



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

FRANCILIA CAMPOS DE SIQUEIRA

**OBTENÇÃO DA POLPA DE TUCUMÃ (*Astrocaryum vulgare* Mart.)
DESIDRATADA VISANDO A PRESERVAÇÃO DOS CAROTENOIDES**

Belém-Pará
2014



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

FRANCILIA CAMPOS DE SIQUEIRA

**OBTENÇÃO DA POLPA DE TUCUMÃ (*Astrocaryum vulgare* Mart.)
DESIDRATADA VISANDO A PRESERVAÇÃO DOS CAROTENOIDES**

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

FRANCILIA CAMPOS DE SIQUEIRA

**OBTENÇÃO DA POLPA DE TUCUMÃ (*Astrocaryum vulgare* Mart.)
DESIDRATADA VISANDO A PRESERVAÇÃO DOS CAROTENOIDES**

BANCA EXAMINADORA

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

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

Profa. Dra. Alessandra Santos Lopes
(PPGCTA/ITEC/UFPA - membro)

Prof. Dr. Luiz Ferreira de França
(FEA/ITEC/UFPA - membro)

Prof. Dr. Eder Augusto Furtado Araujo
(PPGCTA/ITEC/UFPA – suplente)

Avaliada em: ____/____/ 2014

Conceito _____

*A Deus, por ter aberto as portas e
mostrado o caminho.*

*À minha mãe, e aos meus avós Ediberto e
Laura (in memoriam) pelo amor e pela
dedicação, nem todas as palavras poderiam
expressar a minha eterna gratidão.*

*À minha filha Isis Siqueira, presente de
Deus que ocupa vinte e quatro horas dos meus
pensamentos.*

*Ao meu amado esposo Jonatas Siqueira,
meu melhor amigo e companheiro.*

AGRADECIMENTO

A Deus, que dá sentido à minha vida e que torna tudo possível. Quem me sustentou nos momentos mais difíceis, iluminando meus pensamentos e me direcionando para escolhas corretas.

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.

À CAPES, pelo apoio financeiro.

Ao LAOS e ao LAPESCA pela realização das primeiras análises.

Às Profa. Dra. Nadia Cristina Fernandes Corrêa pela orientação, competência e disposição e principalmente pela compreensão e amizade construída. A você toda a minha gratidão, admiração e respeito.

À Dr^a. Laura Figueiredo Abreu, pesquisadora da EMBRAPA-PA pela Co-orientação, paciência, amizade, preocupação. Obrigada por estar sempre disposta a me ouvir e me aconselhar, por todas as noites e feriados e pela confiança que sempre demonstrou em mim e ao meu trabalho, algumas vezes quando eu mesma não acreditava. A você, Laura, toda a minha gratidão e carinho.

Ao professor Dr. Luiz França pela importante contribuição dada aos tratamentos dos dados da secagem.

Aos professores Dra. Alessandra Lopes e Dr. Eder Araujo pela participação em minha Banca e em especial por suas sugestões que enriqueceram o trabalho.

Aos pesquisadores da EMBRAPA-PA Dra. Ana Vânia, Dr. Marcos Ene, Marcus Vasconcelos, Dra. Rafaella Mattietto pela contribuição.

Aos professores da pós-graduação que contribuíram com seus conhecimentos

À minha amiga Deusa Costa, pela amizade cada vez mais forte e mais insubstituível, pelas palavras boas, pelos puxões de orelha nos momentos certos, por tantas coisas... muito obrigada!

Às minhas amigas Denise Rocha, Suzie Valéria e Gabriela Siqueira pela grande ajuda.

Às técnicas da EMBRAPA Ana, Conceição e Lorena por toda ajuda e dedicação.

Aos estagiários, do Laboratório de Agroindústria (EMBRAPA-PA), Alcelene, Alessandra, Daniele, Ediane, Hévila, Jeferson, Jobson, Luciane, Trícia e Wiliane .

Aos colegas do mestrado em especial Adriano, Bruno, Danilo, Fabielle, Jaqueline, Luã, Lúcia Alves, Rafael, Renan e Thaise.

Ao Jonatas Siqueira por todo seu estímulo, paciência, sacrifícios, e compreensão manifestados à minha sucessiva ausência. Obrigada pelo seu amor e por estar sempre ao meu lado....Infinidamente o meu muito obrigada!

E, por fim, a todos aqueles que por um lapso não mencionei, mas que colaboraram para esta pesquisa: abraços fraternos a todos!

RESUMO

A aplicação de tecnologias para desidratação de frutas para obtenção de novas matrizes alimentares se apresenta como uma alternativa viável reduzindo custos com embalagens, transporte e armazenamento. Neste estudo, a secagem em estufa de circulação de ar forçada e *spray-dryer* foram utilizados para a obtenção da polpa de tucumã (*Astrocaryum vulgare Mart*) em pó, onde a qualidade em termos da manutenção dos carotenoides foi avaliada. O processo por *spray-dryer* foi delineado de acordo com um planejamento experimental completo (2^2), sendo as variáveis independentes a temperatura do ar de entrada no secador (variando de 130 a 200°C) e a concentração do agente carreador goma arábica (variando de 3 a 60%) e, as variáveis dependentes, atividade de água e teor de carotenoides. As polpas de tucumã secas em *spray drier* apresentaram valores de atividade de água dentro da faixa de produtos em pó (0,25 – 0,49) e valores de carotenoides variando de 276,14±7,15 a 427,54±8,17 µg/g. Os modelos das respostas teor de carotenoides e atividade de água da polpa de tucumã foram significativos com coeficiente de determinação R^2 de 96,8 e 95,3%, respectivamente. Através da superfície de resposta verificou-se que as condições de 140°C e 51,7% de goma arábica resultaram no maior teor de carotenoides. A secagem em estufa foi feita a 50, 60 e 70°C. Os dados ajustados pela solução analítica da 2ª Lei de Fick resultaram valores de D_{ef} variando de 1,02E-09 a 2,48E-09 m²/s. Foram também avaliados os ajustes de dez modelos matemáticos aos dados de secagem. Os modelos de Newton, Page, Page Modificado, Henderson e Pabis, Midili, logarítmico, dois termos e aproximação da difusão, apresentaram $R^2 > 0,99$ que indica um bom ajuste aos dados experimentais; os valores de a_w ficaram dentro da faixa de 0,30 a 0,60, considerada adequada para produtos em pó com alta concentração lipídica e os melhores resultados para o teor de carotenoides foram obtidos para a temperatura de 50 °C.

Palavras-chave: *Astrocaryum vulgare Mart*. Estufa. *Spray dryer*.

ABSTRACT

The application of technologies for dehydrating fruits to obtain new food matrices is presented as a viable alternative reducing packaging costs, transportation and storage. In this study, drying in a forced air circulation kiln and spray-dryer was used to obtaining powder tucumã pulp, in which quality in terms of carotenoids maintenance was evaluated. The process by spray-dryer was delineated according to a complete experimental design (2^2), being the variables independent to the temperature of the incoming air in the dryer (range 130-200 °C) and the concentration of the carrier agent arabic gum (range 3-60 %) and the dependent variables, water activity and content of carotenoids. Tucumã pulps dried in spray showed values of water activity within the range of powdered products (0.25 to 0.49) and carotenoids values ranging from 276.14 ± 7.15 to $427.54 \pm 8,17$ µg/g. The response models carotenoids content and water activity were significant with a coefficient of determination R^2 of 96.8 and 95.3 %, respectively. Through response surface was found that the conditions of 140 °C and 51.7% arabic gum resulted in higher levels of carotenoids. The kiln drying was taken at 50, 60 and 70 ° C. The data set on the analytical solution of the 2nd Fick's law resulted in D_{ef} values ranging from 1.02 E- 09 to 2.48 E-09 m²/s. We also evaluated the ten mathematical adjustments to the drying data models. Models of Newton, Page, Modified Page, Henderson and Pabis, Midili , logarithmic , two terms and diffusion approximation showed $R^2 > 0.99$ indicating a good fit to the experimental data , the values of a_w were within the range of 0,30 to 0.60, found appropriate for powders with high lipid concentrations and the best results to carotenoids were obtained to a temperature of 50 °C.

Keywords: *Astrocaryum vulgare Mart.* Drying. Spray dryer.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Cacho do Tucumã	15
Figura 2. Palmeira do tucumã	16
Figura 3 - Estrutura química de alguns carotenoides	19
Figura 4 - Ilustração das dimensões do tucumã	33
Figura 5 - Fluxograma das etapas de secagem da polpa de tucumã em <i>spray dryer</i>	35
Figura 6 - Fluxograma das etapas de secagem da polpa de tucumã em estufa	37
Figura 7 - Distribuição percentual do fruto	43
Figura 8 – Gráfico de pareto dos efeitos das variáveis sobre a retenção dos carotenoides na desidratação do tucumã	48
Figura 9 -Superfície de resposta e curvas de nível para o teor de carotenoides	50
Figura 10- Gráfico de pareto dos efeitos das variáveis sobre a a_w na desidratação do tucumã	52
Figura 11 - Superfícies de resposta e curvas de nível para a_w	54
Figura 12 - Curvas de secagem da polpa de tucumã a 50, 60 e 70 °C	57
Figura 13 - Taxa de secagem da polpa de Tucumã	58
Figura 14 - Ajuste do modelo de Fick para a polpa de tucumã desidratada. Dados experimentais (e) e (p) valores preditos pelo modelo.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Variáveis independentes codificadas	34
Tabela 2 - Planejamento experimental da secagem em spray dryer	34
Tabela 3 - Modelos matemáticos utilizados para representação dos dados experimentais	39
Tabela 4 - Dados biométricos do fruto <i>in natura</i> de tucumã	42
Tabela 5 - Características física e físico-química da polpa do tucumã	44
Tabela 6 – Parâmetros de cor e teor de carotenoides da polpa de tucumã <i>in natura</i>	44
Tabela 7 – Teor de carotenoides e atividade de água da polpa desidratada em spray dryer	46
Tabela 8 - Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística (p) sobre o teor de carotenoide	47
Tabela 9 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para retenção dos carotenoides	49
Tabela 10 - Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística (p) sobre a atividade de água	51
Tabela 11 - Análise de Variância do modelo ajustado para a_w na desidratação da polpa de tucumã	53
Tabela 12 – Valores experimentais e preditos pelos modelos das respostas carotenoides e a_w	56
Tabela 13 - Parâmetros de cor da polpa do tucumã <i>in natura</i> e desidratada em <i>spray dryer</i>	56
Tabela 14 - Valor da difusividade efetiva (D_{ef}) dos processos de secagem da polpa de tucumã	59

Tabela 15 - Parâmetros dos ajustes dos modelos matemáticos aos dados da secagem do tucumã	62
Tabela 16- Parâmetros avaliados para polpa de tucumã desidratada	63
Tabela 17 - Parâmetros de cor da polpa do tucumã in natura e desidratada (50°C).....	64

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 TUCUMÃ	15
2.2 CAROTENOIDES	18
2.2.1 Funções dos Carotenoides	21
2.3 PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO DE ALIMENTOS	22
2.3.1 Spray Drying	25
2.3.2 Desidratação em estufa com circulação de ar	28
3 MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1 MATERIAL	32
3.2 MÉTODOS	32
3.2.1 Análise biométrica do fruto tucumã	32
3.2.2 Despoldamento do Tucumã	33
3.2.3 Desidratação em <i>spray dryer</i>	33
3.2.3.1 Planejamento experimental	33
3.2.3.2 Etapas do processo	34
3.2.4 Desidratação em estufa	36
3.2.4.1 Cálculo da taxa de secagem e da difusividade efetiva	38
3.2.4.2 Modelagem da secagem	38
3.2.5 Caracterização física e físico-química da polpa do tucumã	39
3.2.6 Análise Estatística	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	42

4.1 CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS DO FRUTO TUCUMÃ	42
4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICA E FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA DE TUCUMÃ <i>IN NATURA</i>	42
4.2.1 Parâmetros de cor e teor de carotenoides	44
4.3 AVALIAÇÃO DA DESIDRATAÇÃO POR SPRAY DRYER.....	45
4.3.1 Teor de carotenoides.....	47
4.3.2 Atividade de água (a_w)	51
4.3.3 Determinação da condição operacional de <i>spray dryer</i> visando a retenção dos carotenoides	55
4.3.4 Parâmetros de cor	56
4.4 SECAGEM DA POLPA DE TUCUMÃ EM ESTUFA.....	56
4.4.1 Cálculo da taxa de secagem e da difusividade efetiva	58
4.4.2 Modelagem Matemática da Secagem.....	61
4.4.3 Atividade de água, carotenoides e cor da polpa desidratada em estufa...63	
5 CONCLUSÕES	65
REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO

O consumo de frutas e verduras vem sendo incentivado devido a estudos que apontam uma associação inversa entre a ingestão destas e a incidência ou risco de desenvolver doenças degenerativas, como alguns tipos de câncer e doenças cardiovasculares (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010; DOLINSKY, 2009). Esta proteção tem sido atribuída aos compostos bioativos destes alimentos, com grande destaque aos carotenoides, corantes naturais responsáveis pelas cores amarelas, laranja e vermelha de vegetais, que possuem ampla distribuição na natureza, estruturas químicas diversas e funções variadas (VALDUGA et al., 2009; RODRIGES-AMAYA, 2001).

Embora os carotenoides sejam micronutrientes, presentes em níveis baixos ($\mu\text{g/g}$), estão entre os constituintes alimentícios de destaque, pois são responsáveis pela ação de pró-vitamina A, agem como protetores da visão e são antioxidantes, com ação protetora contra doenças cardiovasculares, inibidores de mutagênese e melhoram o sistema imunológico, entre outras funções (RODRIGUEZ-AMAYA; KIMURA; AMAYA-FARFAN, 2008).

Como os seres humanos não apresentam a capacidade de sintetizar os carotenoides, torna-se necessária uma dieta balanceada incluindo o consumo de alimentos ricos nestes compostos como frutas e hortaliças.

A Amazônia apresenta inúmeras espécies nativas de plantas frutíferas, pouco conhecidas, até mesmo pela população brasileira, com grande potencial econômico, tecnológico e nutricional, que vem despertando o interesse de estudos científicos em diversificadas áreas, tais como: alimentícia, farmacêutica e cosmética.

Dentre estas espécies destaca-se o tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.), pertencente à família da *Arecaceae*, amplamente utilizado na forma *in natura* pelas populações da região amazônica, e segundo estudos recentes é uma rica e promissora fonte de carotenoides naturais (GUEDES, 2006; OLIVEIRA, 2011).

Contudo, o consumo do tucumã e a sua importância econômica, estão atrelados à exploração tecnológica da polpa, possibilitando assim, aumento da vida comercial e sua disponibilidade no período da entressafra.

Em anos recentes, novas tecnologias vêm sendo desenvolvidas para a produção de alimentos que preservem melhor seus nutrientes e compostos

bioativos. Nesse sentido, uma alternativa viável é a secagem do fruto que reduz ainda, significativamente os custos com embalagens, transporte e armazenamento.

A produção da polpa desidratada de tucumã representa uma alternativa no sentido de melhorar a conservação deste produto. Os produtos em pó apresentam baixa atividade de água, o que dificulta ou até impede o crescimento de microrganismos e reações bioquímicas responsáveis por sua deterioração. Apresenta ainda, como vantagem uma maior facilidade no manuseio do produto final, seja para o consumo na forma direta ou como ingrediente na elaboração de outros produtos alimentícios.

1.1 OBJETIVOS

Geral: Obtenção da polpa de tucumã (*Astrocaryum vulgare Mart*) desidratada, por *spray dryer* e estufa de circulação forçada de ar, e avaliar a qualidade em termos da preservação dos carotenoides.

Específicos:

- Avaliação do efeito da temperatura e da presença de agente carreador nas características da polpa desidratada por *spray dryer*;
- Estudo da cinética de secagem da polpa de tucumã realizada em estufa;
- Avaliação do efeito da temperatura nas características da polpa desidratada por estufa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 TUCUMÃ

O tucumã (Figura 1) é um fruto oleaginoso que, de modo geral, é uma drupa globosa ou ovoide, cujo mesocarpo é fibroso e de coloração amarelo-alaranjada, nutritivo, rico em fibras, lipídeos e compostos como a pró-vitamina A. Da sua única semente (amêndoa) pode ser extraída uma gordura de cor branca (YUYAMA, 2005; GUEDES, 2006).

Figura 1- Cacho do Tucumã



Fonte: Oliveira, M; Oliveira, N. e Abreu (2011).

Este fruto é proveniente do tucumanzeiro, como é conhecido popularmente, uma palmeira pertencente ao gênero *Astrocaryum*, família *Arecaceae* ou *Palmae* com diversas variedades de espécies distribuídas por toda a floresta da bacia Amazônica (CAVALCANTE, 1996; BACELAR, 2006). Dentre as diversas espécies, encontram-se *A. tucuma*, Mart., *A. princeps* Barb., *A. aculeatum* Meyer, *A. segregatum* Dr., *A. chonta* Mart., *A. leisphota* Bard., *A. undata* Mart. e *A. vulgare* Mart., espécie comumente encontrada nos estados do Pará e Amapá também conhecida como tucumã-do-Pará (Figura 2). Possui distribuição geográfica ampla no Norte da América do Sul, concentrando-se principalmente na parte leste da Amazônia (VILLACHICA, 1996).

Figura 2. Palmeira do tucumã



Fonte: Oliveira, M; Oliveira, N. e Abreu (2011)

O tucumanzeiro (*A. vulgare* Mart), palmeira monoica, forma touceiras com média de quatro estipes por touceira, cresce próximo de rios desenvolvendo-se bem em solos pobres de terra firme com cobertura vegetal baixa, pode alcançar de 10 a 15 m de altura, possuindo espinhos ao longo da metade superior do tronco, de 15 a 20 cm de diâmetro (CAVALCANTE, 1996; CLEMENT et al., 2005).

A frutificação do tucumanzeiro inicia em torno de 4 a 8 anos, produz em média de 2 a 3 cachos anualmente, onde cada cacho contém de 200 a 400 ou mais frutos e pesa entre 10 a 30 quilos (SHANLEY; MEDINA 2005).

Oliveira, Couturier e Beserra (2003) observaram que a frutificação mais intensa, ocorre no período mais chuvoso entre dezembro a março. No entanto, notaram que a frutificação dessa espécie, se bem manejada pode ocorrer o ano inteiro.

Os frutos são normalmente de forma ovalada ou arredondada, com variação no comprimento de 3 a 5 cm e no diâmetro de 2 cm a 4 cm. A polpa de coloração variada do epicarpo e do mesocarpo (amarelada até alaranjado forte e vermelho) de 2 a 4mm de espessura, de consistência pastoso-oleosa apresentando característica fibrosa, apresenta sabor adocicado e um aroma característico (CAVALCANTE 1996; FERRÃO, 1999).

A extração destes frutos, pertencentes a categoria “produtos invisíveis” da floresta amazônica, embora não seja computada nas estatísticas oficiais são muito importantes na estratégia de sobrevivência de agricultores familiares (HOMMA et al., 2007).

Quanto às características nutricionais os frutos de tucumã (*Astrocaryum vulgare*) são constituídos de polpa e amêndoa, onde a polpa representa em média 25% do peso do fruto fresco e maduro (FERREIRA et al., 2008). O fruto seco é composto de 39,22% de polpa externa, que contém, aproximadamente, 33 a 47,5% de óleo (em base seca), muito semelhante ao óleo de palma.

A parte comestível do fruto *in natura* apresenta quantidade expressiva de pró-vitamina A, teores satisfatórios de fibra e vitamina E e B1 (BROCHIER, 2000; MORAIS; DIAS 2001; MARINHO et al., 2002; YUYAMA, 2005; FERREIRA et.al., 2008).

Rodriguez-Amaya et al. (1996) apontaram que este fruto se encontra entre os de maior concentração em β -caroteno ($107\pm 31\mu\text{g/g}$), sendo superado somente pelo buriti (*Mauritia flexuosa* L.).

O fruto do tucumã tem, em média, 46% de umidade, 3,5% de proteínas, 30% de lipídios, 9% de fibras e 3% em minerais. A parte comestível do fruto *in natura* apresenta valor de 412,73kcal em 100g (MORAIS; DIAS, 2001; YUYAMA et al., 2005).

O consumo deste fruto é tradicionalmente na sua forma *in natura* pela população amazônica, ou como recheio de sanduíches, tapiquinha, cremes e sorvetes (SHANLEY; MEDINA, 2005; YUYAMA, 2008). Contudo, diversos estudos vêm demonstrando características funcionais importantes tanto para o setor alimentício quanto farmacêutico e cosmético, com uma ampla variedade e teores elevados de carotenoides, ácidos graxos essenciais, fibras e aminoácidos (ABREU et al., 2008; DAMASCENO et al., 2008; FERREIRA et al., 2008; ABREU; OLIVEIRA XAVIER, 2011).

Estudos também vêm apontando o fruto de tucumã como fonte promissora de matéria graxa para produção de biodiesel, com foco principal na gordura de sua amêndoa (BARBOSA et al., 2009; BATISTA et al., 2008). Enquanto a sua polpa, uma fonte de diferentes antioxidantes com propriedades anti-inflamatórias (BONY et al., 2012). Em relação ao teor de minerais, merece destaque as altas concentrações encontradas de potássio (894,64mg/100g), considerado um nutriente essencial, que tem na banana a fonte mais conhecida, contudo, com teores menores que os da polpa de tucumã (ALVES et al., 2012).

2.2 CAROTENOIDES

Os carotenoides constituem um dos mais abundantes pigmentos naturais, devido às suas numerosas funções, ampla distribuição e diversidade estrutural (OLIVER; PALOU, 2000).

Dos mais de 600 carotenoides conhecidos, aproximadamente 50 apresentam atividade pró-vitáminica A. A diversidade de estruturas dos carotenoides é resultante da ciclização, hidrogenação, desidrogenação, migração de duplas ligações, encurtamento ou alongamento da cadeia, rearranjo, isomerização, introdução de funções com oxigênio ou a combinação destes processos (BOBBIO; BOBBIO, 2001; RODRIGUEZ-AMAYA, 2001; RODRIGUEZ-AMAYA et al., 2008).

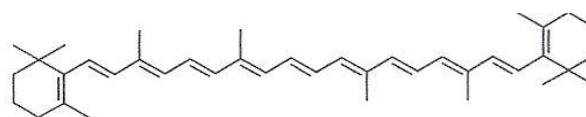
Os carotenoides apresentam sistema extenso de duplas ligações conjugadas, responsáveis por suas propriedades e funções tão especiais. Este é o sistema cromóforo que atribui a estes as suas cores atraentes, que varia entre o amarelo e o vermelho (RODRIGUEZ-AMAYA; KIMURA; AMAYA-FARFAN, 2008).

Quimicamente os carotenoides são classificados em dois grupos distintos: os hidrocarbonetos universalmente conhecidos como carotenos, e os derivados oxigenados, chamados de xantofilas. O β -caroteno e α -caroteno são exemplos de caroteno, sendo estes, precursores de vitamina A. Enquanto a luteína e zeaxantina são xantofila (MARINHO, 2002; AMBROSIO; CAMPOS; FARO, 2006; RODRIGUEZ-AMAYA; KIMURA; AMAYA-FARFAN, 2008).

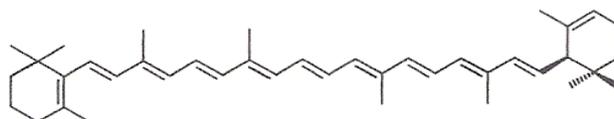
Dentre os carotenos cíclicos, o que apresenta maior destaque é o β -caroteno, presente entre outros frutos na cenoura (*Daucus carota*), manga (*Mangifera indica*), acerola (*Malpighia glabra*) e frutos da família Palmae/Arecaceae. O α -caroteno e o γ -caroteno estão geralmente em menor concentração que o β -caroteno, onde o primeiro é encontrado em cenouras e abóboras (*Cucurbita* sp.) e o último em pitanga (*Eugenia uniflora*) (GOODWIN, 1976; RODRIGUEZ-AMAYA, 2001).

Os principais carotenoides encontrados em alimentos são: β -caroteno, α -caroteno, β -criptoxantina, licopeno, luteína e violaxantina (Figura 3). Com a exceção de violaxantina, estes carotenoides são também o mais comumente encontrado no plasma humano e têm sido, juntamente com a zeaxantina, a mais estudada em termos de efeitos de promoção da saúde (RODRIGUEZ –AMAYA et al., 2008).

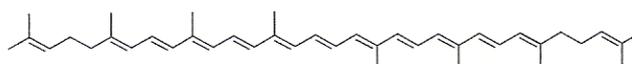
Figura 3 - Estrutura química de alguns carotenoides



β -caroteno



α -caroteno



Licopeno

Fonte: Rodriguez-Amaya; Kimura; Amaya-Farfan (2008).

Os carotenoides são compostos hidrofóbicos, lipofílicos, insolúveis em água e solúveis em solventes, como acetona, álcool e clorofórmio (AMBROSIO; CAMPOS; FARO, 2006). Existem na natureza principalmente na forma mais estável *trans*.

As ligações duplas conjugadas nas estruturas dos carotenoides, que contribui para sua pigmentação, absorção de radiação na faixa de UV-VIS e atividade antioxidante, são também as principais razões da sua instabilidade química, pois estas insaturações são muito suscetíveis à isomerização geométrica e à oxidação. (GOODWIN, 1976; RODRIGUEZ-AMAYA, 2001).

Estas degradações dos carotenoides são resultantes de complexos mecanismos de reação, nas quais a oxidação enzimática e não enzimática formam epoxicarotenoides e apocarotenoides como produtos iniciais e, eventualmente, compostos de baixa massa molecular. A isomerização *trans-cis* acompanha a oxidação e estes isômeros são sujeitos à oxidação (RODRIGUEZ-AMAYA, 1997)

Já é conhecido que calor, luz e ácidos induzem a isomerização, e que a oxidação, o principal mecanismo de degradação dos carotenoides, depende da disponibilidade de oxigênio e é acelerada pela luz, calor, presença de metais, enzimas e peróxidos, o que diminui tanto a intensidade da cor como a atividade de

pró-vitamina A dos carotenoides (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001; SCHIEBE; CARLE, 2005; RODRIGUEZ - AMAYA, KIMURA e AMAYA-FARFAN, 2008;).

Os derivados da degradação são formados em vários tipos de processamento de alimentos, como cozimento, fritura, pasteurização, extrusão e desidratação, com perdas em torno de 25-35% (PINHEIRO-SANT'ANA et al., 1998; RODRIGUEZ; RODRIGUEZ-AMAYA, 2007). Por outro lado, esta degradação pode ser evitada ou minimizada com a adoção de práticas que excluem o oxigênio, uso de antioxidantes, proteção contra a luz e armazenamento dos produtos em baixas temperaturas (RODRIGUEZ – AMAYA; KIMURA; AMAYA-FARFAN, 2008).

Alguns estudos avaliaram a degradação de carotenoides durante os processamentos tradicionais que utilizam tratamentos térmicos e provocam grandes perdas de carotenoides. No processamento de molho de tomate, as concentrações de licopeno total e tetra-cis-licopeno, que é mais biodisponíveis do que os isômeros *all-trans*, diminuíram consideravelmente, acompanhado pelo aumento de *trans*- e outros isômeros *cis* (ISHIDA et al., 2007).

No preparo para consumo de batata doce, a retenção do all-trans- β -caroteno foi de 77% após cozimento a vapor e 78% em água e fritura, Quando as rodela das raízes foram secas a 57 °C, durante 10 horas, houve redução de 12% e a secagem ao sol resultou em perdas de 9 a 16% (BENGTSSON et al., 2008).

Outro estudo, sobre o processamento doméstico do brócolis, demonstrou que após cozimento tanto em água quanto à vapor obteve maiores teores de β -caroteno e luteína comparado ao brócolis fresco (GLISZCZYNSKA-SWIGLO et al., 2006). Tal resultado provavelmente está relacionado com a sua maior disponibilidade para a extração, em parte devido a ruptura de complexos caroteno proteína e inativação de enzimas oxidantes (LESSIN et al. 1997), que em muitos alimentos, pode ser mais comprometedor do que a decomposição térmica ou oxidação não enzimática (RODRIGUEZ – AMAYA; KIMURA; AMAYA-FARFAN, 2008).

O cozimento de milho por fervura a 100°C por 30 minutos aumentou a concentração de carotenoides enquanto que o cozimento em forno a 232°C por 25 minutos apresentou degradação em torno de 70% dos carotenoides (MUZHINGI et al., 2008).

O estudo sobre a cinética de degradação de carotenoides (α -caroteno, β -caroteno, luteína e licopeno) em sistemas modelos de baixa umidade e aquoso, na

presença ou ausência de luz, mantidos a temperatura ambiente, comprovou que dentre os fatores que influenciam à degradação dos carotenoides, a variação do intervalo 0,38 a 0,55 da Atividade de água (a_w), utilizada nos modelos de baixa umidade, não demonstrou ser influente nas condições utilizadas. Entretanto, a luz mostrou o efeito mais consistente e intenso, provocando perdas substanciais para todos os carotenoides em todos os sistemas modelos; seguida pela temperatura, desde que exista a disponibilidade de oxigênio (FERREIRA, 2001).

2.2.1 Funções dos Carotenoides

Outra forma de se classificar os carotenoides está relacionada à atividade pró vitamínica A, que representa a maior contribuição para alimentação de seres humanos e animais. Ademais, os carotenoides podem ser absorvidos seletivamente ou não, convertidos para vitamina A, depositado nos tecidos como tal, ou levemente modificado formando carotenoides típicos de animais (p.ex.: astaxantina) (RODRIGUEZ - AMAYA, KIMURA e AMAYA-FARFAN, 2008).

O β -caroteno, o mais abundante dentre os carotenoides, além da ação antioxidante, é um precursor da vitamina A em mamíferos, e ao qual se atribui 100% de atividade pró-vitamínica A. Além deste, outros carotenoides como α -caroteno e β -criptoxantina também apresentam esta atividade, entretanto em menor quantidade, cerca de 50% do β -caroteno, ao passo que a luteína, zeaxantina e licopeno não possuem atividade (CAMPOS et al., 2006; RODRIGUEZ-AMAYA, 2001). Basicamente, a estrutura da vitamina A (retinol) é a metade da molécula do β -caroteno, com uma molécula de água adicionada no final da cadeia poliênica (RODRIGUEZ – AMAYA; KIMURA ; AMAYA-FARFAN, 2008).

Os carotenoides são utilizados nas indústrias alimentícias principalmente como corantes, com o objetivo de introduzir a cor perdida dos alimentos durante o processamento e armazenagem, atribuir cor aos alimentos incolores e uniformizar a coloração de alguns produtos alimentícios, entretanto com o crescente interesse pela saúde e devido às suas atividades biológicas também têm sido adicionados aos alimentos, a fim de enriquecê-los (MALDONADE, 2003).

A vitamina A é um nutriente de vital importância para a saúde humana e de várias espécies animais. É reconhecida sua importância na manutenção de tecidos

epiteliais, reprodução, sistema imunológico e, em especial, para o funcionamento do ciclo visual na regeneração de fotorreceptores, na morfogênese, na integração do sistema imunológico, no crescimento e apresenta ainda importante papel na mobilização do ferro no organismo (LAYRISSE et al., 2000).

Por outro lado, a hipovitaminose A acarreta anemia, xeroftalmia, cegueira e morte em milhares de crianças no mundo e constitui um dos principais problemas nutricionais de populações de países em desenvolvimento, incluído o Brasil. Ramalho, Flores e Saunders et al. (2002), identificaram que em todas as regiões brasileiras, que apresentam dados estatísticos, foi constatada a carência marginal de vitamina A, com alta prevalência em diferentes faixas etárias.

A propriedade antioxidante dos carotenoides não depende da atividade de pró-vitamina A, e está associada à capacidade de sequestrar radicais livres ou atuar como supressores do oxigênio singlete. Esta capacidade tem sido atribuída ao extenso sistema de duplas ligações conjugadas, e a máxima proteção é dada pelos carotenoides com mais de 9 duplas ligações (PACKER et al., 1999; RODRIGUEZ-AMAYA, 2001; PALOZZA et al., 2003).

2.3 PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO DE ALIMENTOS

A indústria de alimentos em pó vem crescendo nos últimos anos devido às vantagens inerentes ao produto: facilidade de conservação a longo prazo; baixo custo de transporte e armazenamento; versatilidade quanto ao uso (bebidas em pó instantâneas, alimentos infantis, pré-misturas, sopas) e quanto à forma de produção (pós moídos, atomizados, secos em tambor, aglomerados, liofilizados, etc.). Possibilita ainda agregar valor a matéria prima e mantém o máximo de suas características originais pelo uso de uma tecnologia de secagem adequada (IGNÁRIO LANNES, 2007; GOULA; ADAMOPOULOS, 2010).

O processo de secagem é provavelmente um dos mais antigos métodos de preservação de alimentos que utiliza aplicação de calor, sob condições controladas, cuja conservação se dá pela redução do conteúdo de água do alimento, fazendo com que a sua a_w diminua, a ponto de minimizar o crescimento microbiano e as reações químicas indesejáveis (BARUFFALD; OLIVEIRA, 1998; PARK; YADO; BROD, 2001; FELLOWS, 2006; RUIZ-LÓPEZ et al., 2008).

O conhecimento das propriedades dos alimentos é essencial para otimizar processos, funcionalidades e para reduzir custos. As propriedades químicas e físicas têm recebido bastante atenção no caso dos pós produzidos ou utilizados nas indústrias farmacêutica, alimentícia, entre outras. As propriedades físicas incluem forma, densidade, porosidade, pegajosidade (stickiness), fluidez, tamanho e diâmetro médio das partículas; enquanto as propriedades químicas estão relacionadas à composição do alimento e suas interações com outras substâncias, como solventes ou outros componentes dentro de sua própria estrutura (BARBOSA-CÁNOVAS; JULIANO, 2005).

Dentre as propriedades dos alimentos, a umidade e atividade de água são essenciais no que diz respeito à estabilidade e estocagem dos pós; o tamanho da partícula, por sua vez, pode influenciar atributos sensoriais de sabor, cor, textura e aroma do produto final. Para o consumidor essas características interferem na preferência e/ou aceitabilidade de um determinado produto. O tamanho das partículas também influencia o escoamento dos pós, sua capacidade de reidratação, solubilidade e dispersibilidade, bem como a mistura de componentes e a compactação, na qual as partículas menores permanecem distribuídas na parte inferior e as partículas maiores, na parte superior do produto em pó (BARBOSA-CÁNOVAS; JULIANO, 2005; O'HAGAN et al., 2005).

A água é o constituinte presente em maior quantidade nos alimentos, exercendo influência considerável na palatabilidade, digestibilidade, estrutura e manuseio do material. Praticamente todos os processos deteriorativos que ocorrem nos alimentos são influenciados pela concentração e mobilidade da água em seu interior. Apresenta-se em diversas formas: livre, que se encontra nos espaços intergranulares e entre os poros dos alimentos atuando como solvente, onde grande quantidade dela é retirada durante a secagem; água pseudo ligada, fortemente ligada por forças de Van der Waals; e água de constituição, que faz parte da constituição das moléculas que compõem o material (LABUZA 1980; WOLF et al., 1985; ATHIÉ et al., 1998; LEWICKI, 2006; MUJUMDAR, 2006).

A atividade de água (a_w) é uma das propriedades mais importantes para o processamento, conservação e armazenamento de alimentos, que 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 (FENNEMA, 1996).

Em níveis próximos ou inferiores a 0,60 de atividade de água limita a capacidade da microbiota (bactérias e fungos) em desenvolver-se no produto armazenado. Nessas condições, os microrganismos que apresentam maior importância são as leveduras osmotolerantes e os bolores xerófilos (EIROA, 2001; FRANCO; LANDGRAF, 2003; QUEK; CHOK; SWEDLUND, 2007).

Considerando-se que as frutas são constituídas por mais de 80% de água, o processo de secagem, com a obtenção de polpas e sucos de frutas em pós, traz várias vantagens, como, facilidade na conservação, estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura ambiente por longos períodos de tempo, proteção contra degradação enzimática e oxidativa, redução do peso, economia de energia, por não necessitar de refrigeração, e disponibilidade do produto durante qualquer época do ano, pelo prolongamento da vida comercial (PARK et al., 2001; GOUVEIA et al., 2003).

Não obstante as operações de secagem, apesar de garantir a estabilidade do alimento, podem promover decréscimos na qualidade do produto final, tais como: dureza excessiva, degradação da cor, aroma e sabor (GAVA, 2005). Diante disso estudos sobre os parâmetros da secagem são necessários com intuito de otimizar o processo e permitir a obtenção de um produto com a garantia da qualidade.

Yuyama et al. (2008) avaliando a vida de prateleira da polpa do tucumã desidratada, em estufa com circulação de ar forçada à temperatura de 60 °C durante 72 horas, em vários tipos de embalagens e temperaturas de armazenagem, observaram que tucumã desidratado manteve boa estabilidade química e microbiológica, nas condições experimentais, por um período de 150 dias de armazenamento.

A todos os fatores viabilizadores e propulsores do consumo de frutas, associado à obtenção de produto com alto teor de carotenoide, a desidratação da polpa de tucumã apresenta-se como uma alternativa para a aplicação, como ingrediente em alimentos formulados, visando à suplementação de pró-vitamina A.

No entanto, a escolha de um método de secagem irá depender de alguns fatores, entre os quais, pode-se considerar: matéria prima; propriedades físicas,

como cor textura e sabor desejados ao produto seco; custos e condições de processamento e exigência de mercado (SILVA, 2000; MACHADO, 2008) .

Entre as várias operações unitárias disponíveis, duas serão abordadas neste estudo, desidratação por *spray dryer* e por estufa com circulação de ar.

2.3.1 *Spray Drying*

Um dos processos mais utilizados na obtenção de produtos em pó é a secagem por atomização, *spray drying*. Esta técnica de secagem é uma operação unitária, utilizada em escala industrial na produção de leite a partir da década de 20, que consiste na transformação de um produto no estado líquido, podendo o mesmo ser uma solução, suspensão ou emulsão, em um produto particulado seco.

O processo consiste de três etapas fundamentais, que interferem diretamente nas características do produto final. Na primeira fase, o fluído é disperso como gotículas, que forma uma nuvem ou *spray* e produz uma grande área superficial. Na segunda, ocorre contato destas com uma corrente de ar aquecido, que percorre a câmara havendo transferência de calor. Na terceira etapa as partículas sólidas são formadas instantaneamente no mesmo momento em que são secas acontece a evaporação do solvente e a formação da partícula sólida (MASTERS ,1985; BARBOSA-CANOVÁS; JULIANO, 2005; GHARSALLAOUI, et al., 2007; TONON et al., 2008; PHEIGAMBARDOUST et al., 2011)

A qualidade dos produtos obtidos por atomização depende das características da solução de alimentação (vazão de entrada, viscosidade, etc.), do ar de secagem (fluxo, temperatura, pressão de ar, etc.), do contato entre o ar quente e gotas na câmara de secagem (em fluxo contra corrente, concorrente, ou uma combinação dos dois,) e do tipo de atomizador utilizado (ABBAS, et al., 2012).

As características do ar de secagem e o tipo de contato líquido-ar quente influenciam não só as características já citadas, como também a capacidade de retenção do aroma e sabor (TONON et al., 2009).

A possibilidade de controle de temperatura, levando-se em consideração o tempo reduzido de residência, na secagem por atomização, devido à alta relação da área de superfície e volume das gotículas, reflete em um método eficiente na secagem de produtos termossensíveis porque promove uma maior retenção dos

nutrientes, sabor e cor. Além disso, como vantagem, possibilita grandes produções em operação contínua, produção de partículas relativamente uniformes e a eficiência é comparável a outros tipos de secadores diretos e de baixo custo de processo. (FILKOVÁ; MUJUMDAR, 1995; RÉ, 1998; DESAI, 2005).

A secagem de alimentos ricos em açúcar, como os sucos de frutas, tem um grande potencial econômico por resultar em um produto formulado seco com reduzido volume e prolongado prazo de validade. No entanto, em geral possuem alto conteúdo de açúcares o que pode acarretar a obtenção de produtos com alta pegajosidade e higroscopicidade, diminuindo o rendimento do processo. Isso pode provocar ainda a adesão do pó às paredes do secador, dificuldade de manipulação, empastamento, tornando seu armazenamento e utilização mais difíceis (BHANDARI et al., 1997; TURCHIULI et al., 2010; YOUSEFI; EMAMD-JOMEH; MOUSAVI, 2010;).

Essa alta higroscopicidade é explicada pelo fato de que os açúcares e ácidos de baixo peso molecular têm baixa temperatura de transição vítrea (T_g), apresentando-se em estado gomoso à temperatura da câmara de secagem (DOLINSKY et al., 2000; BHANDARI; HARTEL, 2005).

O problema pode ser evitado ou minimizado utilizando-se agentes carreadores com alto peso molecular – como polímeros e gomas – antes da atomização, que aumentam a temperatura de transição vítrea do produto, diminuindo a higroscopicidade dos pós, evitando aglomeração das partículas e auxiliando na boa retenção dos compostos voláteis (BHANDARI et al., 1997; BHANDARI; HARTEL, 2005; YOUSEFI; EMAMD-JOMEH; MOUSAVI, 2010).

Diversos materiais encapsulantes, como a goma arábica e a maltodextrina são muito empregadas na desidratação de polpas e sucos de frutas (DIB TAXI, 2001; RIGHETTO, 2003; CANO-CHAUCA et al., 2005; GABAS et al., 2007).

A goma arábica (ou goma acácia) é um exudado da seiva da árvore do gênero Acácia, com várias espécies distribuídas nas regiões de clima tropical e subtropical. É constituída por um arranjo altamente ramificado de galactose, arabinose, ramnose e ácido glicurônico, contendo ainda cerca de 2% de um componente protéico ligado covalentemente a esse arranjo molecular, exercendo um papel crucial na determinação das propriedades emulsificantes da goma. (ANDERSON; HOWLETT; McNAB, 1985; BE MILLER; WHISTLER, 1996).

A goma arábica é considerada como o material encapsulante por excelência, graças à sua alta solubilidade, baixa viscosidade em solução, boas propriedades emulsificantes, sabor suave e alta estabilidade oxidativa conferida a óleos (ROSENBERG; KOPELMAN; TALMON, 1990; KENNEDY; KNILL ; TAYLOR, 1995; THEVENET, 1995). Além disso, alguns estudos sugerem que o uso da goma arábica é mais efetivo que o da maltodextrina para reduzir a higroscopicidade de pós, por apresentarem maiores valores de T_g do que esta (COLLARES et al., 2004; RIGHETTO; NETO, 2005;). Por outro lado, seu alto custo e disponibilidade limitada podem restringir o seu uso (RÉ, 1998).

Estudos foram realizados utilizando agentes carreadores na desidratação em *spray dryer* para proteger compostos sensíveis como, vitamina C, em frutas como camu-camu (DIB TAXI et al., 2003) e para aumentar a estabilidade do produto, como o suco de acerola em pó (RIGHETTO; NETTO, 2005).

Outros autores tem relatado ainda, a influência das condições de secagem por *spray dryer* nas propriedades e qualidades das microcápsulas obtidas durante o processo. Tonon (2009) estudando a influência da temperatura do ar de secagem (138 – 202°C), da vazão mássica de alimentação (5 – 25 g/min) e da concentração de agente carreador (6 – 30% de maltodextrina 10 DE) sobre o rendimento do processo, o teor de umidade do pó, a higroscopicidade e a retenção de antocianinas durante o processo de secagem do suco de açaí por atomização, apontou que as melhores condições de secagem selecionadas foram: temperatura de 140°C, vazão mássica de 15 g/min e 10% de agente carreador. A mesma autora comparando o efeito da maltodextrina e goma arábica, relatou que a antocianina, presente em maior quantidade no suco de açaí desidratado, foi melhor preservada quando a goma arábica foi utilizada com agente carreador.

Santos, Favaro-Trindade e Grosso (2005) sugeriram condições ideais de operações do atomizador, pressão do ar de 5 Kgf/cm², vazão de 15 mL/min e temperaturas de entrada e saída de 150 e 88°C, respectivamente, para microencapsulação de oleoresina de páprica, com dois agentes encapsulantes testados, goma arábica e grânulos porosos de amido/gelatina, demonstraram ainda que o método foi bem sucedido. O que pode apresentar uma alternativa viável para proteger o carotenoide, presente na páprica, contra a oxidação e conseqüentemente perda de coloração.

Neste sentido, a técnica *spray dryer* pode ser considerada de grande importância na desidratação do tucumã, visto que este fruto apresenta quantidade expressiva de carotenoides. Além disso, a utilização de agentes carreadores pode conferir maior proteção contra a adsorção de umidade do ambiente, tornando-o menos higroscópico e mais estável quanto a degradação de seus nutrientes (SANTOS; FAVARO-TRINDADE; GROSSO, 2005; RODRIGUEZ-AMAYA, KIMURA, AMAYA-FARFAN, 2008).

2.3.2 Desidratação em estufa com circulação de ar

A secagem é a remoção de uma substância volátil (comumente, mas não exclusivamente, a água) de um produto sólido quando este é exposto a uma corrente de ar quente que flui continuamente, promovendo a diminuição da atividade de água de um alimento (PERRY, 1997; RATTI, 2001)

Na secagem em leito fixo o produto permanece num compartimento de fundo perfurado, por onde passa o ar de secagem, insuflado por um ventilador. Nesse sistema a temperatura do ar de secagem é superior à temperatura do ambiente, e a camada de produto é geralmente delgada. (SILVA; AFONSO; DONZELLES, 2000).

Dentre os problemas encontrados, durante a secagem, tem-se a complexidade da composição e estrutura do alimento (VAGENAS et al.,1990). As características específicas de cada produto, forma, estrutura e suas dimensões, associadas às propriedades do ar de secagem e ao meio de transferência de calor adotado, determinam diversas condições do processo. Entretanto, a transferência de calor do ar para o produto quando este entra em contato com o ar quente, devido efeito da diferença de temperatura existente entre eles; e a transferência de massa do produto para o ar em forma de vapor de água, determinada pela diferença da pressão parcial do vapor de água existente entre o ar de secagem e a superfície do produto, são processos simultâneos e fundamentais a qualquer condição de secagem (MENON & MUJUMDAR, 1987; NOGUEIRA, 1991; RODRIGUES et al., 2002).

A taxa de secagem é determinada pelos fatores que governam a velocidade desses fenômenos de transferência, tais como pressão de vapor d'água no material e no ar de secagem, temperatura e velocidade do ar de secagem, velocidade de

difusão da água no material, espessura e superfície exposta para secagem (VAN ARSDEL, 1973).

Durante a secagem é necessário o fornecimento de calor para evaporar a umidade do material e também deve haver um sorvedor de umidade para remover o vapor de água, formado na superfície do material a ser seco.

A evolução das transferências simultâneas de calor e de massa, no curso da operação de secagem, faz com que esta seja dividida, esquematicamente, em três períodos de secagem, sendo o período 0, de indução ou período de se entrar em regime operacional; período 1 ou período de secagem à taxa constante, onde a transferência de calor e massa depende principalmente do mecanismo de transporte na superfície do sólido; e período 2 ou de secagem à taxa decrescente, onde este mecanismo depende da resistência interna deste material à secagem (PRADO; PARK; ALONSO, 2000).

O período de secagem à taxa decrescente é quase sempre o único observado na secagem dos produtos alimentícios e agrícolas. No momento em que a quantidade de água diminui na superfície, ocasiona um decréscimo da velocidade de secagem, dando início ao período de taxa decrescente. A complexidade dos fenômenos de secagem conduz os pesquisadores a proporem numerosas teorias e múltiplas fórmulas empíricas para predizerem a taxa de secagem. Os principais mecanismos de transporte durante este período são: difusão líquida, escoamento capilar e difusão de vapor (CHIRIFE, 1983; PARK; YADO; BROD 2001; RODRIGUES; ALMEIDA; GOUVEIA, 2002).

Assim, diversos estudos têm sido realizados para representar o período de taxa decrescente através de modelos matemáticos.

Os modelos difusivos baseiam-se na difusão de líquido e/ou vapor no interior do produto. A teoria da migração de água por difusão se apoia exclusivamente sobre a lei de Fick, que relaciona a umidade do material com o tempo através de um parâmetro de processo conhecido como coeficiente difusividade efetiva (D_{ef}). Esta, por sua vez, representa a velocidade com que a água se difunde do interior do material até a sua superfície (OLIVEIRA, et al., 2006; SILVA, 2008).

Um dos primeiros a interpretar a secagem como fenômeno de difusão interna de água líquida foi Lewis (1921). Crank (1975) apresentou diversas soluções analíticas para a 2ª Lei de Fick, considerando uma geometria de placa plana,

transferência de massa unidirecional, regime não estacionário, sólido com concentração de superfície constante e resistência externa à transferência de massa desprezível. Os coeficientes de difusividade aparente da água do sólido podem ser calculados pela Equação 1.

$$\frac{MA_t - MA_e}{MA_0 - MA_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[-(2n+1)^2 \pi^2 D_{ef} \frac{t}{L^2} \right] \quad (1)$$

Onde:

MA_t = massa de água no produto no tempo t (g);

MA_e = massa de água no produto no equilíbrio (g);

MA_0 = massa de água inicialmente presente (g);

D_{ef} = difusividade aparente (m^2/s);

t = tempo (s);

L = dimensão característica ou meia espessura (m).

2.3.2.1 Modelagem da cinética de secagem

A cinética de secagem descreve o perfil de variação de umidade de um material com o tempo. E a taxa de secagem pode ser acelerada com a elevação da temperatura do ar de secagem e, ou, com o aumento do fluxo de ar que passa pelo produto por unidade de tempo. A quantidade de ar utilizada para a secagem depende de vários fatores, entre eles, a umidade inicial do produto e a espessura do alimento (GOUVEIA et al., 2003).

Com o objetivo de avaliar a cinética de secagem, diversos estudos têm sido realizados. Rodrigues et al. (2002) utilizando o planejamento experimental na avaliação da cinética de secagem da goiaba (*Psidium guajava* L), em leito estático sob camada delgada, para as temperaturas e velocidade do ar de secagem variando de 76 a 100 °C e 0,8 a 2,2 $m \cdot s^{-1}$ respectivamente, observaram que a temperatura é o fator controlador do processo de secagem e que a velocidade do ar de secagem apresentou uma pequena influência, somente quando trabalhada na faixas de 2,0 $m \cdot s^{-1}$ e temperaturas maiores que 100°C, correspondendo estas às melhores faixas de trabalho.

Comportamento similar foi observado em um estudo sobre a secagem do cajá (*Spondias lutea* L.), em leito fixo, utilizando temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C e velocidade do ar de secagem de 1,0 e 1,5 m s⁻¹ foi observado que a cinética ocorreu no período de taxa decrescente sendo fortemente influenciada pela temperatura em relação à velocidade do ar do processo (GOUVEIA, 2003).

A cinética de secagem de vários produtos pode ser descrita por modelos matemáticos semi-empíricos ou puramente empíricos, que representam as curvas de secagem, propostos com base nas variáveis que podem interferir na secagem do produto, e tem sido objeto de estudo de muitos pesquisadores (MADAMBA, 2003).

Os modelos empíricos apresentam uma boa relação entre o conteúdo médio do teor de umidade e o tempo do processo de secagem, enquanto que os modelos semi-empíricos se baseiam na analogia com a Lei de Newton para o resfriamento, aplicada à transferência de massa.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATERIAL

Foram utilizados os frutos do tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) provenientes de quatro acessos cujas posições 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", adquiridos no Banco de Germoplasma de Tucumã da Embrapa Amazônia Oriental (BAG-Tucumã) do município de Belém/PA (Processo/Ibama nº 02001.003368/2013-78). 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 e Oliveira (2013). Após a colheita os frutos foram transportados em sacos de polietileno até o Laboratório de Agroindústria da Embrapa Amazônia Oriental.

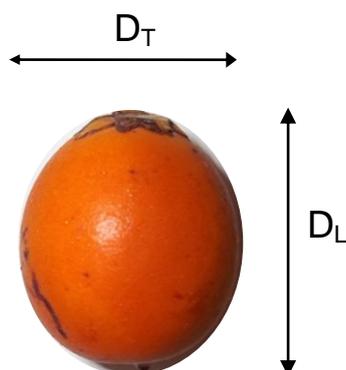
Como agente carreador foi utilizado a goma arábica (marca Dinâmica).

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Análise biométrica do fruto tucumã

A análise biométrica individual do tucumã foi feita com a retirada aleatória de 100 unidades de frutos armazenados. Foram analisadas as dimensões dos diâmetros longitudinal (D_L) e transversal (D_T) em relação à coroa do fruto, de acordo com a Figura 4, usando um paquímetro, com precisão de 0,05mm. As massas do fruto inteiro, do epicarpo, do mesocarpo e do endocarpo foram determinadas em balança analítica, após o despulpamento manual com auxílio de faca de aço inoxidável.

Figura 4 - Ilustração das dimensões do tucumã



Fonte: Autora

3.2.2 Despulpamento do Tucumã

Os frutos íntegros e sadios foram selecionados e submetidos à pré-lavagem em água corrente à temperatura ambiente, e sanitizados em água clorada, com solução a 200 ppm, por 30 minutos; depois foram lavados em água corrente para retirada do excesso de cloro. Os frutos sanitizados foram embalados em sacos de polietileno (cap. 3 kg) e armazenagem a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ em câmara frigorífica.

Foi realizado o branqueamento prévio dos frutos segundo metodologia usada por Yuyama et al. (2008), com modificações na temperatura de branqueamento $85^{\circ}\text{C}/3$ minutos.

O despulpamento foi realizado utilizando-se equipamento de aço inoxidável adaptado pela Embrapa-PA. Os estudos sobre o despulpamento estão em processo de patente.

3.2.3 Desidratação em *spray dryer*

3.2.3.1 Planejamento experimental

Os ensaios da desidratação da polpa de tucumã foram realizados de acordo com um delineamento composto central rotacional 2^2 completo com as variáveis independentes, temperatura do ar de entrada (T) e concentração de agente carreador (C) e variáveis resposta, teor de carotenoides e atividade de água.

As Tabelas 1 e 2 apresentam os valores das variáveis independentes codificadas e os ensaios para o delineamento experimental, respectivamente.

Tabela 1- Variáveis independentes codificadas

Variáveis	-1,41	-1	0	1	1,41
T(°C)	130	140	165	190	200
C (%)	3,00	11,30	31,5	51,70	60,0

Tabela 2 - Planejamento experimental da secagem em spray dryer

Ensaio	T (°C)	C (%)
1	140	11,3
2	140	51,7
3	190	11,3
4	190	51,7
5	130	31,5
6	200	31,5
7	165	3,0
8	165	60,0
9	165	31,5
10	165	31,5
11	165	31,5

3.2.3.2 Etapas do processo

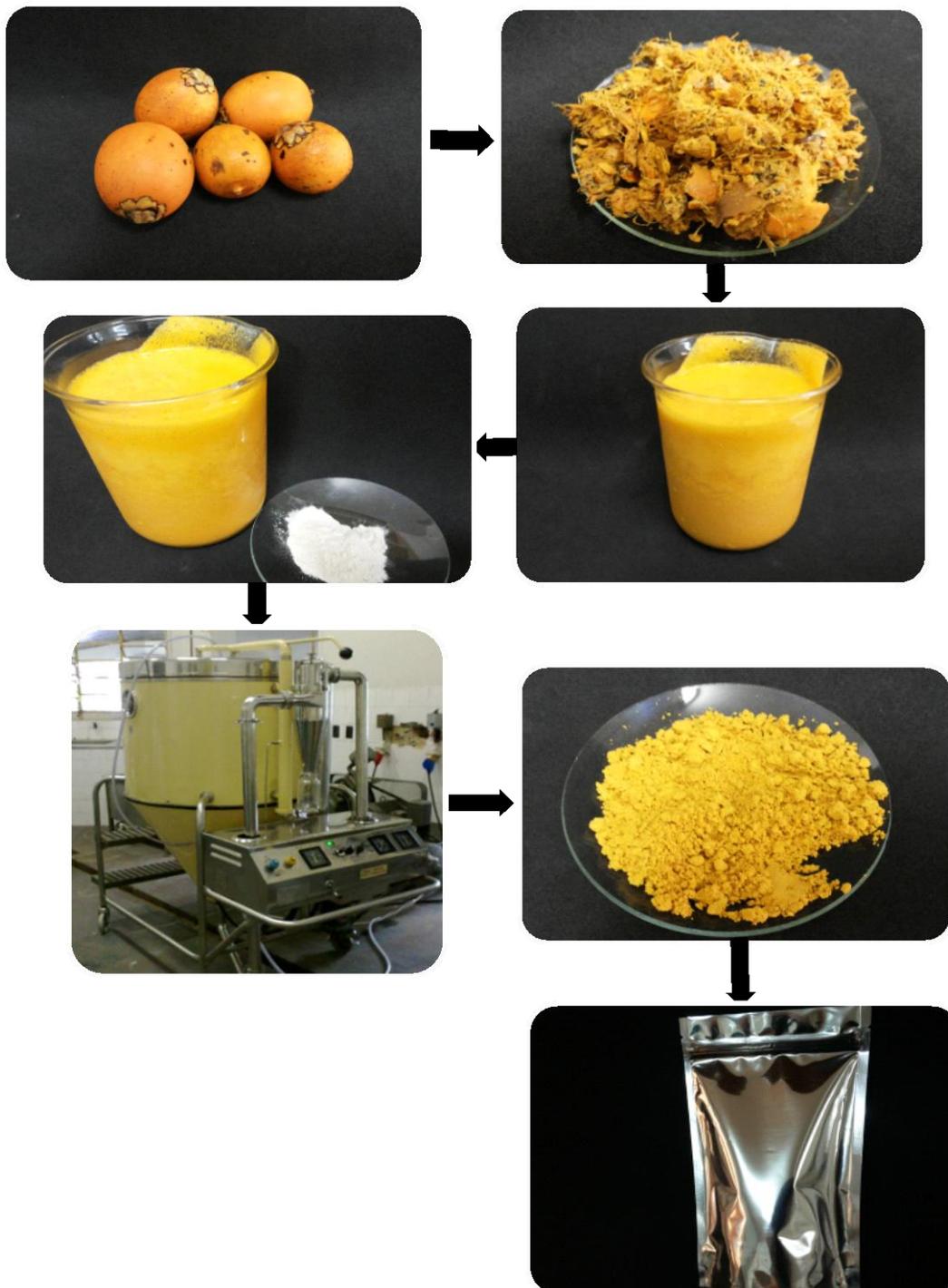
Em virtude da característica sólida da polpa do tucumã foi necessária a preparação de uma solução aquosa de polpa de tucumã para facilitar a sua passagem pelo bico atomizador do *spray dryer*. Para isto, cerca de 30% de polpa foi misturada com 70% de água potável e em seguida filtrada. Em seguida, adicionou-se água potável até que o teor de sólidos totais fosse de 10%, e a partir desse momento, denominada “polpa diluída”. Este procedimento foi definido através de testes preliminares para adequação e melhor funcionamento do *spray-dryer*.

Posteriormente, a goma arábica foi adicionada à polpa diluída nas concentrações (em relação ao teor de sólidos) pré-determinadas no planejamento

fatorial apresentado na Tabela 2. A mistura foi mantida sob agitação até a completa homogeneização.

A Figura 5 mostra o fluxograma do processo de obtenção da polpa de tucumã desidratada em *spray dryer*.

Figura 5 - Fluxograma das etapas de secagem da polpa de tucumã em *spray dryer*



Fonte: Autora (2013)

Utilizou-se um secador-*spray* (marca Niro Atomizer, modelo Mobile Minor) com auxílio de uma bomba dosadora peristáltica (marca, Milan, modelo BP-601). A vazão de alimentação da “polpa diluída” foi de 30 mL/min e pressão do ar de 4 kgf/cm².

As polpas desidratadas foram mantidas a temperatura de -18°C acondicionadas em embalagens flexíveis de filme laminado (PET/MET/PE) com as especificações: Sacos Tradpouch® (60 MZ), laminados de PET/MET//PE. PET é metalizado com alumínio, PE é uma blenda de PEAD (15%), PEBD (40%) e PELBD (45%), com zíper não impresso (marca TRADBOR).

3.2.4 Desidratação em estufa

As amostras da polpa do tucumã foram secas em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 50, 60 e 70°C e velocidades do ar de 7 m/s, conforme manual do equipamento. A umidade de equilíbrio, para cada condição de processo estudada, foi determinada dinamicamente. Todos os experimentos foram realizados em triplicatas.

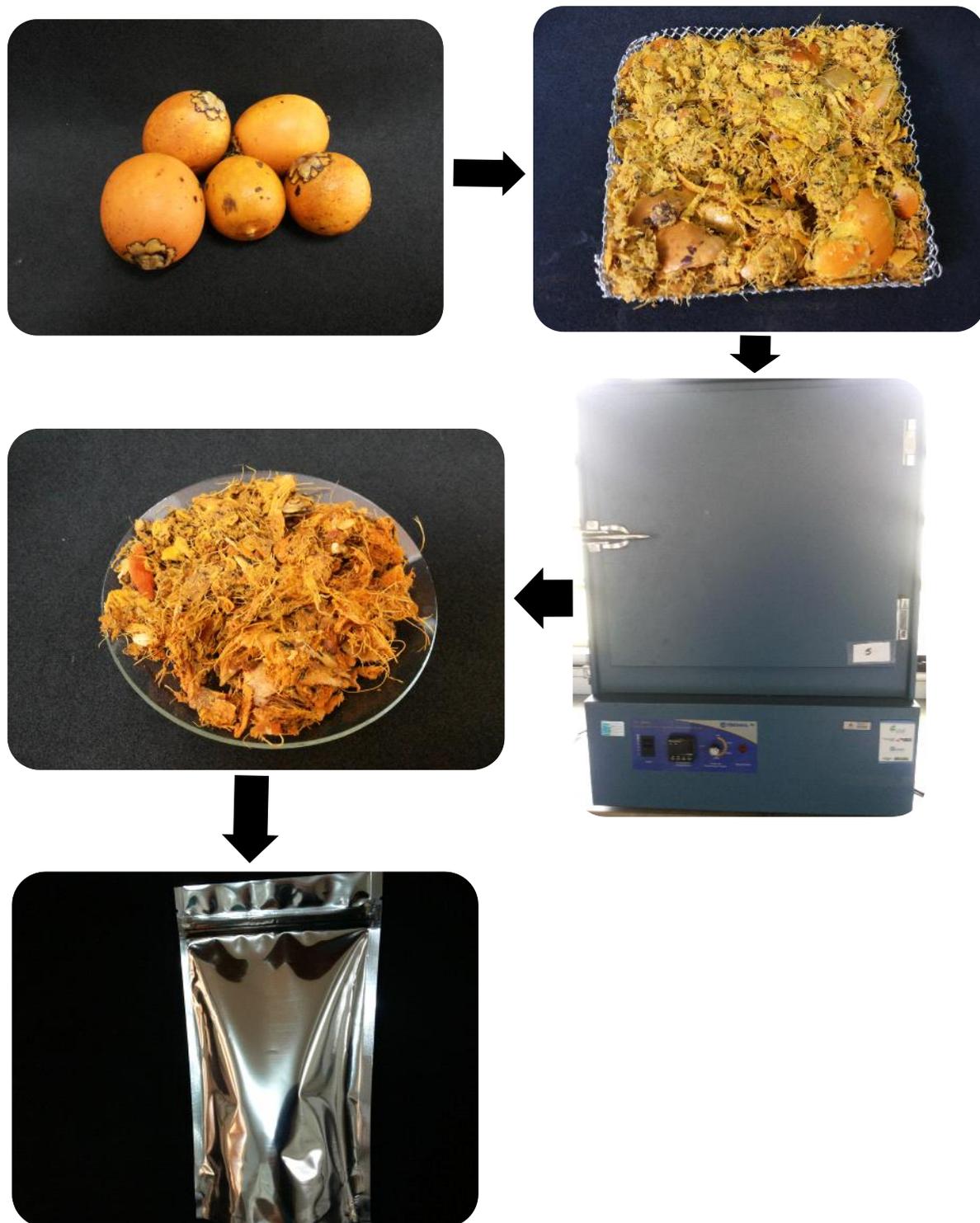
A atividade de água das amostras secas a 50, 60 e 70 °C foi determinada em tempos de secagem distintos até que a igualdade das mesmas fosse observada, com a finalidade de se estabelecer a mesma base para a determinação dos carotenoides.

A Figura 6 mostra o fluxograma do processo de obtenção da polpa de tucumã desidratada em estufa.

A polpa de tucumã (50 g) foi distribuída em cesta de tela metálica de dimensões 10 x 10 x 1 cm. O sistema foi levado para a estufa em condições de temperatura previamente estabilizada. A cinética do processo foi determinada pelo acompanhamento do peso da amostra em intervalos regulares de 30 minutos nas primeiras 3 h e após este período, de 60 minutos, até peso constante.

A polpa de tucumã seca foi submetida à moagem em moinho (Marca Tecnal, Modelo Willye TE – 650) durante cinco minutos, para obtenção de um produto homogêneo. Em seguida, a polpa seca e moída foi acondicionada em embalagens flexíveis de filme laminado (PET/MET/PE) para proteção de luz e ganho de umidade e, mantidas a temperatura de -18°C.

Figura 6 - Fluxograma das etapas de secagem da polpa de tucumã em estufa



Fonte: Autora

3.2.4.1 Cálculo da taxa de secagem e da difusividade efetiva

As taxas de secagem dos experimentos foram determinadas pela Equação 2. A área da superfície da amostra exposta a secagem foi de 0,01 m² e as derivadas da umidade do produto em função do tempo de secagem (dx/dt) foram determinadas com auxílio do programa *OriginPro 8 SRO* (*OriginLab Corporation*).

$$W = \frac{m_s}{A} \cdot \left[- \frac{dX}{dt} \right] \quad (2)$$

Onde:

W = taxa de secagem (g/m².min); X = umidade em determinado tempo (g H₂O/g de amostra b.s.); t= tempo (min.); ms = peso da amostra seca (g); A = área da superfície exposta a secagem (m²).

Os dados experimentais foram ajustados empregando o modelo difusional de Fick, utilizando-se regressão não linear do pacote estatístico do *OriginPro 8 SRO* (*OriginLab Corporation*).

O coeficiente de difusividade efetiva (Def) foi determinado utilizando-se a solução analítica da equação da segunda lei de Fick, para placa plana, com 1 termo da série, utilizando 0,5 cm de semi espessura (Equação 1).

3.2.4.2 Modelagem da secagem

A partir dos dados experimentais foram construídas curvas de secagem da polpa de tucumã, em temperaturas de 50, 60 e 70°C na forma de relação de umidade, $(X-X_e)/(X_0-X_e)$ em função do tempo, onde X_e = umidade de equilíbrio e X₀ = umidade inicial da polpa de tucumã.

A modelagem matemática foi realizada por regressão não linear, com auxílio do software *OriginPro 8*. Os dados experimentais foram ajustados aos modelos classicamente utilizados na secagem em camada delgada apresentados na Tabela 3. Os ajustes foram avaliados utilizando-se como critérios o coeficiente de correlação (R²) e o valor de qui-quadrado (χ²), calculado pela Equação 3.

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (AD_{\text{exp}} - AD_{\text{pre}})^2}{N-n} \quad (3)$$

Onde: AD_{exp} = valor da relação de umidade determinada a partir dos dados experimentais; AD_{pre} = valor da relação de umidade predita pelos modelos ajustados; N =número de observações; n = número de parâmetros do modelo.

Tabela 3 - Modelos matemáticos utilizados para representação dos dados experimentais

Nº do modelo	Nome do modelo	Equação
1	Newton	$AD = e^{-k.t}$
2	Page	$AD = e^{-k.t^n}$
3	Page modificado	$AD = e^{-(k.t)^n}$
4	Henderson e Pabis	$AD = a.e^{-k.t}$
5	Logarítmico	$AD = a.e^{-k.t} + c$
6	Midilli	$AD = b.t + a.e^{-k.t^n}$
7	Dois termos	$AD = a.e^{-k_0.t} + b.e^{-k_1.t}$
8	Aproximação da difusão	$AD = a.e^{-k.t} + (1 - a).e^{-k.b.t}$
9	Verma	$AD = a.e^{-k.t} + (1 - a).e^{-g.t}$
10	Dois termos exponencial	$AD = a.e^{-k.t} + (1 - a).e^{-k.a.t}$

k, k_0, k_1 : coeficientes empíricos do modelo de secagem; a, b, c, g, n : constantes empíricas do modelo de secagem; t : tempo.
Fonte: Akpinar, Bicer e Yildiz (2003).

3.2.5 Caracterização física e físico-química da polpa do tucumã

Metodologias analíticas oficiais foram utilizadas de acordo com o parâmetro a ser avaliado nas polpas de tucumã *in natura*, diluída (*spray*) e desidratada. As determinações foram realizadas em triplicatas.

Segundo a AOAC (2002), determinação de sólidos solúveis, por leitura em refratômetro ABBE (Quimis) (nº 932.12), expressos em açúcares; umidade (nº 934.06), proteínas (nº 920.152); teor de cinzas (nº 940.26) e potencial de hidrogênio (pH) analisado em potenciômetro digital Micronal modelo B474 (nº 943.02).

De acordo com a AOCS (1998), determinação de lipídeos totais (Ba 3-38).

Determinação da fibra dietética insolúvel, determinada de acordo com o protocolo experimental descrito por Van Soest et al. (1995);

Carboidratos totais, segundo a Resolução RDC n° 360, de 23 de dezembro de 2003 (BRASIL, 2003);

Determinação do teor de carotenoides, expressos em β -caroteno, segundo Rodriguez-Amaya (1976). Nos ensaios realizados no spray dryer os valores dos carotenoides foram determinados em base livre de agente carreador.

Atividade de água determinada por leitura direta no termo-higrômetro digital (Aqualab®), a 25 °C.

Os parâmetros de cor foram avaliados por meio de leitura direta em colorímetro (Hunterlab modelo Color Quest XE), através das coordenadas de L^* , a^* e b^* ; onde L^* representa a Luminosidade, em uma escala de 0 (preto) a 100 (branco); a^* varia de +a (+100/Intensidade do vermelho) e -a (-80/Intensidade do verde); b^* varia de +b (+70/Intensidade do amarelo) e -b (-50/Intensidade do azul) (HUNTERLB, 1996; ALVES et al., 2008). O valor de croma C^* , indica intensidade ou saturação de cor e é definido pela distância do *ângulo Hue* (h^0) do centro do diagrama tridimensional., foi calculado de acordo com a equação 4.

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (4)$$

O valor do ângulo de tonalidade (h^0), medido em grau, indica a cor da amostra onde um ângulo de tonalidade de 0° coincide com a cor vermelha, 90° cor amarela, 180° cor verde e 270° com cor azul (LITTLE, 1975). As coordenadas a^* e b^* também foram usadas para calcular o h^0 (ângulo da tonalidade) a partir da Equação 5.

$$h^0 = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (5)$$

3.2.6 Análise Estatística

Os dados experimentais foram tratados estatisticamente com o auxílio do Software *Statistica 7.0*.

No processo de desidratação em *spray dryer* os resultados foram avaliados através da análise de variância (ANOVA) calculada pelo erro puro, superfície de resposta, curvas de nível e gráfico de pareto para melhor visualização dos efeitos proporcionados pelas variáveis temperatura e concentração de agente carreador. Calculou-se o desvio médio relativo (P), que é definido como a diferença relativa entre os valores experimentais e preditos (Equação 6).

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|M_e - M_p|}{M_e} \quad (6)$$

Onde:

M_p : valores preditos pelo modelo;

M_e : valores obtidos experimentalmente;

n: número de dados.

A influência da temperatura sobre as características da polpa de tucumã desidratada em estufa foi avaliada através da Análise de Variância (ANOVA) e teste de Tukey a 5% de significância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS DO FRUTO TUCUMÃ

Os dados biométricos do fruto tucumã estão apresentados na Tabela 4. Os valores dos desvios padrão mostram uma grande variabilidade nas dimensões dos frutos estudados. Isto provavelmente ocorreu em virtude dos frutos serem provenientes de 4 acessos pertencentes ao BAG DA EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL. No entanto, Simões (2010) e Ferreira et al. (2008) reportaram valores para a mesma espécie (*Astrocaryum vulgare*) que se encontram dentro dessas características.

Tabela 4 – Dados biométricos do fruto de tucumã *in natura*

Parâmetros	Médias $\pm \sigma$	Faixa de Valores	Ferreira et al (2008)	Simões (2010)
Diâmetro transversal (mm)	40,01 \pm 5,81	36,20–51,46	38,50 \pm 2,14	37,75 \pm 2,14
Diâmetro longitudinal (mm)	30,31 \pm 4,81	20,90–37,21	31,23 \pm 1,12	32,32 \pm 1,12
Peso do fruto (g)	24,07 \pm 6,21	16,01-36,02	22,01 \pm 2,19	24,86 \pm 2,19
Peso do epicarpo (g)	7,03 \pm 4,48	4,30–9,21	6,75 \pm 1,00	6,90 \pm 1,00
Peso do mesocarpo (g)	6,01 \pm 4,26	4,62–10,45	5,68 \pm 0,57	3,64 \pm 0,57
Peso do endocarpo (g)	11,03 \pm 3,3	7,36–14,21	10,03 \pm 1,19	10,00 \pm 1,19
Epicarpo (%)	29,20 \pm 4,48		29,40 \pm 1,00	28,23 \pm 1,00
Mesocarpo (%)	24,97 \pm 4,26		25,00 \pm 0,57	23,00 \pm 0,57
Endocarpo (%)	45,83 \pm 3,3		45,60 \pm 1,19	48,77 \pm 1,19

Na distribuição percentual da biometria do tucumã, nota-se que o epicarpo e mesocarpo representam, em média, 54% do fruto indicando a potencialidade de sua utilização. Portanto, para obtenção de um quilo de polpa de tucumã, constituída do epicarpo e mesocarpo, são necessários em média 77 frutos.

4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICA E FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA DE TUCUMÃ *IN NATURA*

Os resultados das análises físico-químicas da polpa do tucumã estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Características física e físico-química da polpa do tucumã em base úmida

PARÂMETROS	Valor médio ± σ	GUEDES (2006)	BICHARA (2007)	FERREIRA et al. (2008)	SIMÕES (2010)
Umidade (%)	56,42 ± 0,58	52,12±0,55	53,26 ± 0,52	44,90 ± 0,30	46,6±0,30
Proteínas totais(%)	1,76 ± 0,05	2,37±0,29	4,42 ± 0,03	3,54 ± 0,07	3,33±0,07
Cinzas (%)	1,34 ± 0,02	1,74±0,03	2,34 ± 0,06	2,53 ± 0,05	1,37±0,05
Lípideos totais (%)	10,07 ± 0,07	34,35±3,60*	40,40 ± 0,03	40,49 ± 0,54	28,7±0,5
Fibra (%)	5,53 ± 0,07	-	15,76 ± 0,30	10,93 ± 0,10	10,13± 0,1
Carboidratos	28,96 ± 0,59	-	-	8,54 ± 0,61	19,98±0,61
Energia (Kcal)	219,31	-	-	412,73	351,5±2,1
pH	5,30 ± 0,10	5,89±0,10	-	-	5,89 ± 2,12
Sólidos Solúveis (°Brix)	10,40 ± 0,10				
A_w	0,97±0,02				

*expresso em base seca (bs)

Verifica-se que a umidade encontra-se acima dos valores reportados por Guedes (2006), Bichara (2007), Ferreira (2008) e Simões (2010), o que provavelmente se deve às condições de plantio e solo do BAG. A umidade é uma característica que influencia diretamente na manutenção da estabilidade do fruto, indicando que a aplicação de processos de desidratação é importante quanto ao aspecto de sua vida de prateleira.

O teor de proteínas totais mostra que o tucumã estudado não se apresenta como fonte proteica expressiva visto que apresenta resultados ainda inferiores aos reportados por Guedes (2006), Bichara (2007), Ferreira et al. (2008) e Simões (2010).

Quanto ao teor de lipídeos o tucumã do BAG demonstra que este macronutriente é um importante constituinte, o que contribui consideravelmente para o seu elevado valor energético. Além disso, apresenta grande relevância, uma vez presente na dieta, estimula a absorção intestinal dos carotenoides. Os valores obtidos neste estudo foram inferiores aos encontrados por Guedes (2006), Bichara (2007), Ferreira et al. (2008) e Simões (2010). Entretanto, em base seca o teor de lipídeo, 23,10 %, encontra-se dentro da faixa determinada por Damasceno et al.

(2008) de 13,53 a 50,72% bs em amostras do BAG DA EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL. Tais variações se devem provavelmente aos fatores climáticos e características do solo de cada região onde fora realiza a coleta das amostras.

Os resultados encontrados para fibra insolúvel estão abaixo dos valores obtidos por Guedes (2006), Bichara (2007), Ferreira et al. (2008) e Simões (2010).

A análise de atividade de água mostrou que o fruto apresenta um elevado valor dessa propriedade, portanto, facilmente susceptível a deterioração.

4.2.1 Parâmetros de cor e teor de carotenoides

O teor de carotenoides totais, expressos em β -caroteno, na polpa de tucumã está apresentado na Tabela 6. De acordo com Rodriguez-Amaya et al. (2008) este fruto se encontra entre os de maior concentração em β -caroteno, sendo superado somente pelo buriti (*Mauritia vinifera* Mart) que é o produto alimentar detentor da maior concentração deste micronutriente.

Tabela 6 - Parâmetros de cor e teor de carotenoides da polpa do tucumã in natura

PARÂMETROS	IN NATURA
	Valor médio $\pm \sigma$
Carotenoides ($\mu\text{g/g}$)	243,94 \pm 19,34
L*	60,98 \pm 1,72
a*	16,33 \pm 0,48
b*	40,96 \pm 1,09
C*	44,10 \pm 1,91
h ^o	68,22 \pm 0,62

Outros autores também determinaram teores expressivos de β -caroteno no fruto tucumã, Rodriguez-Amaya (1996) de 107,00 $\mu\text{g/g} \pm 31,00$, Marinho; Castro (2002) de 99,00 $\mu\text{g/g}$, Guedes (2006) de 167,00 $\pm 2 \mu\text{g/g}$ e Oliveira (2011) de 146,9 $\pm 3,3 \mu\text{g/g}$.

A RDC 269/2005 (ANVISA) apregoa a razão de conversão, de 1 μg de β -caroteno para 0,167 de Equivalente de Retinol (RE), e que as recomendações de ingestão diária mínima de vitamina A, para garantir um nível sérico adequado e prevenir sintomas de deficiência é em média 600 RE diariamente para indivíduos adultos. Logo, o consumo de aproximadamente 14,73 g (cerca de 2 unidades de

fruto) por adultos, da parte comestível do fruto de tucumã (*A. vulgare*), poderia contribuir no sentido de suprir esta necessidade.

De acordo com os parâmetros de cor (Tabela 6), o valor de L^* demonstra que a polpa do tucumã apresentou tendência à cor clara, o que indica média luminosidade. Os valores de a^* tendência a coloração vermelha e b^* evidência da coloração amarela, evidenciam a predominante coloração amarelo-avermelhada, que pode ser atribuída ao elevado teor de carotenoides. Tais resultados são ratificados pelo cálculo do ângulo de tonalidade (h^0) que caracteriza a qualidade da cor de amarelo (0^0) a vermelho (90^0).

O componente *croma* define a intensidade da cor, assumindo valores próximos a zero para cores neutras (cinza) e ao redor de 60 para cores vívidas (MCGUIRE, 1992). Assim, o valor de C^* demonstra maior intensidade da coloração amarelo-avermelhado.

4.3 AVALIAÇÃO DA DESIDRATAÇÃO POR SPRAY DRYER

Os resultados dos ensaios feitos de acordo com o planejamento experimental, teores de carotenoides e atividade de água, estão apresentados na Tabela 6.

O tempo de residência do produto no *spray dryer* foi de 100 ± 8 minutos.

Os valores de carotenoides da polpa desidratada variaram de $427,54 \pm 8,17$ a $276,00 \pm 10,31$ $\mu\text{g/g}$ valores estes inferiores ao encontrado na “polpa diluída” de $472,63 \pm 15,17$ $\mu\text{g/g}$ (bs) o que indica a degradação provocada pela desidratação.

Tabela 7 – Teor de carotenoides e atividade de água da polpa desidratada em *spray dryer*

Ensaio	T (°C)	C (%)	Carotenoides (µg/g)*	a _w *
1	140	11,30	356,84±0,43	0,35±0,00
2	140	51,70	427,54±8,17	0,40±0,00
3	190	11,30	276,14±7,15	0,32±0,00
4	190	51,70	396,40±6,28	0,32±0,00
5	130	31,50	372,45±7,42	0,49±0,00
6	200	31,50	329,59±3,26	0,34±0,00
7	165	3,00	300,91±4,67	0,27±0,00
8	165	60,00	409,87±17,33	0,25±0,00
9	165	31,50	325,68±2,68	0,31±0,01
10	165	31,50	325,34±7,93	0,30±0,00
11	165	31,50	325,05±2,35	0,31±0,01

*Valor médio ± σ

Observa-se de um modo geral que os ensaios com elevadas concentrações de goma arábica resultaram em uma maior retenção dos teores de carotenoides.

Santos, Favaro-Trindade e Grosso (2006) estudando microencapsulação de oleoresina de páprica utilizaram dois agentes encapsulantes, goma arábica e grânulos porosos de amido/gelatina e observaram que o método é satisfatório e pode apresentar uma alternativa viável para proteger os carotenoides, presente na páprica, contra a oxidação e conseqüentemente perda de coloração.

A atividade de água é um índice de grande importância para os alimentos obtidos por *spray drying* devido à sua influência sobre a vida útil do pó produzido. Na tabela 7 observa-se que todos os ensaios, com exceção dos ensaios 7 e 8, apresentaram valores de atividade de água na faixa de 0,3 a 0,5. Segundo Azeredo (2004) esta faixa de valores é o mais indicado para alimentos desidratados com alto teor lipídico, pois a oxidação é rápida, uma vez que os ácidos graxos estão muito expostos ao O₂.

Labusa (1981) e Fenema (2010) reportaram que a faixa tolerável para atividade de água para materiais desidratados encontra-se entre 0,30 a 0,50 para que não ocorra perda de propriedades desejáveis.

O teor de atividade de água de 0,43 foi descrito por Rodriguez-Amaya (1997) como o que melhor retém carotenoides em cenoura desidratada. Lavelli et al., (2007) em estudo semelhante reportou que a menor degradação estava na faixa de 0,31 e 0,54.

4.3.1 Teor de carotenoides

Na Tabela 8 são apresentados os efeitos lineares e quadráticos dos parâmetros estudados, bem como suas interações, em relação ao teor de carotenoide da polpa de tucumã desidratada em spray dryer. Os valores em negrito indicam que o fator e/ou a interação é significativa para um nível de confiança de 95% ($p \leq 0,05$).

Tabela 8 - Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística (p) sobre o teor de carotenoides

	Efeito	Erro Puro	p
Média	325,32	1,8E-01	3,1E-07
Efeitos principais			
Temperatura-L	-43,20	2,2E-01	2,6E-05
Temperatura-Q	31,32	2,7E-01	7,2E-05
Concentração-L	86,40	2,2E-01	6,6E-06
Concentração-Q	35,71	2,7E-01	5,5E-05
Efeito de interação			
Temperatura*Concentração	24,78	3,1E-01	1,6E-04

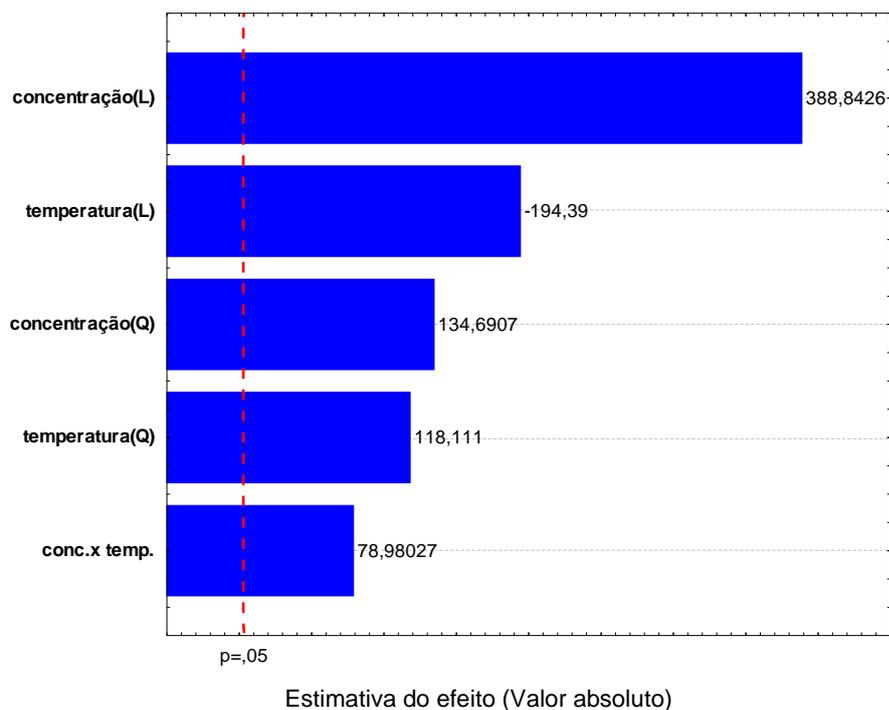
L: linear Q: quadrático * $p \leq 0,05$

Verifica-se que todos os efeitos principais e de interação, exerceram influência significativa sobre a retenção dos carotenoides a $p \leq 0,05$.

A concentração de goma arábica (termos quadrático e linear) e a interação temperatura*concentração apresentaram efeito positivo, ou seja, o aumento desta variável, acarreta um aumento no teor de carotenoides.

Através do gráfico de pareto (Figura 8), verifica-se que o termo da concentração linear foi a variável que exerceu maior influência sobre a resposta teor de carotenoide.

Figura 8 – Gráfico de pareto dos efeitos das variáveis sobre a retenção dos carotenoides na desidratação do tucumã.



Fonte: Autora

A microencapsulação dos corantes geralmente visa protegê-los contra oxidação, o que possibilita um aumento da sua vida útil, facilitando a incorporação e a solubilização nos alimentos (BEATUS et al., 1985; SANTOS FERREIRA; GROSSO, 2001).

Verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 95% de confiança ($p \leq 0,05$), através do teste F, na análise de variância (ANOVA), que pode ser observado na Tabela 9.

Tabela 9 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para retenção dos carotenoides

	SQ	GL	MQ	F_{calculado}	F_{tabelado*}	R²
Regressão	21677,15	5	4335,43	29,92	5,05	0,9677
Falta de ajuste	724,28	3	241,43	2452,05	19,16	
Erro puro	0,20	2	0,10			
Resíduo	724,48	5	144,90			
Total	22401,63	10	2240,16			

GL: grau de liberdade; SQ: soma quadrática; MQ: média quadrática.

*Valores tabelados de F a $p \leq 0,5$.

Verifica-se que o modelo apresentou regressão significativa (valor de $F_{\text{calculado}}$ superior ao valor de F_{tabelado}).

A Tabela 8 mostra ainda que o coeficiente de correlação (R^2) foi superior a 0,90, ou seja, a percentagem da variação explicada pelo modelo foi de 97%.

Segundo Barros Neto, Scarmínio, e Bruns (2001), uma regressão, embora significativa do ponto de vista do teste F, pode não ser útil para realizar previsões por cobrir uma faixa de variação pequena dos fatores estudados. Box e Wetz (1973) sugeriram que para uma regressão ser significativa não apenas estatisticamente, mas também ser útil para fins preditivos, o valor de $F_{\text{calculado}}$ para a regressão deve ser de quatro a cinco vezes superior ao valor de F_{tabelado} .

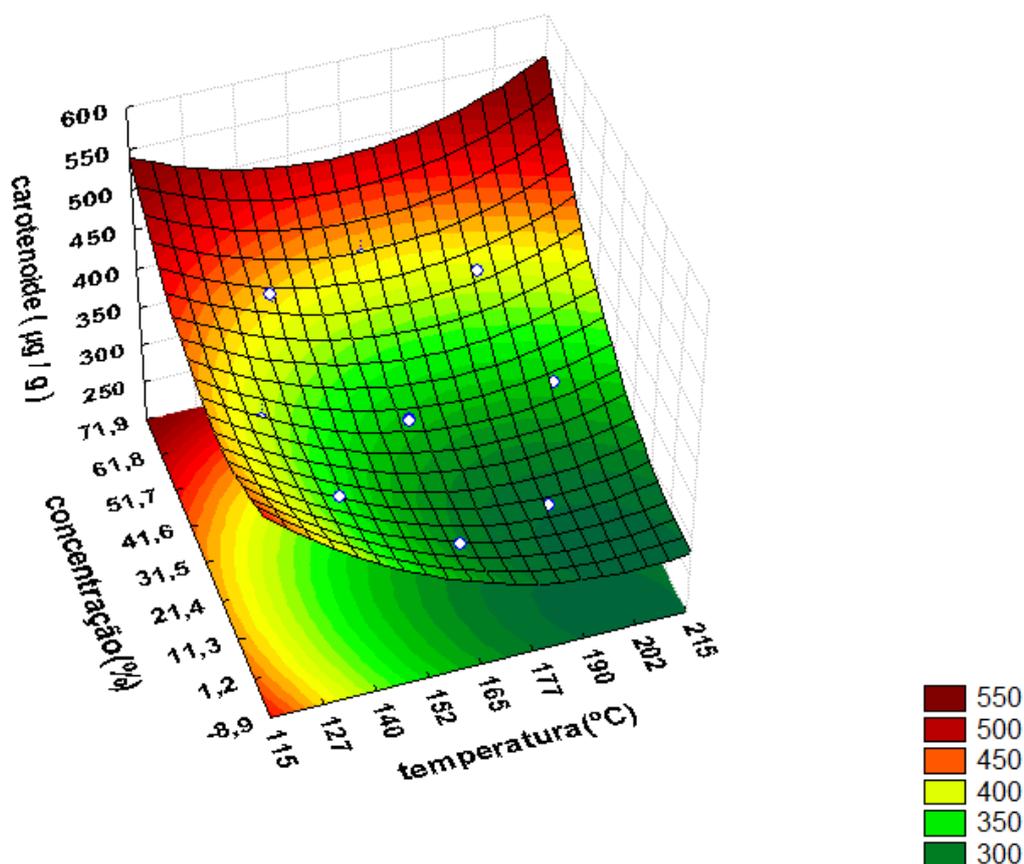
Os resultados da análise de variância mostram que o modelo ajustado apresentou regressão significativa, ao nível de confiança de 95%, com valor de R^2 de 0,97.

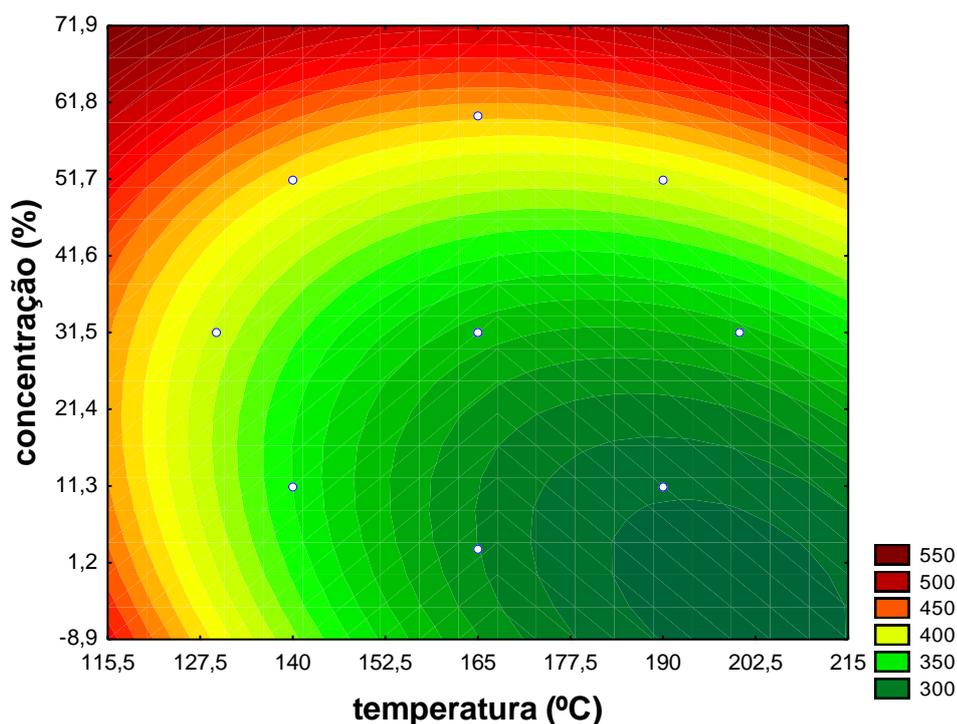
O valor de $F_{\text{calculado}}$ é de 29,92, comparado com F_{tabelado} (no nível de 95%) esse valor indicaria uma regressão significativa e preditiva estatisticamente, não fosse a evidência de falta de ajuste confirmada pelo alto valor de $F_{\text{calculado}}$ (2452,05), que é maior que F_{tabelado} . O alto valor de $F_{\text{calculado}}$ para a falta de ajuste é devido ao fato de que a MQ do erro puro apresentar um valor muito inferior à MQ da falta de ajuste (devido à boa repetição dos ensaios dos pontos centrais), isso faz com que a razão entre eles resulte num valor muito alto.

A Figura 9 apresenta a superfície de resposta e curvas de tendência para o teor de carotenoides, gerada a partir dos dados experimentais na desidratação da polpa de tucumã.

Observa-se que, dentro da faixa estudada, valores elevados de carotenoide são obtidos quando altas concentrações de goma arábica são utilizadas. Isto pode ser melhor visualizado na Figura 9, onde variando-se a temperatura do nível inferior ao central, não observa-se diferença significativa nos valores de carotenoides.

Figura 9 - Superfície de resposta e curvas de tendência para o teor de carotenoides





Fonte: Autora

4.3.2 Atividade de água (a_w)

Na Tabela 10 são apresentados os efeitos lineares e quadráticos dos parâmetros estudados, bem como suas interações, em relação à atividade de água da polpa de tucumã desidratada em *spray dryer*.

Tabela 10 - Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística (p) sobre a atividade de água

	Efeito	Erro Puro	p
Média	0,306	0,001	0,0000
Efeitos principais			
Temperatura-L	-0,082	0,002	0,0004
Temperatura-Q	0,117	0,002	0,0003
Concentração-L	0,005	0,002	0,0714*
Concentração-Q	-0,041	0,002	0,0020
Efeito de interação			
Temperatura*concentração	-0,022	0,002	0,0094

L: linear; Q: quadrático; $p \leq 0,05$; * $p \leq 0,1$

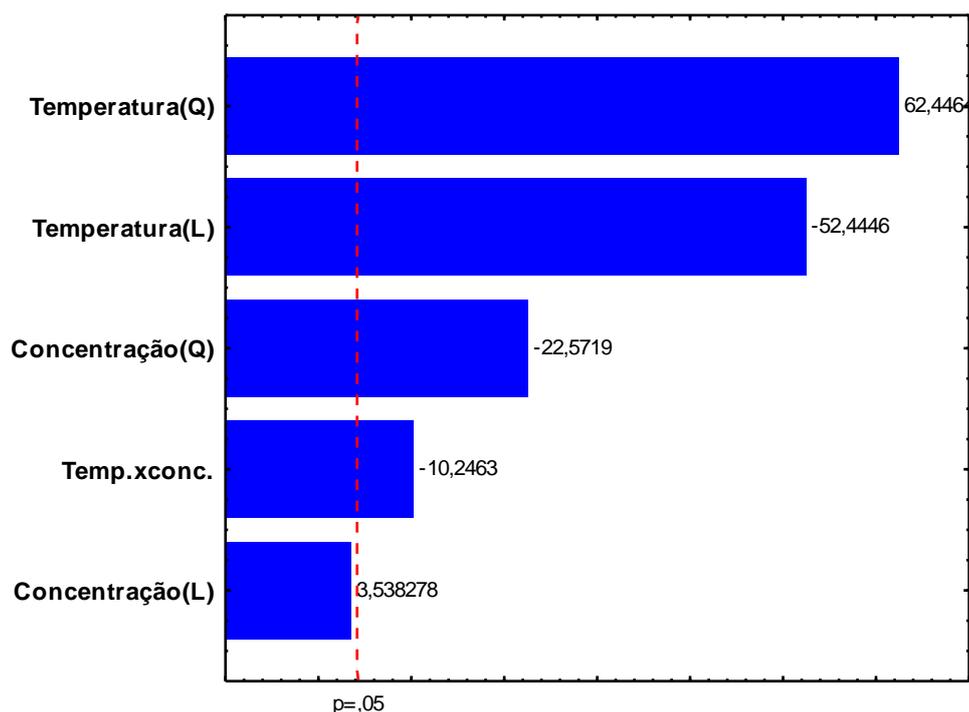
Os valores em negrito indicam que o fator e/ou a interação é significativa para um nível de confiança de 95% ($p \leq 0,05$).

Verifica-se que todos os efeitos principais e de interação, com exceção da concentração (termo linear), exerceram influência significativa sobre a atividade de água da polpa desidratada de tucumã, a $p \leq 0,05$.

Através do gráfico de pareto (Figura 10), verifica-se que o termo da temperatura quadrática seguido do termo linear da temperatura foram as variáveis que exerceram maior influência sobre a resposta atividade de água.

A interação temperatura*concentração apresentou efeito negativo, ou seja, com o aumento de qualquer um destes, há a diminuição nos valores de atividade de água da polpa de tucumã desidratada.

Figura 10 – Gráfico de pareto dos efeitos das variáveis sobre a a_w na desidratação do tucumã



Fonte: Autora

A concentração linear não foi significativa a 95% de confiança. No entanto, essa variável apresentou um valor de p igual a 0,07, o que indica que é estatisticamente significativa em um limite de confiança de 90%. Assim, essa

variável não foi descartada na análise estatística, sendo utilizada para a predição do modelo.

Na secagem por *spray drying* em geral, o aumento da temperatura de secagem tem resultado em perda de água do pó obtido devido a uma maior taxa de transferência de calor sobre as partículas, provendo grande força motriz para a evaporação de umidade (KHA et al., 2010).

Esse comportamento foi similar ao resultado obtido para a_w em misturas de frutas em pó, sugerindo que maiores temperaturas de entrada reduzem o teor de água livre no produto (BARBOSA, 2010).

Os resultados da análise de variância apresentados na Tabela 11 mostram que os modelos ajustados apresentaram regressão significativa, ao nível de confiança de 95%, com valor do coeficiente de determinação (R^2) de 0,95.

Tabela 11 - Análise de Variância do modelo ajustado para a_w na desidratação da polpa de tucumã

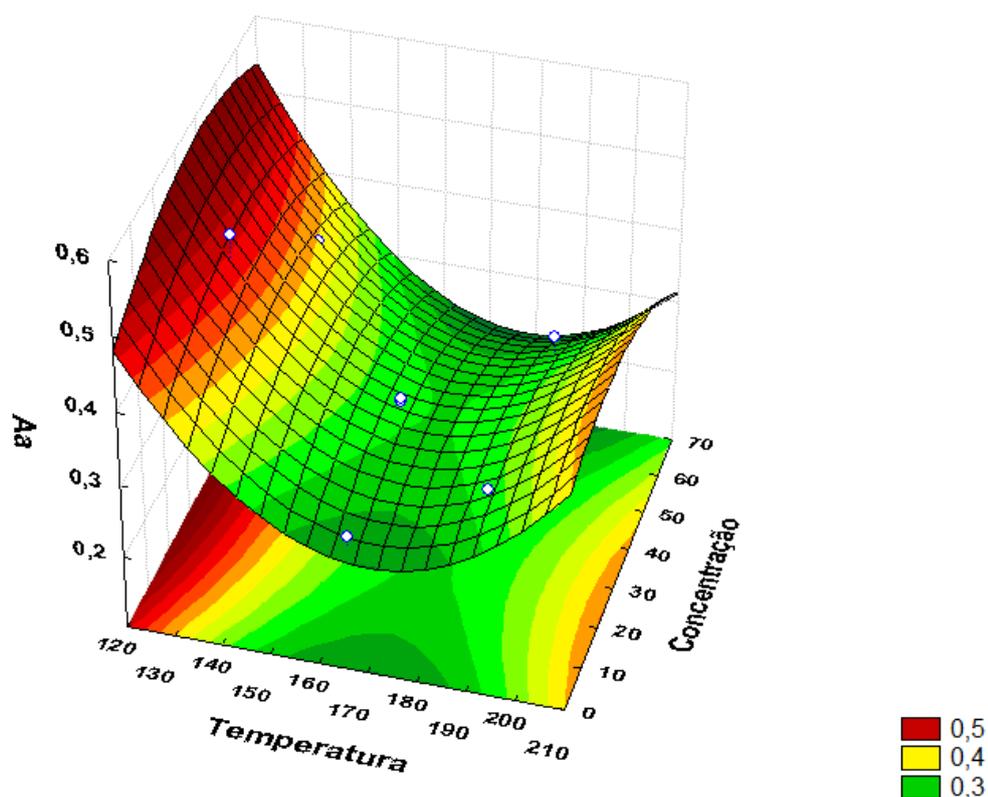
	SQ	GL	MQ	F_{calculado}	F_{tabelado}	R²
Regressão	0,0412	5	0,0082	20,23	5,05	0,9529
Falta de ajuste	0,002026	3	0,0007	140,43	19,16	
Erro puro	0,000010	2	0,0000			
Resíduo	0,0020	5	0,0004			
Total	0,0432	10	0,0043			

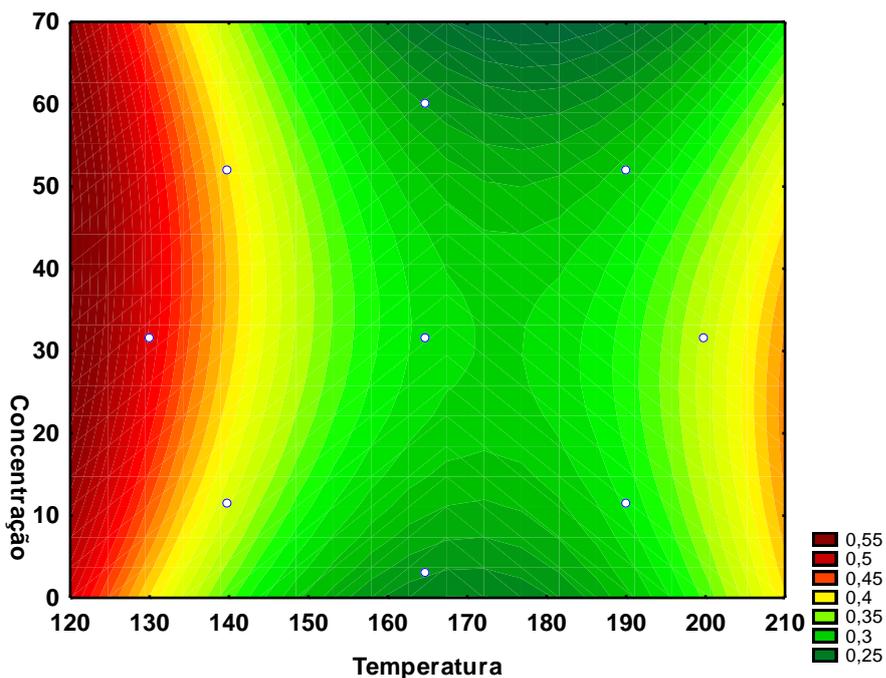
O valor de $F_{\text{calculado}}$ é de 20,23, comparado com F_{tabelado} (no nível de 95%) esse valor indicaria uma regressão significativa e preditiva estatisticamente, não fosse a evidência de falta de ajuste confirmada pelo alto valor de $F_{\text{calculado}}$ (140,43), que é maior que F_{tabelado} . O alto valor de $F_{\text{calculado}}$ para a falta de ajuste é devido ao fato de que a MQ do erro puro apresentar um valor muito inferior à MQ da falta de ajuste (devido à boa repetição dos ensaios dos pontos centrais), isso faz com que a razão entre eles resulte num valor muito alto.

A Figura 11 mostra as superfícies de resposta e curvas de tendência para a atividade de água gerada a partir dos dados experimentais na desidratação da polpa de tucumã.

Verifica-se, como mencionado anteriormente, que todos os ensaios apresentaram atividade de água dentro do intervalo 0,3 a 0,6, exceto os ensaios 7 e 8 que apresentaram valores inferiores. Observa-se ainda que as maiores atividades de água são obtidas quando baixas temperaturas são utilizadas (130 a 140°C) com pouca influência da concentração de goma arábica. Por outro lado, quando a combinação de temperaturas próximas ao limite superior estudado com concentrações intermediárias também se obtém os maiores valores de a_w .

Figura 11 – Superfícies de resposta e curvas de tendência para a_w





Fonte: Autora

4.3.3 Determinação da condição operacional de *spray dryer* visando a retenção dos carotenoides

Uma vez que as atividades de água de todas as polpas desidratadas foram baixas (0,25 a 0,49), o principal critério utilizado para a seleção das melhores condições de secagem foi o teor dos carotenoides. Conforme discutido no item 4.3.1.1, os efeitos que mais influenciaram esta resposta foi a concentração de goma arábica (termo linear), onde maiores concentrações resultam em maiores valores de carotenoides, além disso, pode proporcionar um aumento no rendimento e a temperatura do ar (termo linear), que diferente da concentração de goma, as menores temperaturas resultaram em menores perdas.

Levando-se em consideração todas as observações realizadas e com a finalidade de se obter a menor degradação dos carotenoides as condições de processo escolhidas como ótimas, para serem utilizadas na desidratação da polpa de tucumã, estão apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 – Valores experimentais e preditos pelos modelos das respostas carotenoides e a_w .

Resposta	T (°C)	C (%)	Observado	Predito	P (%)
Carotenoides ($\mu\text{g/g}$)	140	51,7	427,54	411,24	3,81
a_w	140	51,70	0,40	0,40	0,09

4.3.4 Parâmetros de cor

Os valores das variáveis L^* , b^* e C^* (Tabela 12) determinadas na polpa desidratada em spray (ensaio 2) indicaram que não houve variações significativas em relação ao *in natura*.

Tabela 13 - Parâmetros de cor da polpa do tucumã *in natura* e desidratada em *spray dryer*

PARÂMETROS	IN NATURA	ENSAIO 2
L^*	$60,98 \pm 1,72^a$	$61,86 \pm 0,23^a$
a^*	$16,33 \pm 0,48^a$	$11,50 \pm 0,31^b$
b^*	$40,96 \pm 1,09^a$	$41,06 \pm 0,53^a$
C^*	$44,10 \pm 1,91^a$	$42,64 \pm 0,53^a$
h°	$68,22 \pm 0,62^b$	$74,35 \pm 0,42^a$

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

No entanto, o parâmetro a^* demonstra uma diminuição da coloração vermelha na polpa desidratada, ratificado pelo ângulo de tonalidade h° desta que apresentou um desvio em direção ao ângulo de 90° (amarelo), provavelmente em função da degradação dos carotenoides.

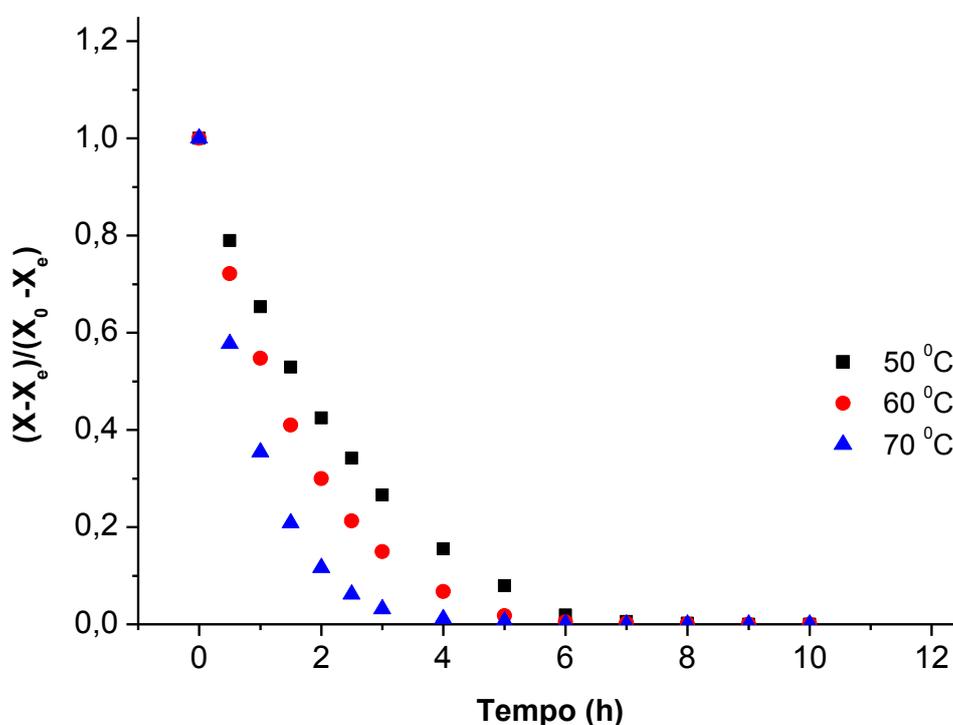
4.4 SECAGEM DA POLPA DE TUCUMÃ EM ESTUFA

As curvas de secagem (Figura 12) apresentaram-se de forma definida, ou seja, sem flutuações nos pontos experimentais, indicando uma condição de estabilidade das condições operacionais no secador. Verificou-se que a perda do

conteúdo de umidade é mais rápida no início do processo de secagem, ou seja, até aproximadamente 5 horas.

A representação gráfica das curvas de secagem é de comportamento similar para as condições de temperatura estudadas, isto é, o processo de secagem ocorre no período de taxa decrescente não apresentando período de taxa constante, o que provavelmente ocorreu em virtude da natureza da matéria prima. A ausência de período, a taxa constante também foi observada por diversos autores (GABAS, 1995; 1997; ARAÚJO et al., 2001; RODRIGUES et al., 2002; GOUVEIA, 2003).

Figura 12 - Curvas de secagem da polpa de tucumã a 50, 60 e 70 °C



Fonte: Autora.

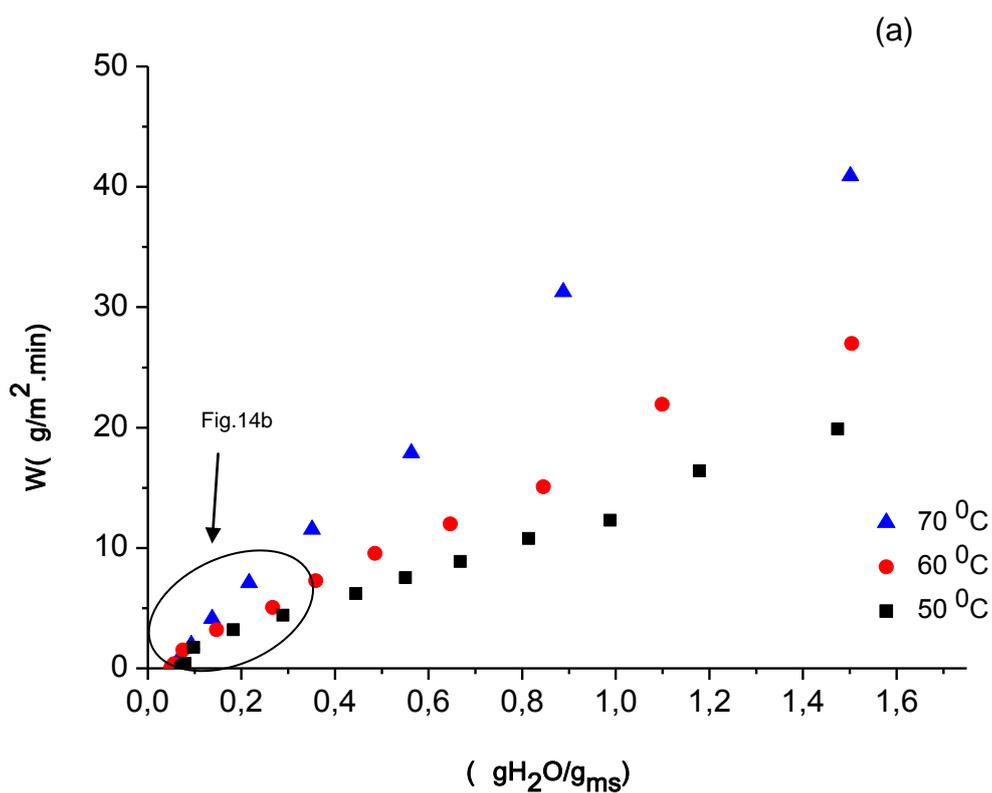
Nota-se, também, que a perda do conteúdo de umidade é maior, no início do processo de secagem, cuja estabilização foi alcançada em aproximadamente 5, 6 e 7 h horas para 70, 60 e 50 °C, respectivamente, nas condições experimentais estudadas. Tal comportamento era esperado visto que o aumento da temperatura acelera o processo de secagem, fazendo com que a amostra tenha maior redução

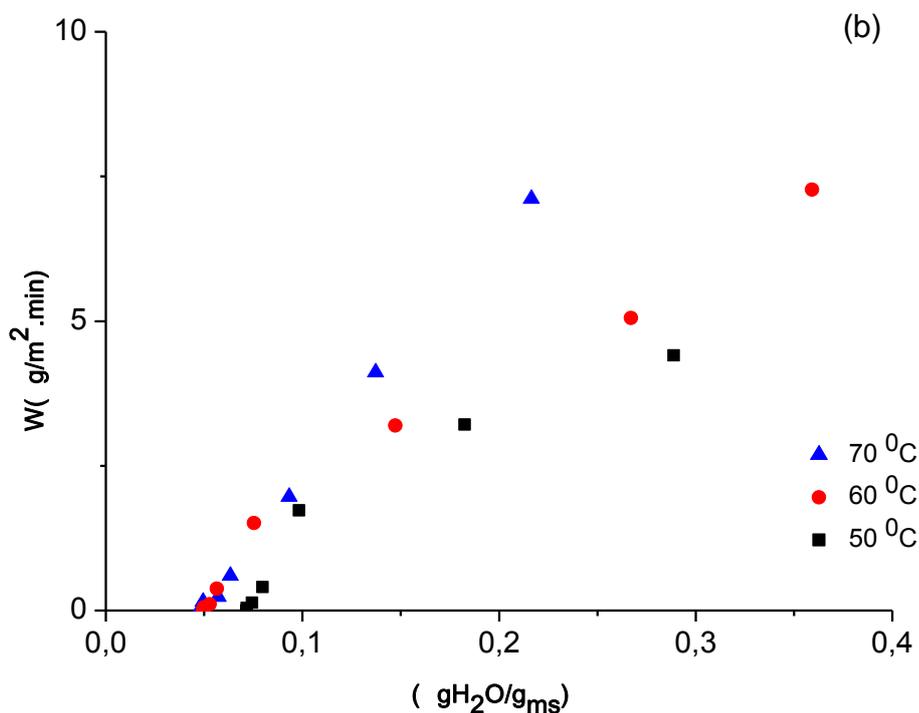
de umidade, especialmente no início do processo, reduzindo seu tempo de secagem (FIORENTIN et al., 2010; MOURA, 2001, RODRIGUES, 2002).

4.4.1 Cálculo da taxa de secagem e da difusividade efetiva

As Figuras 13 (a) e (b) mostram a variação da taxa de secagem em função da umidade das amostras em base seca. Pode-se observar que altas taxas de secagem foram obtidas no início do processo quando o conteúdo de umidade era maior. Percebe-se ainda, que a temperatura do ar influenciou a taxa de secagem, isto é, o aumento desta variável provocou um aumento no valor da taxa.

Figura 13 - Taxa de secagem da polpa de Tucumã





Fonte: Autora.

Os valores médios do coeficiente de difusividade efetiva (D_{ef}), obtidos através da Equação 1, são apresentados na Tabela 13, assim como os coeficientes de correlação (R^2) obtidos pela aplicação do modelo de Fick aos dados experimentais da secagem da polpa de tucumã. Na Figura 14 pode-se observar os ajustes desse modelo para as temperaturas estudadas.

Tabela 14 - Valor da difusividade efetiva (D_{ef}) dos processos de secagem da polpa de tucumã

T (°C)	D_{ef} (m ² /s)	R^2
50	1,02E-09	0,94873
60	1,41E-09	0,95761
70	2,48E-09	0,96286

Verifica-se que os valores de difusividade aumentaram com a elevação da temperatura do ar de secagem. Resultado semelhantes foram observados por Karim

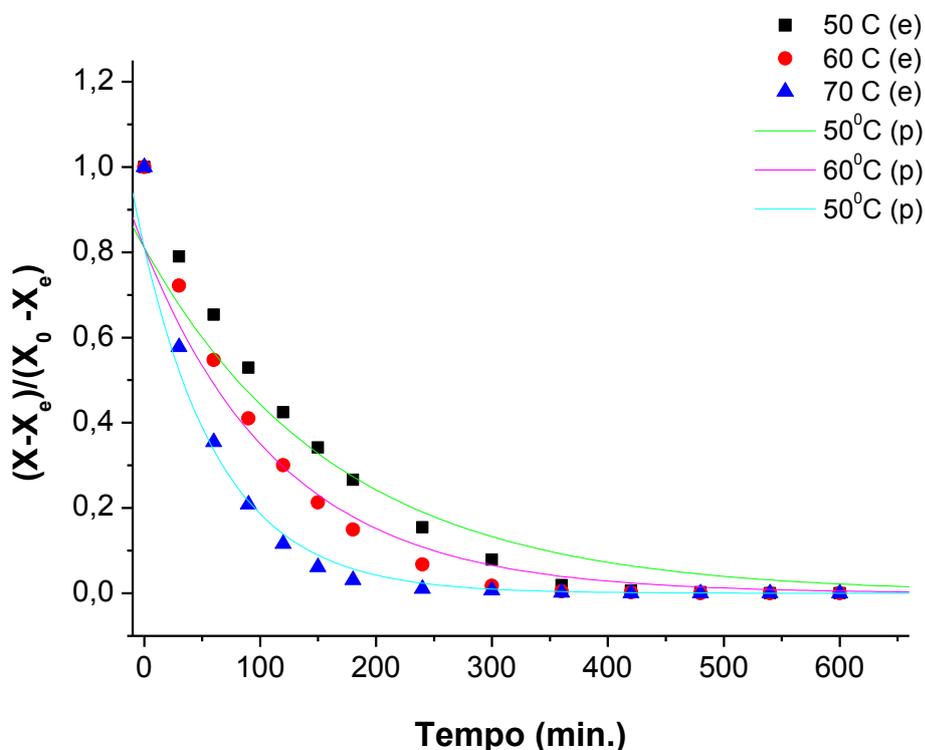
e Hawlader (2005) e Furtado et al. (2010). Rizvi (1995) afirma ser a difusividade dependente da temperatura do ar de secagem entre outros fatores.

Comparando os valores obtidos de difusividade com valores observados na literatura para frutas, verifica-se que eles encontram-se na mesma ordem de grandeza. Wang et al. (2007) ao estudarem a secagem de maçã de 75 a 105°C, com velocidade do ar de secagem de 1,2 m s⁻¹, obtiveram aumento do D_{ef} ao elevarem a temperatura. Os mesmos autores encontraram valores para o D_{ef} variando de $2,026 \times 10^{-9}$ a $3,935 \times 10^{-9}$ m² s⁻¹.

Os valores de D_{ef} encontrados, estão na faixa de 10^{-12} a 10^{-8} m² s⁻¹, referenciados por Zogzas et al. (1996) para alimentos.

Analisando o coeficiente de correlação (R^2), verifica-se que a temperatura de 70°C foi a que apresentou melhor ajuste do modelo de Fick para a polpa de tucumã desidratada.

Figura 14 – Ajuste do modelo de Fick para a polpa de tucumã desidratada. Dados experimentais (e) e (p) valores preditos pelo modelo



Fonte: Autora.

4.4.2 Modelagem Matemática da Secagem

Na Tabela 15 encontram-se os parâmetros dos modelos empregados para a representação do processo de secagem da polpa de tucumã nas temperaturas estudadas, juntamente com os valores do coeficiente de determinação (R^2) e do qui-quadrado (χ^2). Todos os modelos, com exceção dos modelos de Verma e dois termos exponencial, apresentaram $R^2 > 0,99$ que indica um bom ajuste dos mesmos aos dados experimentais. Os valores de χ^2 observados para esses modelos, confirmam que eles podem ser utilizados com precisão na predição das curvas de secagem em camada delgada da polpa de tucumã.

Entre os modelos que apresentaram os melhores ajustes, destacam-se os modelos de Newton, Page, Page modificado e Henderson e Pabis por apresentam apenas um parâmetro, o primeiro e os demais dois parâmetros, o que permite a linearização dos mesmos e a fácil solução matemática, por regressão linear simples.

Os modelos Logarítmico e Aproximação da difusão têm três parâmetros, enquanto os modelos de Midilli e Dois termos têm quatro parâmetros, o que demandará regressão não linear para a solução matemática dos mesmos.

O modelo de Page tem sido largamente utilizado para representar as curvas de secagem de alimentos e de produtos agrícolas (PACHECO et al., 2011). Desta forma dentre os modelos que apresentaram bons ajustes aos dados experimentais, Silva et al. (2009) verificaram que o modelo de Page e o Exponencial dois termos também foi selecionado para representar a secagem da banana maçã.

Furtado et al.(2010), com os resultados obtidos na secagem da polpa de seriguela, concluíram que todos os modelos analisados, Midilli e Kucuk; Henderson e Pabis e Page, apresentaram bons ajustes, porém o primeiro foi o modelo matemático que melhor descreveu o comportamento da secagem.

Como o modelo de Page modificado é derivado do modelo de Page, recomenda-se a utilização deste último na predição das curvas de secagem da polpa de tucumã, pela sua simplicidade e pelo seu amplo uso na descrição de cinéticas de secagem.

Tabela 15 - Parâmetros dos ajustes dos modelos matemáticos aos dados da secagem do tucumã

Modelo	T (°C)	A	b	c	K	K ₀	k ₁	n	g	R ²	X ²
1	50				0,0075					0,9951	5,35E-04
	60				0,0104					0,9983	1,69E-04
	70				0,0178					0,9996	3,06E-05
2	50				0,0046			1,0976		0,9968	3,48E-04
	60				0,0085			1,0409		0,9985	1,50E-04
	70				0,0176			1,0028		0,9996	3,31E-05
3	50				0,0075			1,0979		0,9968	3,48E-04
	60				0,0103			1,0414		0,9985	1,50E-04
	70				0,0178			1,0028		0,9996	3,31E-05
4	50	1,0120			0,0076					0,9949	5,60E-04
	60	1,0022			0,0104					0,9982	1,82E-04
	70	0,9988			0,0178					0,9996	3,30E-05
5	50	1,03805		-0,0389	0,0069					0,9979	2,29E-04
	60	1,0115		-0,0139	0,0100					0,9988	1,18E-04
	70	1,0000		-0,0016	0,0177					0,9996	3,43E-05
6	50	0,9887	-4,33E-05		0,0051			1,0681		0,9977	2,52E-04
	60	0,9939	-1,82E-05		0,0088			1,0305		0,9986	1,40E-04
	70	0,9985	-1,91E-06		0,0176			1,0016		0,9996	3,90E-05
7	50	0,62481	0,38721			0,0076	0,0076			0,9939	6,72E-04
	60	0,8342	0,1679			0,0104	0,0104			0,9978	2,19E-04
	70	0,2035	0,7953			0,0178	0,0178			0,9995	3,96E-05
8	50	1,0000	1,0000		0,0071					0,99153	9,31E-04
	60	1,0000	1,0000		0,0104					0,9980	2,00E-04
	70	1,0000	1,0000		0,0178					0,9996	3,62E-05
9	50	-2,0860			0,0075				0,0075	0,9943	6,33E-04
	60	-3,4E-06			0,0135				0,0135	0,9562	4,41E-03
	70	-0,0629			0,0092				0,0170	0,9996	3,12E-05
10	50	1,5659			0,0093					0,9972	3,08E-04
	60	1,4378			0,0119					0,9987	1,29E-04
	70	0,9985			0,0131					0,9531	4,04E-03

1-Newton; 2-Page; 3-Page modificado; 4-Henderson e Pabis; 5-Logarítmico; 6-Midilli; 7-Dois termos; 8-Aproximação da difusão; 9-Verma; 10-Dois termos exponencial.

Um fato importante a ser observado nos resultados descritos na Tabela 15, é o aumento da constante de secagem k em função da elevação da temperatura. No entanto, o modelo de Verma é o único a apresentar uma oscilação nos valores desta constante. Essa característica observada pode ser intrínseca ao modelo, não sendo observado na literatura informações referente a este comportamento.

4.4.3 Atividade de água, carotenoides e cor da polpa desidratada em estufa

O tempo de secagem foi de 9 h para 50 e 60 °C e 8 h para 70 °C com a_w de 0,38 a 0,39 (Tabela 16). Este valor encontra-se dentro da faixa segurança para alimentos com elevados teores lipídicos de 0,30 a 0,60 (AZEREDO, 2004).

Ferreira (2001) estudou a cinética de degradação de carotenoides (α -caroteno, β -caroteno, luteína e licopeno) em sistemas modelos de baixa umidade (amido de milho, fécula de batata e celulose microcristalina) à temperatura ambiente, na presença ou não de luz, observou que a atividade de água nos sistemas estudados variou no intervalo de 0,38 a 0,55, e ainda que este fator não pareceu ser influente nas condições utilizadas.

Tabela 16- Parâmetros avaliados para polpa de tucumã desidratada

Parâmetros	Condição de secagem		
	50°C	60°C	70°C
	Valor médio $\pm \sigma$	Valor médio $\pm \sigma$	Valor médio $\pm \sigma$
Atividade de água	0,39 \pm 0,005 ^a	0,38 \pm 0,005 ^a	0,38 \pm 0,003 ^a
Carotenoides ($\mu\text{g/g}$)**	318,44 \pm 9,61 ^a	276,35 \pm 5,38 ^b	180,91 \pm 0,22 ^c
L*	55,33 \pm 0,77 ^a	54,64 \pm 1,44 ^a	54,86 \pm 0,53 ^a
a*	17,40 \pm 0,19 ^a	17,08 \pm 1,15 ^a	15,83 \pm 0,42 ^a
b*	34,47 \pm 0,22 ^a	33,89 \pm 1,92 ^a	35,85 \pm 0,34 ^a
C*	38,61 \pm 0,28 ^a	37,95 \pm 2,23 ^a	39,19 \pm 0,45 ^a
h°	63,39 \pm 0,42 ^b	63,26 \pm 0,34 ^b	66,55 \pm 0,19 ^a

** em base seca

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

Os valores obtidos (Tabela 16) para carotenóides, determinados nas amostras de mesma atividade de água, demonstram que houve diferença significativa na desidratação à temperatura de 50, 60 e 70°C. A temperatura de 50°C provocou menor degradação deste pigmento quando comparadas com o teor de carotenoides determinados na polpa do tucumã in natura (494,80 \pm 39,24 $\mu\text{g/g}$ bs). Entre outros fatores o calor induz a degradação carotenoides o que diminui tanto a intensidade da cor como a atividade de pró-vitamina A (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001; SCHIEBE; CARLE, 2005). Machado, Moretti e Sousa (2006), em estudo sobre os efeitos da

temperatura (50, 60 e 70°C) de secagem na concentração de carotenoides na obtenção da farinha de cenoura, observaram comportamento similar, onde o aumento da temperatura, promoveu uma diminuição no tempo de secagem e uma maior degradação de carotenoides.

Os valores das variáveis L^* , a^* , b^* e C^* indicaram que não houve variações significativas em relação cor das amostras desidratadas nas temperaturas de 50, 60 e 70°C. Contudo, o ângulo de tonalidade da amostra seca a 70°C apresentou um pequeno desvio em direção ao ângulo de 90° (amarelo), provavelmente em função da degradação dos carotenoides.

Comparando-se os valores dos parâmetros de cor da polpa de tucumã in natura e desidratada à temperatura de 50°C (Tabela 17), observa-se que todos os parâmetros apresentaram diferença significativa.

Tabela 17 - Parâmetros de cor da polpa do tucumã in natura e desidratada (50°C)

PARÂMETROS	IN NATURA	DESIDRATADA
L^*	60,98 ± 1,72 ^a	55,33 ± 0,77 ^b
a^*	16,33 ± 0,48 ^b	17,40 ± 0,19 ^a
b^*	40,96 ± 1,09 ^a	34,47 ± 0,22 ^b
C^*	44,10 ± 1,91 ^a	38,61 ± 0,28 ^b
h^0	68,22 ± 0,62 ^a	63,39 ± 0,42 ^b

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

Observando os parâmetros a^* , e h^0 , nota-se que a redução da água deslocou a coloração em direção ao vermelho. O parâmetro L^* determinado na polpa desidratada apresentou valor inferior ao *in natura*, sugerindo que a secagem contribui para a coloração com menos luminosidade.

Embora ambos tenham permanecido com a coloração amarelo-avermelhado, os resultados do Cromo indicam que houve um decréscimo da saturação ou intensidade da cor na polpa desidratada.

5 CONCLUSÕES

A polpa de tucumã desidratada em *spray dryer* apresentou valores expressivos de carotenoides.

O processo de desidratação em *spray dryer* da polpa de tucumã foi influenciado pelas variáveis temperatura, concentração de goma arábica sobre a retenção dos carotenoides e atividade de água.

A interação da temperatura*concentração apresentou efeito positivo, ou seja, o aumento destas variáveis acarreta um aumento no teor de carotenoide, entretanto, esta interação em relação a atividade de água apresentou efeito negativo, ou seja, a mudança em qualquer destas variáveis de um nível menor para um nível maior ocasiona um decréscimo na resposta.

A condição de desidratação em *spray dryer*, temperatura 140 °C e concentração de goma 51,7% foi a que apresentou maior teor de carotenoides e atividade de água dentro da faixa de 0,3 a 0,6, e é portanto a mais indicada.

A polpa de tucumã desidratada em estufa com circulação de ar apresentou valores expressivos de carotenoides.

Os valores determinados para carotenóides demonstram que houve influência significativa de temperatura na desidratação em estufa; e que a temperatura de 50°C provocou menor degradação deste pigmento.

A cinética de secagem em estufa da polpa de tucumã ocorre no período de taxa de secagem decrescente.

Os valores da difusividade aumentaram com a elevação da temperatura do ar de secagem (estes valores variam de 1,02E-09 até 2,48E-09 m^2/s), mostrando a diminuição das resistências internas de secagem e favorecendo o processo de transferência de massa.

Todos os modelos, com exceção do Verma e dois termos exponencial, apresentaram bom ajuste ($R^2 > 0,99$) aos dados experimentais da secagem da polpa de tucumã em camada delgada.

Os valores da a_w (0,38 a 0,39) dos produtos desidratados em estufa encontram-se dentro da faixa de segurança para alimentos desidratados com elevados teores lipídicos.

Os valores determinados para carotenóides demonstram que houve influência significativa de temperatura na desidratação em estufa; e que a temperatura de 50°C provocou menor degradação deste pigmento.

A todos os fatores viabilizadores e propulsores do consumo de frutas, associado à obtenção de produto com alto teor de carotenoide, a desidratação da polpa de tucumã em *spray dryer* e *estufa* apresenta-se como uma alternativa para a aplicação, como ingrediente em alimentos formulados, visando à suplementação de pró-vitamina A.

REFERÊNCIAS

ABBAS, S., WEI, C. D., HAYAT, K., XIAOMING, Z.: Ascorbic Acid: Microencapsulation Techniques and Trends - A Review. *Food Reviews International*, v. 28:4, p. 343-374, 2012.

ABREU, L. F.; OLIVEIRA, M. S. P.; PARACAMPO, N.E.N.P ; DAMASCENO, F.S ; BATISTA, R.S.M . 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.

AKPINAR, E.K.; BICER, Y.; YILDIZ, C. Thin layer drying of red pepper. *Journal of Food Engineering*, v.59, n.1, p.99-104, 2003.

ALVES, B. S. F.; CARVALHO, F. I. M.; DANTAS FILHO, H. A.; FERNANDES, K. G. Study of the distribution of inorganic constituents in fruits from Amazon region using multivariate analysis. In: 12th Rio Symposium on Atomic Spectrometry. Anais 12th Rio . Foz do Iguaçu, 2012.

ALVES, C.C.O.; RESENDE, J.V.; CRUVINEL, R.S.R.; PRADO, M.E.T. Estabilidade da microestrutura e do teor de carotenóides de pós obtidos da polpa de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) liofilizada. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. v.28, n. 4, p. 830-839, 2008.

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**.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC, 2000). Approved Methods of American Association of Cereal Chemists. 10th ed. Saint paul, Minnesota: AACC, 2000.

ANDERSON, D.M.W.; HOWLETT, J.F.; McNAB, C.G.A. The amino acid composition of the proteinaceous component of gum arabic (*Acacia senegal* (L.) Willd.). *Food Addit. Contam.*, v.2, n.3, p.159-164, 1985.

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

ATHIÉ, I.; CASTRO, M.F.P.M. de; GOMES, R.A.R.; VALENTINI, S.R.T. Conservação de grãos. Campinas: Fundação Cargill, 1998. 236p. il. il. Fundação Cargill, 1998. 236p.

AZEREDO, Henriette Monteiro Cordeiro de, et al.,l. Fundamentos de Estabilidade de Alimentos. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2004. 195 p.

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 CANOVÁS, G. V. et al. Food powdes: physical properties, Processing and functionality. New York. Kluwer Academic, Plenum publishers, 2005.

BARBOSA, S. J. Qualidade de suco em pó de misturas de frutas obtido por spray drying. 2010.107 p. Dissertação (Mestrado em Produção vegetal no Semiárido) – Universidade Estadual de Monte Claros, Janaúba, MG.

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, 2005, p.39-71.

BARBOSA, B. S.; KOOLEN, H. H. F; BARRETO, A. C.; SiLVA, J. D.; FiGLiUOLO5, R.; NUNOMURA, S. M. Aproveitamento do Óleo das Amêndoas de Tucumã do Amazonas na Produção de Biodiesel. **Acta Amazonica**. vol. 39(2) 2009. 371 – 376.

BATISTA, R.S.M ; ABREU, L. F. ; DAMASCENO, F.S ; OLIVEIRA, C.F ; FARACO, W.W.; OLIVEIRA, M. do S. P. de. Determinação do teor de lipídios das amêndoas do tucumã-do-amazonas (*Astrocaryum aculeatum*) e do tucumã-do-pará (*Astrocayum vulgare*). In: XIII Encontro Nacional sobre Metodologias de Laboratório - Responsabilidade Social Corporativa: Ecoeficiência nas práticas laboratoriais. **ANAIS XIII...** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2008. v. 1. p. 118-120.

BARROS NETO, B. de; SCARMÍNIO, I. S.; BRUNS, R. E. Planejamento e otimização de experimentos. Campinas, Editora da UNICAMP, 2001. 299p.

BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M.N. Fundamentos de tecnologia de Alimentos. São Paulo: Atheneu, V.3, p. 317, 1998.

BE MILLER, J. N.; WHISTLER, R. L. Carbohydrates. In: FENNEMA, O. R. (Ed.). **Food Chemistry**. New York: Marcel Dekker, 1996. cap. 4, p. 157-224.

BEATUS, Y.; RAZIEL, A.; ROSEMBERG, M.; KOPELMAN, I.J. Spray-drying microencapsulation of paprika oleoresin. *Lebensmittel – Wissenschaft & Technologie*, London, v. 18, n. 1, p. 28-34, 1985.

BENGTSSON A, NAMUTEBI A, LARSSON AM, SVANBERG U. **Effects of various traditional processing methods on the all-trans- β -carotene content of orange-fleshed sweet potato.** **J. Food Composition and Analysis** 21, p.134-143, 2008.

BHANDARI, B.R.; DATA, N.; HOWES, T. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. **Drying Technology**, v.15, n.2, p.671-684, 1997.

BHANDARI, B.R.; HARTEL, R.W. Phase transitions during food powder production and powder stability. In: ONWULATA, C. Encapsulated and powdered foods. Boca Raton: Taylor & Francis, p. 261-292, 2005.

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.

BOBBIO, P. A. Química do Processamento de Alimentos, São Paulo, Ed. Varela, (2001), 143 pp.

BONY, E.; BOUDARD, F.; BRAT, P.; DUSSOSSOY, E.; PORTET, K.; POUCHERET, P.; GIAIMIS, J.; MICHEL, 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.

BOX, G.E.P.; WETZ, J. Criteria for judging adequacy of estimation by an approximate response function. University of Wisconsin Technical Report, n.9, 1973.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa nº 62**, de 26 de agosto de 2003. Oficializa os métodos Analíticos Oficiais Para Análises microbiológicas para Controle de produtos de Origem Animal e Água.

BRASIL. Resolução RDC nº. 269, de 22 de setembro de 2005. Regulamento Técnico sobre a Ingestão Diária Recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais. ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 23 set. 2005.

BROCHIER, J. Huile naturellement riche en caroténoïdes (*Astrocaryum vulgare*, Mart). Paris: JBA. 2000.132p.

CAI, Y.Z.; CORKE, H. Production and properties of spray-dried *Amaranthus* betacyanin pigments. *Journal of Food Science*, v.65, n.6, p.1248-1252, 2000.

CAMPOS, M.C.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M.; SOUZA, P. M DE; STRINGHETA, P. C.; CHAVES, J.B.P. 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.

CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, J. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.5, n.4, p.420-428, 2005.

CAVALCANTE, P. B. **Frutas comestíveis da Amazônia**. 6. ed. Belém: CNPq/Museu Paraense Emílio Goeldi, 1996. 279p. (Coleção Adolfo Ducke).

CHIRIFE, J. Fundamentals of the drying mechanism during air dehydration of foods. *Advances in Drying*, p.73-102, 1983.

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

COLLARES F.P.; FINZER, J.R.; KIECKBUSCH., T.J. Glass transition control of detachment of food pastes over glass plates dried. **Journal of food engineering**, v.61, n.2, p.261-267, 2004.

CRANK, J. The mathematics of diffusion. 2ed., Claredon Press Oxford, 1975, 414p.

DAMASCENO, F.S; BATISTA, R.S.M; OLIVEIRA, C.F; ABREU, L. F.; OLIVEIRA, M. do S. P. de. Caracterização físico-química da polpa de tucumãs do BAG da Embrapa Amazônia Oriental (*Astrocaryum vulgare* Mart.). In: XIII Encontro Nacional sobre Metodologias de Laboratório - Responsabilidade Social Corporativa: Ecoeficiência nas práticas laboratoriais. **ANAIS XIII...** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2008. v. 1. p. 121-123.

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

DIB TAXI, C. M. et al. Study of the microencapsulation of camu-camu (*Myrciaria dubia*) juice. *Journal of Microencapsulation*, v. 20, n. 4, p. 443-448, 2003.

DESAI, K.G.H.; PARK, H.J. Recent Developments in Microencapsulation of Food Ingredients. **Drying Technology**. v.23, p.1361-1394, 2005.

DOLINSKY, M. **Nutrição Funcional**. São Paulo: Roca, 2009. 204p.

DOLINSKY, A.;MALETSKAYA, K; SNEZHKIN, Y. Fruit and vegetable powders production technology on the bases of spray and convective drying methods. **Drying Technology**, v.18, n.3, p. 747-758, 2000.

EIROA, M.N.U. Microbiologia de frutas e hortaliças desidratadas. In: AGUIRRE, J.M.; GASPARINO FILHO, J. (Ed.). Desidratação de frutas e hortaliças. Campinas: Ital, 2001, cap. 6. p. 1-26.

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

FENNEMA, O.R. Water and ice. In: FENNEMA, O.R. (Ed.). Food Chemistry. New York, Marcel Dekker, 1996, p.17-94.

FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. Química de Alimentos de Fennema – 4^a ed. - Editora Artmed, 2010,900p.

FERREIRA, E.S.; LUCIEN, V.G.; AMARAL, A.S.; SILVEIRA, C.S.. Caracterização físico-química do fruto e do óleo de tucumã. (*Astrocaryum vulgare* Marte). **Alim. Nutr.**, Araraquara. V.19, n.4, p. 427-33, out/dez.2008.

FERREIRA, J.E.M. Cinética e Fatores que Influenciam na degradação dos Carotenóides em Sistemas Modelos e Alimentos. Dissertação de Mestrado-Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas- São Paulo, 2001.

FERRÃO, J. E. M. Fruticultura tropical: espécies frutos comestíveis. v. 1. Lisboa:Instituto de Investigação Científica Tropical, 1999. 625p.

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.

FILKOVÁ, I.; MUJUMDAR, A. S. Industrial spray drying systems. In: **Handbook of Industrial Drying**. New York: Marcel Dekker, 1995. 742 p.

FIORENTIN, L. D.; MENON, B. M.; ALVES, J.A.; BARROS, S.T. D DE.; PEREIRA, N. C.; MÓDENES, N. A. Determinação da cinética e das isoterms de secagem do bagaço da laranja. *Acta Scientiarum. Technology*. v. 32, n. 2, p.147-152, 2010.

FRANCO, B.D.G de M.; LANDGRAF, M. Microbiologia de Alimentos. São Paulo: Atheneu. 1999.

FURTADO GF, SILVA FS, PORTO AG, SANTOS P. 2010. Secagem de Polpa de Ceriguela pelo método de camada de espuma. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais* 12: 9 -14.

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

GHARSALLAOUI, A. et al.. Applications of spray drying in microencapsulation of food ingredients: an overview. *Food research international*. Julho de 2007, vol.40,p. 1107-1121.

GLISZCZYNSKA-SWIGLO, A.; CISKA, E.; PAWLAK-LEMANSKA, K.; CHMIELEWSKI, J.; BORKOWSKI, T.; TYRAKOWSKA, B. Changes in the content of health-promoting compounds and antioxidant activity of broccoli after domestic processing. **Food Addit Contam**, 23, 1088-1098, 2006.

GOODWIN, T. W.; **Chemistry and Biochemistry of Plant Pigments**, vol. 1 e 2, 2ed., Academic Press, Londres, 1976.

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

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

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.

HOMMA, A. K. O.; CARVALHO, J. E. U.; MATOS, G. B.; MENEZES, A. J. L. A. Manejando a planta e o homem: os bacurizeiros do nordeste paraense e da ilha de Marajó. *Amazônia: Ci. & Desenv.*, Belém, v. 2, n. 4, jan./jun. 2007.

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

INSTITUTO ADOLFO LUTZ - IAL. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 4 ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2004. 1018 p. (série A, Normas e manuais técnicos).

IGNÁRIO, R.M.; LANNES, S.C.S. Preparation of powdered egg yolk using a mini spray dryer. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.27, n.4, 729-732, 2007.

INSTITUTE OF MEDICINE. Dietary Reference Intakes: Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. Washington DC: National Academy Press, 2001.

ISHIDA, BK; ROBERTS, JS; CHAPMAN, MH; BURRI, BJ. Processing tangerine tomatoes: effects on lycopene-isomer concentrations and profile. *J Food Sci*, 72, 307-312, 2007.

KARIM, M. A.; HAWLADER, M.N.A. Mathematical modelling and experimental investigation of tropical fruits drying. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. v.48, p.4914-4925. 2005.

KHA, T.C.; NGUYEN, M. H.; ROACH, P.D. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of Gac (*Momordica Cochinchinensis*) fruit aril powder. *Journal of Food Engineering*, 98(3), 385-392.2010.

KENNEDY, J.F.; KNILL, C.J.; TAYLOR, D.W. Maltodextrins. In: KEARSLEY, M.W.; DZIEDZIC, S.Z. (Eds.). *Handbook of Starch Hydrolysis Products and their Derivatives*. London, Blackie Academic & Professional, 1995, p.65-82.

LABUZA, T.P. The effect of water activity on reaction kinetics of food deterioration. *Food Technology*, v.34, n.4, p.36-41, 1980.

LABUZA, T.P. and R. Prediction of moisture protection requirements for foods. *Cereal Foods World* 26, p.36-41, Contreras-Medellin, 1981.

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. [http:// dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.033](http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.033).

LAYRISSE, M. et al. New property of vitamin A and β -carotene an human iron absorption: effect on phytate and polyphenols as inhibitors of iron absorption. *Arch. Latinoam. Nutr.*, v. 50, n. 3, p. 243-248, 2000.

- LEWICKI, P. P. Design of hot air drying for better foods. *Trends in Food Science and Technology*, v. 17, p. 153-163, 2006.
- LEWIS, W. K. The rate of drying of solids materials. *The Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, v.13, n.5, p.427-432, 1921.
- LITTLE, A. Off on a tangent.. A research note. *Journal of Food Science*, v.40, p. 410-411, 1975.
- LOPES, V. S.; OLIVEIRA, M.do S.P, Coeficiente de repetibilidade para o caráter maturação de frutos em tucumanceiros (*Astrocaryum vulgare* Mart.). 17º Seminário de Iniciação Científica e 1º Seminário de Pós-graduação da Embrapa Amazônia Oriental. Belém-PA . Agosto. 2013.
- MACHADO, C.M.M Processamento de hortaliça em pequena escala. Brasília, DF. Embrapa Hortaliças, 2008.99p.
- MACHADO, C. M. M.; MORETTI, C. L.; SOUZA, R. M. de D. de. Aproveitamento das raspas geradas na produção de minicenouras. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2006. 8 p. (Embrapa Hortaliças. Comunicado técnico, 33).
- MADAMBA, P.S. Thin layer drying models for osmotically pré-dried Young coconut. *Drying Technology*, v.21, n.9, p.1759-1780, 2003.
- MALDONADE, I. R. Produção de carotenóides por leveduras. 2003. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia de Alimento, Universidade Estadual de Campinas, Campinas- São Paulo.
- 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 Magnético.
- MASTERS K 1985. *Spray Drying Handbook*. 4. ed. Londres: George Godwin.
- MCGUIRE, R. G. Reporting of objective color measurements. *Hort Science Alexandria*, v.27, p.1254-1255, 1992.
- MENON, A. S.; MUJUMDAR, A. S. Drying of solids: principles, classification and selection of dryers. In: MUJUMDAR, A. S. *Handbook of Industrial Drying*. New York: Marcel Dekker Inc., cap. 9, p. 295-326, 1987.
- MORAIS, J. D.; DIAS, M. R. P. Elaboração do doce em massa e néctar de tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart). Monografia (Especialista em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Pará. Belém, 2001. 96f.
- MOURA, R.S.F. Estudo da cinética de secagem de caju (*Anacardium occidentale* L.) em secador de leito fixo. 2001. 80f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). DEAg/UFPB, Campina Grande. 2001.

MUJUMDAR, A. S. Handbook of Industrial Drying. Boca Raton: CRC Press. 2006. 1312p.

MUZHINGI, T; YEUM, K; RUSSELL, RM; JOHNSON, EJ; QIN, J; TANG, G. Determination of carotenoids in yellow maize, the effects of saponification and food preparation. International Journal for Vitamin and Nutrition Research, 78, 112-120, 2008.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (N.R.C). Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc . Washington, DC: The National Academies Press, 2001.

NOGUEIRA, R.I. Estudos dos fenômenos de secagem da banana: parâmetros ótimos na obtenção de banana passa. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 158 p., 1991.

O'HAGAN, P.; HASAPIDIS, K.; CODER, A.; HELSING, H.; POKRAJAC, G. Particle size analysis of food powders. In: ONWULATA, C. (Ed.). Encapsulated and powdered foods. Boca Raton: Taylor & Francis, p.215-245, 2005.

OLIVEIRA, G.P.R. Composição e bioacessibilidade in vitro dos carotenóides em Alimentos. Tese (Doutora em Ciência de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos, 172p., 2011.

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, M. S. P.; COUTURIER, G.; BESERRA, P. Biologia da polinização da palmeira tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) em Belém-Pará, Brasil. Acta Bot. Bras., v. 17, n. 3, p. 343-353, 2003.

OLIVEIRA, R. A.; OLIVEIRA, W. P.; PARK, K. J.. DETERMINAÇÃO DA DIFUSIVIDADE EFETIVA DE RAIZ DE CHICÓRIA. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.26, n.1, p.181- 189, jan./abr. 2006.

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

PACHECO, A.C.W.; LUZ, G.R.; POLON, P.E.; JORGE, L.M.M.; PARAÍSO, P.R. Modeling of Drying and Adsorption Isotherms of the Fish Feed. Brazilian archives of biology and technology, v.54, n.3, p.577-588, 2011.

PACKER, L.; HIRAMATSU, M.; YOSHIKAWA, T.; Antioxidants Food Supplements in Human Health, Elsevier, Amsterdã, 1999.

PALOZZA, P.; SERINI, S.; DI NICUOLO, F.; PICCIONI, E.; CALVIELLO, G.; Prooxidant effects of β -carotene in cultured cells. Molecular Aspects of Medicine, 24, 353-362, 2003.

PARK, K.J.; YADO, M.K.M.; BROD, F.P.R. Estudo de secagem de pêra bartlett (*Pyrus sp.*) em fatias. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.21, n.3, p.288-292, 2001.
PERRY, R.H. CHILTON. **Chemical Engineers Handbook**. 7 ed. New York: McGraw- Hill Book Company, 1997.

PHEIGAMBARDOUST, S. H. TAIFIT, A. G e HESARI, J. Application of spray drying for preservation of lactic acid starter cultures: A review. *Trends in food science & technology*. 2011, V.22, P. 215-224.

PINHEIRO-SANT'ANA, H. M.; STRINGHETA, P. C.; BRANDÃO, S. C. C.; PÁEZ, H. H.; QUEIRÓZ, V. M. V.; Evaluation of total carotenoids, α - e β -caroteno in carrots (*Daucus carota L.*) during home processing. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 18(1), 39-44, 1998.

PRADO, M.E.T.; PARK, K.J.; ALONSO, L.F.T. Srinkage of dates (*Phoenix dactylifera*). *Drying Technology*, Estados Unidos: v.18, n.1/2, p.295-310, 2000.

QUEK, S.Y.; CHOK, N.K.; SWEDLUND, P. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powder. *Chemical Engineering and Processing*, v.46, n.5, p.386-392, 2007.

RAMALHO R.A, FLORES, H.; SAUNDERS C. Hipovitaminose A no Brasil: um problema de saúde pública. *Rev Panam Salud Publica*, vol.12, n.2, P.117-123, Washington Aug. 2002.

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.

RÉ, M. I. Microencapsulaion by spray drying. *Drying Technology*, v. 16, n. 6, p. 1195-1236, 1998.

RIGHETTO, A. M.; NETTO, F. M. Effect of encapsulating materials on water sorption, glass transition and stability of juice from immature acerola. **International Journal of Food Properties**, v. 8, n. 2, p. 337-346, 2005.

RIZVI, S.S.H. Thermodynamic properties of foods in dehydration. In: Rao, M.A.; Rizvi, S.S.H. *Engineering properties of foods*. New York: Academic Press, p.223-309.1995.

RODRIGUES, M. E. A.; ALMEIDA, F. A. C.; GOUVEIA, J. P. G.; SILVA, M. M.. Avaliação da Temperatura e Velocidade do Ar na Secagem de Goiaba. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v.4, n.2, p.141-147, 2002.

RODRIGUEZ-AMAYA, D.B; *A Guide to Carotenoid Analysis in Foods*, OMNI Research: ILSI Press: Washington D. C. 2001.

_____ Carotenoids and food preparation: the retention of provitamin A carotenoids in prepared, processed, and stored foods. John Snow, Inc/OMNI Project; 1997. 88p.

_____ Assessment of the Provitamin A Contents of Foods: the brazilian experience. **Journal of Food Composition and Analysis**. v. 9, 1996. p. 196-230.

_____ Effects of processing and storage on food carotenoids. *Sight Life Newsletter*, 3, 25-35, 2002.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M.; AMAYA-FARFAN, J. Fontes brasileiras 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*. v. 21, 2008. p. 445– 463.

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.

ROSENBERG, M.; KOPELMAN, I. J.; TALMON, Y. Factors affecting retention in spray-drying microencapsulation of volatile materials. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 38, n. 5, p. 1288-1294, 1990.

RUIZ-LÓPEZ, I. I., MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, C. E., COBOS-VIVALDO, R., HERMAN-LARA, E. Mathematical modeling and simulation of batch drying of foods. *Journal of Food Engineering*, v. 89, p. 310-318, 2008.

SANTOS, A. B.; FERREIRA, V. P.; GROSSO, C. R. F. Microcápsulas: uma alternativa viável. *Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento*, Brasília, ano 3, n. 16, p. 26- 30, 2001.

SANTOS A.B.; FÁVARO-TRINDADE C.S.; GROSSO, C.R.F.; Preparo e caracterização de microcápsulas de oleoresina de páprica obtidas por atomização. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.25, n. 2, p. 322-326, 2005.

SCHIEBE, A.; CARLE, R.; Occurrence of carotenoid cis- isomers in food: Technological, analytical, and nutritional implications. *Trends in Food Science & Technology*, 16, 416-422, 2005.

SHANLEY, P.; MEDINA, G. Frutíferas e plantas úteis na vida amazônica. Belém, PA: CIFOR, CIFOR: Imazom, 2005. 300 p.

SILVA, J. A. Tópicos em Tecnologia de Alimentos. Editora Varela: São Paulo, 2000.

SILVA, J.S.; AFONSO, A.D.L.; DONZELLES, S.M.L. Secagem e secadores. In: SILVA, J.S. (Ed.). *Secagem e armazenagem de produtos agrícolas*. Viçosa: Aprenda Fácil, 2000. p.107-138.

SILVA, A. S.; MELO, K. S.; ALVES, N. M. C.; FERNANDES, T. K. S.; FARIAS, P. Cinética de Secagem em Camada Fina da Banana Maçã em Secador de Leito

Fixo. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.11, n.2, p.129-136, 2009.

SILVA, C. K. F., SILVA, Z. E.; MARIANI, V.C., 2009, Determination Diffusion Coefficient of Dry Mushrooms Using the Inverse Method, Journal of Food Engineering, v. 95 (1),p.1-10.

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 (Mestrado) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2010.

THEVENET, F. Acacia gums: natural encapsulation agent for food ingredients. In: RISCH, S.J.; REINECCIUS, G.A. Encapsulation and controlled release of food ingredients. Washington, DC: ACS, 1995. p.51-90. (ACS Symposium Series, 590).

TONON, R.V. Secagem por atomização do suco de açaí: influência das variáveis de processo, qualidade e estabilidade do produto. 2009. 212f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos; 2009.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M.D. Influence of drying air temperature and carrier agent concentration on the physicochemical properties of açaí juice powder PRODUCED BY SPRAY DRYING. Journal of Food Engineering. V 88,n 3, p 411-418.2008.

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

TURCHIULI, C; GIANFRANCESCO, A; PALZER, S; DUMOULIN, E. Evolution of particle properties during spray drying in relation with stickiness and agglomeration control. Powder Technology, v. online, p. 1-8, 2010.

VAGENAS, G.K., MARINOS-KOURIS, D.E; SARAVACOS,G.D. Thermal properties of raisins. Journal of Food Engineering, Barking, v.11, p.147-158, 1990.

VALDUGA, E.; TATSCH, P. O.; TIGGEMANN L; TREICHEL, H.; TONIAZZO, G.; ZENI, J.; DI LUCCIO, M. Produção de carotenoides: microrganismos como fonte de pigmentos naturais. Quim. Nova, Vol. 32, No. 9, 2429-2436, 2009.

VAN ARSDEL, W. B. Drying phenomena. In: VAN ARSDEL, W. B.; COPLEY, M. J.; MORGAN Jr, A. I. Food Dehydration. 2a. ed., Westport, AVI Publishing Co., v.1, cap.3, p.22-57, 1973.

VAN SOEST, P.J., Use of detergente in the analysis of fibrous feeds. III. Study of effects of heating and on yield of fiber and lignin in forages. J. Assoc.Off.Agric.Chem. 48,p.785-790.1995.

VILLACHICA, H. Frutales y hortalizas promisorias de la Amazonía. Tratado de cooperacion amazonica. Secretaria pro-tempore. Lima – Peru. 349p. 1996.

WANG, Z.; SUN, J.; CHEN, F; LIAO, X.; HU, X. Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace. *Food Research International*, v.40, n.1, p.39-46, 2007.

WOLF, W.; SPIESS, W. E. L.; JUNG, G. Sorption isotherms and water activity of food material. New York, Elsevier Science, 1985. 239p.

YOUSEFI, S., EMAMDJOMEH, Z.; MOUSAVI, S.M. Effecte of carrier type and spray druing on the physicochemical properties of powdered and reconstituted pomegranate juice (*Punica Gramatum L.*). *Journal of food Science and Technology*, v.online, p.1-8, 2010.

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

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

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

ZOGZAS, N.P.; MAROULIS, Z.B.; MARINOS-KOURIS, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. *Drying Technology*, v.14, n.10, p.2225–2253, 1996.