polifenoloxidase (PFO) não apresentou atividade remanescente. Ao contrário da enzima peroxidase (POD) que mostrou que sua atividade diminuía gradativamente sendo que a partir de 30 dias foi inativada para o armazenamento a 40 °C e até 60 dias de armazenamento para temperatura de 30°C, a partir daí, observou-se que a mesma foi inativada, pois, até o final do tempo observado neste estudo, não houve atividade remanescente, conforme pode se observar na Figura 11.

Figura 11 - Atividade enzimática de peroxidase da polpa liofilizada



Fonte: Autora

A maioria do escurecimento ocorrido em frutas é catalisada pela ação de enzimas, daí a necessidade de se empregar métodos adequados para evitar que os produtos processados percam a sua cor. A peroxidase é importante do ponto de vista nutricional, de coloração e flavor, pois sua atividade pode levar a destruição da vitamina C e degradação de carotenoides e antocianinas, além de cataluzar a degradação não enzimática de ácidos graxos insaturados, com consequente formação de compostos voláteis.

Desse modo a redução ou inativação da atividade da PFO e POD é de grande importância, pois poderá fornecer informações benéficas ao setor industrial, permitindo comercialização da polpa *in natura* ou liofilizada, sem alterar suas qualidades sensoriais originais, além de permitir conservação do fruto por um período maior.

4.5.2 Atividade de água da polpa liofilizada

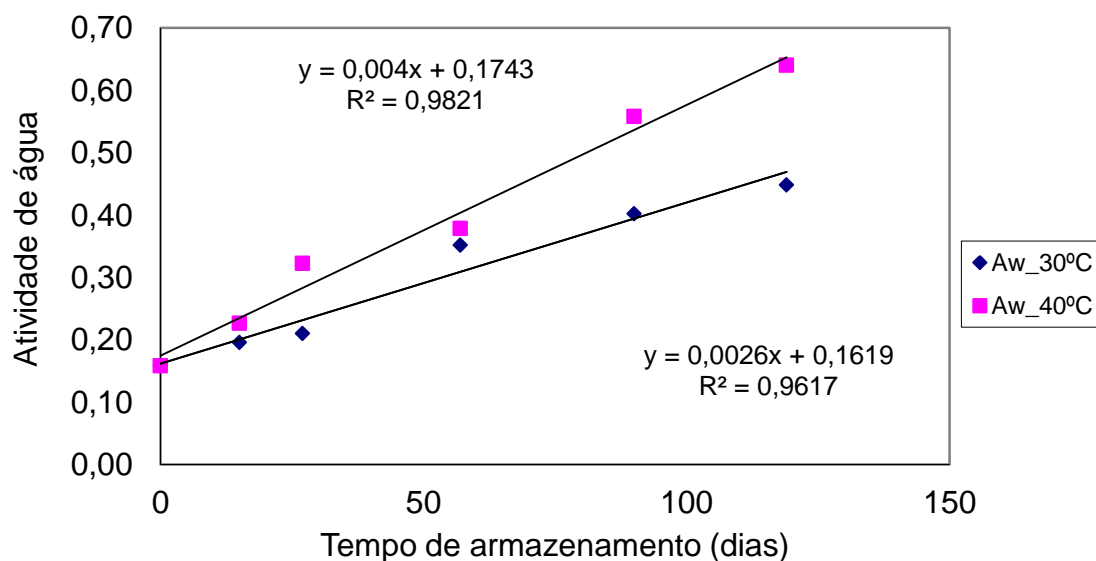
Para a predição da vida de prateleira foi utilizado o fator atividade de água, pois de acordo com Azeredo (2012) a atividade de água (a_w) está diretamente relacionada ao conceito de umidade relativa ($a_w = UR/100$). Portanto, é a a_w do alimento, e não seu teor de umidade, que determina se o produto tenderá a ganhar ou perder umidade.

A baixa atividade de água inicial constatada na polpa de tucumã liofilizada é importante para que, durante o armazenamento, a atividade microbiana (bolors) e as reações químicas (enzimáticas e não-enzimáticas) sejam inibidas de tal forma que a vida-de-prateleira seja prolongada ao máximo, conforme mencionam Eiroa (1981); Alves (2001) e Azeredo (2012).

Quanto mais alta a atividade de água mais rápidas as velocidades de reações, portanto menor a vida de prateleira. Para a maioria dos alimentos, o aumento de 0,1 a_w diminui a vida de prateleira de 2 a 3 vezes (BELL; LABUZA, 1994).

O comportamento da atividade de água no período de tempo avaliado pode ser visto na Figura 12, confirmando o aumento gradativo desse fator durante o tempo estudado.

Figura 12 - Atividade de água na polpa liofilizado para 30 e 40°C



Fonte: Autora

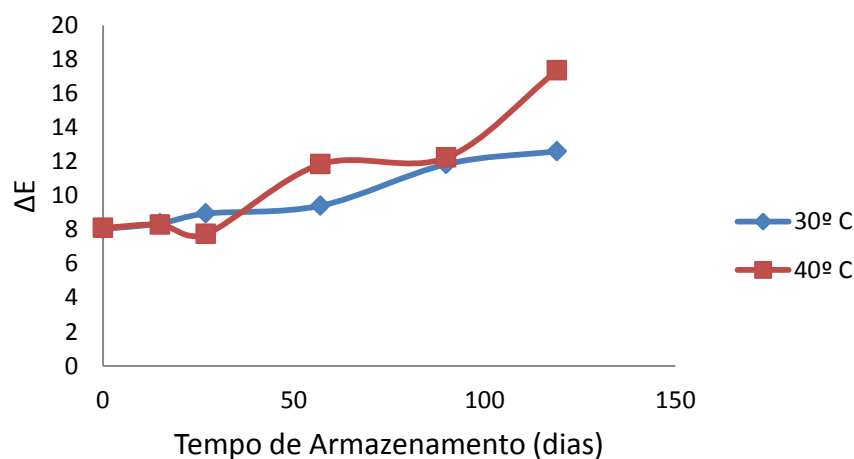
A partir dos dados foi possível calcular o tempo em que as amostras alcançaram o fim da estabilidade. Observa-se que para 40 oC a aw de 0,6 foi alcançada em 107 dias, o que para 30oC o tempo de armazenamento não foi suficiente para alcançar esse valor. Entretanto, a partir do cálculo de Q10 foi possível estimar o tempo necessário para que a aw chegasse a 0,6, ou seja, aproximadamente 169 dias.

A partir das informações da capacidade da embalagem (12 g), do ganho de água em função da atividade de água (Figura 12) e ainda da variação da atividade enzimática no tempo de armazenamento (Figura 11), foi possível estimar que em 168 dias o produto embalado nas condições estudadas alcançaria o seu final de vida de prateleira, ou seja, quando atingiria a aw de 0,6, ou seja, ganharia aproximadamente de 1,36 g de água.

4.5.3 Variação da Cor e dos Carotenóides da Polpa Liofilizada

Os comportamentos da variação da cor e dos carotenoides no período de tempo avaliado estão mostrados nas figuras 13 e 14 respectivamente.

Figura 13 – Variação da cor da polpa de tucumã liofilizado



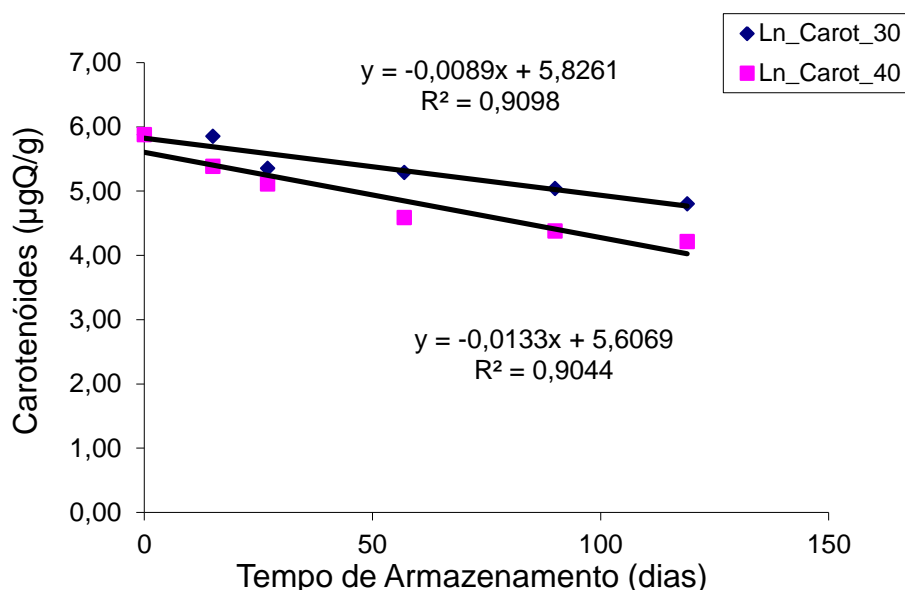
Fonte: Autora

A cor é característica da polpa liofilizada que corrobora para a observação de perda de carotenoides. Onde foi observado uma redução do valor da luminosidade e do parâmetro b^* , que representa variação do azul ao amarelo, indicando uma redução na coloração amarela do produto.

O ΔE que é a relação entre o cálculo da diferença total de cor (cor padronizada menos a cor obtida da amostra) apresentou para temperatura 30°C

um aumento de 8,04 para 12,6 e a 40 °C foi de 8,10 para 17,34 para os tempos 0 e 120 dias respectivamente. Quanto maior o valor de ΔE^* , maior a diferença total de cor do produto processado em relação ao produto original, este fato se deve, provavelmente, em função da perda dos carotenoides no período avaliado (Figuras 14).

Figura 14 - Carotenoides na polpa de tucumã liofilizado para temperaturas de 30 e 40°C



Fonte: Autora

Em relação carotenoides observa-se que ocorreu uma degradação dos mesmos durante o tempo estudado e sendo maior ainda com o aumento da temperatura. Quando se considera o carotenoide como fator limitante para o fim da vida de prateleira do produto (perda de 50% de carotenoides), a estimativa do tempo de vida de prateleira do produto foi de 67 e 24 dias para 30 e 40 °C, respectivamente.

A degradação brusca dos carotenoides, dentro dos primeiros 30 dias (ver Tabela 09) poderia ser explicada pela presença da peroxidase que manteve-se ativa dentro desse período.

Alves et al.,(2012) em seu estudo sobre a estabilidade de farinha de batata-doce biofortificada observaram uma redução 50% de carotenoides totais e de β -caroteno nas embalagens PEBD e PETmet/PEBD sem vácuo em 50 dias de estocagem. Esses resultados estão de acordo com os verificados por MACEDO et al., (2009), que observaram perda de 50% de carotenoides totais em farinha de batata-doce biofortificada acondicionada em PEBD e estocada no escuro à temperatura ambiente.

Ainda que tenha ocorrido perda considerável de carotenoides dentro do período estudado, a polpa liofilizada analisada ainda manteve expressivas concentrações de carotenoides (expresso em β -caroteno), mantendo-se dentro dos limites diários recomendados pela legislação, para ingestão desse micronutriente.

5 CONCLUSÕES

Os frutos de tucumã *in natura* e sua polpa liofilizada apresentaram alto teor de carotenoides (expresso em β -caroteno) e valor calórico, bem como expressiva concentração de carboidratos, fibras e lipídios.

A polpa liofilizada manteve boa estabilidade química e física, nas condições experimentais por um período de 120 dias de armazenamento a temperatura de 30°C. No entanto, de acordo com o teste acelerado de vida de prateleira foi possível prever que o produto mantém-se estável até 168 dias acondicionado em embalagem laminada de filme flexível, nas condições usadas neste estudo.

A polpa de tucumã liofilizada apresentou uma alta higroscopicidade, o que está provavelmente associada a sua estrutura física e morfológica. Portanto, o produto demandará de maiores cuidados quando armazenado em ambientes com umidades relativas superiores a 70%, pois adsorverá água com maior facilidade.

Dentre os modelos preditivos estudados o mais adequado para prever o comportamento do ganho de umidade foi o de Mizrahi.

O branqueamento realizado no fruto *in natura* para obtenção da polpa liofilizada foi efetivo, uma vez que houve a inativação da Polifenoloxidase e Peroxidase.

Diante das características nutricionais e antinutricionais observadas da polpa de tucumã liofilizada, a mesma poderá ser utilizada pela indústria alimentícia como uma alternativa para o enriquecimento de produtos visando à suplementação de pró-vitamina A.

REFERÊNCIAS

ABREU, L. F. Avaliação e adaptação de sistema asséptico para obtenção de água de coco (*Cocos nucifera* L.) acondicionada em embalagens plásticas. **Tese de doutorado**. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Departamento de Tecnologia de Alimento. Unicamp, Campinas 2005

ABREU, L. F. et al., Estimativa de produtividade de óleo da polpa de tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) em coleção de germoplasma. In: II Simpósio Brasileiro de Recursos Genéticos. **ANAIS** II Simpósio Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2008. v. 1. p. 213-213.

ABREU, L. F.; XAVIER, L. A.; OLIVEIRA, M. S. P. Avaliação do teor de carotenoides em frutos de tucumã de casca amarela. In: Simpósio Latino Americano de Ciência dos Alimentos, 2011, Campinas. **CD ROM 9** Simpósio Campinas: Unicamp, 2011. n. 11526.

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

ALVES, R. M. V. Embalagem para frutas e hortaliças desidratadas e frutas secas. In: AGUIRRE, J. M.; GASPARINO FILHO, J. (Ed.). **Desidratação de frutas e hortaliças**. Campinas: Ital, cap. 9. p. 1-12, 2001.

ALVES R.M.V. et.al, 2012 Estabilidade de farinha de batata-doce biofortificada **Brazilian Journal of Food Technolgy.**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 59-71, jan./mar. 2012

AMBROSIO, C. L. B.; CAMPOS, F. A. C. S.; FARO, Z. P. Carotenóides como uma alternativa hipovitaminose A. **Revista de Nutrição**, v.19, n.2, p.233-243, mar/abr. 2006.

ANDERSON, L.A. et al., **Nutrição**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988. Cap. 10, p 179-87.

ANDRADE, E. C. B. **Análise de alimentos: uma visão química da nutrição**. São Paulo: Livraria Varela, 2006.

ANTUNES, P. L. et al. Valor nutricional de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), cultivares rico 23, carioca, piratã-1 e rosinha-g2. **Revista Brasileira de Agropecuária**, v.1, n. 1, p.12-18, 1995.

ANVISA – Farinhas, Resolução CNNPA nº 12, **Diário Oficial da União** de 24 de Julho de 1978. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/12_78_farinhas.htm>. Acesso em 28 de Janeiro de 2013.

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

ARSLAN, N.; TOGRUL, H. Modelling of water sorption isotherms of macaroni stored in a chamber under controlled humidity and thermodynamic approach. **Journal of Food Engineering**, v. 69, n. 02, p. 133-145, 2005.

ASSUNÇÃO, A. B.; PENA, R. S. Comportamento higroscópico do resíduo seco de camarãorosa. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, n.4, p.786-793, 2007.

AZEREDO, H. M. C de, et al.,l. **Fundamentos de Estabilidade de Alimentos**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2012.

BACELAR-LIMA, C. G.; MENDONÇA, M. S. de; BARBOSA, T. C. T. S. Morfologia floral de uma população de tucumã, *Astrocaryum aculeatum* G. Mey. (Arecaceae) na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 36, n. 4, p. 407-412, dez. 2006.

BARBOSA, B. S.; et al., Aproveitamento do Óleo das Amêndoas de Tucumã do Amazonas na Produção de Biodiesel. **Acta Amazonica**. vol. 39(2) 2009. 371 – 376.

BARBOSA-CÁNOVAS, G.V.; JULIANO, P. Physical and chemical properties of food powders. In: ONWULATA, C. (Ed.). **Encapsulated and powdered foods**, Boca Raton, Taylor & Francis, p.39-71, 2005.

BARTON, D.; NAKANISHI, K., METH-COHN, O. **Comprehensive natural products chemistry: isoprenoids including carotenoids and steroids**. v. 2, Oxford: Elsevier Science Ltd, 1999.

BELITZ, H-D.; GROSH, W. **Química de los alimentos**. Segunda ed. Zaragoza: Acribia, 1992.

BELL, L. N. AND LABUZA, T. P. Influence of the low-moisture state on pH and its implication for reaction kinetics. **Journal of Food Engineering**. 22:291-312, 1994.

BIANCHINI, R.; PENTEADO, M. V. C. Carotenóides de pimentões amarelos (*Capsicum annuum* L.). Caracterização e verificação de mudanças com o cozimento. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 18, n. 3, p. 283-288, 1998.

BICHARA, C.M.G. **Estudo in vivo de uma suplementação rica em β -caroteno: biodisponibilidade e efeito antioxidativo no plasma humano**. (Dissertação) Universidade Federal do Pará, Instituto Tecnológico, Programa Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Belém, 2007.

BINDSCHEDLER, L.F.; BLEE, K.A.; BUTT, V.S.; DAVIES, D.R.; GARDNER, S.L.; GERRISH, C.; MINIBAYEVA, F. The apoptotic oxidative burst in response to

biotic stress in plants: a threecomponent system. **Journal of Experimental Botany**, v.53, p.1357-1376, 2002.

BONY, E.; et al., A. Awara (*Astrocaryum vulgare* M.) pulp oil: Chemical characterization, and anti-inflammatory properties in a mice model of endotoxic shock and a rat model of pulmonary inflammation. **Fitoterapia**, 83 (2012) 33 – 43.

BRAGA et al., Variações de cor e atividade de água em *Agaricus blazei* *Agaricus blazei* desidratado e armazenado em diferentes embalagens plásticas e armazenado em diferentes embalagens plásticas. **Acta Scientiarum Technology**. Maringá, v. 27, n. 1, p. 83-87, Jan./June, 2005.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Portaria SVS/MS nº 27 de 13 de janeiro de 1998**. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/e-legis//>. Acesso em: 28 março 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução - **RDC nº 12**, de 2 de janeiro de 2001.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução - **RDC nº 360**. Regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, dezembro de 2003.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Políticas de Saúde. Coordenação-Geral da Política de Alimentação e Nutrição. **Alimentos regionais brasileiros/** Ministério da Saúde, Secretaria de Políticas de Saúde, Coordenação-Geral da Política de Alimentação e Nutrição. – 1. ed. –Brasília: Ministério da Saúde, 2002.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC/ANVISA/MS nº 270, de 22 setembro de 2005. Regulamento técnico para óleos vegetais, gorduras vegetais e creme vegetal. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 23 set. 2005. Seção 1. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br>. Acesso em: 28 março, 2013.

BRASIL. Resolução da Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos - **CNNPA nº 12**, D.O.U. de 24 de julho. Seção 1, pt.1, Ministério da Saúde. Secretária de Vigilância Sanitária, 1978.

BRITTON, G. Carotenoids, In: Hendry, G.F. (Eds). **Natural foods colorants**. Blackie, New York, USA, p. 141-148. 1992.

BRUNAUER, S.; EMMET, P. H.; Teller, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. **Journal American Chemical Society**, v.60, p.309-319, 1938.

CAMPOS, M.C. et al.,. Pró-vitaminas A comercializadas no mercado formal e informal de Viçosa (MG), em três estações do ano. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26, p.33-40, 2006.

CANFIELD L. M.; KAMINSKY R. G. Red palm oil in the maternal diet improves the vitamin A status of lactating mothers and their infants. **Food Nutrition Bulletin**. 21:144-8, 2000.

CANO-CHAUCA, M. et al. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Inovative Food Science & Emerging Technologies**, New York, v. 6, n. 4 p. 420-428, 2005.;

CARUSO L., LAJOLO M. F., MENEZES E. W. Modelos esquemáticos para Estimativa da qualidade analítica dos dados nacionais de fibra alimentar. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. V 19 n 3 Campinas set/dez. 1999.

CAVALCANTE, P. B. **Frutas comestíveis da Amazônia**. 5. ed. Belém: CEJUP, CNPq, Museu Paraense Emílio Goeldi. 279p. (Coleção AdolfoDucke) , 1991

CHAVES, et. al., Caracterização físico-química do suco da acerola. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 4, n. 2, 2004.

CHAVES, J. M.; PECHNIK, E. Tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.), **Revista Química Industrial**, Vol. 16, nº 5, 184-191 pp. 1987.

CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H. A. Equations for fitting water sorption isotherms of foods: Part 1 –A review. **Journal of Food Technology**, v.13, n.2, p.159-174, 1978.

CLEMENT, C. R.; LLERAS, P. E.; VAN LEEUWEN, J. O potencial das palmeiras tropicais no Brasil: acertos e fracassos das últimas décadas. **Revista Brasileira Agrociência**, v. 9, n. 1-2, p. 67-71, 2005.

CLEMENT, T. et al. Extração de vitamina e lipídeos do tucumã (*Astrocaryum vulgare*, mart) em leito fixo usando CO₂ supercrítico. In: **congresso brasileiro de engenharia química e interamerican congresso of chemical engineering**, 13. 2000. Campinas. Sociedade brasileira de Engenharia Química, p. 1-9, 2005.

COSTA, M.A.L.; PENTEADO, M.V.C. Alterações decorrentes de dois tipos de cozimentos sobre os teores de carotenóides pró-vitâmicos A em escarolas (*Cichorium endivia* L.). **Revista de Farmácia e Bioquímica** Univ. S. Paulo, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 95-100,1996.

DAMASCENO, et al. Caracterização Físico-química da Polpa de Tucumãs do BAG da Embrapa Amazônia Oriental (*astrocaryum vulgare* mart.). **Encontro nacional sobre Metodologias de Laboratório**, 2008.

DAMASCENO, F. S.; BATISTA, R. S. M. Obtenção do azeite de tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) e sua viabilidade como substituto do azeite de dendê (*Elaeis guineensis*). Belém: UEPA, 2009. 71p. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação). Curso de Tecnologia Agroindustrial com ênfase em alimentos,

Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, Universidade do Estado do Pará, Belém, 2009.

DAMODARAM, S.; PARKIN, K.L.; FENNEMA, O.R. **Química de Alimentos de Fennema**. 4º Ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

EDWARDS A. J.; et al. Consumption of watermelon juice increases plasma concentrations of lycopene and β -carotene in humans. **Journal of Nutrition** 133 (4):1043-50, 2003.

EIROA, M. N. U. Atividade de água: influência sobre o desenvolvimento de microrganismos e métodos de determinação em alimentos. **Bol. ITAL**, Campinas, v. 18, n. 3, p. 353-381, 1981.

ENDO et al., Avaliação da vida de prateleira do suco de maracujá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) desidratado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, 27(2): 382-386, abr.-jun. 2007

FARBER, J. M. Microbiological aspects of modified atmosphere packing technology- a review. **Journal of Food Protection**, v. 54, n. 1, p. 58-70, 1991.

FELLOWS, P.J.: **Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípios e Prática** - 2º ed. - Porto Alegre: Artmed, 2006.

FERREIRA, E. et al. Caracterização físico-química do fruto e do óleo de tucumã. (*Astrocaryum vulgare* Mart). **Alimentação e Nutrição**, Araraquara. V.19, n.4, p. 427-33, out/dez.2008.

FERREIRA, E. S.; LUCIEN, V. G.; AMARAL, A. S.; SILVEIRA, C. S. S. Caracterização físico-química do fruto e do óleo extraído de tucumã (*ASTROCARYUM VULGARE MART*). **Alimentação e Nutrição**, Araraquara ISSN 0103-4235 v.19, n.4, p. 427-433, out./dez. 2008.

FERREIRA, F. R.; FERREIRA, S. A. N.; CARVALHO, J. E. U. (1987) Espécies **Revista Brasileira de Fruticultura**, frutíferas pouco exploradas, com potencial econômico e social para o Brasil., Vol. 9, 11-23 pp.

FERREIRA, M.de F. P.; PENA. R. da S. Estudo da secagem da casca do maracujá amarelo, **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.12, n.1, p.15-28, 2010

FIGUEIRA, G. M.; PARK, K. J.; BROD, F. P. R.; HONÓRIO, S. L. Evaluation of desorption isotherms, drying rates and inulin concentration of chicory roots (*Chichorium intybus* L) with and without enzymatic inactivation. **Journal of Food Engineering**, v.63, n.3, p.273-280, 2004.

FRASER, P. D.; BRAMLEY, P. M.; **Progress in Lipid Research**. 43, 228, 2004.

FURMANIAK, S.; TERZYK, A. P.; GAUDEN, P. A.; RYCHLICKI, G. Applicability of the generalized D'Arcy and Watt model to description of water sorption on pineapple and other foodstuffs. **Journal of Food Engineering**, v.79, n.2, p.718-723, 2007.

FURTUNATO, A. A. **Estudo da cinética de inativação térmica da pectina esterase e peroxidase presente na polpa de cajá (*Spondias lútea*)**. Rio Grande do Norte, 74p. 2002. Dissertação (Mestre em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

GABAS, A.L. Influência das condições de secagem de ameixa (*Prunus domestica*) na qualidade do produto final. **Tese de doutorado**, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 168p, 2002.

GAVA, A. J. **Princípios de Tecnologia de Alimentos**. São Paulo: Nobel, p. 180-184, 2005.

GEORGE, J.P.; DATTA, A. A. K. "Desenvolvimento and validation of heat and massa transfer models for freeze-drying of vegetable slices". **Journal of food Engineering**, v 52, pp.89-93. 2002.

GOMES, F. D. S. Carotenoides: uma possível proteção contra o desenvolvimento de câncer. **Revista de Nutrição**, v 20, n5, p 537-548, 2007.

GOMES, F. S. Carotenóides: uma possível proteção contra o desenvolvimento de cancer. **Revista de Nutrição**, v. 20, n. 5, p. 537-548, set./out. 2007.

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

GRANT, W. D. Life at low water activit. Philosophical Transactions of the Royal Society-b: **Biological Sciencies**, London, GB,v 359, p. 1249-1267. 2004.

GUEDES, A. M. M. Estudo da Extração de Óleo da Polpa de Tucumã por CO2 Supercrítico. **Dissertação de Mestrado**- Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Pará, Belém-Pará, 2006.

HUBINGER, M. D. et al. J.A. Isotermas de dessorção de filé de bonito (*Sarda sarda*) desidratado osmoticamente e defumado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.3, p.305-311, 2009.

HUNTERLAB. **Applications note**: CIE L* a* b* color scale. Vol. 8, n. 7. Virginia, 1996.

IGLESIAS, H. A; CHIRIFE J. **Handbook of food isotherms**: water sorption parameters for food components. 1.ed. New York: Academic Press. 1982. 374 p.

JAAFAR, F.; MICHALOWSKI, S. Modified BET equation for sorption/desorption isotherms. **Drying Technology**, v.8, n.4, p.811-127, 1990.

JAMALI, A. et al. Sorption isotherms of *Chenopodium ambrosioides*, leaves at three temperatures. **Journal of Food Engineering**, v. 72, n. 01, p. 77-84, 2006.

KOSHI, D. V. Is current modified / controlled atmosphere packaging technology applicate to U.S. food market **Food Technology**, Chicago, v. 28, n. 9, p. 50-60, 1988.

KOWALSKA, J.; LENART, A. The influence of ingredients distribution on properties of agglomerated cocoa products. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 68, n. 2, p. 155-161, 2005.

KUROZAWA, L. E., EL-AOUAR, A.A., MUR, F. E. X. Obtenção de isotermas de cogumelo in natura e desidratado osmoticamente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, SP v. 25, n. 4, 2005.

LABUZA, T. P. et al.,.. Water content and stability of lowmoisture and intermediate-moisture foods. **Food Technology**. Chicago, v. 24, n. 5, p. 543-548, 1970.

LABUZA, T. P. Nutrient losses during and storage of dehydrated foods. **Critical Reviews in Food Technology**. Boca Raton, v. 3, n. 2, p. 217-240, 1972.

LABUZA, T. P. Shelf life dating of foods. Westport: **Food and Nutrition Press**, 1982.

LABUZA, T. P. Sorption phenomena in foods. **Food Technology**, v.22, n.3, p.263-272, 1968.

LABUZA, T. P.; SCHMIDL, M.K. Accelerated shelf-life testing of foods. **Food Technology**, v.39, n.9, p.57-65, 1985.

LAVELLI, V.; ZANONI, B.; ZANIBONI, A. Effect of water activity on carotenoid degradation in dehydrated carrots. **Food Chemistry**, Oxford, v. 104, n. 4, p. 1705-1711, 2007.

LEUNG, I.; PHIL, M. Macular pigment: new clinical methods of detection and the role of carotenoids in age-related macular. Optometry- **Journal of the American Optometric Association**. V 79, Issue 5, 266-272, 2008.

LIAPIS, A. L. Freeze Drying. In: MUJUMDAR, A. S. **Handbook of Industrial Drying**. New York: Marcel Dekker Inc. cap. 1, p. 3-45, 1987.

LIMA, R. R. TRASSATO, L. C.; COELHO, V. O tucumã (***Astrocaryum vulgare Mart.***): principais características e potencialidade agroindustrial. Belém: Boletim de pesquisa, 75, EMBRAPA, jul. 25p. 1986.

LIMA, R. R.; COSTA, J. P. C. **Coleta de plantas de cultura pré-colombiana na Amazônia brasileira: metodologias e expedições realizadas para coleta de germoplasma**. EMBRAPA-CPATU, Belém: Documentos, 99, 148p, 1997.

LITTLE, A. Off on a tangent.. A research note. **Journal of Food Science**, v.40, p. 410-411, 1975.

LOMAURO, J. C; BAKSHI, A. S; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Parte I: fruit, vegetable end meat products. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v.18, n 21, p. 111-117, 1985.

LOPES, V. S.; OLIVEIRA, M.do S. P, Coeficiente de repetibilidade para o caráter maturação de frutos em tucumanzeiros (*Astrocaryum vulgare* Mart.). **17º Seminário de Iniciação Científica e 1º Seminário de Pós-graduação da Embrapa Amazônia Oriental**. Belém-PA . Agosto. 2013.

LORENZI, H.; BACHER, L.B.; LACERDA, M.T.C.; SARTORI, S.F. **Brazilian Fruit and Exotic Cultivated**. Instituto Plantarum de Estudos da Flora Ltda, São Paulo, Brasz. 640 pp. (in Portuguese), 2006.

MACEDO, J.R et al., Carotenoid retention in sweet potato flour during storage. In: **MEETING OF MICRONUTRIENT FORUM, 2.**, 2009, Beijing. Proceedings.Beijing, 2009. 2 p.

MALTINI, E.; TORREGGIANI, D.; VENIR, E.; BERTOLO, G. Water activity and the preservation of plant foods. **Food Chemistry**, v.82, n.1, p.79-86, 2003.

MANORAMA R.; RUKMINI C. Effect of processing on carotene retention in crude palm oil and its products. **Food Chemistry**. 42(3):253-64, 1991.

MARIATH J. G.; LIMA M. C.; SANTOS L. M. Vitamin A activity of buriti (*Mauritia vinifera* Mart) and its effectiveness in the treatment and prevention of xerophthalmia. *Am J. Clinical Nutrition*. 49(5): 849-53, 1989.

MARINHO H.A.; CASTRO, J.S. Carotenóides e Valor de Pró-Vitamina A em Frutos da Região Amazônica: Pajurá, Piquiá, Tucumã e Umari. In: **Congresso Brasileiro de fruticultura**, 17, Belém. 2002. Anais. SBF. Meio Magnetico.

MAROULIS, Z.B.; TSAMI, E.; ARINOS-KOURIS, D.; SARAVACOS, G.D. Application of the GAB model to the sorption isotherms for dried fruits. **Journal of Food Engineering**, v.7, n.1, p.63-70, 1988.

MARQUES,L. G., SILVEIRA,A. M., FREIRE, J. T. "Freeze-drying characteristics fo tropical fruits". **Dryng Tecchnology**, vol. 24 (1-7), pp. 457-463. 2006.

MENEZES, A. R. V. de, et al., Estudo comparativo do pó da acerola verde (*malphigia emarginata* d.c) obtido em estufa por circulação de ar e por liofilização **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, campina grande, v.11, n.1, p.1-8, 2009

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

MIZRAHI, S. Accelerated shelf-life tests. In: STEELE, R. (Ed.). **Understanding and measuring the shelf-life of food**. Boca Raton, CRC Press, Cap.14. 2004.

MOURA, S. C. S. R.; GERMER, S. P. M. Predição de atividade de água em alimentos e modelação matemática de isotermas de sorção. In: JARDIM, D. C. P.; GERMER, S. P. M. Atividade de água em alimentos. **Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos**, 1997. Cap. 12

NELSON, D.L.; COX, M. M. **Princípios de bioquímica**. 2. ed. rev. São Paulo: Sarvier, 869 p. 1995.

NETTO, F. M. **Determinação da vida-de-prateleira – Erros e limitações**. In: REAÇÕES DE TRANSFORMAÇÃO E VIDA-DE-PRATELEIRA DE ALIMENTOS PROCESSADOS. Moura, S. C. S. R.; Germer, S. P. M. Campinas: ITAL. 3ª ed. p. 83-92, Manual Técnico nº 6, 2004.

NILSSON, D.; Svennerstedt, B.; Wretfors, C. Adsorption equilibrium moisture contents of flax straw, hemp stalks and reed canary grass. **Biosystems Engineering**, v.91, n.1, p.35-43, 2005.

OBOH, F. O. J. The food potential of Tucum (*Astrocaryum vulgare*) fruit pulp. **International Journal of Biomedical and Health Sciences**. v. 5, No. 2, June 30, 2009.

OKTAY, M. et al. Polyphenoloxidase from Amasya apple. **Journal of Food Science**, v.60, n.3, pp 494-496, 1995.

OLIVEIRA, M. S. P. et al, P. Biologia da polinização da palmeira tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) em Belém-Pará, Brasil. **Acta Botanica Brasilica.**, v. 17, n. 3, p. 343-353, 2003.

OLIVEIRA, M. S. P.; OLIVEIRA, N. P.; ABREU, L. F. Estabelecimento de área de coleta de sementes de tucumã-do-pará. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, **Comunicado Técnico**, n. 225. 2011. 5 p.

OLIVEIRA, V. S. et al. Caracterização físico-química e comportamento higroscópico de sapoti liofilizado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 342-348, abr-jun, 2011.

OLIVER, J.; PALOU, A. Chromatographic determination of carotenoids in foods. **Journal of Chromatography.**, Amsterdam, v.881, p.543-555,2000.

OLSON, J. A., KRINSKY, N. I. Introduction: **the colorful fascinating world of the carotenoids: important physiologic modulators**. **FASEB J.** 9, 1547–1550, 1995.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra Bartlett (*Pyrus sp.*) com e sem desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 01, p. 73-77, 2001.

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

PENA, R. S.; RIBEIRO, C. C.; GRANDI, J. G. Aplicação de modelos matemático bi e tripamétricos na predição das isotermas de adsorção de umidade de guaraná (*Paullinia cupuna*) em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, n. 1, p. 8-11, 2000.

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**, v. 17, n. 3, p. 229-232, 1997.

PENG, G.; CHEN, X.; Wu, W.; Jiang, X. Modeling of water sorption isotherm for corn starch **Journal of Food Engineering**, v.80, n.2, p.562-567, 2007.

PEREDA, J. A. O. **Tecnologia de alimentos**. Vol. 2 – Alimentos de origem animal. Porto Alegre: Artmed, 2005, 279 p.

PEREIRA, I. E, QUEIROZ, A.J.M.Q, FIGUEIRÊDO, R.M.F Características Físico-Químicas Do Tomate Em Pó Durante O Armazenamento. **Revista de Biologia e Ciências da Terra** volume 6- número 1- 1º semestre 2006.

RATTI, C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: review. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 49, n. 2, p. 311-319, 2001.

RODRIGUEZ, E. B.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; Formation of apocarotenals and epoxy-carotenoids from β -carotene by chemical reactions and by autoxidation in model systems and processed foods. **Food Chemistry**, 101, 563-572, 2007.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Changes in carotenoids during processing and storage of foods. **Archivos Latino Americanos de Nutrição**, Venezuela, v. 49, n. 1-S, p. 38-47, 1999.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Effects of processing and storage on food carotenoids. **Sight and Life Newsletter**, v. 3 (Special Issue), p. 25-35, 2002.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; **A Guide to Carotenoid Analysis in Food**. ILSI Press, Washington, 2001.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M.; AMAYA-FARFAN, J. **Fontes de carotenóides**: tabela brasileira de composição de carotenóides em alimentos. Brasília: Ministério de Meio Ambiente/Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 99 p., 2008.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M.; GODOY, H. T.; AMAYA-FARFAN, J. Updated Brazilian database on food carotenoids: factors affecting carotenoid composition. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 21, n. 6, p. 445-463, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.04.001>. 2008.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; NUTTI, M. R.; CARVALHO, J. L. V. Carotenoids of sweet potato, cassava, and maize and their use in bread and flour fortification. In: PREEDY, R. R.; WATSON, R. R.; PATEL, V. B. (Eds.). **Flour and breads and their fortification in health and disease prevention**. London; Burlington; San Diego: Academic Press; Elsevier. chap. 28, p. 301-311, 2011

SALTZMAN, A. et al., **Biofortification: Progress toward a more nourishing future**, Global Food Security, 2013.

SANTOS, O. V., et al. "Chemical evaluation and thermal behavior of Brazil nut oil obtained by different extraction processes." **Food Research International** 47.2 (2012): 253-258.

SENTANNI, M. A.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Teores de carotenóides em mamão e pêssego determinados por cromatografia líquida de alta eficiência. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n.1, Campinas, 2007.

SHANLEY, P.; MEDINA, G. **Frutíferas e plantas úteis na vida amazônica**. Belém:CIFOR, 2005.

SILVA, A. S. A; ALMEIDA, F. A. C; ALVES, N. M. C; MELO, K. S; GOMES, J. P. Característica higroscópica e termodinâmica do coentro desidratado. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 2, p. 237-244, abr-jun, 2010.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C.; **Análise de alimentos: Métodos químicos e biológicos**. 3.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 235p., 2002.

SILVA, J. A. **Tópicos da tecnologia dos alimentos**, São Paulo, 2000.

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

SILVA, S. **Frutas Brasil**. São Paulo: Empresa de Artes, Projetos e Edições Artísticas Ltda. 166p., 1993.

SILVA, S. N. D. Processo de Transesterificação do óleo da polpa de Tucumã (*Astrocaryum Vulgare*) com etanol para produção de biodiesel. Belém, PA: UFPA, 2008. **Dissertação de Mestrado** (Mestrado em Engenharia Química) - PPEQ/ITEC/Universidade Federal do Pará, 2008.

SIMÕES, D. L. V. Composição nutricional e elaboração do biscoito e da barra de cereal do fruto de tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.). 2010. 59 f. **Dissertação de Mestrado** – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2010.

SINGH, R. P. Scientific principles of shelf life evaluation. In: MAN, C.M.D.; JONES, A.A. (Eds.). **Shelf life evaluation of foods**. Glasgow, Blackie Academic & Professional, p.3-24, 1994.

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

TEIXEIRA NETO, R. O. Alterações na qualidade de frutas e hortaliças desidratadas durante a estocagem. In: AGUIRRE, J.M.; GASPARINO FILHO, J. (Ed.). **Desidratação de frutas e hortaliças**. Campinas: ITAL, 2001. cap.8, p.1-9.

TEIXEIRA NETO, R. O.; VITALI, A.; QUAST, D. G. **Reações de transformação e vida de prateleira de alimentos processados**. 3. ed. Campinas: ITAL, 2004. (Manual Técnico, 6).

TEUNOU, E.; FITZPATRICK, J. J. Effect of storage time and consolidation on food powder flowability. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 43, n. 2, p. 97-101, 2000.

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

THANE, C.; REDDY, S. Processing of fruit and vegetables: effect on carotenoids. **Nutrition & Food Science**. n. 2, p. 58-65, mar./apr., 1997.

TRIGUEIRO, I. N. S.; PENTEADO, M. de V. C. Teores de alfa e beta-caroteno e atividades pró-vitamina A de óleos de dendê brasileiros. **Revista de farmácia e bioquímica da Universidade de São Paulo**, v. 28, n. 1, p. 61-74, 1992.

TURANO, W. et al., Estimativa de recomendação diária de fibra alimentar total e de seus componentes na população adulta. **Alimentos e Nutrição**, v. 11, p. 35-49, 2000.

UENOJO, M. et al., Carotenoides: propriedades, aplicações e biotransformação para formação de Compostos de aroma. **Química Nova**, v.30, p.616-622, 2007

VALDERRAMA, P.; MARANGONI, F.; CLEMENTE, E. Efeito do tratamento térmico sobre a atividade de peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO) em maçã (*Mallus comunis*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.21, n. 3, p. 321-325, 2001.

VAN SOEST, P. J., Use of detergents in analysis of fibrous feeds. III. Study of effects of heating and drying on yield of fiber and lignin in forages. **Journal of the Association of Agriculture Chemists**. 48,p. 785-790. 1965.

VASCONCELOS, B. E. C. Avaliação das características físicas, química e nutricionais dos óleos de tucumã (*Astrcaryum aculeatum* e *Astrocaryum vulgare*)

obtidos com CO₂ pressurizado **Dissertação de mestrado**, programa de pós-graduação em ciência e tecnologia de alimentos Belém: UFPA 2010.

VILLACHICA, H. **Frutales y hortalizas promisorias de la Amazonía**: tratado de cooperación amazonica. Lima: Secretaria Pro-Tempore, Tratado de Cooperacion Amazonica. 367p., 1996

VILLACHICA, H.; CARVALHO, J. E. U.; MÜLLER, C. H.; DÍAZ, S. C.; ALMANZA, M. **Frutales y hortalizas promisorias de la Amazonía**. Pp. 264-267. Tratado de Cooperación Amazonica, (TCA-SPT,44), FAO, Lima, Peru, 1996.

VITALI, A. A.; QUAST, D. G. Vida-de-prateleira de alimentos. In: MOURA, S. C. S. R, GERMER, S. P. M. **Reações de Transformação e Vida-de-Prateleira de Alimentos Processados** 3ª edição. Campinas: ITAL. Cap. 3, p. 49-57, 2004.

WAITZBERG, D. L. **Nutrição enteral e parenteral na prática clinica**. 4ª ed. São Paulo: Atheneu, 2004.

YUYAMA L. K. O, Cozzolino SMF. Efeito da suplementação com pupunha como fonte de vitamina A em dieta: estudo em ratos. **Revista Saúde Pública**. 30 (1):61-6. 1996.

YUYAMA, L. K. O. et al., Polpa e casca de tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer): quais os constituintes nutricionais? **Nutrire: Revista Sociedade Brasileira de Alimentos e Nutrição**, v. 30, supl., p. 225, 2005.

YUYAMA, L. K. O. et al., Biodisponibilidade dos carotenóides do buriti (*Mauritia fl exuosa* L.) em ratos. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 28, n. 4, p. 409-415, 1998.

YUYAMA, L. K. O. et al., Processamento e avaliação da vida de prateleira do tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) desidratado e pulverizado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 2, p. 408-412, 2008.

YUYAMA, L. K. O.; AGUIAR, J.P.L.; YUYAMA, K. Frutas da Amazônia e potencialidades nutricionais. In: SILVA, S.M.C.S; MURA, J.D.P. (Org.). **Tratado de alimentação, nutrição e dietoterapia**. 2 ed. São Paulo: Roca, p.1109-1119, 2011

ZERAIK, M. L.; YARIWAKE, J. H. Extração de b-caroteno de cenouras: uma proposta para disciplinas experimentais de química. **Química Nova**. São Carlos (SP), 2008.

ZHAO, X. et al.,. Modification of lymphocyte DNA damage by carotenoid supplementation in postmenopausal women. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 83, n. 1, p. 163-169, 2006.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Umidade de equilíbrio (Ueq) em função da atividade de água (aw)

ADSORÇÃO			
30°C		40°C	
a_w	Ueq (g H₂O/ 100 g b.s.)	a_w	Ueq (g H₂O/ 100 g b.s.)
0,136	5,166	0,134	4,858
0,236	6,112	0,262	5,828
0,399	7,634	0,324	7,059
0,427	8,365	0,369	8,048
0,445	9,110	0,462	9,359
0,469	9,595	0,532	10,586
0,490	9,919	0,586	11,889
0,518	10,302	0,647	12,703
0,540	10,755	0,713	15,559
0,560	11,193	0,757	16,796
0,597	11,424	0,814	17,847
0,634	12,261	0,879	21,699
0,674	12,518	0,910	24,665
0,699	13,318	0,917	34,479
0,745	13,466	0,917	34,480
0,824	17,683	-	-
0,917	36,182	-	-
0,917	54,680	-	-