



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

ÉRICA MILÔ DE FREITAS FELIPE ROCHA

**DESIDRATAÇÃO DE POLPA DE MANGA E SUCO DE CAJU INTEGRAL POR
ATOMIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS OBTIDOS.**

**FORTALEZA
2013**

ÉRICA MILÔ DE FREITAS FELIPE ROCHA

**DESIDRATAÇÃO DE POLPA DE MANGA E SUCO DE CAJU INTEGRAL POR
ATOMIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS OBTIDOS.**

Tese submetida ao Curso de Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de concentração: Controle de Qualidade de Alimentos.

Orientador: Profº Dr. José Maria Correia da Costa

FORTALEZA

2013

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

R572d Rocha, Érica Milô de Freitas Felipe.

Desidratação de polpa de manga e suco de caju integral por atomização e caracterização dos produtos obtidos / Érica Milô de Freitas Felipe Rocha. – 2013.

145 f. : il. color., enc.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2013.

Área de Concentração: Controle de Qualidade de Alimentos.

Orientação: Prof. Dr. José Maria Correia da Costa.

Coorientação: Prof. Dr. Sueli Rodrigues.

1. Frutas desidratadas. 2. Alimentos – Qualidade. I. Título.

ÉRICA MILÔ DE FREITAS FELIPE ROCHA

**DESIDRATAÇÃO DE POLPA DE MANGA E SUCO DE CAJU INTEGRAL
POR ATOMIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS OBTIDOS.**

Tese apresentada ao Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de concentração: Controle de Qualidade de Alimentos.

Avaliada em 26/02/2013.

BANCA EXAMINADORA

José Maria Correia da Costa
Profº Dr. José Maria Correia da Costa (Orientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profº Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Edy Sousa de Brito

Embrapa Agroindústria Tropical – CE.

Dr. Gustavo Adolfo Saavedra Pinto
Embrapa Agroindústria Tropical – CE.

Dra. Francisca Ligia de Castro Machado

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE.

RECOMEÇAR

Não importa onde você parou
Em que momento da vida você cansou
O que importa é que sempre é possível e
Necessário “Recomeçar”...

Sofreu muito nesse período?
Foi aprendizado...

Chorou muito?
Foi limpeza da alma...

Ficou com raiva das pessoas?
Foi para perdoá-las um dia...

Sentiu-se só por diversas vezes?
É por que fechaste a porta até para os outros...

Acreditou que tudo estava perdido?
Era o início da tua melhora...

Pois é!
Agora é hora de iniciar, de pensar na luz,
de encontrar prazer nas coisas simples de novo.

Recomeçar...
Hoje é um bom dia para começar novos desafios.
Aonde você quer chegar?
Ir alto... Sonhe alto... Queira o melhor do melhor... Queira coisas boas para a vida
Pensando assim trazemos para nós aquilo que desejamos
Se pensarmos pequeno, coisas pequenas teremos...

Já se desejarmos fortemente o melhor e principalmente lutarmos pelo melhor
O melhor vai se instalar na nossa vida...

"Porque sou do tamanho daquilo que vejo, e não do tamanho da minha altura."

Carlos Drummond de Andrade

AGRADECIMENTOS

A **DEUS** pelo Dom da vida e por mostrar que está sempre comigo, me abençoando e iluminando os meus passos.

A Universidade Federal do Ceará e ao Departamento de Tecnologia de Alimentos, pela oportunidade de realização deste curso.

Ao CNPq, através do INCT, pelo apoio financeiro na execução deste projeto.

Ao Instituto CENTEC pelo apoio fornecido para que eu pudesse cursar e executar meus experimentos iniciais nos primeiros dois anos desta pós-graduação.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, em especial ao câmpus de Pau dos Ferros, através de sua gestão (em especial, Antônia Silva e Amélia Reis) e de meus colegas docentes, pela força, compreensão, ajuda, ou seja, por todo o apoio fornecido para a conclusão desta pós-graduação.

Aos meus pais, Raimundo Felipe Freitas e Francisca Simone de Freitas Felipe, e a minha querida irmã, Kelma de Freitas Felipe Ribeiro, por todo o amor e por estarem sempre ao meu lado, me apoiando e ajudando nas minhas decisões.

Ao meu amado esposo, amigo e companheiro, Rogivaldo Rebouças Rocha, que me acompanha desde o final de minha graduação, me dando força nos meus momentos de fraqueza, alegria nos momentos de tristeza e auxílio nos momentos de desespero. Por sempre estar ao meu lado, me oferecendo carinho, sinceridade, paciência e constante ajuda, partilhando das alegrias e dificuldades, ou seja, de todas as etapas de minha vida.

A minha amada filha Ana Clara que veio abrilhantar este último ano de doutorado e, que desde a gestação já foi uma ótima filha. É incrível como a situação muda, em um dia não se sabe nem da existência deste pequeno ser e no outro dia, ela passa a ser a razão de você estar vivo. Amo-te minha princesinha, minha florzinha, meu pinguinho de gente.

Ao professor José Maria Correia da Costa, meu orientador, não só pelo professor/ mestre que é, pelos conhecimentos que repassou, por confiar em mim e acreditar no meu potencial, mas pelo amigo que se tornou. Espero que esta amizade perdure por muitos e muitos anos.

A professora Sueli Rodrigues, minha co-orientadora, por seus ensinamentos e pelas condições proporcionadas para a execução deste trabalho.

Ao professor Marcos Rodrigues Amorim Afonso, por suas sugestões e conhecimentos repassados na execução desta tese, pelo apoio e socorro sempre que o Spray-dryer ou qualquer outro equipamento dava algum problema, por estar sempre presente.

Ao pesquisador Edy Sousa de Brito pela contribuição com suas sugestões valiosas na banca de qualificação, pré-defesa e defesa deste projeto.

Ao pesquisador Gustavo Adolfo Saavedra Pinto por suas valorosas sugestões na banca de defesa deste projeto.

A Dra Francisca Ligia de Castro Machado por suas contribuições na banca de defesa deste projeto, por nossas conversas e discussões sobre pontos observados no decorrer desta tese.

A todos os professores do Departamento de Tecnologia de Alimentos/ UFC pelos conhecimentos repassados.

Ao amigo Luís Gomes de Moura Neto por sua amizade, companheirismo e prontidão sempre que precisei de sua ajuda.

A todos os amigos que fiz nesta caminhada, Emanuelle, Anne Karine, Alinne, Holivania, Natália, Teresinha, Ligia, Janaína, Luana, Gerlândia, Dalany, Diva, Niédila, Katiely, Cássia, Alexandre, em especial ao amigo Gleison que além de outras ajudas que me forneceu durante a execução do trabalho, saiu de sua casa para vim me ajudar a limpar o spray-dryer quando eu já não podia mais. E, a minha querida Sanyelle, menina inteligente, esforçada e responsável, que me ajudou muito no decorrer deste trabalho, principalmente na realização das análises que eu não podia fazer depois que descobri que estava grávida.

Àqueles que por ventura não foram citados, mas que direta ou indiretamente contribuíram para a execução deste trabalho, o meu muito obrigada. Que Deus os abençoe hoje e sempre.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo a obtenção de pó de polpa de manga integral e suco de caju integral por meio da secagem em Spray-dryer. Inicialmente, avaliou-se a influência das condições de processo sobre o rendimento e a umidade desses pós através de planejamentos experimentais do tipo composto central rotacional completo. Foram produzidos pós da polpa de manga integral e do suco de caju integral que foram submetidos a uma caracterização físico-química e higroscópica, sendo analisados os seguintes parâmetros: atividade de água, umidade, pH, sólidos solúveis, acidez titulável, vitamina C, carotenoides, açúcares redutores e totais, parâmetros colorímetricos (L^* , a^* , b^* , C^* e h_0), higroscopicidade, grau de *caking*, reidratação e isotermas de sorção. As amostras produzidas por este processo de secagem apresentaram-se com boa qualidade, tanto físico-químicos quanto higroscópica e, para as isotermas de sorção, ambos os pós (manga e caju), apresentaram-se como do tipo III (Formato J), que caracteriza os alimentos com alto teor de açúcar, sendo o modelo Henderson, em todas as temperaturas analisadas, o que melhor se ajustou. Em seguida, avaliou-se a estabilidade destes pós, em período de armazenamento de 180 dias sob duas embalagens diferentes (laminada e transparente). Assim, concluiu-se que, após este período de armazenamento, tanto a polpa de manga integral quanto o suco de caju integral em pó, armazenados nas diferentes embalagens, ainda apresentavam-se na forma de pó e com boas características físico-químicas e higroscópicas, sendo a embalagem laminada a que melhor apresentou barreira de proteção às amostras.

Palavras-chave: Desidratação; qualidade; *Mangifera indica* L.; *Anacardium occidentale*, L.; estabilidade;

ABSTRACT

The main aim of the study was to obtain powder of whole mango pulp and whole cashew juice by drying in a Spray-dryer. Initially, it was made as assessment of all conditions in the process related to the output and humidity of those powders through experimental designs such as complete rotational central compound. From the results were produced powder of mango and cashew which underwent a physical-chemical and hygroscopic characterization, being analyzed the following parameters: water activity, humidity, pH, soluble solids, acidity, vitamin C, carotenoids, total and reducing sugars, colorimetric parameters (L^* , a^* , b^* , C^* and h_0), hygroscopicity, degree of caking, rehydration and sorption isotherms. The samples produced by this drying process presented good quality both physicochemical and hygroscopic and, for the parameter sorption isotherms, both the powders (mango and cashew), presented as the type III (Format J) which characterizes the foods with high sugar content, and the model of Henderson, at all temperatures which were analyzed, was the best that fit. Next, were evaluated the stability of these powders in storage period of 180 days under two different packages (laminated and transparent). Thus, it was concluded that, after this storage period, both mango and cashew powder enclosed in those different packages, still were in the form of powder with good physico-chemical and hygroscopic characteristics, being the laminated packaging the one which best showed the barrier protection to the samples.

Keywords: Dehydration; quality; *Mangifera indica* L.; *Anacardium occidentale*, L.; stability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - Manga (<i>Mangifera indica L.</i>).....	21
Figura 2.2 - Caju (<i>Anacardium occidentale, L.</i>).....	23
Figura 2.3 - Esquema básico de um spray-dryer para processos de aspersão..	28
Figura 2.4 - Curva característica de uma Isoterma de sorção.....	32
Figura 2.5 – Classificação das isotermas de sorção.....	36
Figura 3.1 - Fotografia do Spray-dryer utilizado nesta pesquisa.....	50
Figura 3.2 - Curvas de contorno que representam os efeitos da vazão de ar quente e a velocidade de alimentação (a) e temperatura de entrada do ar e velocidade de alimentação (b) sobre o rendimento de processo.....	56
Figura 3.3 – Curvas de contorno que representam os efeitos da vazão de ar quente e a concentração de maltodextrina (a) e temperatura de entrada do ar e concentração de maltodextrina (b) sobre o rendimento de processo.....	57
Figura 3.4 – Curvas de contorno que representam os efeitos da velocidade de alimentação e a concentração de maltodextrina (a) e da vazão de ar quente e a temperatura de entrada do ar (b) sobre o rendimento de processo.....	58
Figura 3.5 - Superfície de resposta (a) e curva de contorno para a variável resposta de rendimento, em função das variáveis independentes (vazão de ar quente e temperatura de entrada do ar) para o pó da polpa de manga.....	61
Figura 4.1 - Embalagens utilizadas nesta pesquisa.....	66
Figura 4.2 - Coordenadas do sistema CIE Lab de cor	72
Figura 4.3 - Representação esquemática de uma célula utilizada para determinar as isotermas de adsorção.....	75
Figura 4.4 - Isoterma de adsorção do pó da polpa de manga para o modelo de GAB sob diferentes temperaturas (25°C, 30°C, 35°C e 40°C).....	85
Figura 4.5 - Isoterma de adsorção do pó da polpa de manga para o modelo de Henderson sob diferentes temperaturas (25°C, 30°C, 35°C e 40°C).....	86
Figura 4.6 - Amostras armazenadas em diferentes umidades relativas, a 25°C.	88
Figura 4.7 – Variação do teor de ácido ascórbico no pó da polpa de manga armazenado sob as embalagens laminada e transparente por um período de 180 dias.....	91

Figura 4.8 - Variação do teor de carotenoides no pó da polpa de manga armazenado sob as embalagens laminada e transparente por um período de 180 dias.....	92
Figura 4.9 - Variação do teor de açúcares total (a) e redutor (b) no pó da polpa de manga armazenado sob as embalagens laminada e transparente por um período de 180 dias.....	93
Figura 4.10 – Variação da higroscopidez no pó da polpa de manga armazenado sob as embalagens laminada e transparente por um período de 180 dias.....	96
Figura 4.11 – Variação do grau de <i>caking</i> no pó da polpa de manga armazenado sob as embalagens laminada e transparente por um período de 180 dias.....	97
Figura 4.12 – Variação do parâmetro de reidratação no pó da polpa de manga armazenado sob as embalagens laminada e transparente por um período de 180 dias.....	98
Figura 5.1 - Superfície de resposta (a) e curvas de contorno (b) do rendimento (%) do pó do suco de caju, de acordo com a vazão de ar quente ($m^3/ min.$) e a temperatura ($^{\circ}C$).....	112
Figura 5.2 - Gráfico de Pareto para análise dos efeitos dos parâmetros de vazão de ar quente e temperatura de entrada do ar sobre a umidade (variável resposta) do pó do suco de caju.....	113
Figura 6.1 - Isoterma de adsorção do pó do suco de caju para o modelo de GAB sob diferentes temperaturas (25°C, 30°C, 35°C e 40°C).....	125
Figura 6.2 - Isoterma de adsorção do pó do suco de caju para o modelo de Henderson sob diferentes temperaturas (25°C, 30°C, 35°C e 40°C).....	126
Figura 6.3 - Amostras armazenadas em diferentes umidades relativas, a 25°C.....	127
Figura 6.4 – Variação do teor de vitamina C no pó do suco de caju armazenado sob as embalagens laminada e transparente por um período de 180 dias.....	130
Figura 6.5 - Variação do teor de carotenoides no pó do suco de caju armazenado sob as embalagens laminada e transparente por um período de 180 dias.....	131

Figura 6.6 - Variação do teor de açúcares total (a) e redutor (b) no pó do suco de caju armazenado sob as embalagens laminada e transparente por um período de 180 dias.....	132
Figura 6.7 – Variação da higroscopidez no pó do suco de caju armazenado sob as embalagens laminada e transparente por um período de 180 dias.....	136
Figura 6.8 – Variação do grau de <i>caking</i> no pó do suco de caju armazenado sob as embalagens laminada e transparente por um período de 180 dias.....	137
Figura 6.9 – Variação do parâmetro de reidratação no pó do suco de caju armazenado sob as embalagens laminada e transparente por um período de 180 dias.....	138

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 - Composição química da manga em 100g de polpa.....	22
TABELA 2.2 - Composição química do pedúnculo do caju CCP-76.....	24
TABELA 2.3 - Quantidade produzida de castanha de caju no Brasil e regiões geográficas	24
TABELA 3.1 - Variáveis independentes codificadas utilizadas no Spray-dryer durante a secagem.....	51
TABELA 3.2 - Planejamento composto central rotacional utilizado para a secagem e resultados médios observados para os parâmetros de umidade e rendimento do pó da polpa de manga.....	53
TABELA 3.3 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente <i>t</i> , grau de significância estatística (<i>p</i>) para os fatores do modelo codificado para rendimento e umidade.....	54
Tabela 3.4 - Variáveis independentes codificadas utilizadas no Spray-dryer durante a secagem.....	58
TABELA 3.5 - Planejamento composto central rotacional e resultados médios do parâmetro de rendimento do pó da polpa de manga.....	59
TABELA 3.6 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente <i>t</i> , grau de significância estatística (<i>p</i>) para os fatores do modelo codificado para rendimento.....	59
TABELA 3.7 - Análise de variância para o parâmetro de rendimento (%) do pó da polpa de manga.....	60
TABELA 4.1 - Preparação das soluções para a determinação da curva de calibração dos açúcares.....	70
TABELA 4.2 - Padrões da Higroscopidade.....	73
TABELA 4.3 - Padrões do grau de <i>caking</i>	74
TABELA 4.4 - Caracterização físico-química da polpa de manga e do pó da polpa de manga.....	78
TABELA 4.5 - Caracterização físico-química da polpa de manga e do pó da polpa de manga.....	80
TABELA 4.6 - Resultados da a_w e X_{eq} do pó da polpa de manga em pó a diferentes temperaturas.....	82

TABELA 4.7 - Parâmetros dos ajustes obtidos dos modelos matemáticos aplicados nas isotermas de adsorção do pó da polpa de manga em diferentes temperaturas.....	84
TABELA 4.8 - Parâmetros físico-químicos avaliados no pó da polpa de manga pelo período de 180 dias.....	89
TABELA 4.9 - Parâmetros colorimétricos avaliados no pó da polpa de manga pelo período de 180 dias.....	95
TABELA 5.1 - Planejamento composto central rotacional e resultados médios para os parâmetros de rendimento e umidade para os pós do suco de caju.....	108
TABELA 5.2 - Análise de variância para os parâmetros de rendimento (%) e umidade (%) do pó do suco de caju.....	109
TABELA 5.3 - Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística(p) para os fatores do modelo codificado para rendimento.....	110
TABELA 6.1 - Caracterização físico-química do suco de caju e do pó do suco de caju utilizados neste estudo.....	119
Tabela 6.2 - Caracterização físico-química do suco de caju e do pó do suco de caju....	120
TABELA 6.3 - Parâmetros dos ajustes dos modelos das isotermas de adsorção do pó do suco de caju em diferentes temperaturas.....	123
TABELA 6.4 - Parâmetros físico-químicos avaliados no pó do suco de caju pelo período de 180 dias.....	129
TABELA 6.5 - Parâmetros colorimétricos avaliados no pó do suco de caju pelo período de 180 dias.....	134

SUMÁRIO

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO GERAL.....	17
1.1. Introdução.....	17
1.2. Referências Bibliográficas.....	19
CAPÍTULO II: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1. Introdução.....	20
2.1.1. Manga.....	20
2.1.2. Caju.....	23
2.1.3. Processamento de secagem de alimentos.....	25
2.1.4. Secagem por Spray-dryer.....	26
2.1.5. Maltodextrina.....	29
2.1.6. Higroscopidade de alimentos em pó.....	30
2.1.6.1. Aplicação e importância das isotermas de sorção.....	31
2.1.6.2. Modelos matemáticos de isotermas.....	34
2.2. Referências Bibliográficas.....	40
CAPÍTULO III: INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DO PROCESSO DE SPRAY-DRYER NA OBTENÇÃO DO PÓ DA POLPA DE MANGA.....	49
3.1. Introdução.....	49
3.2. Material e Métodos.....	49
3.2.1. Obtenção e armazenamento da matéria-prima.....	49
3.2.2. Preparo da Amostra para a secagem e armazenamento dos pós de polpa de manga.....	50
3.2.3. Determinações Analíticas no pó da polpa de manga.....	51
3.2.4. Planejamento Experimental e Análise Estatística.....	51
3.3. Resultados e Discussão.....	52
3.4. Conclusões.....	62
3.5. Referências Bibliográficas.....	63

CAPÍTULO IV: CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, ISOTERMAS DE ADSORÇÃO E AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DO PÓ DA POLPA DE MANGA OBTIDO PELO PROCESSO DE SPRAY-DRYER.....	65
4.1. Introdução.....	65
4.2. Material e Métodos.....	66
4.2.1. Matéria-prima.....	66
4.2.2. Embalagem para armazenamento do pó da polpa de manga.....	66
4.2.3. Determinações analíticas.....	67
4.2.3.1. Atividade de água.....	67
4.2.3.2. Umidade.....	67
4.2.3.3. pH.....	68
4.2.3.4. Acidez titulável.....	68
4.2.3.5. Sólidos solúveis.....	68
4.2.3.6. Ácido ascórbico.....	68
4.2.3.7. Carotenoides.....	69
4.2.3.8. Açúcares redutores e totais.....	69
4.2.3.9. Cor.....	71
4.2.3.10. Higroscopичidade.....	73
4.2.3.11. Grau de <i>caking</i>	74
4.2.3.12. Reidratação.....	74
4.2.3.13. Construção das isoterma de adsorção.....	75
4.2.4. Estudo da estabilidade.....	77
4.2.5. Análise estatística.....	77
4.3. Resultados e Discussão.....	77
4.3.1. Caracterização da polpa de manga e do pó da polpa de manga....	77
4.3.2. Isoterma de adsorção.....	82
4.3.3. Estudo da estabilidade.....	88
4.4. Conclusões.....	99
4.5. Referências Bibliográficas.....	100

CAPÍTULO V: INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DO PROCESSO DE SPRAY-DRYER NA OBTENÇÃO DO PÓ DO SUCO DE CAJU.....	105
5.1. Introdução.....	105
5.2. Material e Métodos.....	106
5.2.1. Obtenção e armazenamento da matéria-prima.....	106
5.2.2. Preparo da amostra para a secagem e armazenamento dos pós de suco de caju obtidos.....	106
5.2.3. Determinações analíticas nos pós do suco de caju.....	107
5.2.4. Análise estatística.....	107
5.3. Resultados e Discussão.....	107
5.4. Conclusões.....	113
5.5. Referências Bibliográficas.....	114
CAPÍTULO VI: CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, ISOTERMAS DE ADSORÇÃO E AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DO PÓ DO SUCO DE CAJU OBTIDO PELO PROCESSO DE SPRAY-DRYER.....	116
6.1. Introdução.....	116
6.2. Material e Métodos.....	117
6.2.1. Matéria-prima.....	117
6.2.2. Embalagem para armazenamento do pó de suco de caju.....	117
6.2.3. Determinações analíticas.....	117
6.2.4. Estudo da estabilidade.....	117
6.2.5. Análise estatística.....	118
6.3. Resultados e Discussão.....	118
6.3.1. Caracterização do suco de caju e do pó do suco de caju.....	118
6.3.2. Isotermas de adsorção.....	122
6.3.3. Estudo da estabilidade.....	128
6.4. Conclusões.....	138
6.5. Referências Bibliográficas.....	139
CAPÍTULO VII: CONSIDERAÇÕES GERAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	144
7.1. Considerações Gerais.....	144
7.2. Sugestões para trabalhos futuros.....	146

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO GERAL

1.1. Introdução

O Brasil destaca-se como um dos maiores produtores mundiais de frutas (VASQUES et al., 2006). O país apresenta uma considerável biodiversidade de fruteiras, sendo que a potencialidade de suas frutas é enorme. Várias frutas das regiões Norte, Sul e Nordeste apresentam composição em aroma e compostos funcionais de grande valor, particularmente as frutas ricas em antioxidantes naturais como carotenoides e ácido ascórbico (CAMARGO et al., 2007).

Como a comercialização dos frutos encontra-se relacionada a sua sazonalidade, necessita-se, para viabilizar as diversas agroindústrias, de unidades de processamento que possam fornecer matéria-prima fora do período de safra. Uma das técnicas que vem sendo aprimorada nos últimos anos é a secagem por aspersão, visando transformar a polpa de fruta em pó, permitindo um armazenamento prolongado e uma maior estabilidade e longevidade do produto, de modo a ter uma maior vida útil, podendo o consumidor ter acesso a esse produto durante o ano, e não apenas no período de safra (ANSELMO et al., 2006).

Segundo Fellows (2006), a desidratação, ou secagem, é definida como a aplicação de calor sob condições controladas para remover, por evaporação, a maioria da água normalmente presente em um alimento (ou, no caso da liofilização, por sublimação). Estes processos de desidratação são técnicas viáveis para aproveitar o excedente da produção devido à disponibilização, para o mercado consumidor, de produtos estáveis e seguros.

Apesar dos aspectos positivos, a secagem pode alterar as características sensoriais e o valor nutricional dos alimentos, e a intensidade dessas alterações é dependente das condições utilizadas no processo de secagem e das características próprias de cada produto (QUEIROZ et al, 2007). As frutas desidratadas ou seus produtos derivados devem preservar suas características funcionais e sensoriais o

CAPÍTULO I

mais próximo possível do original sem que haja a necessidade da adição de aditivos químicos.

O processo de secagem em Spray-Dryer é uma técnica muito utilizada para secagem de alimentos líquidos e pastosos, produzindo pós. Entretanto, materiais ricos em açúcares e ácidos de baixo peso molecular, como os sucos de frutas, produzem pós muito higroscópicos, suscetíveis à aglomeração e com problemas de fluidez. Por outro lado, este problema pode ser evitado ou, pelo menos, minimizado quando se adicionam os adjuvantes de secagem, que são carboidratos de alto peso molecular, como as maltodextrinas que, reduzem a higroscopicidade dos pós e facilitam a secagem (BHANDARI e HARTEL, 2005).

Os alimentos em pó vêm aumentando seu espaço no mercado por reduzirem o custo de operações como embalagem, transporte, armazenamento e conservação, além de agregar valor à matéria-prima podendo fornecer cor e sabor a produtos alimentícios ou farmacêuticos. Diante do exposto, o principal objetivo deste trabalho foi utilizar o processo de secagem em spray-dryer para a obtenção do pó da polpa de manga e do suco de caju verificando a influência das variáveis de processo (temperatura do ar de secagem, da velocidade de alimentação da suspensão, da vazão de ar quente e da concentração de maltodextrina) sobre o rendimento do produto final, através da análise de um planejamento experimental.

Além disso, realizar um estudo da estabilidade do pó da polpa de manga e do suco de caju embalados e armazenados em dois tipos de embalagens (plástica e laminada), por um período de 180 dias através das análises de atividade de água, umidade, pH, sólidos solúveis, acidez titulável, vitamina C, açúcares redutores, açúcares não redutores, açúcares totais, carotenóides, cor, higroscopicidade, reidratação e grau de caking.

CAPÍTULO I

1.2. Referências Bibliográficas

ANSELMO, G. C. S.; MATA, M. E. R. M. C.; ARRUDA, P. C.; SOUSA, M. C. Determinação da higroscopidez do cajá em pó por meio da secagem por atomização. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. Campina Grande. v.6, n.2, p. 58 – 65, 2006.

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.

CAMARGO, G. A.; CONSOLI, L.; LELLIS, I. C. S.; MIELI, J.; SASSAKI, E. K. Bebidas Naturais de Frutas: Perspectivas de mercado, componentes funcionais e nutricionais. **Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas – BioEng.**, Campinas, 1 (2): 179 – 205, mai./ ago., 2007.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos**: princípios e prática/ P.J. Fellows; tradução Florencia Caldera Oliveira ...[et al.]. – 2.ed. – Porto Alegre: Artmed, 2006. 602p.

QUEIROZ, V.A. V.; BERBERT, P. A.; MOLINA, M. A. B.; GRAVINA, G. A.; QUEIROZ, L. R.; DELIZA, R. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.10, p.1479-1486, out. 2007.

VASQUES, A. R.; BERTOLI, S. L.; VALLE, R. C. S. C.; VALLE, J. A. B. Avaliação sensorial e determinação de vida-de-prateleira de maçãs desidratadas. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, 26(4): 759-765, out-dez, 2006.

CAPÍTULO II: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Introdução

A fruticultura brasileira vem, ao longo dos anos, se preparando para competir mais ativamente no mercado internacional e para aumentar sua participação na economia do País. Segundo o Instituto Brasileiro de Fruticultura (IBRAF), em 2010, a fruticultura nacional movimentou US\$ 609 milhões somente para produtos frescos e US\$ 2,2 bilhões quando se considera as frutas processadas.

Já é sabido que o Brasil possui uma grande variedade de frutas, porém seu clima tropical, com elevada umidade e temperatura, acaba por proporcionar condições desfavoráveis à conservação das frutas. Outro fato que também pode explicar a busca de métodos adequados de conservação de frutos é a distância entre os centros de produção e de consumo, principalmente quando existe a necessidade de transportar estes alimentos perecíveis por longas distâncias.

Ao pensar em uma melhor conservação de frutas como o caju e a manga, uma boa alternativa é a transformação de polpas, sucos e néctares destas frutas em pó. Os produtos em pó apresentam baixa atividade de água dificultando a sua deterioração e proporcionam uma maior facilidade de transporte, armazenamento e manuseio, seja para consumo direto ou como ingrediente na elaboração de outro produto alimentícios.

2.1.1. Manga

A manga (*Mangifera indica* L.), considerada a rainha das frutas tropicais, tem sua origem no Sul da Ásia e arquipélago malaio. Sua disposição para as áreas tropical e subtropical do globo se deu por mercadores, navegadores, missionários, etc; tendo sido introduzida no Brasil, primeiro país da América a cultivá-la, por volta do século XVI, por intermédio de navegantes portugueses (TORRES et al., 2006). Pertencente à família Anacardiaceae está entre as frutas tropicais de maior

CAPÍTULO II

expressão econômica nos mercados brasileiro e internacional (BRANDÃO et al., 2003).

Figura 2.1 - Manga (*Mangifera indica L.*)



Fonte: <http://mdemulher.abril.com.br/blogs/dieta-nunca-mais/2011/11/manga-gera-saciedade-diminui-a-fome-e-reduz-o-inchaco/>

É uma fruta tropical de fino sabor e aroma, coloração atrativa e valor nutritivo significativo. Nutricionalmente, esta fruta é uma excelente fonte de antioxidantes, possui níveis significativos de beta-caroteno e de vitamina A e C. Além desses nutrientes, a manga fornece fibras importantíssimas para o bom funcionamento intestinal, sais minerais, água, carboidratos, ácidos orgânicos, proteínas e pigmentos (CHOUDHUDY e COSTA, 2004).

A composição química e as características físicas da manga variam com as condições climáticas, condições fitossanitárias, tratamentos utilizados na pré-colheita, colheita e pós-colheita, grau de maturação do fruto, variedade, manejo e método de processamento empregado. As exigências qualitativas para a comercialização de frutos de manga variam em função do mercado que se pretende atingir. A qualidade pós-colheita está relacionada com a minimização da taxa de deterioração para que os frutos possam estar atraentes aos consumidores pelo maior espaço de tempo (RAMOS, SOUSA e BENEVIDES, 2004). Na Tabela 2.1, observamos a composição química e físico-química da manga encontrada em 100 gramas de polpa, segundo USFDA (2010).

CAPÍTULO II

Tabela 2.1 - Composição química da manga em 100g de polpa.

Nutrientes	Valores em 100g de polpa
Umidade (g)	83,46
Proteína (g)	0,82
Cinzas (g)	0,36
Fibra Total dietética (g)	1,60
Açúcar Total (g)	13,66
Cálcio (mg)	11,00
Ferro (mg)	0,16
Magnésio (mg)	10,00
Fósforo (mg)	14,00
Potássio (mg)	168,00
Vitamina C (mg)	36,40

Fonte: USFDA, 2010.

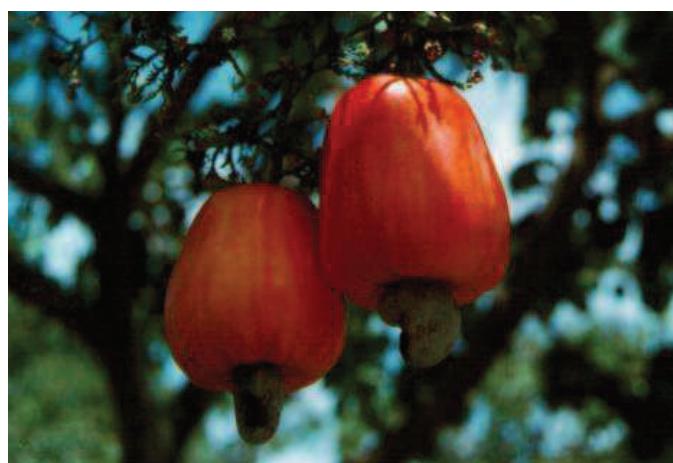
A manga no mercado nacional é comercializada quase que exclusivamente na forma *in natura*, embora também possa ser transformada em vários produtos como sorvete, compotas, pedaços, fatias ou rodelas em calda, polpa congelada, doce em massa, néctar, sucos, geléias, fatias ou pedaços congelados ou refrigerados, fatias cristalizadas, cereais de manga, manga desidratada, vinho e vinagre, além de produtos de manga verde ou imaturo os quais são poucos conhecidos, no entanto, na Índia são chamados de “amchur” ou “amchoar” e o “chutney” (RAMOS, SOUSA e BENEVIDES, 2004).

Segundo IBGE (2013), a região Nordeste no ano de 2011 constitui a principal região produtora de manga do país com 70,24% da produção nacional, sendo o estado da Bahia o principal produtor (59,53%), seguido pelos estados de Pernambuco (24,56%) e Ceará (5,51%).

2.1.2. Caju

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é uma frutífera originária do Nordeste Brasileiro, hoje espalhada por toda a América Tropical e Antilhas, chegando a ser difundida em regiões da África e da Ásia (ABREU, 2006). É cultivado em diversos países, destacando-se pela produção Vietnã, Índia, Brasil e Nigéria (OLIVEIRA, 2008). Sua importância econômica deve-se a amêndoas obtida do beneficiamento do fruto, uma das mais comercializadas no mercado internacional de nozes comestíveis.

Figura 2.2 - Caju (*Anacardium occidentale*, L.).



Fonte: <http://www.pedefigueira.com.br/noticia.php?id=707>

O fruto do cajueiro, denominado de caju, é composto pela castanha, que é o verdadeiro fruto, e o pedúnculo, que é o pseudofruto. A castanha encontra-se presa ao pedúnculo, que apresenta uma estrutura carnosa, suculenta, ligeiramente adstringente e caracterizada por agradável sabor (SILVA, 2006). Na Tabela 2.2, apresentamos a caracterização química deste pedúnculo em 100 g de polpa.

CAPÍTULO II

Tabela 2.2 - Composição química do pedúnculo do caju CCP-76.

Nutrientes	Valores em 100g de polpa
Umidade (%)	85,98
Proteína (%)	0,92
Cinzas (%)	0,32
Sólidos Solúveis (^o Brix)	10,76
pH	4,25
Acidez total titulável (%)	0,49
Açúcares Totais (%)	8,74
Vitamina C (mg/100g)	158,26
Ferro (mg/100g)	0,31
Cálcio (mg/100g)	16,75
Fósforo (mg P ₂ O ₅ /100g)	30,55

Fonte: Maia et al., 2004.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013), a classificação dos cinco principais estados produtores de castanha de caju no Brasil, em 2011, segue a seguinte ordem: em primeiro lugar está o estado do Ceará com uma produção de 111.718 toneladas, em segundo lugar o estado do Rio Grande do Norte com uma produção de 54.252 toneladas, em terceiro o estado do Piauí com 45.773 toneladas, em quarto encontramos o estado do Pernambuco com uma produção de 6.293 toneladas e, em quinto lugar o estado do Maranhão com uma produção de 5.114 toneladas.

Tabela 2.3 - Quantidade produzida de castanha de caju no Brasil e Regiões Geográficas.

Brasil e Regiões Geográficas.	Quantidade produzida (ton.)
Brasil	230.785
Nordeste	227.191
Norte	3.318
Centro-Oeste	276

Fonte: IBGE, 2013.

CAPÍTULO II

A utilização do pedúnculo de caju é considerada como uma boa fonte de renda, além de apresentar várias opções tecnológicas de industrialização, principalmente quando aproveitado na elaboração de sucos, doces, refrigerantes, vinhos, polpas e outros produtos alimentícios e no consumo in natura, sendo bastante consumidos nos mercados internos e externos (SANCHO et al., 2007).

O suco de caju é uma complexa mistura de vitaminas, polifenóis, açúcar, minerais, ácidos orgânicos e aminoácidos. É uma excelente fonte de vitamina C, contendo aproximadamente seis vezes mais vitamina C do que o suco de laranja (AZOUBEL et al., 2005).

De acordo com Cianci et al (2005), o mercado interno consome em torno de 40 mil toneladas de suco de caju, o que ainda é muito pouco em relação à produção e a ampliação do mercado exportador, que depende de fatores como a melhoria tecnológica dos processos industriais, além de uma política mercadológica adequada.

2.1.3. Processo de secagem em alimentos

A remoção de umidade é um dos processos de preservação de alimentos mais antigos utilizados pelo homem. Este processo proporciona uma diminuição da atividade de água do produto, inviabilizando o desenvolvimento de micro-organismos, em especial fungos e bactérias; bem como retardando deteriorações de origem físico-química e enzimáticas e, minimizando as mudanças físico-químicas durante o armazenamento. As vantagens da utilização do processo de secagem estão relacionadas à conservação do produto, redução do peso e volume, redução dos custos de transporte, armazenamento e embalagens utilizadas; além disso, há um aumento na vida útil do produto (SHIGEMATSU et al., 2005).

Com relação à secagem de frutas e hortaliças, o estado da Califórnia, EUA, mesmo com clima apropriado para a prática da secagem natural, foi à pioneira na construção de desidratadores (LIMA, 2001). E, nos últimos anos, a desidratação de alimentos vem sendo objeto de muitas pesquisas na procura de métodos de

CAPÍTULO II

secagem que proporcionem, além de baixo custo, produtos que conservem, com pouca alteração, suas características sensoriais e nutritivas (MOTA, 2005).

A maioria das frutas é particularmente difícil de ser desidratada utilizando-se ar quente, pois elas sofrem mudanças estruturais (encolhimento) e descoloração (AGUILERA, CHIRALT e FITO, 2003), contudo este é o processo de secagem mais usado para produção de frutas e vegetais desidratados. Este processo de secagem, algumas vezes, leva a uma diminuição de valores nutricionais, além de alterar a textura, cor e ocasionar uma reidratação lenta ou incompleta. Tem se conseguido uma melhora na retenção de qualidade de produtos secos alterando condições de processo e/ou pré-tratamentos (BRAGA, 2007).

Os primeiros trabalhos sobre secagem de polpa de frutas foram apresentados por Hufenussler e Kachan (1985), os autores estudaram a desidratação de purê de banana, analisando a qualidade do pó em relação ao obtido em secadores por aspersão e a vácuo. Promoveram, também, uma avaliação sensorial, na qual o sabor do purê reconstituído foi comparado com o purê original e com o produzido em secadores de tambores rotativos.

Dentre os processos de secagem com a utilização de ar quente, a secagem por spray-dryer é a mais amplamente utilizada na indústria de alimentos. E, sob condições ótimas de transformação foi provado ser um método eficaz para obter-se muitos produtos que podem apresentar diversas formas, tais como pós, grânulos ou aglomerados, dependendo das propriedades físicas e químicas do material inicial, do projeto do secador e da operação em si (CANO-CHAUCA et al, 2005; ANDRADE e FLORES, 2004).

2.1.4. Secagem por Spray-dryer

A secagem por spray-dryer teve seus primeiros passos na metade do século XVIII, quando a primeira operação de secagem de ovos foi patenteada. Porém, o início de sua utilização em escala industrial data da década de 20. Os primeiros produtos de que se tem notícia como obtidos em larga escala por *spray drying* foram o leite e o sabão em pó. A partir de então, seu uso disseminou-se pela indústria de

CAPÍTULO II

processos em geral, sendo hoje, especialmente aplicado para a secagem de produtos alimentícios e farmacêuticos (TONON, 2009).

Esse secador é utilizado na desidratação de alimentos líquidos, como leite e café solúvel, ou alimentos pastosos, e consiste basicamente de uma câmara de diâmetro e altura devidamente calculados, na qual o fluido a ser desidratado é introduzido por aspersão sob pressão, por meio de bicos aspersores, resultando em microgotículas. Estas, por sua vez, recebem uma corrente de ar aquecido, que supre o calor necessário à evaporação da água, havendo, assim, a formação de partículas secas (AZEREDO et al., 2004). A rápida evaporação da água permite manter baixa a temperatura das partículas, de maneira que a alta temperatura do ar de secagem não afete demasiadamente o produto (DAIÚTO e CEREDA, 2003).

Durante o processo de secagem por spray-dryer, algumas propriedades, como cor e sabor, podem ser afetadas no produto final não só pelas propriedades do material inicial (composição, concentração, viscosidade, etc), como também pelas condições de processo (temperatura de entrada do ar, vazão de alimentação da solução, velocidade de atomização, etc) além de outros fatores (CAI e CORKE, 2000).

Vale ressaltar que a secagem em um spray-dryer pode ser dividida em fases que irão interferir nas características do produto final, sendo elas: atomização do líquido, contato do líquido atomizado com o ar quente, evaporação da água e separação do produto em pó do ar de secagem. A maneira de atomizar e as propriedades do líquido atomizado influenciam o tamanho da partícula sólida, sua densidade, aparência e umidade. O tipo de contato líquido – ar quente e a evaporação influenciam não só essas características, como também a capacidade de retenção de aroma e sabor, enquanto a técnica de separação do pó do ar seco influencia a granulometria do produto desejado (TONON, 2009).

A temperatura de saída do produto é decorrente da combinação dos outros parâmetros, sendo influenciada pela temperatura do ar de entrada no equipamento, pela velocidade de atomização da solução e pela vazão de ar quente que irá carrear o produto para o ciclone. A diferença entre a temperatura de entrada e a de saída do ar afeta o teor de umidade residual do produto – uma diferença de temperatura excessivamente alta resulta em produto com alta umidade residual, o que pode

CAPÍTULO II

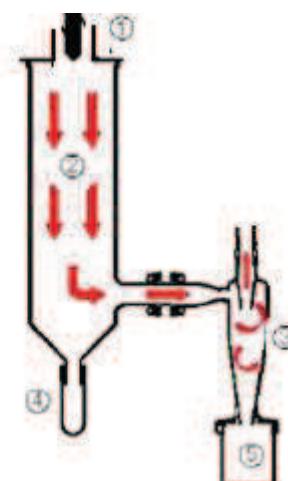
comprometer sua estabilidade. Uma vazão de ar quente implica em menor tempo de residência do produto na câmara de secagem, alto grau de separação no ciclone e, pode resultar em alta umidade residual. Maiores vazões de alimentação da solução resultam em menores temperaturas de saída do ar (BUCHI LABORTECHNIK AG, 2012). Com isso, muitas são as operações a serem monitoradas, pois todas elas apresentam grandes impactos sobre a qualidade do produto final.

Em relação à secagem de suco de fruta por aspersão, é valido ressaltar que, apesar de, em condições otimizadas, o spray-dryer ter se mostrado um equipamento eficiente na obtenção destes produtos na forma de pó, alguns obstáculos ainda são encontrados em suas propriedades funcionais como: a alta pegajosidade e higroscopicidade que tornam a sua embalagem e utilização substancialmente difíceis (CANO-CHAUCA et al., 2005). Daí a necessidade da adição de um adjuvante de secagem com alto peso molecular ao produto a ser nebulizado.

Um dos materiais mais utilizados na secagem por atomização é a maltodextrina devido tanto ao seu baixo custo quanto por apresentar baixa higroscopicidade, evitando a aglomeração das partículas, além de sua boa retenção de voláteis (ADHIKARI et al., 2004).

Figura 2.3 – Esquema básico de um spray-dryer para processos de aspersão.

- (1) Entrada da suspensão e da corrente de ar quente
- (2) Câmara de secagem
- (3) Ciclone para separação de partículas
- (4) Reservatório do produto
- (5) Recipiente de coleta do produto



Fonte: Elaborada pela autora

CAPÍTULO II

Observando a Figura 2.3, pode-se fazer uma breve explanação sobre o princípio do spray-dryer, onde por um sistema de bombeamento através de uma bomba peristáltica, a suspensão é transportada até a parte superior do equipamento. Através de um bico atomizador, esta suspensão e o ar quente são injetados ao mesmo tempo na câmara de secagem. Dentro desta câmara de secagem, o ar se movimenta de forma circular, formando um ciclone que serve para separar partículas finas dos aglomerados, ficando as partículas mais pesadas (aglomerados) depositadas por gravidade no reservatório de produto, e os finos seguem o fluxo de ar sendo coletados no recipiente de coleta do produto.

2.1.5. Maltodextrina

A maltodextrina é um dos principais aditivos utilizados para auxiliar a secagem por aspersão de polpa de frutas, pois influencia a viscosidade da mistura e reduz problemas de aglomeração durante o armazenamento, assim como melhora a estabilidade do produto (SILVA, SOBRAL e KIECKBUSCK, 2006).

As maltodextrinas são bastante utilizadas na microencapsulação de alimentos, principalmente por apresentarem um baixo custo, em comparação com outros hidrocoloides comestíveis. De acordo com Reineccius (2001), apesar de as maltodextrinas apresentarem certa deficiência em relação às propriedades emulsificantes, isso não representa um problema se o material a ser encapsulado for solúvel em água ou se um emulsificante secundário for utilizado no processo. Desse modo, são utilizados principalmente como auxiliares para materiais de difícil secagem, como suco concentrado de frutas, flavorizantes solúveis em água, enzimas ou adoçantes de alta potência.

De acordo com a United States Food and Drug Administration (USFDA), maltodextrina apresentam uma DE menor que 20 enquanto que polímeros com DE maiores que 20 são considerados xarope de glicose (OBÓN et al., 2009). Exemplos de maltodextrina e xarope de glicose usados na obtenção de sucos por spray drying incluem os sucos em pó de melancia (9 DE) (QUEK, CHOK e SWEDLUND, 2007), abacaxi (10 DE) (ABADIO, DOMINGUES e BORGES, 2004) e manga (20 DE) (CANO-CHAUCA et al., 2005).

CAPÍTULO II

São pouco higroscópicos e por essa razão têm aplicação nos produtos onde ganhos significantes de umidade são indesejáveis. Também podem ser usadas em sistemas alimentícios para controlar a cristalização de sacaroses e dextroses. A presença de maltodextrina irá impedir que estes dois açúcares se aglomerem e formem uma estrutura endurecida. As maltodextrinas são especialmente adequadas para desidratação de sucos de frutas, mas são suportes mais caros (DAIÚTO e CEREDA, 2003).

2.1.6. Higroscopicidade de alimentos em pó.

A água é um dos mais importantes componentes dos alimentos, afetando todas as suas propriedades físicas. A forma como a água afeta a natureza física e as propriedades dos alimentos são complicadas devido à interação entre a água e o meio, o que envolve a estrutura física, bem como a composição química dos diversos solutos incluindo polímeros e colóides ou partículas dispersas (PARK, BIN e BROD, 2001).

Nos alimentos, a água se encontra em duas formas, ou seja, na forma de água livre e na forma de água ligada. De acordo com Ribeiro e Seravalli (2004), a água ligada é definida como a água em contato com solutos e outros constituintes não aquosos, existindo em vários graus de ligação, podendo ser dividida em: água constitucional, que é a água ligada mais fortemente aos constituintes não aquosos do alimento, através de ligações iônicas; água vicinal é aquela que ocupa os espaços mais próximos da maioria dos grupos hidrofílicos (afinidade pela água) presentes nos constituintes; água de multicamadas representa a água ligada de forma mais fraca aos constituintes não aquosos do alimento. A água livre no alimento é a água que representa as mesmas propriedades da água pura, e que está disponível para o crescimento de microrganismos e para reações enzimáticas.

Mesmo nos alimentos desidratados, onde a água ocorre em proporções mais baixas, este componente é dos mais importantes. A higroscopicidade é uma característica muito importante nos alimentos em pó sendo influenciada pelo conteúdo de umidade do próprio produto (PEREIRA, 2000). No caso de pós de frutas, os açúcares (sacarose, glicose e frutose) são responsáveis por fortes

CAPÍTULO II

interações com a molécula de água em razão dos terminais polares presentes nessas moléculas (JAYA e DAS, 2004).

A umidade de um alimento é expressa pelo valor obtido na determinação da água total contida no mesmo. Entretanto, esse valor não fornece indicações de como a água está distribuída, bem como não permite saber se toda ela está ligada da mesma maneira. Desta forma o conhecimento da distribuição da água no alimento é mais importante que simplesmente o conhecimento da umidade (FERREIRA e PENA, 2003).

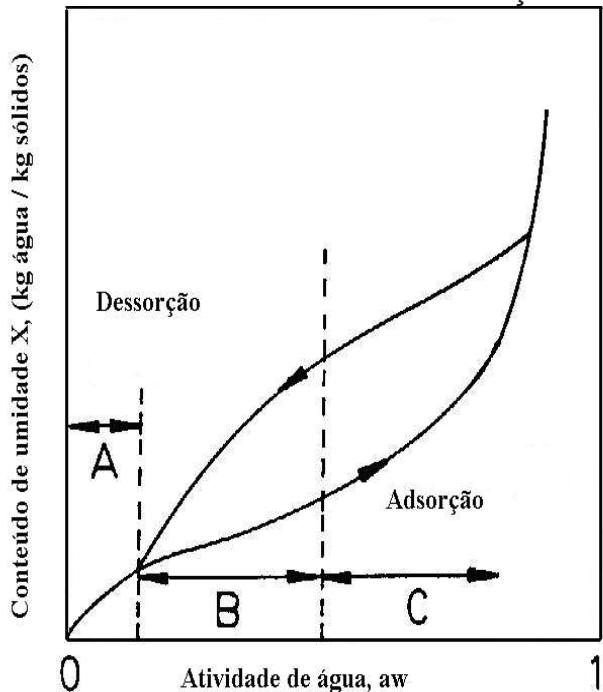
O aumento da quantidade e variedade de produtos em pó produzido pelas indústrias exige informações sobre seu manuseio e características de processamento, devido sua complexidade. Alimentos em pó são propensos à aglomeração. Uma vez que a água é o fator responsável por esses problemas, isotermas de adsorção são ferramentas úteis para o entendimento da relação da umidade do pó e seus problemas de estabilidade. A isoterma de adsorção constitui avaliação quantitativa do efeito da umidade relativa do ar no teor de umidade do pó (FOSTER, BRONLUND e PATERSON, 2005).

2.1.6.1. Aplicação e importância das isotermas de sorção

As isotermas de sorção descrevem a relação entre a atividade de água e conteúdo de umidade de equilíbrio do material a uma temperatura constante (THYS et al., 2010), sendo representadas graficamente. No caso especial dos alimentos em pó, elas podem ser utilizadas para prever o *caking* (MATHLOUTHI e ROGÉ, 2003).

As isotermas são curvas que traduzem a uma escala macroscópica a relação de equilíbrio entre o conteúdo de umidade do material e a pressão parcial de vapor de água do ambiente, a uma temperatura fixa. Distinguem-se três zonas na Figura 2.4: zona A, a água está fortemente ligada ao material; zona B, a água está menos ligada e presente usualmente em pequenos capilares; zona C: a água é adsorvida e condensada em poros capilares ou ela é considerada como água não ligada quando a atividade de água é 1,0 (μm) (BERTELI, 2005).

Figura 2.4 - Curva característica de uma Isoterma de sorção.



Fonte: RAHMAN, 1995.

A curva de isoterma de sorção da Figura 2.4, pode ser obtida através da adsorção ou dessorção. Os processos de adsorção e dessorção não são totalmente reversíveis, portanto, uma distinção pode ser feita entre as isotermas para determinar se os níveis de umidade dentro do produto estão aumentando (adsorção) ou diminuindo (dessorção) (AL-MUHTASEB, MCMINN e MAGEE, 2004). Sendo a característica da isoterma de sorção única para cada tipo de alimento (SOGI et al., 2003).

Nessas circunstâncias, as isotermas de sorção são empregadas na análise e no controle de vários processos na indústria de alimentos, por exemplo, preservação, secagem, definição de embalagens e misturas. Além disso, também são usadas para definir as mudanças na estabilidade do alimento e para selecionar os ingredientes apropriados para a formulação de um produto alimentício (KUROZAWA, EL-AOUAR e MURR, 2005). As isotermas de sorção são, também, importantes para projetar e otimizar equipamentos de secagem (THYS et al., 2010). E, deve-se ressaltar que o conhecimento dessas curvas de sorção é indispensável para a determinação do teor de água final necessário para um produto final estável.

CAPÍTULO II

Através destas isotermas pode-se determinar o conteúdo de umidade na monocamada molecular (X_m) que está relacionada com o início de uma série de reações químicas de deterioração dos alimentos e representa o ponto de maior gasto de energia em um processo de secagem (FERREIRA e PENA, 2003). Bem como também, exerce influência direta na preservação do sabor e aroma encapsulados e da estrutura das cápsulas (SHRESTHA et al., 2006).

Silva, Gouveia e Almeida (2002) descreveram que as curvas de equilíbrio higroscópico apresentam grande importância na definição dos limites de desidratação (conteúdo de umidade ótimo para armazenagem) dos materiais biológicos como frutas e vegetais. Observaram que quanto menor a umidade da polpa, mais energia é requerida para evaporar a água adsorvida ao produto. Além do que, à medida que a umidade relativa do ar aumenta, mais tempo é necessário para que o equilíbrio higroscópico seja atingindo.

Anselmo, et al. (2006) salientam que na produção de frutas em pó, as isotermas de equilíbrio higroscópico do produto tem por finalidade estabelecer se o produto sob condições específicas de temperatura e umidade relativa do ar tende a sorver ou dessorver água. Nesse sentido, as polpas em pó mantêm uma forte relação entre a qualidade e a vida útil com o seu teor de água, visto que, há influência na patabilidade, digestibilidade, estrutura física e o manuseio (VIEIRA, FIGUEIRÊDO e QUEIROZ, 2007).

A maioria das isotermas de sorção de água de alimentos apresenta forma sigmoide, com pequenas variações conforme sua estrutura física, a composição química, a temperatura e a capacidade de retenção de água do alimento. Contudo, há alimentos que apresentam uma zona mais plana na primeira parte da curva. Essas curvas, em forma de “J” são típicas de alimentos com grande quantidade de açúcar e solutos e que apresentam pouca adsorção por capilaridade, como as frutas e os doces de frutas (ORDÓÑEZ et al., 2005).

Muitos estudos foram realizados para descrever o comportamento higroscópico de frutas em pó: utilizando o método gravimétrico estático. Gomes, Figueirêdo e Queiroz (2002) determinaram as isotermas de adsorção da acerola em pó, desidratada em leito de jorro; Galdino et al. (2003), as isotermas de adsorção do umbu em pó, desidratado pelo método de secagem em camada de espuma;

CAPÍTULO II

Medeiros (2004), as isotermas de adsorção de umbu em pó, desidratado em secador por aspersão; Pereira (2005), as isotermas de adsorção do tomate em pó, desidratado em secador de bandeja; Alexandre, Figueiredo e Queiroz (2007), as isotermas de adsorção da pitanga em pó, desidratada pelo método de secagem em camada de espuma. Silva (2005) utilizou o método dinâmico para a obtenção das isotermas de adsorção do cajá em pó desidratado em secador por aspersão.

Por serem higroscópicos, os pós obtidos de polpa e / ou suco de fruta têm comportamento diferenciado nas isotermas de sorção e, devido a isto, existem diversas equações empíricas que correlacionam dados experimentais das isotermas de sorção de materiais biológicos, através de modelos matemáticos.

2.1.6.2. Modelos matemáticos de isotermas

Os modelos matemáticos permitem que com poucos pontos experimentais seja possível construir isotermas de umidade, a qual pode ser facilmente interpolada ou extrapolada para obtenção de pontos nas regiões de baixas e altas atividades de água, pontos estes de difícil determinação experimental. Atualmente, numerosos são os modelos com capacidade de predizer uma isoterma (CORRÊA et al., 2006).

Dentre eles, os mais difundidos são: o modelo de BET (Brunauer, Emmet e Teller) que se baseia no conceito de adsorção de água na monocamada molecular e; o modelo de GAB (Guggenheim, Anderson e Boer), que é uma extensão do modelo de BET, tendo sido introduzida para padronizar a descrição e comparação do material biológico. Ambos os modelos calculam o valor de X_m , que representa a quantidade de água que está fortemente adsorvida aos sítios específicos na superfície do alimento e é considerado como o valor ótimo para assegurar sua estabilidade (DAMODARAN, PARKIN e FENNEMA, 2008). De acordo com Gabas et al (2007), os critérios usados para selecionar o modelo de sorção mais apropriado são o grau de ajuste aos dados experimentais e o significado físico do modelo.

O conhecimento e o entendimento das isotermas de sorção de umidade para alimentos é de grande importância para a ciência e tecnologia de alimentos, fornecendo informações para o desenvolvimento e otimização de processos, para a solução de problema no armazenamento, para a modelagem das mudanças de

CAPÍTULO II

umidade que ocorrem durante a secagem e para a predição do tempo de vida útil (JAMALI et al., 2006).

Além disso, a aplicação dos princípios termodinâmicos, como o calor isotérmico de adsorção, aos dados experimentais das isotermas, permite a obtenção de informações sobre as propriedades da água, microestrutura, fenômenos físicos na superfície dos alimentos e parâmetros cinéticos de adsorção (KAYA e KAHYAOGLU, 2005)

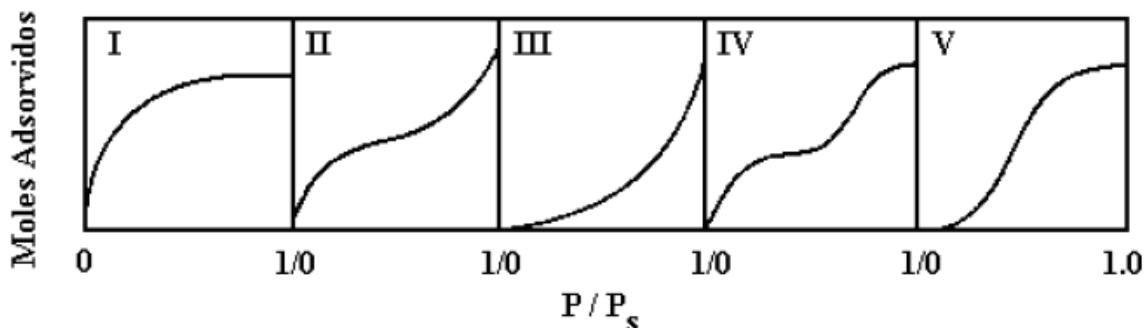
Os modelos matemáticos facilitam o cálculo do teor de umidade durante a secagem, visto que, neste processo ocorrem constantemente variações de temperatura e umidade relativa do ar em contato com o produto, o que acarreta mudanças no teor de umidade de equilíbrio, e, consequentemente, é necessário o seu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

Os elementos que se destacam na escolha do melhor ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais são o coeficiente de correlação (R^2) que representa a relação entre as respostas observadas e os valores previstos pelo modelo ajustado, e o erro médio relativo, E (%), definido como a média da porcentagem de diferença relativa entre valores experimentais e preditos (LOMAURO, BAKSHI e LABUZA, 1985).

De acordo com critérios estabelecidos por Park, Bin e Brod (2001), o E (%) inferior a 10% indicam um razoável ajuste para as práticas propostas e, Labuza, Kaanane e Chen (1985), a representação das isotermas é considerada extremamente boa para E (%) inferior a 5%.

Vários modelos já foram propostos na literatura para descrever as isotermas de sorção. Esses modelos são classificados em categorias: modelos cinéticos baseados na teoria da monocamada (por exemplo, o modelo de BET), modelos cinéticos baseados na teoria de multicamadas (por exemplo, modelo de GAB) e modelos empíricos ou semi-empíricos (por exemplo, modelo de Oswin) (IGUEDJATAL, LOUKA e ALLAF, 2008).

Brunauer, Deming e Teller (1940) apresentaram uma classificação qualitativa das isotermas de adsorção física, ilustradas na Figura 2.5.

Figura 2.5 – Classificação das isotermas de sorção segundo Brunauer (1940).

A isoterma representada pelo tipo I é a mais comum. Sua configuração é característica de adsorventes microporosos devido ao tamanho dos poros do sólido, os quais não são muito maiores que o diâmetro molecular do sorbato. Com estes adsorventes há um limite de saturação devido ao total preenchimento do poro por uma única molécula de adsorbato (SCHWANKE, 2003).

As isotermas dos tipos II e III resultam de adsorventes nos quais há uma extensa variação de tamanhos de poros. Esta variação permite ao adsorvente a capacitação de avançar de forma contínua de uma adsorção monocamada para multicamada, seguida de condensação capilar (SCHWANKE, 2003). Hubinger et al. (2009) apresentaram isotermas de dessorção de filé de bonito desidratado osmoticamente e defumado, com as curvas obedecendo a um comportamento isotérmico do tipo II. As isotermas foram obtidas nas temperaturas de 5, 25, 40 e 60°C, e ajustadas pelos modelos de BET (linearizado), GAB, Henderson e Oswin (modificado).

A formação de duas camadas superficiais adsorvidas é caracterizada pela isoterma do tipo IV, onde uma camada é encontrada sobre a superfície plana e a outra nas paredes de um poro cujo diâmetro é muito maior que o diâmetro molecular do sorbato. Caso os efeitos de atração intermolecular sejam grandes, ou seja, as atrações entre as moléculas adsorvidas são mais fortes que as interações sorbato-superfície, uma curva isotérmica do tipo V é observada (SCHWANKE, 2003).

Os modelos de BET, GAB, Henderson e Oswin, descrito a seguir, foram escolhidos porque são os mais utilizados para descrever o comportamento de

CAPÍTULO II

sorção dos alimentos e, segundo Silva, Park e Magalhães (2007) estes modelos apresentam relativa precisão e generalidade de uso:

↳ **Modelo de BET (Brunauer, Emmet e Teller)**

O mais conhecido dos modelos matemáticos é usado com sucesso para atividade de água até valores abaixo de 0,5 (CASTRO, 2003). Vale à pena ressaltar, de maneira mais clara possível, que o conceito de Langmuir foi ampliado pelos pesquisadores Brunauer, Emmet e Teller, o que gerou a equação de BET (Equação 2.1). Neste estudo proposto por esses pesquisadores, à água se adsorve na forma de camadas, a primeira camada se fixa por adsorção sobre pontos uniformemente localizados e as moléculas seguintes se fixam, mediante pontes de hidrogênio, sendo o diâmetro dos capilares o fator que limita o número de camadas adsorvidas. Desse modo, a equação de BET é baseada na adsorção de multcamadas de vapor e gases (PRADO, 1998).

$$X_{eq} = \frac{X_m \cdot C \cdot a_w}{1 - a_w} \left[\frac{1 - (n + 1) \cdot (a_w)^2 + n \cdot (a_w)^{n+1}}{1 - (1 - C) \cdot a_w - C \cdot (a_w)^{n+1}} \right] \quad [Equação\ 2.1]$$

Onde:

a_w = atividade de água;

X_m = conteúdo de umidade na monocamada molecular ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ em base seca);

X_{eq} = conteúdo de umidade de equilíbrio expresso em ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ de base seca);

C = constante de BET relacionada ao calor de sorção da camada molecular;

n = número de camadas moleculares.

↳ **Modelo de GAB (Guggenheim, Anderson e de Boer)**

Segundo Romero-Peña e Kieckbusch (2003), o conceito da teoria de adsorção física de BET foi ampliado por Guggenheim, Anderson e Bôer, dando origem a equação de GAB (Equação 2.2). É uma equação triparamétrica a qual permite

CAPÍTULO II

ajustar dados de sorção de produtos agrícolas em uma faixa mais ampla de atividade de água (0,1 a 0,9) do que a permitida pela equação de BET. Contudo, a equação de GAB é reduzida a de BET quando K (constante) for igual à unidade (PRADO, 1998). Além disso, a equação de GAB é de amplo uso em alimentos e recomendada pelo Grupo de Projetos Europeus COST 90, que trata sobre propriedades físicas de alimentos (GÁLVEZ, ARAVENA e MONDACA, 2006).

$$X_{eq} = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w)(1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)} \quad [Equação\ 2.2]$$

Onde:

a_w = atividade de água;

X_m = conteúdo de umidade na monocamada molecular ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ em base seca);

X_{eq} = conteúdo de umidade de equilíbrio expresso em ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ de base seca);

C e K = constantes de sorção do modelo.

As constantes C e K são relacionadas com as interações energéticas entre as moléculas da monocamada (X_m) e as subseqüentes, num dado sítio de sorção. O parâmetro K representa o fator de correção das propriedades das moléculas na multicamada com relação ao volume do líquido. A constante de sorção C refere-se às interações entre os sítios ativos do produto e as moléculas de água. Os valores ideais de C são aqueles inferiores a 200, de acordo com a faixa comumente encontrada na literatura (VIEIRA, FIGUEIRÉDO e QUEIROZ, 2007). É importante notar que quando $K = 1$, a equação de GAB fica reduzida à equação de BET linearizada para n infinito. No geral, a aplicação do modelo de GAB depende do tipo de análise de regressão empregada.

É importante salientar que os valores da monocamada (X_m) predizem o teor de umidade para uma armazenagem segura, na qual o material tem estabilidade máxima, dessa forma assegura que o material esteja menos sujeitos a alterações deteriorativas (VIEIRA, FIGUEIRÉDO e QUEIROZ, 2007).



Modelo de HENDERSON

O modelo empírico proposto por Henderson (1952), descrito na Equação 2.3, é um dos modelos mais empregados e descreve bem o comportamento de alimentos com uma ampla faixa de atividade de água (0,10 a 0,75), como grãos, cereais e frutas.

$$X_{eq} = \left[\frac{-\ln((1 - a_w))}{b} \right]^{\frac{1}{a}} \quad [Equação 2.3]$$

Onde:

a_w = atividade de água;

X_{eq} = conteúdo de umidade de equilíbrio expresso em ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ de base seca);

a e b = parâmetros de ajustes.



Modelo de OSWIN

Na equação proposta por Oswin, Equação 2.4, há apenas dois parâmetros para estudar o equilíbrio higroscópico dos materiais biológicos, ou seja, duas constantes de fácil linearização. Por isso, apresenta algumas vantagens sobre os modelos de BET e GAB, e é utilizado para analisar isotermas de sorção de diversos alimentos (PARK, BIN e BROD, 2001).

$$X_{eq} = a \cdot \left[\frac{a_w}{1 - a_w} \right]^b \quad [Equação 2.4]$$

Onde:

a_w = atividade de água;

X_{eq} = conteúdo de umidade de equilíbrio expresso em ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ de base seca);

a e b = parâmetros de ajustes.

2.2. Referências Bibliográficas

ABADIO, F. D. B; DOMINGUES, A. M.; BORGES, S. V. Physical properties of powdered pineapple (*Ananás comosus*) juice-effect of malt dextrin concentration and atomization speed. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 64, n. 3, p. 285 – 287, 2004.

ABREU, F. A. P. Cajuína. In: Venturini Filho, W.G. (Org.). **Tecnologia de bebidas:** matéria-prima, processamento, BPF/APPCC, legislação, mercado. São Paulo: Editora Edgar Blucher, 2006.

ADHIKARI, B.; HOWES, T.; BHANDARI, B. R.; TROUNG, V. Effect of addition of maltodextrin on drying kinetics and stickiness of sugar and acid-rich foods during convective drying: experiments and modelling. **Journal of Food Engineering**, v.62, p.53-68, 2004.

AGUILERA, J. M.; CHIRALT, A.; FITO, P. Food dehydration and product structure. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 14, n. 10, p. 432 – 437, 2003.

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

AL-MUHTASEB, A. H.; McMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Water sorption isotherms of starch powders Part 1: mathematical description of experimental data. **Journal of Food Engineering**, Amsterdam, v. 61, n. 3, p. 297-307, 2004.

ANDRADE, I.; FLORES, H. Optimization of spray drying of roselle extract (*Hibiscus sabdariffa* L.). In: **Drying 2004** – Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004). São Paulo, 2004, v. A, p. 597 – 604.

CAPÍTULO II

ANSELMO, G. C. S.; MATA, M. E. R. M.C.; ARRUDA, P. C.; SOUSA, M. C. Determinação da higroscopidez do cajá em pó por meio da secagem por atomização. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. Campina Grande. v.6, n.2, p. 58 – 65, 2º semestre, 2006. Disponível em: <<http://eduep.uepb.edu.br/rbct/sumarios/pdf/atomizacao.pdf>>. Acesso em: 10/08/2012.

AZEREDO, H. M. C.; BRITO, E. S.; BRUNO, L. M.; PINTO, G. A. S. Métodos de conservação de alimentos. In: AZEREDO, H. M. C. (Ed.). **Fundamentos de Estabilidade de alimentos**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2004. p. 97 – 128.

AZOUBEL, P. M.; CIPRIANI, D. C.; EL-AOUAR, Â. A.; ANTONIO, G. C.; MURR, F. E. X. Effect of concentration on the physical properties of cashew juice. **Journal of Food Engineering**, Amsterdam, v. 66, n. 4, p. 413-417, 2005.

BERTELI, M. N. Estudo Comparativo de Processos de Secagem de Sólidos Granulados com e Sem Assistência de Microondas. 2005. 134f. **Tese** (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, São Paulo.

BRAGA, A. M. P. Estudo da retenção de constituintes voláteis na secagem de abacaxi sob atmosfera modificada. Faculdade de Engenharia Química Universidade Estadual de Campinas, **Dissertação** (Mestrado). 2007.

BRANDÃO, M. C. C.; MAIA, G. A.; LIMA, D. P.; PARENTE, E. J. S.; CAMPELLO, C. C.; NASSU, R. T.; FEITOSA, T.; SOUSA, P. H. M. Análise físico química, microbiológica e sensorial de frutos de manga submetidos à desidratação osmótico solar. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal. v. 25, n. 1, dez. 2003.

BUCHI LABORTECHNIK AG. Training papers – Spray drying, 2002. Disponível em: http://www.buchi.com/Spray-Drying.69.0.html?&no_cache=1&file=308&uid=2283. Acesso: 17 de dezembro de 2012.

CAPÍTULO II

BRUNAUER, S.; DEMING, L.S.; TELLER, E. On a theory of Van der Waals adsorption of gases. **Journal of the American Chemical Society**, v. 62, n. 7, p. 1723 – 1732, 1940.

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.

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 & Emerging Technologies**, v. 6, p. 420-428, 2005.

CASTRO, A. G. A. **A química e a reologia no processamento de alimentos**. Lisboa: Ciência e Técnica, 2003. 295p.

CHOUDHUDY, M. M; COSTA, T. S. da. **Perdas na cadeia de comercialização da manga**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2004, 41p.

CIANCI, F. C.; SILVA, L. F. M.; CABRAL, L. M. C.; MATTA, V. M. Clarificação e concentração de suco de caju por processos com membranas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, p. 579-583, 2005.

CORRÊA, P.C.; JÚNIOR, P. C. A.; RIBEIRO, D. M.; SILVA, F. S. Equilíbrio higroscópico de milheto, alpiste e painço: obtenção e modelagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 10, n. 1, p. 162-167, 2006.

DAIÚTO, E. R.; CEREDA, M. P. Amido como suporte na desidratação por atomização e em microencapsulamento. In: CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F. **Tecnologias, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2003. v. 3. cap. 16, p. 449-474. (Série: Culturas de tuberosas amiláceas Latino Americanas).

DAMODARAN, S.; PARKIN, K.; FENNEMA, O. R. **Fennema's food chemistry**. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2008. 1144 p.

CAPÍTULO II

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

FOSTER, K. D.; BRONLUND, J. E.; PATERSON, A. H. J. The prediction of moisture sorption isotherms for dairy powders. **International Dairy Journal**, v. 15, n. 4, p. 411-418, Abr. 2005.

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

GALDINO, P. O.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; SILVA, R. N. G. Avaliação da estabilidade da polpa de umbu em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 73-80, 2003.

GÁLVEZ, A. V.; ARAVENA, E. L.; MONDACA, R. L. Isotermas de adsorcion em harina de maiz (*Zea mays L.*), **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 26, nº 4, Campinas, oct – dec. 2006. p. 821 – 827.

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

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

HUBINGER, M.D.; PEZANTES, D.V.; KUROZAWA, L.E.; SOBRAL, P.J.A. Isotermas de dessorção de filé de bonito (*Sarda sarda*) desidratado osmoticamente e defumado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 305-311, 2009.

CAPÍTULO II

HUFENUSSLER, M.; KACHAN, G. C. Secagem de purê de banana em um secador de leito jorro. In: ENCONTRO SOBRE ESCOAMENTO EM MEIOS POROSOS. 12., 1985. São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, v.2, p 340-354.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal.** 2011. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?z=t&o=11&i=P&c=1613>>. Acesso em 28 de fevereiro de 2013.

IBRAF – Instituto Brasileiro de Fruticultura. **Comparativo das Exportações Brasileiras de Frutas frescas e processadas**, 2010. Disponível em: <<http://www.ibraf.org.br>>. Acesso em 17 de dezembro de 2012.

IGUEDJATAL, T.; LOUKA, N.; ALLAF, K. Sorption isotherms of potato slices dried and texturized by controlled sudden decompression. **Journal of Food Engeneering**, v. 85, p. 180-190, 2008.

JAMALI, A.; KOUHILA, M.; AIT MOHAMED, L.; JAOUHARI, J. T.; IDLIMAM, A.; ABDENOURI, N. Sorption isotherms of Chenopodium ambrosioides, leaves at three temperatures. **Journal of Food Engineering**, v.72, n. 01, p. 77 – 84, 2006.

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

KAYA, S.; KAHYAOGLU, T. Thermodynamic properties and sorption equilibrium of pestil (grape leather). **Journal of Food Engineering**. v. 71, n. 02, p. 200 – 207, 2005.

KUROZAMA, L. E.; EL-AOUAR, A. A.; MURR, F. E. X. Obtenção de isotermas de dessorção de cogumelo *in natura* e desidratado osmoticamente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.25, n.4, p.828-834, out-dez, 2005.

CAPÍTULO II

LABUZA, T. P.; KAANANE, A.; CHEN, J. Y. Effects of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrated foods. **Journal of Food Science.** v. 50, n. 03, p. 385 – 392, 1985.

LIMA, L.M.O. Estudo do aproveitamento de bagaço de frutas tropicais, visando a extração de fibras. Natal -RN, 2001. 108p. **Dissertação** (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture isotherm equations. 1: Fruit, vegetable and meat products. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v.18, n.2, p.111-117, 1985.

MAIA, G. A.; SOUSA FILHO, M. S. M.; FIGUEIREDO, R. W.; BRASIL, I. M. Caracterização química de pedúnculos de diferentes clones de cajueiro anão precoce (*Anacardium occidentale*, L.). **Revista Ciências Agronômicas**. Fortaleza, v. 35, n. especial, p. 272 – 278, 2004.

MATHLOUTHI, M.; ROGÉ, B. Water vapour sorption isotherms and the caking of food powders. **Food Chemistry**. v. 82, p. 61-71, 2003.

MEDEIROS, S. S. A. Obtenção de pó de umbu (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara) para umbuzada: Processamento e caracterização do pó. 2004. 102 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

MOTA, R. V. da. Avaliação da qualidade físico-química e aceitabilidade de passas de pêssego submetidas à desidratação osmótica. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 1, p. 789-794, out.-dez., 2005.

OBÓN, J. M. et al. Production of a red-purple food colorant from *Opuntia stricta* fruits by spray drying and its application in food model system. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 90, p. 471 – 479, 2009.

OLIVEIRA, V. H. Cajucultura. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v 30, n. 1, março 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo.php?script=>

CAPÍTULO II

sci_arttext&pid=S0100-29452008000100001&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 09 de abril de 2012.

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

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

PEREIRA, A. Avaliação microestrutural de pós de suco de maracujá obtidos por spray drying. Lavras: UFLA, 2000; 66p.:il **Dissertação** (Mestrado em Ciências de Alimentos).

PEREIRA, I. E. Secagem e armazenamento do tomate em pó. 2005. 107 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

PRADO, M. E. T. Secagem de Tâmaras (*Phoenix dactylifera L.*) para a obtenção de tâmara passa. Campinas: UNICAMP, 1998, 149p. **Tese** (Doutorado).

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

RAHMAN, S. **Food properties handbook**, 1995, 528p.

RAMOS, A. M.; SOUSA, P. H. M.; BENEVIDES, S. D. **Tecnologia da Industrialização de Manga**. 2004. Disponível em: <http://www.nutricaodeplantas.agr.br/site/ensino/pos/Palestras_William/Livromanga_pdf/17__processamento.pdf>. Acesso em: 21 de novembro de 2009.

REINECCIU, G.A. Multiple-core encapsulation: the spray drying of food ingredients. In: VILSTRUP, P. **Microencapsulation of food ingredients**. Surrey, Leatherhead Publishing, 2001, p.151-185.

CAPÍTULO II

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

ROMERO-PEÑA, L. M.; KIECKBUSCH, T.G. Influência de Condições de Secagem na Qualidade de Fatias de Tomate. **Brazilian Journal Food Technology.** v.6, n.1, p.69-76, jan./jun., 2003

SANCHO, S. O.; MAIA, G. A.; FIGUEIREDO, R. W.; RODRIGUES, S.; SOUSA, P. H. M. Alterações químicas e físico-químicas no processamento de suco de caju (*Anacardium occidentale* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos.** Campinas, 27 (4): 878 – 882, out. – dez., 2007.

SCHWANKE, R.O. Determinação da difusividade de hidrocarbonetos aromáticos em Zeólicas Y por métodos cromatográficos. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina), 115p, 2003.

SHIGEMATSU, E.; EIK, N. M.; KIMURA, M.; MAURO,M. A. Influência de pré-tratamentos sobre a desidratação osmótica de carambolas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos,** Campinas, 25(3): 536-545, jul-set, 2005.

SHRESTHA, A.; HOWES, T.; ADHIKARI, B.; BHANDARI, B. Water sorption and glass transition properties of spray dried lactose hydrolysed skim milk powder. **Food Science and Technology**, v.40, n. 9, p. 1-8, Nov. 2006.

SILVA, F.; PARK, K. J.; MAGALHÃES, P. M. Isotermas de dessorção de *Calendula officianalis* L.: determinação experimental e modelagem matemática. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Botucatu, v. 9, n. 1, p. 21-28, 2007.

SILVA, M.A.; SOBRAL, P.J.A.; KIECKBUSCH, T.G. State diagrams of freeze-dried camu-camu (*Myrciaria dubia* (HBK) Mc Vaugh) pulp with and without maltodextrina addition. **Journal of Food Engineering**, v.77, n.3, p.426-432, 2006.

SILVA, M.M.; GOUVEIA, J.P.G.; ALMEIDA, F.A.C. Dessorção e calor isostérico em polpa de manga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.1, p.123-7, 2002.

CAPÍTULO II

SILVA, R.A. Desenvolvimento e estabilidade de néctar de caju (*Anacardium occidentale* L) adoçado com mel de abelha *Apis mellifera*. Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará, 74p. **Dissertação** (Mestrado), 2006.

SILVA, Y. C. Obtenção de cajá em pó utilizando um secador por atomização: Caracterização física, físico-química e sensorial do pó. 2005. 75 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

SOGI, B. S.; SHIVHARE, V. S.; GARE, S. K.; BAWA, A. S. Water sorption isotherm and drying characteristics of tomato seeds. **Biosystems Engineering**, v.84, n.3, p. 297-301, 2003.

THYS, R. C. S.; NOREÑA, C. P. Z.; MARCZAK, L. D. F.; AIRES, A. G.; CLADERAOLIVERA, F. Adsorption isotherms of pinhão (*Araucaria angustifolia* seeds) starch and thermodynamic analysis. **Journal of Food Engineering**, v. 100, p. 468-473, 2010.

TONON, R. V. Secagem por atomização do suco de açaí: influência das variáveis de processo, qualidade e estabilidade do produto / Renata Valeriano Tonon. -- Campinas, SP: [s.n.], 2009. **Tese** (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos.

TORRES, J. D.; TALENS, P.; ESCRICHE, I.; CHIRALT, A. Influence of Process Conditions on Mechanical Properties of Osmotically Dehydrated Mango. **Journal of Food Engineering**, v. 74, n. 2, p. 240-246, 2006.

USFDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Nutrient database for standard reference, release 17, SR 17, 2004. Disponível em: <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp>. Acesso em: 20 de novembro de 2010.

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

CAPÍTULO III

CAPÍTULO III: INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DO PROCESSO DE SPRAY-DRYER NA OBTENÇÃO DO PÓ DA POLPA DE MANGA.

3.1. Introdução

A manga é uma fruta tropical de grande produção no Brasil. De acordo com dados do IBGE (2013), este país no ano de 2011 produziu 1.249.521 toneladas, sendo a Região Nordeste responsável por 70,24% desta produção.

A secagem por spray-dryer é um processo amplamente utilizado na indústria de alimentos, e em condições ideais de processamento, tem se mostrado eficaz na obtenção de diversos produtos (ADHIKARI et al., 2004). No entanto, é importante que se faça a otimização do processo, a fim de se obter produtos, ou seja, frutas em pó, com melhores características sensoriais e nutricionais, bem como obter um bom rendimento do processo.

Neste capítulo o objetivo foi avaliar as condições operacionais de secagem em spray-dryer visando o rendimento do processo e o teor de umidade após a desidratação da polpa de manga estabelecendo as condições ótimas.

3.2. Material e Métodos

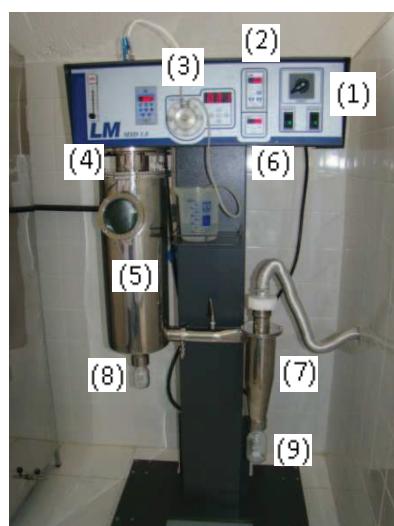
3.2.1. Obtenção e armazenamento da matéria-prima

A polpa de manga, sem a adição de conservantes, foi obtida em uma agroindústria localizada na cidade de Fortaleza - CE. Estas polpas congeladas em embalagem própria de comercialização (100g) foram coletadas e armazenadas em caixas de poliestireno expandido e, então, conduzidas ao Laboratório de Controle de Qualidade e Secagem do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, onde foram mantidas em freezer vertical, a -18°C e, o descongelamento foi realizado na embalagem original do produto, em geladeira (5°C) por 18 horas.

3.2.2. Preparo da amostra para a secagem e armazenamento dos pós de polpa de manga.

Após o descongelamento foi pesado 600g de polpa integral para cada ensaio e adicionada à quantidade de maltodextrina na proporção (p/p) estabelecida pelo planejamento utilizado (Tabela 3.2). Após completa dissolução e homogeneização, a solução formulada foi levada a um spray-dryer modelo LM MSD 1.0 da marca Labmaq do Brasil com a utilização de um bico aspersor de 1,2mm de abertura de diâmetro (Figura 3.1), para início do processo de atomização obedecendo a parâmetros também estabelecidos no planejamento experimental e, sendo mantidos constantes os seguintes parâmetros: vazão do ar comprimido (3,0L/ min) e pressão de atomização (100 psi).

Figura 3.1 - Fotografia do spray-dryer utilizado nesta pesquisa, incluindo seus sistemas principais: (1) chave geral; (2) controle do aquecimento; (3) controle do bombeamento do líquido; (4) bico atomizador; (5) câmara de secagem; (6) indicador de temperatura de saída; (7) ciclone; (8) reservatório de coleta do produto (partículas mais pesadas); (9) reservatório de coleta do produto (partículas mais finas).



Fonte: Elaborada pela autora.

CAPÍTULO III

Após a secagem, os pós foram pesados, para efeito de rendimento, e acondicionados em sacos de filme grofado formados da combinação de poliamida e polietileno e, mantidos sob temperatura ambiente.

3.2.3. Determinações analíticas no pó da polpa de manga.

As determinações analíticas realizadas, em triplicata, no pó da polpa de manga foram: umidade (determinada utilizando uma estufa a vácuo a 70°C, sob pressão reduzida, até massa constante) segundo a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2004) e, rendimento determinado através da Equação 3.1:

$$R (\%) = \frac{A}{B} \times 100 \quad (\text{Equação 3.1})$$

Onde:

A = quantidade de produto (pó), em gramas, obtido após o processo menos o resultado da análise de sua umidade;

B = quantidade total, em gramas, de sólidos presentes na polpa de manga mais a maltodextrina adicionada.

3.2.4. Planejamento experimental e análise estatística

Para avaliar a influência das variáveis independentes (vazão do ar quente, velocidade de alimentação, temperatura de entrada do ar e concentração de maltodextrina) sobre as variáveis respostas de teor de umidade e o rendimento do processo no pó obtido, foi elaborado um planejamento composto central rotacional, cujo os valores codificados são apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Variáveis independentes codificadas utilizadas no Spray-dryer durante a secagem.

Variáveis	-2,0	-1,0	0,0	1,0	2,0
Vazão do ar quente (m^3/min) – X_1	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50
Velocidade de alimentação (L/h) – X_2	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70
Temperatura do ar de entrada (°C) – X_3	120,00	130,00	140,00	150,00	160,00
Concentração de maltodextrina (%) – X_4	15,00	20,00	25,00	30,00	35,00

Fonte: Elaborada pela autora.

CAPÍTULO III

Sendo o delineamento anterior não significativo, baseado em uma análise qualitativa, foi elaborado um novo delineamento composto central rotacional 2² completo, tendo como variáveis independentes a vazão de ar quente e a temperatura de entrada do ar sendo o rendimento de processo a variável resposta, totalizando 11 ensaios (Tabela 3.4).

A análise de significância dos efeitos das variáveis independentes sobre as variáveis resposta, foi avaliada através do programa Statistica, versão 7,0 (StatSoft Co., 2007) bem como também a análise de variância (ANOVA) dos resultados obtidos. Neste contexto, o teste F foi empregado como critério de validação da significância estatística dos modelos obtidos ao nível de confiança de 95%.

3.3. Resultados e Discussão

Na Tabela 3.2 encontram-se os ensaios para o planejamento experimental, os resultados médios observados para os parâmetros de umidade e rendimento dos pós de polpa de manga. Onde, pode-se verificar que o melhor rendimento observado, dentre os demais ensaios, foi obtido para o ensaio 16 que foi submetido às seguintes condições de processo: 4,0m³/ min (vazão de ar quente), 0,60L/ h (velocidade de alimentação), 150°C (temperatura de entrada do ar) e 30% (concentração de maltodextrina – p/p).

Na análise de umidade, pode-se verificar uma oscilação de 1,51 a 6,06%, estando dentro dos padrões estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para produtos desidratados que preconiza que produtos de frutas secos ou desidratados devem apresentar no máximo 25% de umidade, sendo este um fator protetor ao desenvolvimento de microorganismos deteriorantes e patogênicos (BRASIL, 2005).

CAPÍTULO III

Tabela 3.2 - Planejamento composto central rotacional utilizado para a secagem e resultados médios observados para os parâmetros de umidade e rendimento do pó da polpa de manga.

Ensaios	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Umidade (%)	Rendimento (%)
01	3,00 (-1,0)	0,40 (-1,0)	130,00 (-1,0)	20,00 (-1,0)	6,06	5,73
02	3,00 (-1,0)	0,40 (-1,0)	130,00 (-1,0)	30,00 (1,0)	5,52	7,69
03	3,00 (-1,0)	0,40 (-1,0)	150,00 (1,0)	20,00 (-1,0)	3,25	16,39
04	3,00 (-1,0)	0,40 (-1,0)	150,00 (1,0)	30,00 (1,0)	2,06	19,53
05	3,00 (-1,0)	0,60 (1,0)	130,00 (-1,0)	20,00 (-1,0)	4,68	16,12
06	3,00 (-1,0)	0,60 (1,0)	130,00 (-1,0)	30,00 (1,0)	2,75	19,91
07	3,00 (-1,0)	0,60 (1,0)	150,00 (1,0)	20,00 (-1,0)	4,12	17,32
08	3,00 (-1,0)	0,60 (1,0)	150,00 (1,0)	30,00 (1,0)	3,64	30,05
09	4,00 (1,0)	0,40 (-1,0)	130,00 (-1,0)	20,00 (-1,0)	3,98	16,86
10	4,00 (1,0)	0,40 (-1,0)	130,00 (-1,0)	30,00 (1,0)	1,80	31,24
11	4,00 (1,0)	0,40 (-1,0)	150,00 (1,0)	20,00 (-1,0)	3,28	21,92
12	4,00 (1,0)	0,40 (-1,0)	150,00 (1,0)	30,00 (1,0)	1,51	33,51
13	4,00 (1,0)	0,60 (1,0)	130,00 (-1,0)	20,00 (-1,0)	3,69	18,45
14	4,00 (1,0)	0,60 (1,0)	130,00 (-1,0)	30,00 (1,0)	1,92	49,14
15	4,00 (1,0)	0,60 (1,0)	150,00 (1,0)	20,00 (-1,0)	3,93	20,96
16	4,00 (1,0)	0,60 (1,0)	150,00 (1,0)	30,00 (1,0)	1,99	69,23
17	2,50 (-2,0)	0,50 (0,0)	140,00 (0,0)	25,00 (0,0)	1,76	22,13
18	4,50 (2,0)	0,50 (0,0)	140,00 (0,0)	25,00 (0,0)	2,56	30,69
19	3,50 (0,0)	0,30 (-2,0)	140,00 (0,0)	25,00 (0,0)	4,35	12,38
20	3,50 (0,0)	0,70 (2,0)	140,00 (0,0)	25,00 (0,0)	2,34	14,71
21	3,50 (0,0)	0,50 (0,0)	120,00 (-2,0)	25,00 (0,0)	2,23	21,91
22	3,50 (0,0)	0,50 (0,0)	160,00 (2,0)	25,00 (0,0)	2,33	25,14
23	3,50 (0,0)	0,50 (0,0)	140,00 (0,0)	15,00 (-2,0)	2,84	22,63
24	3,50 (0,0)	0,50 (0,0)	140,00 (0,0)	35,00 (2,0)	2,97	8,59
25	3,50 (0,0)	0,50 (0,0)	140,00 (0,0)	25,00 (0,0)	3,16	28,96
26	3,50 (0,0)	0,50 (0,0)	140,00 (0,0)	25,00 (0,0)	3,25	29,26
27	3,50 (0,0)	0,50 (0,0)	140,00 (0,0)	25,00 (0,0)	3,07	29,71
28	3,50 (0,0)	0,50 (0,0)	140,00 (0,0)	25,00 (0,0)	3,22	29,16

Fonte: Elaborada pela autora.

CAPÍTULO III

Segundo Ferrari, Ribeiro e Aguirre (2012), na secagem em spray-dryer em geral, o aumento da temperatura de secagem tem resultado em maior perda de água do pó obtido devido a uma maior taxa de transferência de calor sobre as partículas, promovendo grande força motriz para a evaporação de umidade. Esse comportamento foi observado nesta pesquisa e também por outros autores como, por exemplo, Moreira et al. (2009) em seu estudo com suco de acerola em pó produzidos por spray-dryer, Tonon et al (2009) em seu estudo com suco de açaí em pó obtido por spray-dryer e, Quek et al (2007) em sua pesquisa com suco de melancia em pó obtida por spray-dryer.

Tabela 3.3 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t , grau de significância estatística (p) para os fatores do planejamento para rendimento e umidade.

Fatores	Efeito Estimado	Erro Puro	t(3)	p-valor
Umidade				
Vazão (L)	-0,70*	0,03*	-21,55*	0,00*
Vazão (Q)	-0,27*	0,03*	-8,32*	0,00*
Alimentação (L)	-0,40*	0,03*	-12,24*	0,00*
Alimentação (Q)	0,32*	0,03*	9,96*	0,00*
Temperatura (L)	-0,54*	0,03*	-16,51*	0,00*
Temperatura (Q)	-0,21*	0,03*	-6,47*	0,01*
Conc. Maltodextrina (L)	-0,96*	0,03*	-29,68*	0,00*
Conc. Maltodextrina (Q)	0,10	0,03	3,18	0,05
Rendimento				
Vazão do ar quente(L)	12,14*	0,13*	93,75*	0,00*
Vazão do ar quente (Q)	0,19	0,13	1,45	0,24
Alimentação (L)	7,75*	0,13*	59,82*	0,00*
Alimentação (Q)	-6,24*	0,13*	-48,22*	0,00*
Temperatura (L)	5,85*	0,13*	45,19*	0,00*
Temperatura (Q)	-1,26*	0,13*	-9,69*	0,00*
Conc., Maltodextrina (L)	8,20*	0,13*	63,36*	0,00*
Conc. Maltodextrina (Q)	-5,21*	0,13*	-40,25*	0,00*

Fonte: Elaborada pela autora.

* Valores significativos a $p \leq 0,05$; (L): termo linear; (Q): termo quadrático.

CAPÍTULO III

Quanto ao efeito da maltodextrina, de acordo com Abadio et al. (2004) e Quek et al (2007), a adição de maltodextrina antes da secagem em spray-dryer aumenta o conteúdo de sólidos totais na mistura a ser alimentada no spray-dryer, reduzindo a quantidade de água a ser evaporada, o que acarreta a diminuição da umidade dos pós produzidos.

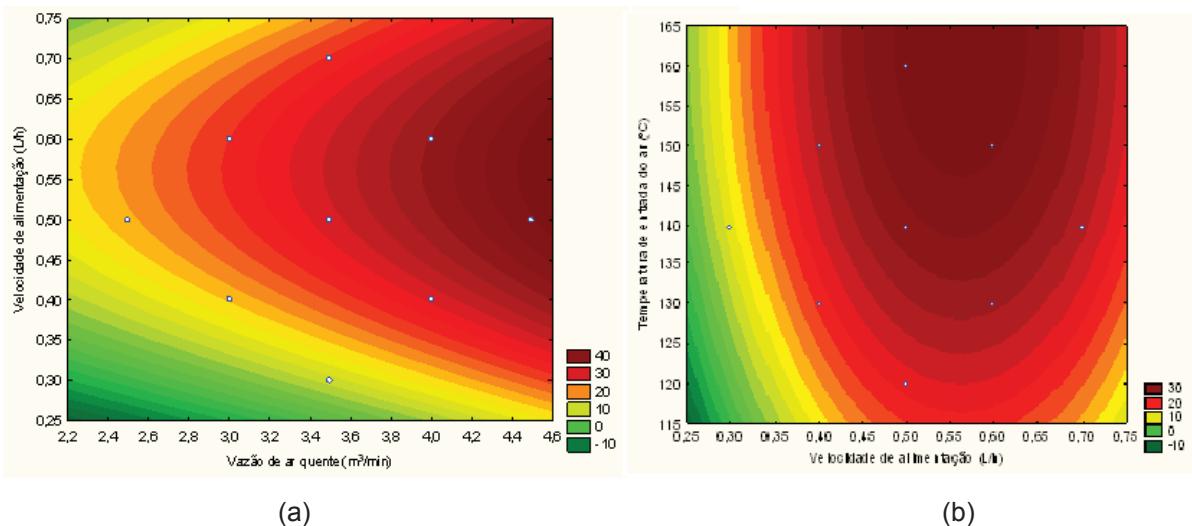
Apesar de terem sido observados teores bastante diferentes para as variáveis respostas de umidade e rendimento, não foi possível obter um modelo preditivo para estas variáveis uma vez que os coeficientes de correlação (R^2) foram de 0,58 e 0,51 respectivamente e, o teste F mostrou valores de $F_{calculado}$ inferiores aos valores de $F_{tabelado}$ para a análise de regressão, com 95% de confiança, não sendo estatisticamente significativo o delineamento utilizado.

Em relação aos efeitos dos fatores lineares e quadráticos de umidade e rendimento encontrados na Tabela 3.3, pode-se observar que apenas os efeitos dos fatores quadráticos da concentração de maltodextrina e da vazão de ar quente não foram significativos sobre as respostas de umidade e rendimento, respectivamente.

Como os modelos empíricos não foram preditivos e, em todos os 28 ensaios realizados foram obtidos teores de umidade inferiores ao teor máximo preconizado pela legislação vigente para frutas desidratadas. Fez-se uma análise qualitativa através dos efeitos, observando as curvas de contorno apenas para a variável de rendimento, apresentada nas Figuras 3.2, 3.3 e 3.4.

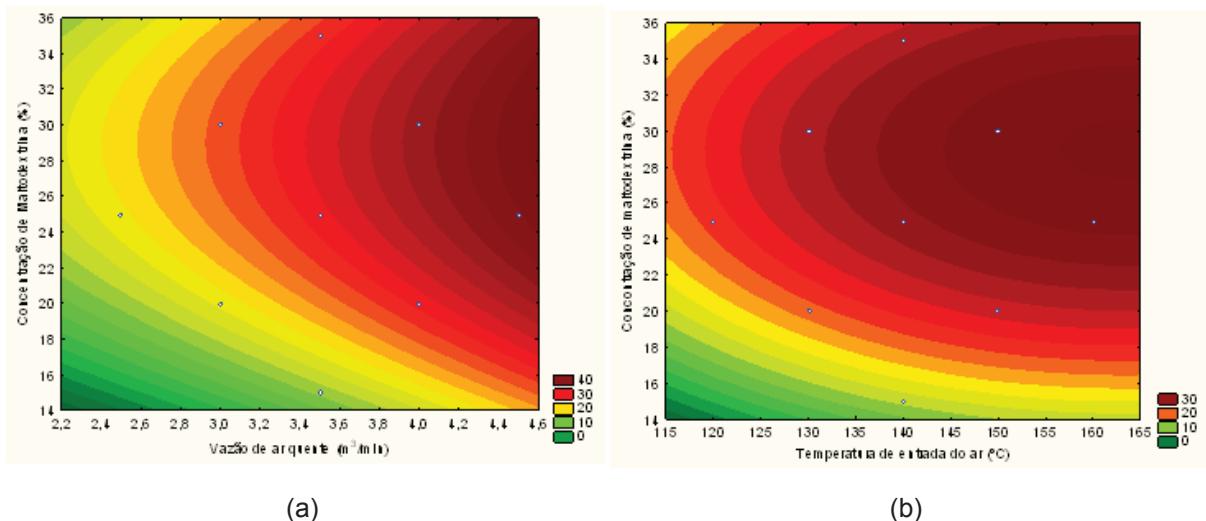
Na Figura 3.2 observa-se que quanto maior vazão de ar quente (a) e maior a temperatura de entrada do ar (b) versus a velocidade de alimentação, maior é o rendimento do processo. Já para a velocidade de alimentação, em ambas as curvas (a e b), observa-se que até uma determinada velocidade de alimentação, em torno de 0,55L/ h, o rendimento aumentava, porém a partir deste valor, o aumento desta velocidade ocasionava uma redução no referido rendimento do processo.

Figura 3.2 – Curvas de contorno que representam os efeitos da vazão de ar quente e a velocidade de alimentação (a) e temperatura de entrada do ar e velocidade de alimentação (b) sobre o rendimento de processo.



Para a interação entre a vazão de ar quente e a concentração de maltodextrina (a) e temperatura de entrada do ar e concentração de maltodextrina (b), observa-se novamente que quanto mais aumentamos tanto a vazão de ar quente quanto a temperatura de entrada do ar, o rendimento também é aumentado. Já, para a concentração de maltodextrina, verifica-se o mesmo comportamento observado para a variável da velocidade de alimentação, pois até, em torno de 30% de maltodextrina adicionada, o rendimento aumentava, porém a partir deste valor, o aumento desta concentração ocasiona uma redução no referido rendimento do processo, conforme pode ser observado na Figura 3.3.

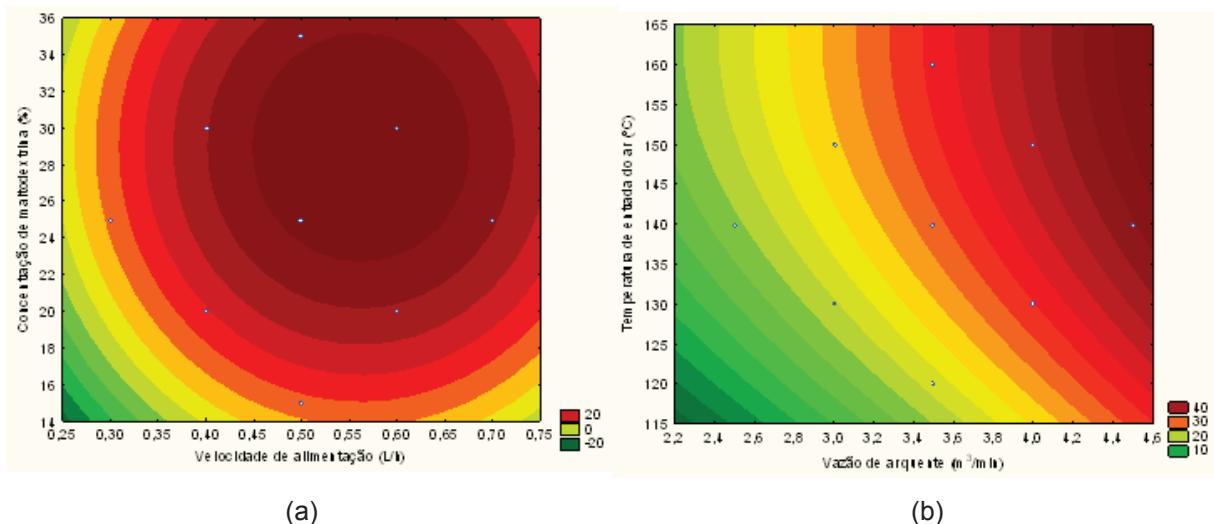
Figura 3.3 – Curvas de contorno que representam os efeitos da vazão de ar quente e a concentração de maltodextrina (a) e temperatura de entrada do ar e concentração de maltodextrina (b) sobre o rendimento de processo.



Na interação entre as variáveis independentes de velocidade de alimentação e concentração de maltodextrina (Figura 3.4a), observa-se que a faixa ótima de rendimento do processo encontra-se com a concentração de maltodextrina em torno de 30% (fato também observado na Tabela 3.2, ensaio 16, onde observa-se o maior rendimento encontrado), e a velocidade de alimentação de 0,55L/ h.

Ainda na Figura 3.4, curvas de contorno b, como também as curvas apresentadas nas Figuras 3.2 e 3.3, verifica-se que com um aumento, tanto na vazão de ar quente quanto na temperatura de entrada de ar, ocorre um acréscimo no rendimento de processo. Vale ressaltar ainda que observando a vazão de ar quente verifica-se que, no novo delineamento é interessante a redução da faixa de análise, pois os maiores rendimentos encontram-se com valor de vazão de ar quente superiores a 3,2m³/ min e, uma ampliação da faixa de análise da temperatura pois, observa-se que o rendimento continua aumentando com o aumento da mesma.

Figura 3.4 – Curvas de contorno que representam os efeitos da velocidade de alimentação e a concentração de maltodextrina (a) e da vazão de ar quente e a temperatura de entrada do ar (b) sobre o rendimento de processo.



Diante da análise qualitativa realizada dos efeitos das variáveis independentes sobre a variável resposta de rendimento de processo, para a elaboração de um novo delineamento, fixaram-se as variáveis de velocidade de alimentação em 0,55L/ h e concentração de maltodextrina em 30% e, elaborou-se um delineamento composto central rotacional 2^2 completo, com 4 pontos fatoriais, 3 pontos centrais e 4 pontos axiais, totalizando 11 ensaios, ampliando-se a faixa de análise para a temperatura de entrada do ar e, diminui-se a faixa de análise para a vazão de ar quente, conforme Tabelas 3.4 e 3.5 que apresentam os valores das variáveis independentes codificadas e os ensaios para o planejamento experimental, respectivamente.

Tabela 3.4 - Variáveis independentes codificadas utilizadas no Spray-dryer durante a secagem.

Variáveis	-1,41	-1,0	0,0	1,0	1,41
Vazão do ar quente (m^3/ min) – X_1	3,04	3,25	3,75	4,25	4,46
Temperatura do ar de entrada ($^{\circ}C$) – X_3	122,00	130,00	150,00	170,00	178,00

Fonte: Elaborada pela autora.

CAPÍTULO III

Tabela 3.5 - Planejamento composto central rotacional e resultados médios do parâmetro de rendimento do pó da polpa de manga.

Ensaios	X ₁	X ₂	Rendimento (%)
A	3,25 (-1,00)	130,00 (-1,00)	16,99
B	3,25 (-1,00)	170,00 (1,00)	83,19
C	4,25 (1,00)	130,00 (-1,00)	52,31
D	4,25 (1,00)	170,00 (1,00)	88,49
E	3,04 (-1,41)	150,00 (0,00)	75,68
F	4,46 (1,41)	150,00 (0,00)	74,23
G	3,75 (0,00)	122,00 (-1,41)	2,89
H	3,75 (0,00)	178,00 (1,41)	98,23
I	3,75 (0,00)	150,00 (0,00)	73,76
J	3,75 (0,00)	150,00 (0,00)	82,88
K	3,75 (0,00)	150,00 (0,00)	72,39

Fonte: Elaborada pela autora.

X₁ = vazão do ar quente (L/ min) e X₂ = temperatura de entrada do ar (°C).

De acordo com a Tabela 3.5, os valores de rendimento variaram de 2,89% (Ensaio G) a 98,23% (Ensaio H) onde, pode-se observar que, este dois ensaios utilizaram o mesmo valor da vazão de ar quente, demonstrando um grande efeito da temperatura sobre o rendimento, resultado também observado na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t, grau de significância estatística (p) para os fatores do modelo codificado para rendimento.

Fatores	Efeito Estimado	Erro Puro	t (2)	p-valor
Vazão do ar quente(L)	9,60	4,02	2,39	0,14
Vazão do ar quente (Q)	-2,49	4,76	-0,52	0,65
Temperatura (L)	59,56*	4,05*	14,70*	0,01*
Temperatura (Q)	-27,49*	4,88*	-5,64*	0,03

Fonte: Elaborada pela autora.

* Valores significativos a p ≤ 0,05; (L): termo linear; (Q): termo quadrático.

CAPÍTULO III

O efeito da temperatura (Tabela 3.6) pode ser explicado pela maior eficiência no processo de transferência de calor e massa que ocorre quando maiores temperaturas de secagem são utilizadas. De acordo com Goula e Adamopoulos (2005), temperaturas elevadas aumentam as taxas de secagem, resultando em partículas mais secas ao colidirem com a parede interna da câmara. Isto, por sua vez, acarreta em menor aderência do produto no interior do equipamento, levando a maiores rendimentos de pó.

Na Tabela 3.7 são apresentados os resultados da análise de variância (ANOVA) ao nível de confiança de 95% para a variável resposta (rendimento), revelando que o modelo ajustado foi significante de acordo com a análise do teste F, com coeficiente de correlação de 0,95 e mostrando um valor de $F_{calculado}$ de 19,12 superior ao valor de $F_{tabelado} = 5,05$ para a regressão e um valor de $F_{calculado}$ de 3,90 inferior ao valor de $F_{tabelado} = 19,16$ para a falta de ajuste.

Segundo Barros Neto, Scarminio e Bruns (2001) para o valor de F da regressão, se a razão de $F_{calculado}/ F_{tabelado}$ for maior que 1, o modelo é estatisticamente significativo e, se maior que 5, modelo é, além de significativo, preditivo. Já para o valor de F da falta de ajuste, segundo os mesmos autores, a razão de $F_{calculado}/ F_{tabelado}$ deve ser menor que 1 para que a mesma não seja significativa, visto que, a falta de ajuste do modelo é a parte que se refere às falhas do modelo em se ajustar aos dados experimentais.

Tabela 3.7 - Análise de variância para o parâmetro de rendimento (%) do pó da polpa de manga.

Fonte de variação	Soma	GL	Média quadrática	Valor de F	F_{cal}/F_{tab}
	quadrática				
Ressagem	8512,42	5	1702,48	19,12	3,79
Residual	445,10	5	89,02	-	-
Falta de Ajuste	380,07	3	126,69	3,90	0,20
Erro Puro	65,03	2	32,52		
Total	8957,52	10			

Fonte: Elaborada pela autora.
 $F_{tab} = 5,05$

CAPÍTULO III

A Equação 3.2 apresenta o modelo empírico calculado a partir dos dados das variáveis independentes (vazão de ar quente e temperatura de entrada do ar) e do rendimento (variável resposta), utilizando os recursos do software *Statistica 7.0*.

$$\text{Rendimento} = -1448,18 + 159,50x - 4,98x^2 + 14,61y - 0,03y^2 - 0,75xy \quad [\text{Equação 3.2}]$$

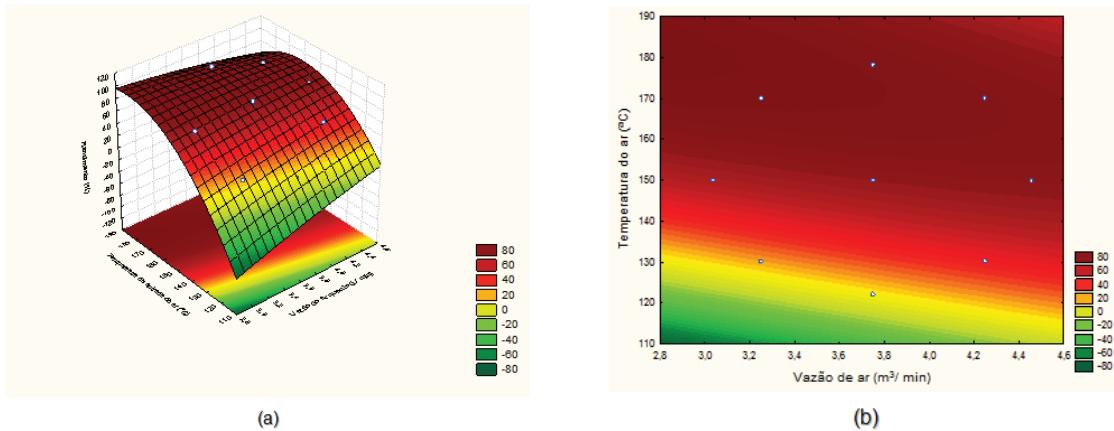
Onde:

X = vazão de ar quente (m^3/min);

Y = Temperatura de entrada do ar ($^{\circ}\text{C}$).

A Figura 3.5 mostra a superfície de resposta (a) e a curva de contorno (b) gerada através do modelo proposto para a variável resposta de rendimento, onde se pode observar uma região ótima de processo.

Figura 3.5 - Superfície de resposta (a) e curva de contorno para a variável resposta de rendimento, em função das variáveis independentes (vazão de ar quente e temperatura de entrada do ar) para o pó da polpa de manga.



Fonte: Elaborada pela autora.

A Figura 3.5 descreve a variação da variável resposta (rendimento) em função das variáveis independentes (vazão de ar quente e temperatura de entrada do ar) do processo. Pode-se observar que a variável temperatura de entrada do ar exerceu uma maior influencia sobre a resposta e que a associação de valores maiores de

CAPÍTULO III

temperatura de entrada do ar e vazão de ar quente favorece o aumento do rendimento.

3.4. Conclusões

O delineamento inicial aplicado não foi estatisticamente significativo ao nível de confiança de 95%, sendo possível apenas realizar uma análise qualitativa através dos efeitos para a elaboração de um novo delineamento.

Houve diferença significativa, ao nível de confiança de 95%, no segundo planejamento utilizado, revelando que o modelo foi ajustado de acordo com a análise do teste F.

Recomendo o ensaio H para dar continuidade à pesquisa, seguindo os seguintes parâmetros: vazão de ar quente ($3,75\text{m}^3/\text{min}$), temperatura de entrada do ar (178°C), velocidade de alimentação ($0,55\text{L}/\text{h}$) e concentração de maltodextrina (30%).

CAPÍTULO III

3.5. Referências Bibliográficas

ABADIO, F. D. B.; DOMINGUES, A. M.; BORGES, S. V.; OLIVEIRA, V. M. Physical properties of powdered pineapple (*Ananás comosus*) juice - effect of malt dextrin concentration and atomization speed. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 64, n. 3, p. 285-287, 2004.

ADHIKARI, B.; HOWES, T.; BHANDARI, B. R.; TROUNG, V. Effect of addition of maltodextrin on drying kinetics and stickiness of sugar and acid-rich foods during convective drying: experiments and modelling. **Journal of Food Engineering**, v.62, p.53-68, 2004.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. **Planejamento e otimização de experimentos**. Campinas: Editora Unicamp, 2^a edição, 2001. 300p.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 272, de 22 de setembro de 2005. Dispõe sobre o “Regulamento Técnico para produtos de vegetais, produtos de frutas e cogumelos comestíveis”, **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2005.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: I. The effect on product recovery. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 1,p.25-34, 2005.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal**. 2011. Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?z=t&o=11&i=P&c=1613>>. Acesso em 28 de fevereiro de 2013.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ, **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4^a edição/ 1^a Edição digital. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2004. 1020p.

CAPÍTULO III

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

MOREIRA, G. E. G.; COSTA, M. G. M.; SOUZA, A. C. R.; BRITO, E. S.; MEDEIROS, M. F. D.; AZEREDO, H. M. C. Physical properties of spray dried acerola pomace extract as affected by temperature and drying aids. **LWT – Food Science and Technology**, Zurich, v. 42, n. 2, p. 641-645, 2009.

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

TONON, R.V. et al. Water sorption and glass transition temperature of spray-dried acai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 94, p. 215 - 221, 2009.

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

CAPÍTULO IV: CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, ISOTERMAS DE ADSORÇÃO E AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DO PÓ DA POLPA DE MANGA OBTIDA PELO PROCESSO EM SPRAY-DRYER.**4.1. Introdução**

O Brasil possui área privilegiada no que diz respeito à produção de frutas, devido a sua grande extensão territorial e por reunir condições climáticas favoráveis para a fruticultura. A fruticultura é hoje um dos segmentos de maior importância da agricultura nacional, respondendo por mais de 35% da produção agrícola. E, a região Nordeste vem se destacando na produção de frutas como a manga, pois as condições climatológicas são muito mais favoráveis do que nas regiões sul e sudeste do Brasil (MACHADO, 2009).

É importante salientar que a qualidade e a vida útil de produtos em pó, como o pó da polpa de manga obtido nesta pesquisa, têm uma forte ligação com a concentração e mobilidade da água presente em sua estrutura, pois a água exerce grande influência tanto sobre o crescimento microbiano quanto sobre a palatabilidade, digestibilidade, estrutura física e o manuseio.

O estudo da atividade de água pode ser feito mediante a avaliação de isotermas, que são curvas que descrevem a relação entre o conteúdo de umidade dos alimentos e a atividade de água (a_w) para temperatura e pressão constantes. As isotermas de sorção (adsorção e dessorção) de umidade têm aplicação na predição do tempo de secagem, da vida de prateleira, na determinação do tipo de embalagem e na caracterização do produto, inclusive quando o mesmo é constituído por componentes de atividade de água diferentes (ALEXANDRE *et al.*, 2007).

Este capítulo teve como objetivos fazer uma caracterização físico-química do pó da polpa de manga, avaliar seu comportamento higroscópico por meio de modelos matemáticos aplicados as isotermas de adsorção e, verificar a estabilidade deste pó durante 180 dias.

4.2. Material e Métodos

4.2.1. Matéria-prima

Foi utilizado como matéria-prima o pó da polpa de manga obtida por atomização em um Spray-dryer com a utilização de um bico aspersor de 1,2mm de diâmetro de abertura e, as seguintes variáveis de processo: vazão de ar quente ($3,75\text{m}^3/\text{min}$), velocidade de alimentação (0,55L/ h), temperatura de entrada do ar (178°C), concentração de maltodextrina 20 DE (30%), velocidade do ar (3,0L/ min), pressão de atomização (100 psi).

4.2.2. Embalagem para armazenamento do pó da polpa de manga.

Foram utilizadas nesta pesquisa dois tipos de embalagem (Figura 4.1) para verificar a influência das mesmas na estabilidade do pó da polpa de manga onde: a primeira foram sacos laminados formados pela junção de Alumínio/PET 17g/ m^2 + ADES 2g + Alumínio 21,6 + ADES 2g + Filme PE 80g/ m^2 , nas dimensões de 180cm x 80cm e, a segunda foram sacos de filmes transparente grofado formados da combinação de PA (Poliamida) + PE (Polietileno) para embalar a vácuo, da marca Fun Kitchen, modelo BR 2205, nas dimensões de 22cm x 500cm. Ambas as embalagens, após a adição do pó obtido, foram armazenadas em ambiente sem a presença de luz.

Figura 4.1 - Embalagens utilizadas nesta pesquisa.



Fonte: Elaborada pela autora.

4.2.3. Determinações analíticas

Todas as determinações físico-químicas tanto na polpa de manga quanto no pó obtido da referida polpa de manga foram realizadas em triplicata.

4.2.3.1. Atividade de água

A determinação da atividade de água do pó da polpa de manga foi realizada utilizando um medidor de atividade de água, modelo AQUALab 4TEV nas temperaturas de 25º, 30º, 35º e 40ºC, conforme indicações do fabricante.

4.2.3.2. Umidade

A análise de umidade seguiu as normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2004), onde foram pesados aproximadamente 2g das amostras em cadinhos previamente tarado (aquecidos em estufa a 105ºC por 1 hora, resfriados em dessecador a temperatura ambiente e pesados) e, aquecidas durante 6 horas em estufa a vácuo a 70ºC, sob pressão reduzida, resfriada em dessecador até temperatura ambiente e, então, foi realizada a pesagem. Esta operação foi repetida até peso constante. O resultado foi obtido através da equação 4.1:

$$U (\%) = \frac{100 \times N}{P} \quad [\text{Equação 4.1}]$$

Onde:

U = umidade a 70ºC, em porcentagem (%),

N = nº de gramas de umidade (perda de massa em gramas)

P = nº de gramas da amostra

4.2.3.3. pH

Para as medidas de pH, determinadas através de leitura em pHmômetro, previamente calibrado em soluções tampão de pH 4,0 e 7,0, foi pesado 10g da amostra que foi posteriormente diluída com auxílio de 100mL de água destilada sob agitação até completa dissolução ou até que as partículas ficassem uniformemente suspensas conforme as normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2004).

4.2.3.4. Acidez Titulável

Para a realização da análise de acidez total titulável, foi pesado aproximadamente 1g da amostra em um erlenmeyer de 125mL que foi posteriormente diluída em 50mL de água e, colocada para agitar por 1 minuto para dissolução da amostra. Após, titulou-se com solução de NaOH 0,1N, usando 3 gotas da solução de fenolftaleína como indicador, sob agitação constante até coloração persistente por 30 segundos, conforme descrito pelas normas do Instituto Adolfo Lutz (2004). Os resultados foram expressos em g/ 100g de ácido cítrico.

4.2.3.5. Sólidos solúveis

Após a diluição 1:10 (pó:água destilada), a leitura dos sólidos solúveis foram determinados por refratometria medida em °Brix a 20°C, segundo as normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2004) sendo feita as devidas correções no valores finais de acordo com a diluição utilizada.

4.2.3.6. Ácido Ascórbico

O teor de ácido ascórbico foi obtido por titulometria usando a solução de DFI (2,6 dicloro-fenol-indofenol 0,02%) até coloração róseo claro permanente conforme AOAC (2005). Onde, inicialmente, foram pesados 0,1g da amostra em um Becker e adicionado uma pequena quantidade de ácido oxálico. Posteriormente, este conteúdo foi transferido para um balão volumétrico de 100mL e o volume completado com ácido oxálico. Desta diluição foi retirada uma alíquota de 5mL para

um erlenmeyer, adicionado 45mL de água destilada e, então, titulado com DFI até coloração róseo claro persistente. Os resultados foram expressos em miligramas de ácido ascórbico/ 100mL de amostra.

4.2.3.7. Carotenoides

Para a análise dos carotenoides, foi pesado 2,0g da amostra que foi posteriormente diluída na proporção de 1:10 (pó:água destilada) e acrescentou-se 18mL de solução de acetona 80%. A amostra foi homogeneizada em mixer, e filtrada posteriormente em ambiente sem iluminação. Fez-se a leitura em espectrofotômetro, nos comprimentos de onda de 470nm, 663nm e 646nm, conforme a metodologia de Lichtenthaler (1987), sendo o resultado expresso em mg/ 100g e, calculados através da equação 4.2:

$$\text{Carotenoides (C)} = [1000 \times A_{470} - (1,82 \times Ca + 85,02 \times Cb)]/198 \quad [\text{Equação 4.2}]$$

Onde:

$$\text{Clorofila a (Ca)} = 12,25 \times A_{663} - 2,79 \times A_{646} \quad [\text{Equação 4.3}]$$

$$\text{Clorofila b (Cb)} = 21,50 \times A_{646} - 5,10 \times A_{663} \quad [\text{Equação 4.4}]$$

A_{663} = Absorbância no comprimento de onda de 663 para clorofila a

A_{646} = Absorbância no comprimento de onda de 663 para clorofila b

A_{470} = Absorbância no comprimento de onda de 663 para carotenoide total.

4.2.3.8. Açúcares redutores e totais

Para a determinação de açúcares redutores e não redutores foi utilizado o método descrito por Noeling e Bernfeld (1984), o qual consiste na reação da amostra com o reagente de DNS, onde com o aquecimento da amostra de açúcar redutor a 100°C por 5 minutos ocorre à alteração da coloração amarelo-alaranjada inicial do DNS, para uma escala cromática que vai do amarelo ao marrom dependendo da concentração de açúcares redutores na amostra. Para a determinação das concentrações de açúcares na amostra foi obtida uma curva de calibração a partir de soluções de glicose padrão em concentrações conhecidas

(faixa de 0,2 a 0,8g/ L). Esta curva de calibração é uma reta determinada através de regressão linear.

A curva de calibração foi determinada adicionando-se em 05 tubos de ensaio com rosca: glicose, água destilada e DNS, conforme a Tabela 4.1 e, a leitura da absorbância foi realização em espectrofotômetro com comprimento de onda de 540nm.

Tabela 4.1 - Preparação das soluções para a determinação da curva de calibração dos açúcares.

Tubos (nº)	Glicose 10Mm	Água Destilada	Reagente DNS (mL)	Água destilada após resfriamento
1 (padrão)	0,0	1,5	1,0	7,5
2	0,2	1,3	1,0	7,7
3	0,4	1,1	1,0	7,9
4	0,6	0,9	1,0	8,1
5	0,8	0,7	1,0	8,3

Fonte: Miller, 1959.

Para o preparo do reagente de DNS o procedimento foi dividido em duas etapas, onde na primeira etapa foi dissolvido 2,5g de DNS (ácido 3,5 – dinitrosalicílico) em 50mL de NaOH (2N) e 40mL de água destilada (Reagente A). Já na segunda etapa, foi pesado 75g de tartarato de sódio e potássio (Sal de Rochelle) e adicionado 125mL de água destilada sob agitação e aquecimento até dissolução total (Reagente B). Posteriormente, foi adicionado o reagente (A) sobre o reagente (B) e, homogeneizado sob aquecimento até dissolver completamente. Após dissolução total, resfriou-se a solução em banho de gelo e, transferiu-se para um balão volumétrico de 250mL, aferindo-se com água destilada.

Para a análise de açúcares redutores, foi pesado, em um Becker, aproximadamente 0,5g da amostra em pó e adicionado 40mL de água destilada. Esta solução foi levada a banho-maria a 70°C por 5 minutos e, depois resfriada em banho de gelo. Após resfriamento, a solução foi transferida para um balão volumétrico de 100mL, aferida com água destilada e filtrada com papel de filtro para

um Becker. Posteriormente, a obtenção do filtrado, foram separados 04 tubos de ensaio com rosca para cada repetição, onde no tubo padrão (branco) foi adicionado 1mL de DNS e 1,5mL de água destilada e, nos outros tubos, foi adicionado 1mL de DNS, 1mL de água destilada e 0,5mL do filtrado. Todos os tubos foram homogeneizados e levados a banho-maria a 100°C por 5 minutos, fazendo-se o resfriamento através de banho de gelo. Com os tubos já resfriados, adicionou-se 7,5mL de água destilada em cada tubo, homogeneizou-se os tubos com o auxílio de um agitador e fez-se a leitura no espectrofotômetro a 540nm.

Para a análise de açúcares totais, foi colocado 25mL do filtrado em um Becker e adicionado (na capela) 2mL de ácido clorídrico concentrado P.A. Esta solução foi a aquecimento em banho-maria (70 – 80°C) por 30 minutos e, resfriado em banho de gelo. Após resfriamento, a solução foi neutralizada com NaOH (20%), com auxílio de um papel de pH e, transferida para um balão volumétrico de 50mL aferindo-se com água destilada até o menisco. Separou-se 03 tubos de ensaio com rosca para cada repetição onde foi adicionado, 1mL de DNS, 0,5mL de água destilada e 1mL do conteúdo do balão volumétrico. Fez-se a homogeneização em agitador de tubos, levou-se a aquecimento em banho-maria (100°C) por 5 minutos e, resfriou-se as amostras em banho de gelo. Completado o resfriamento, foi adicionado 7,5mL de água destilada em cada tubo, homogeneizou-se e fez-se a leitura em espectrofotômetro a 540nm. Sendo os resultados foram expressos em porcentagem (%).

4.2.3.9. Cor

A determinação dos parâmetros para análise de cor foi realizada usando um colorímetro Konica Minolta spectrophotometer modelo CR410 com a determinação no modo CIE L*a*b* que inclui as variáveis L*, a*, b*, Chroma (C*), ângulo Hue (H_0^*) (Figura 4.2). Onde L* é uma medida da luminosidade de um objeto e varia do 0 (para o preto) até o 100 (para o branco), a* é uma medida do vermelho (a* positivo) ou do verde (a* negativo); b* é uma medida do amarelo (b* positivo) ou do azul (b* negativo). A partir destas coordenadas, foi calculadas as coordenadas cilíndricas C*, H_0^* e $\Delta EL^*a^*b^*$ (Equações 4.5, 4.6 e 4.7), onde C* define o a saturação, H_0^* representa o ângulo de tom e $\Delta EL^*a^*b^*$ define a diferença de cor.

$$H_0 = \tan^{-1} \left[b^*/a^* \right] \quad [\text{Equação 4.5}]$$

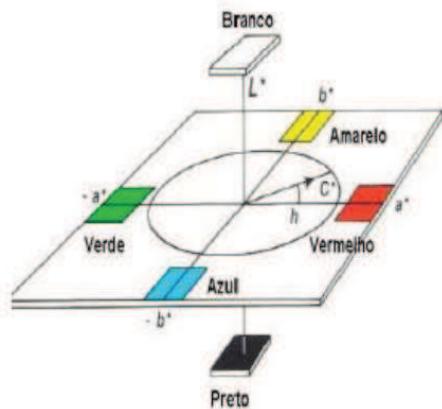
$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad [\text{Equação 4.6}]$$

$$\Delta E L^* a^* b^* = \sqrt{[(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2]} \quad [\text{Equação 4.7}]$$

Onde:

L^* e L_0^* são as luminosidades das amostras secas e frescas, respectivamente;
 a^* e a_0^* são as intensidades de cor vermelha das amostras secas e frescas, respectivamente;
 b^* e b_0^* são as intensidades de cor amarela das amostras secas e frescas, respectivamente.

Figura 4.2 - Coordenadas do sistema CIE Lab de cor.



Fonte: HunterLab, 1978.

4.2.3.10. Higroscopicidade

Já a análise de higroscopicidade foi determinada a partir da metodologia A14a, descrita por GEA Niro Research Laboratory (2003), no qual consiste em expor o pó, espalhado uniformemente sobre uma placa de Petri e, colocado em um dessecador com uma umidade relativa de ar (UR) de 79,5%, sendo verificado o aumento de peso a cada 10 min. até que um peso constante seja atingido. O cálculo da higroscopicidade é dado pela equação descrita abaixo:

$$\% \text{ Higroscopicidade} = \frac{(\% \text{WI} + \% \text{ FW}) \times 100}{100 + \% \text{ WI}} \quad [\text{Equação 4.8}]$$

Onde:

%FW= % de água livre;

%WI = ((c - b) / (b - a)) x 100;

a = peso da placa (g);

b = peso da placa + pó (g);

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

Tabela 4.2 - Padrões da higroscopicidade.

Higroscopicidade	Porcentagem (%)
Não higroscópico	<10%
Ligeiramente higroscópico	10,1 – 15%
Higroscópico	15,1 – 20%
Muito higroscópico	20,1 – 25%
Extremamente higroscópico	>25%

Fonte: GEA Niro Research Laboratory, 2003.

4.2.3.11. Grau de caking

A análise de grau de *caking* foi determinada a partir da metodologia A 15a, descrita por GEA Niro Research Laboratory (2003), no qual consiste expor o pó para absorver a umidade do ar, com 79,5% de umidade relativa até atingir o equilíbrio, tal como descrito na metodologia para análise de higroscopicidade. Em seguida, o pó foi seco em estufa a 105°C e, peneirado em condições padrão (peneira com malha de 500µm e agitação manual por 5 minutos). O que ficou retido na peneira foi expresso como grau de *caking*. O cálculo do grau de *caking* é dado pela equação 4.9:

$$\% \text{ Grau de } caking = b \times 100/a \quad [\text{Equação 4.9}]$$

Onde:

a= gramas do pó utilizado;

b= gramas de pó retido na peneira.

Tabela 4.3 - Padrões do grau de caking.

Grau de caking	Porcentagem (%)
Não há formação de <i>caking</i>	<10%
Ligeira formação de <i>caking</i>	10,1 – 20%
Pó com formação de <i>caking</i>	20,1 – 50%
Pó com muita formação de <i>caking</i>	>50%
Pó com extrema formação de <i>caking</i>	100%

Fonte: GEA Niro Research Laboratory, 2003.

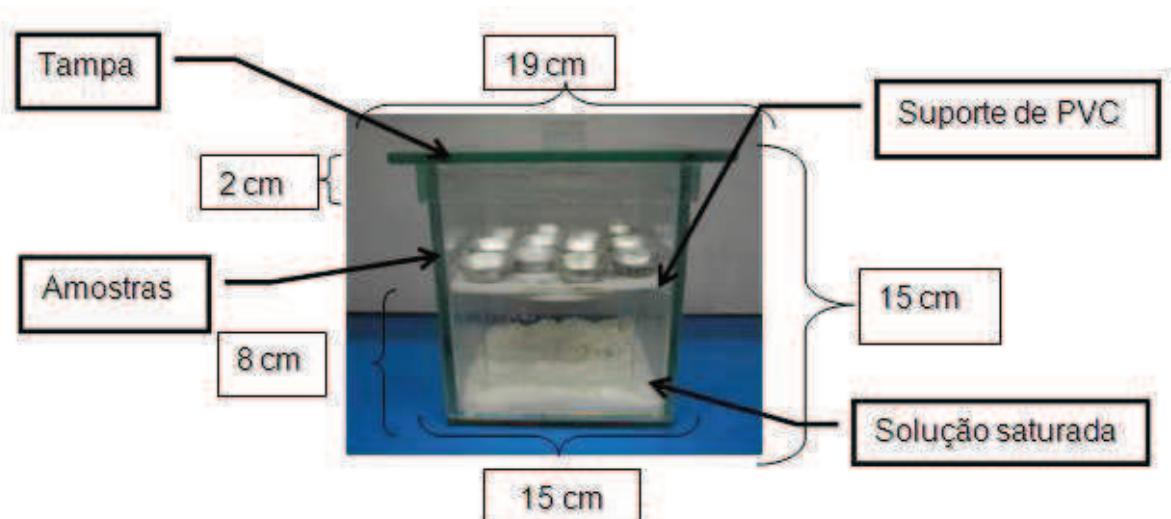
4.2.3.12. Reidratação

A análise de reidratação seguiu metodologia descrita por Goula e Adamodoulos (2010), que consistiu em pesar aproximadamente 2,0g da amostra em um becker de 100ml e, adicionar 50ml de água destilada, mantendo sob agitação a 811,7rpm, tendo o tempo cronometrado desde a adição da água. Vale ressaltar que este tempo teve uma pausa a cada 30s, para verificação, até a completa reidratação do pó.

4.2.3.13. Construção das isotermas de adsorção

Para as determinações das isotermas de adsorção, foram pesadas amostras de 0,2g, em triplicatas, em cadinhos de alumínio, previamente tarados. Os cadinhos posteriormente foram colocados sobre um suporte dentro de células de vidro fechadas, contendo soluções saturadas de sais (CH_3COOK - 21%, K_2CO_3 - 44%, NaBr - 58%, SnCl_2 - 76%, KCl - 84%, BaCl_2 - 90%) a temperatura de $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$. As soluções de sais foram preparadas e colocadas em recipientes de vidro temperado fechados com silicone, denominados de células (Figura 4.3).

Figura 4.3 - Representação esquemática de uma célula utilizada para determinar as isotermas de adsorção.



Fonte: Souza, 2007.

O processo foi acompanhado por pesagens das amostras a cada 24 horas até que estas tivessem atingido o equilíbrio, ou seja, até que não houvesse mais variação de massa, detectada através de pesagem numa balança analítica modelo B- TEC- 210A marca Tecnal. Após a detecção desse equilíbrio foi medida a a_w em diferentes temperaturas (25° , 30° , 35° e 40°C). E posteriormente foram pesadas e levadas à estufa para determinação da massa seca de cada amostra.

A umidade de equilíbrio (X_{eq}) foi calculada pela diferença entre a massa que a amostra apresentou no equilíbrio e sua massa seca inicial através da equação 4.10.

$$X_{eq} = \frac{M_o - M_s}{M_s} \quad [Equação\ 4.10]$$

Onde,

X_{eq} = umidade de equilíbrio (g/ g em base seca);

M_o = massa da amostra no equilíbrio (g);

M_s = massa da amostra seca (g).

Para o ajuste matemático dos dados experimentais das isotermas de adsorção foram utilizados os modelos matemáticos de: BRUNAUER, EMMET E TELLER (BET); GUGGENHEIM- ANDERSON-DE BOER (GAB); HENDERSON; OSWIN, representados, respectivamente, pelas equações 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4 apresentadas no capítulo II:

Os valores do erro (E) foram calculados de acordo com a equação 4.11, segundo Toloba et al., (2004):

$$E = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|(M_i - M_{pi})|}{M_i} \quad [Equação\ 4.11]$$

Onde:

E = erro médio relativo;

M_i = valores obtidos experimentalmente;

M_{pi} = valores preditos pelo modelo;

n = número de dados experimentais.

4.2.4. Estudo da Estabilidade

Após a caracterização físico-química realizada tanto na polpa de manga como do pó obtido da polpa de manga, foi realizado um estudo sobre o efeito das condições de armazenamento sobre a estabilidade do pó da polpa de manga. Sendo realizadas as determinações analíticas supracitadas em intervalos de 30 dias, por um período de 180 dias.

4.2.5. Análise estatística

A análise de variância das determinações analíticas realizadas foi avaliada através do programa Statistica, versão 7,0 (StatSoft Co., 2007) assim como para realizar os procedimentos de otimização gráfica. Neste contexto, o teste F foi empregado como critério de validação da significância estatística dos modelos obtidos ao nível de confiança de 95%.

4.3. Resultados e Discussão

4.3.1. Caracterização da polpa de manga e do pó da polpa de manga

Na Tabela 4.4 são apresentados os resultados das análises físico-químicas no que concernem aos parâmetros de umidade, pH, acidez, sólidos solúveis e cor, tanto para a polpa integral de manga quanto para o pó da polpa de manga. Onde, verifica-se que a polpa de manga apresentou todos os parâmetros analisados de acordo com os teores preconizados pelos Padrões de Identidade e Qualidade para polpa de manga (BRASIL, 2000).

Tabela 4.4 - Caracterização físico-química da polpa de manga e do pó da polpa de manga.

Parâmetros Analisados	Polpa integral de	Pó da polpa de
	manga	manga
Umidade (%)	85,57a ± 0,74	1,58b ± 0,15
pH	3,79a ± 0,01	4,01b ± 0,03
Acidez (%)	0,44a ± 0,04	0,78b ± 0,02
Sólidos Solúveis (°Brix)	14,27a ± 0,12	94,50b ± 0,55
L*	50,82a ± 0,05	52,56b ± 0,20
a*	7,70a ± 0,03	-0,18b ± 0,06
b*	24,96a ± 0,01	9,32b ± 0,02
Cor		
H ₀	72,87a ± 0,05	88,89b ± 0,36
C*	26,11a ± 0,01	9,32b ± 0,02
ΔE*	-	17,60 ± 0,03

Fonte: Elaborada pela autora.

Médias seguidas da mesma letra na linha, não diferem entre si, segundo o teste F a 95% de confiança.

Um dos fatores de proteção ao desenvolvimento de microrganismos deteriorantes e patogênicos é o teor de umidade e, o pó da polpa de manga apresentou um valor médio de 1,58%, observando-se uma perda média de 98,15% de água quando comparada a polpa de manga. Este resultado foi inferior ao observado por Tonon, Brabet e Hubinger (2009) em seu estudo sobre a influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó que encontrou um valor médio de 1,68% com a utilização de 30% de maltodextrina e a temperatura do ar de secagem de 170°C.

Para o parâmetro de pH do pó da polpa de manga observou-se um teor de 4,02, valor este superior tanto ao obtido por Madhlopa et al (2002) em seu estudo com manga desidratada por desidratação solar (3,4) quanto ao observado por Brandão et al (2003) em seu estudo de desidratação osmótica de manga (3,6).

O resultado médio da determinação da acidez nesta pesquisa apresentou-se superior ao encontrado por Lima e Bruno (2007) que observaram valores em torno de 0,60% em seu estudo de qualidade no armazenamento de manga processada

por desidratação osmótica seguida de fritura. Para o parâmetro de sólidos solúveis (^oBrix) também foi encontrado um teor superior ao observado por Souza Neto et al.,(2005) em seu estudo sobre manga tratada por osmose sob pressão atmosférica e sob vácuo, ambas seguida de secagem em estufa que encontraram valores de 75,00 e 80,30%, respectivamente. Estes valores de sólidos solúveis elevados nas polpas de manga atomizadas são justificados em função de termos um produto na forma de pó, portanto, mais concentrado que na polpa e também devido à adição de 30% de maltodextrina.

A polpa de manga e o pó da polpa de manga apresentaram boa característica física de cor. Em relação a esta análise, os parâmetros de luminosidade L* foram de 50,82 (polpa de manga) e 52,56 (pó da polpa de manga) e, esta diferença no parâmetro de luminosidade pode ser atribuída à adição de maltodextrina, pois esta apresenta coloração branca e, desse modo, dilui os pigmentos presentes na polpa de fruta, alterando sua coloração. Estes valores de L* foram inferiores ao obtido por Martim (2006) em seu estudo sobre as características de processamento de manga desidratada, que observou um valor de 71,25.

Com relação à cromaticidade, a cor dominante é o amarelo tendo em vista que tanto a polpa integral quanto o pó obtido desta polpa apresentaram valores relativamente altos para o parâmetro b* e baixos valores de a*. Porém, verificou-se, tanto visualmente quanto em termos analíticos, que no pó da polpa de manga houve uma redução da intensidade da coloração amarela, pois o parâmetro L* aumentou e a b* diminuiu.

Através dos parâmetros a* e b* constatou-se que o pó da polpa de manga apresentou uma tendência por croma C* (parâmetro associado à pureza da cor) de menor intensidade de amarelo quando comparado com o teor observado para a polpa de manga (26,11), esta diminuição significativa dos valores de C* pode ser relacionada a uma destruição e/ou diluição dos pigmentos da polpa. Já para o ângulo de tonalidade (H_o*) obtido para este pó foi observado valor superior ao encontrado para polpa integral (72,87), porém ambos situaram-se no primeiro quadrante do diagrama de cor, estando entre os eixos a+ (vermelho) e +b (amarelo), tendendo mais ao amarelo que ao vermelho.

Na Tabela 4.5 encontram-se os resultados médios para os parâmetros de atividade de água, vitamina C, carotenoides, açúcares redutores e totais,

higroscopicidade, grau de *caking* e rediratação tanto para a polpa de manga quanto para o pó da polpa de manga.

Tabela 4.5 - Caracterização físico-química da polpa integral de manga e do pó da polpa de manga.

Parâmetros Analisados	Polpa integral de	Pó da polpa de
	manga	Manga
Atividade de água	0,98a ± 0,02	0,32b ± 0,03
Vitamina C (mg/ 100g) b.s.*	284,41a ± 35,19	55,05b ± 0,35
Carotenoides (mg/ 100g) b.s.*	5,02a ± 0,26	1,80b ± 0,37
Açúcar redutor (mg/ 100g) b.s.*	16,75a ± 0,12	21,91b ± 1,45
Açúcar total (mg/ 100g) b.s.*	81,96a ± 2,48	49,57b ± 4,81
Higroscopicidade (%)	-	12,38 ± 0,25
Grau de <i>caking</i> (%)	-	23,52 ± 0,01
Reidratação (min.)	-	04,00 ± 0,00

*b.s. = base seca.

Em relação à atividade de água, após o processo de secagem, este parâmetro apresentou uma redução em seu teor da ordem de 67,35%. Segundo Argadoña (2005), alimentos com atividade de água menor que 0,6 são considerados como alimentos de baixa atividade de água e que apresentam estabilidade microbiológica.

Os teores médios de vitamina C de 284,41mg/ 100g de sólidos secos para a polpa de manga foi superior ao encontrado por Brandão et al (2003), que observou um valor de 106,07mg/ 100g (em base seca). Em se tratando do resultado obtido para o pó da polpa de manga (55,05mg/ 100g de matéria seca) observa-se que, com o processo de desidratação, ocorreu uma redução de 80,64% sendo, esta redução, superior a observada por Bastos et al.(2005) que notou uma diminuição na concentração deste parâmetro variando de 71,13% a 73,43% quando comparado os resultados da manga desidratada e de sua polpa integral. Segundo Souza (2011), essa diferença no teor de ácido ascórbico ocorreu, provavelmente, devido à oxidação do ácido ascórbico, que é acelerada pelo aquecimento utilizado durante o processo de desidratação.

Segundo Shieber et al. (2000), a manga é considerada uma boa fonte de carotenoides, em especial do β -caroteno porém, o valor encontrado para a polpa integral (5,02mg/ 100g de matéria seca) pode ser considerado baixo e, este fato, pode estar associado a variedade da fruta utilizada, condições de cultivo, estádio de maturação, o processo tecnológico e/ ou tratamento térmico utilizado para a fabricação da polpa integral, etc. Em relação ao pó da polpa de manga (1,80mg/ 100g de matéria seca), este baixo resultado médio obtido, além de ser devido ao baixo valor encontrado na polpa integral utilizada como matéria-prima para a pesquisa, também foi observada uma dificuldade na detecção do referido pigmento pois, devido a adição da maltodextrina (adjuvante de secagem), quando a amostra era colocada em contato com a acetona (reagente utilizado na execução da análise) formava-se um aglomerado (aparência de borracha) que inibia a extração total do pigmento em questão.

Os valores obtido para os parâmetros de açúcares total e redutor para a polpa de manga apresentaram-se equivalentes ao observado por Martim (2006) que observou valores médios de 82,03mg/ 100g de sólidos secos e 23,82mg/ 100g (em base seca) para os açúcares total e redutor, respectivamente. Já para o pó da polpa de manga, os resultados médios observados, foram equivalentes aos valores observados por Bezerra et al. (2011), que obtiveram teores médios de 45,83mg/ 100g de sólidos secos para os açúcares totais e 33,88mg/ 100g de sólidos secos para os açúcares redutores.

Segundo a classificação de GEA Niro Research Laboratory (2003) o pó da polpa de manga é considerada um produto ligeiramente higroscópico e com formação de *caking*. Sierra et al. (2007) trabalhando com polpa de manga atomizada encontraram 86% de aglomeração em pó com 35% de maltodextrina, valor bem acima do encontrado nesta pesquisa. Já em relação à reidratação, o pó da polpa de manga necessitou de 04 min para a sua completa dissolução.

4.3.2. Isotermas de adsorção

Na Tabela 4.6 encontram-se os valores obtidos de atividade de água (a_w) e umidade de equilíbrio (X_{eq}) para o pó da polpa de manga em cada temperatura testada. Onde pode-se observar uma tendência a diminuição da atividade de água

com o aumento da temperatura indicando que o pó da polpa de manga torna-se menos higroscópica.

A partir dos dados de a_w e X_{eq} apresentados na Tabela 4.6 foram realizados os ajustes para os modelos de GAB, BET, Henderson e Oswin e, os resultados dos parâmetros destes modelos ajustados aos dados experimentais para a construção das isotermas de adsorção para o pó da polpa de manga além do coeficiente de determinação (R^2) e o erro relativo médio ($E\%$) estão apresentados na Tabela 4.7.

Tabela 4.6 - Resultados da a_w e X_{eq} do pó da polpa de manga a diferentes temperaturas.

a_w das células utilizadas	Umidade de equilíbrio (X_{eq})	Atividade de água (a_w)			
		25° C	30° C	35° C	40° C
0,21	0,04	0,34	0,32	0,30	0,29
0,44	0,07	0,43	0,43	0,42	0,42
0,58	0,12	0,54	0,54	0,55	0,54
0,76	0,19	0,69	0,68	0,67	0,66
0,84	0,31	0,78	0,77	0,77	0,75
0,90	0,46	0,87	0,86	0,86	0,85

Fonte: Elaborada pela autora.

Analizando a Tabela 4.7, pode-se observar que para o pó da polpa de manga, o modelo de Henderson foi o que melhor se ajustou à curva experimental, com o menor valor de erro médio (E) e o maior valor no coeficiente de determinação (R^2) em todas as temperaturas estudadas. O segundo modelo que melhor representou esses dados experimentais foi o de GAB sendo o modelo de BET o que representou o pior ajuste para os dados em questão. Os coeficientes de determinação (R^2) apresentaram valores acima de 0,99 para todos os modelos utilizados, possibilitando afirmar que as equações ajustaram, adequadamente, os resultados experimentais para o pó da polpa de manga. Diante disto, foram discutidos os principais resultados e elaborou-se as isotermas de sorção dos dois melhores modelos obtidos (Henderson e GAB).

Para o pó da polpa de manga nas temperaturas analisadas, 25°, 30°, 35° e 40°C foram observados valores de umidade na monocamada (X_m) do modelo de GAB variando de 14,87% a 15,67%, significando teores de umidade para uma armazenagem segura, na qual o material tem estabilidade. Nessas condições assegura-se que o material está menos sujeito a alterações deteriorantes. Sendo assim, o pó da polpa de manga requer maiores cuidados quando armazenados em ambiente com umidades relativas superiores a 16% e, devido a isto, recomenda-se a utilização de embalagens que ofereçam resistência à passagem de umidade.

É valido ressaltar ainda que, à medida que se aumentou a temperatura analisada ocorreu um aumento na umidade na monocamada do modelo de GAB, comportamento este, também observado por Fiorentin et al. (2010) em seu estudo da determinação da cinética e das isotermas de secagem do bagaço de laranja. Segundo Saltmarch e Labuzza (1980), para alimentos que contenham açúcar, em elevadas atividades de água, ocorre à dissolução do açúcar e o açúcar cristalino é convertido em um açúcar amorfo. A quantidade de água absorvida aumenta gradativamente depois desta transição, em virtude do aumento do número de sítios de adsorção na ruptura da estrutura cristalina do açúcar. Este processo é conhecido como endotérmico.

Tabela 4.7 - Parâmetros dos ajustes obtidos dos modelos matemáticos aplicados nas isotermas de adsorção do pó da polpa de manga em diferentes temperaturas.

Modelos	T (°C)	Parâmetros			R²	E (%)
		<i>X_m</i>	<i>C</i>	<i>K</i>		
GAB	25	0,1487	0,7154	0,8842	0,9977	8,0934
	30	0,1555	0,7130	0,8838	0,9981	7,0252
	35	0,1562	0,7130	0,8864	0,9990	4,2648
	40	0,1567	0,7007	0,9030	0,9985	4,9269
		<i>X_m</i>	<i>C</i>	<i>n</i>		
BET	25	0,1105	1,4063	1,5210	0,9905	15,8010
	30	0,1909	0,6714	1,6214	0,9931	13,4125
	35	0,1107	1,4069	1,4680	0,9933	12,5920
	40	0,1077	1,3422	1,3559	0,9942	10,6932
		<i>a</i>	<i>b</i>			
Henderson	25	0,6939	3,5302		0,9979	6,8271
	30	0,6927	3,4251		0,9983	4,4969
	35	0,6892	3,3743		0,9992	2,3070
	40	0,6648	3,1388		0,9988	2,9387
		<i>a</i>	<i>b</i>			
Oswin	25	0,1035	0,7859		0,9932	15,0748
	30	0,1066	0,7984		0,9939	13,8530
	35	0,1079	0,8041		0,9953	12,1891
	40	0,1090	0,8549		0,9955	11,0036

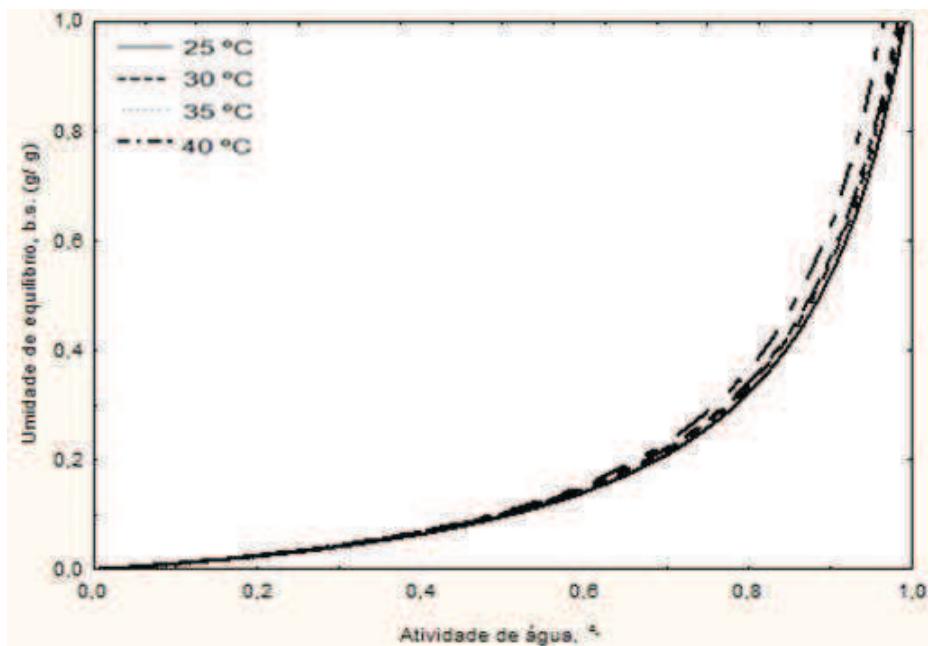
Fonte: Elaborada pela autora.

Onde: X_m = conteúdo de umidade na monocamada molecular ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ em base seca); n = número de camadas moleculares; C = constante de BET relacionada ao calor de sorção da camada molecular; K = constante de sorção; a, b = parâmetros de ajuste.

Observa-se que o parâmetro C do modelo de GAB, que representa o calor total de sorção da primeira camada e tem significado físico relacionado ao efeito da temperatura, mostrou tendência de diminuição com o aumento da temperatura;

comportamento semelhante ao observado por Moraga et al. (2006) em seu estudo sobre isotermas de adsorção de kiwi.

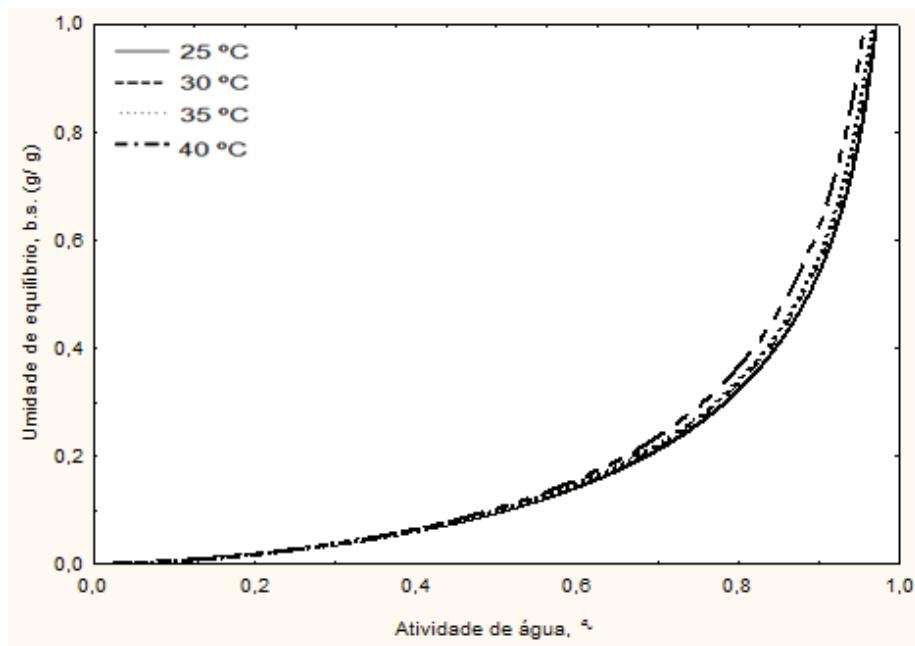
Figura 4.4 - Isoterma de adsorção do pó da polpa de manga para o modelo de GAB sob diferentes temperaturas (25°C, 30°C, 35°C e 40°C).



Fonte: Elaborada pela autora.

Quanto ao parâmetro de K do modelo de GAB, que representa o fator de correção das propriedades das moléculas na multicamada com relação ao volume de líquido, observou-se valores menores que 1,0 (um), variando entre 0,8838 e 0,9030. Foi verificado também um aumento desse parâmetro com o aumento da temperatura, para a faixa de temperatura entre 25° e 40°C, comportamento semelhante ao observado por Orrego-Alzate et al.(2005) estudando as isotermas de adsorção do suco de tomate liofilizado nas temperaturas de 20°, 25°, 30° e 35°C.

Figura 4.5 - Isoterma de adsorção do pó da polpa de manga para o modelo de Henderson sob diferentes temperaturas (25°C , 30°C , 35°C e 40°C).



Fonte: Elaborada pela autora.

Os parâmetros encontrados para os modelos de Henderson e Oswin estão de acordo com o Blahovec (2004) que afirma que o modelo de Henderson deve apresentar $a > 0$ e $b > 1$ e, o modelo de Oswin, $a > 0$ e $0 < b < 1$ e, estes valores indicam que não há ponto de inflexão na curva e, sendo assim, não há mudanças na concavidade das funções, logo, esses parâmetros possuem consistência matemática e física.

As isotermas de adsorção do pó da polpa de manga foram obtidas traçando os teores de água de equilíbrio do pó em função da atividade de água e, esta construção encerrou-se em um período de 5 dias, ou seja, o pó da polpa de manga atingiu o seu equilíbrio higroscópico em 5 dias. Os valores experimentais obtidos mostram que o comportamento das isotermas foi do tipo exponencial, apresentando formato do tipo III (formato de J), conforme as Figuras 4.4 e 4.5, característica de alimentos com alto teor de açúcar na classificação da IUPAC conforme Hérbrard et al., (2003). Este tipo de curva também foi observado por Gabas et al. (2007), em polpa de abacaxi adicionada de maltodextrina ou goma arábica e seca a vácuo e, Wang, Zhang e Chen (2008) em “gooseberry” liofilizada.

Outro parâmetro que caracteriza curvas de formato J, ou seja, isotermas do tipo III é a constante C, pois segundo Gogus, Maskan e Kaya (1998), a constante C < 10 assinala isotermas com este formato. Observou-se que todos os modelos apresentaram C < 10, então todas as isotermas são do tipo III.

Ainda observando as Figuras 4.4 e 4.5, pode-se constatar que, em baixas a_w , o pó de polpa de manga atomizada adsorvem pequenas quantidades de água, sendo em altas a_w observado um elevado aumento na quantidade de água adsorvida. Esse tipo de comportamento foi apontado por Telis e Sobral (2001) como típico de alimentos ricos em açúcares.

As curvas obtidas pelos modelos de GAB e Henderson, em todas as temperaturas estudadas, mostraram que as diferenças entre os modelos aplicados se encontram mais bem descritas no intervalo de atividade de água de 0,8 a 1,0, como pode ser observado nas Figuras 4.4 e 4.5.

Na Figura 4.6 são apresentadas algumas mudanças nas características físicas do pó da polpa de manga armazenada em diferentes umidades relativas. Quando armazenada sob umidades relativas de até 44% (K_2CO_3), as partículas permaneceram na forma de um pó solto. Em uma umidade relativa de 58% (NaBr), as partículas começaram a apresentar a formação de aglomerados que não se soltavam mais com tanta facilidade. Nos ambientes com umidade relativa mais elevada, as transformações físicas foram mais evidentes. Em umidades relativas superiores a 76% ($SnCl_2$), as amostras apresentaram a formação de aglomerados muito duros e escuros. Tanto a 84% quanto a 90% de umidade relativa, KCl e $BaCl_2$, respectivamente, essas amostras apresentaram-se como um aglomerado duro e escuro, aparentando um pó cristalizado.

Figura 4.6 - Amostras armazenadas em diferentes umidades relativas, a 25 °C.

CH_3COOK	$a_w = 0,21$	
K_2CO_3	$a_w = 0,44$	
NaBr	$a_w = 0,58$	
SnCl_2	$a_w = 0,76$	
KCl	$a_w = 0,84$	
BaCl_2	$a_w = 0,90$	

Fonte: Elaborada pela autora.

4.3.3. Estudo da estabilidade

Durante 180 dias, com intervalos de 30 dias, avaliou-se a influência da embalagem sobre a estabilidade do pó da polpa de manga. É valido ressaltar que neste período, o produto manteve-se na forma de pó até o final do período de armazenamento.

Em relação ao parâmetro de atividade de água, o pó da polpa de manga, armazenada nas diferentes embalagens, apresentou variação de 0,31 a 0,42. Não foi verificada diferença estatística significativa entre os resultados em relação às

diferentes embalagens e, observa-se também, em ambas as embalagens, uma tendência de aumento gradual dos valores de atividade de água.

A Tabela 4.8 apresenta os resultados médios, em base úmida, para os parâmetros de atividade de água, umidade, pH, sólidos solúveis (^oBrix) e acidez. Onde se observa que o método de desidratação utilizado reduziu o teor de umidade da polpa integral de manga em mais de 95% e, também foi observado, nas diferentes embalagens, que o comportamento deste parâmetro no pó da polpa de manga vai de encontro ao observado no parâmetro de atividade de água, ou seja, uma tendência a aumento durante o período de armazenamento analisado, porém não foi detectada diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$) entre os resultados encontrados para as diferentes embalagens.

Tabela 4.8 – Parâmetros físico-químicos avaliados no pó da polpa de manga pelo período de 180 dias.

Tempo (dias)	a_w		Umidade (%)		pH		Sólidos Solúveis (^o Brix)		Acidez (%)	
	E.L.	E.T.	E.L.	E.T.	E.L.	E.T.	E.L.	E.T.	E.L.	E.T.
0	0,33 a	0,31 a	1,55 a	1,62 a	3,99 a	4,02 a	94,67 a	94,33 a	0,77 a	0,79 a
30	0,39 a	0,40 a	1,60 b	2,56 a	4,00 a	4,03 a	94,33 a	94,33 a	0,78 a	0,76 a
60	0,40 a	0,41 a	1,60 b	3,38 a	3,93 a	4,00 a	94,67 a	94,33 a	0,77 a	0,76 a
90	0,40 a	0,41 a	1,64 b	3,40 a	3,93 a	3,97 a	93,33 a	91,33 b	0,78 a	0,79 a
120	0,40 a	0,41 a	1,69 b	4,45 a	3,98 a	4,07 a	93,00 a	90,33 b	0,78 a	0,76 a
150	0,41 a	0,41 a	1,82 b	5,30 a	3,97 a	3,96 a	93,67 a	90,33 b	0,80 a	0,81 a
180	0,41 a	0,42 a	2,73 b	5,40 a	4,02 a	4,17 a	93,00 a	90,33 b	0,86 a	0,81 a

Fonte: Elaborada pela autora.

E.L. – Embalagem Laminada; E.T. – Embalagem Transparente

Médias seguidas da mesma letra minúscula na mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% para as diferentes embalagens.

Os valores médios de pH apresentaram oscilações entre 3,93 a 4,02 para a embalagem laminada e 3,96 a 4,07 para a embalagem transparente, não ficando evidente nenhum tipo de comportamento padrão porém, não foi verificada diferença estatística significativa entre as embalagens. Segundo Araújo (2008), o pH ideal para a atividade enzimática se encontra entre 6,0 e 7,0, diante disto, os valores médios de pH observados no período de armazenamento deste estudo, apresentam-se ideais para minimizar o escurecimento enzimático destes produtos.

Os valores médios de sólidos solúveis apresentaram uma redução em seus teores, em ambas as embalagens e no decorrer dos 180 dias. Para a embalagem

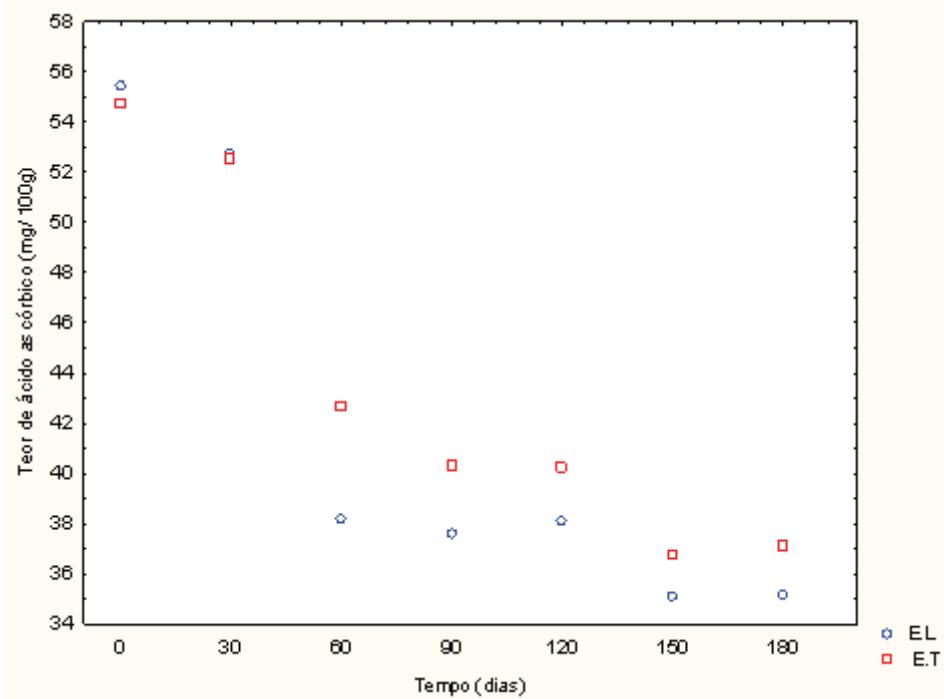
laminada não foi observada diferença estatística significativa em seus resultados médios. Já, para a embalagem transparente observa-se uma diferença significativa a partir de 90 dias. Essa redução do teor de sólidos solúveis no pó da polpa de manga pode ser explicada em virtude do ganho de umidade e, este resultados estão de acordo aos observados por Cano-Chauca et al. (2002), em seu estudo com banana passa.

A acidez titulável apresentou-se estatisticamente constante na embalagem transparente e apresentou um ligeiro aumento, para a embalagem laminada variando em 0,09% (mg de ácido cítrico/ 100g de amostra) entre os tempos. Sendo os valores encontrados durante todo o período de armazenamento inferiores aos observados por Reis et al, (2006) em seu estudo sobre o armazenamento de manga desidratada.

A estabilidade dos valores de pH e de acidez total indicou que o ácido cítrico, ou melhor, os ácidos orgânicos presentes no pó da polpa de manga, não sofreram oxidação no decorrer do tempo de armazenamento.

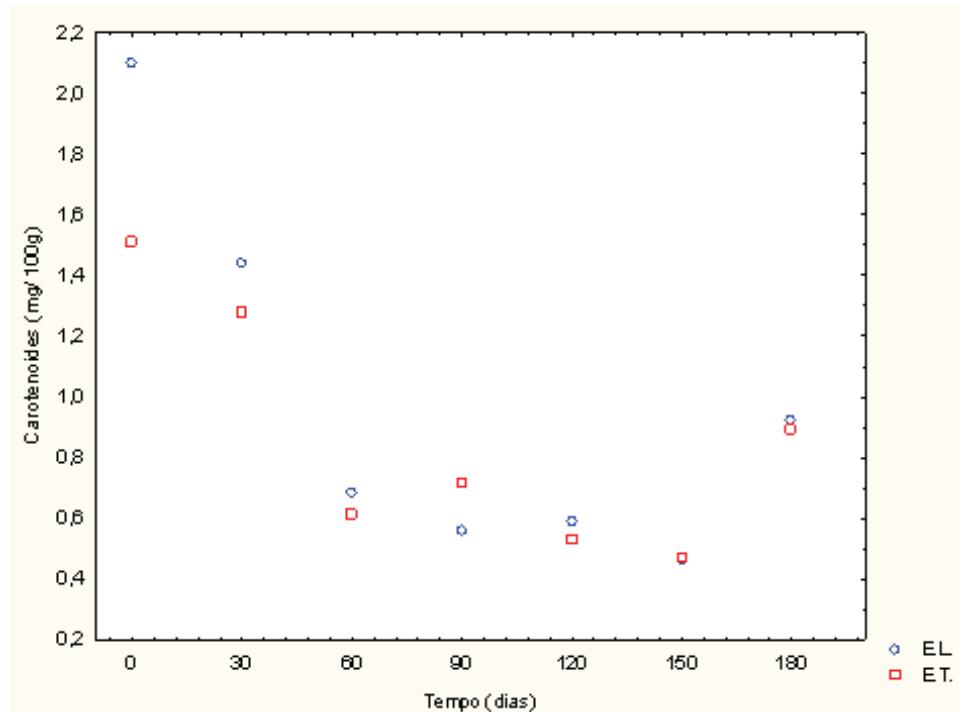
A Figura 4.7 mostra a variação do teor de vitamina C, em base seca, pó da polpa de manga ao longo do período de armazenamento onde, verifica-se que este parâmetro diminui com o aumento do tempo, atingindo um percentual de redução em torno de 63,48% para a embalagem laminada e, 67,82% para a embalagem transparente ao final dos 180 dias em relação ao inicio (Tempo 0) apresentando diferença significativa entre os valores médios de ácido ascórbico ao nível de 5% de probabilidade validado pelo Teste F.

Figura 4.7 – Variação do teor de ácido ascórbico no pó da polpa de manga armazenada sob as embalagens laminada e transparente por um período de 180 dias.



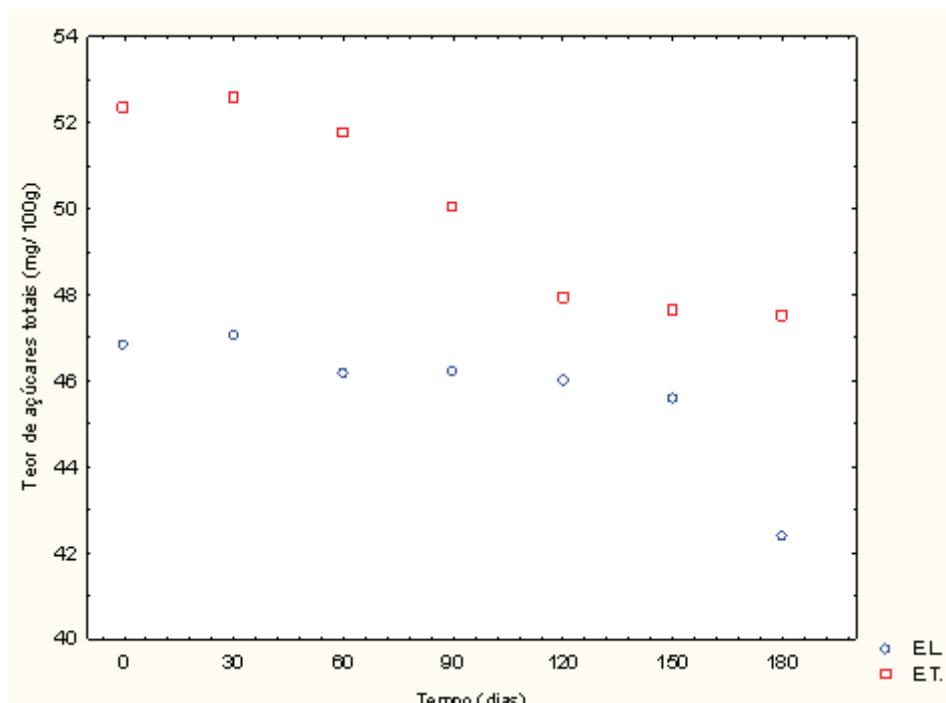
Os carotenoides analisados apresentaram diferença estaticamente significativa entre as embalagens analisadas, porém esta variação apresentou-se de forma irregular para as duas embalagens. Este fato pode estar relacionado à formação de um aglomerado quando a amostra era colocada em contato com a acetona e, isto pode ter inibido a extração deste pigmento. Alves et al. (2008), em seu estudo sobre a estabilidade da microestrutura e do teor de carotenoides de pós obtidos da polpa de pequi liofilizada, relatam que o aumento da concentração do açúcar nos pós de pequi liofilizado reduziu os teores de carotenoides totais. O açúcar, além de contribuir para a formação de estruturas amorfas no processo de liofilização, o que gera instabilidade no produto e o torna mais vulnerável a reações degradativas, interage, ou compete quimicamente, com demais componentes do sistema prejudicando o processo de extração de carotenoides e interferindo nas leituras do espectrofotômetro.

Figura 4.8 - Variação do teor de carotenoides no pó da polpa de manga armazenada sob as embalagens laminada e transparente por um período de 180 dias.

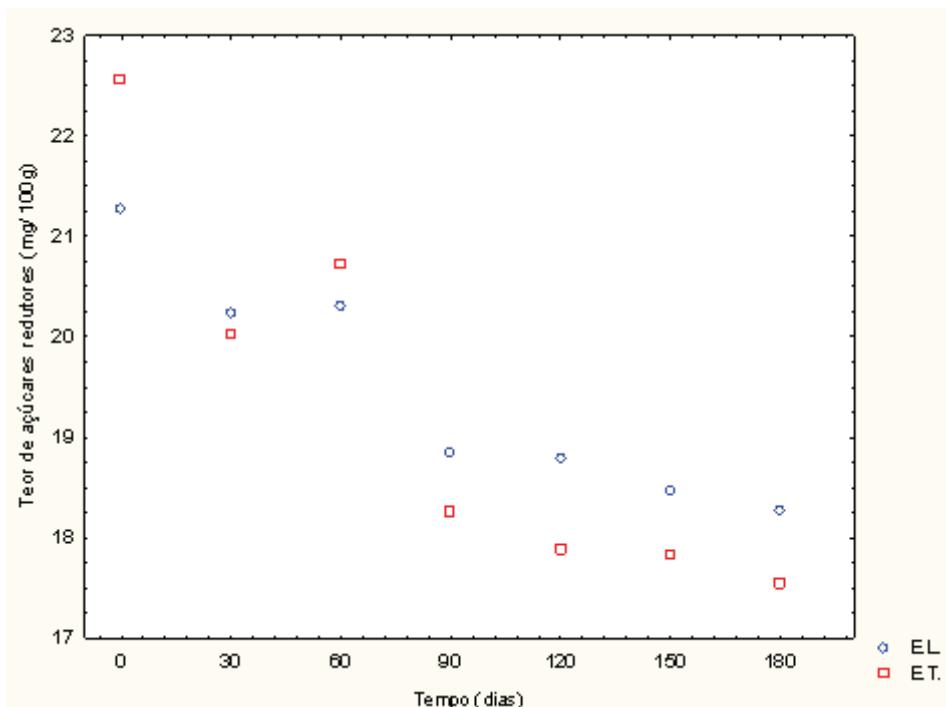


Tanto o açúcar redutor quanto o total, apresentaram uma redução em seus teores, na ordem de 9,19% para a embalagem laminada e 9,46% para a embalagem transparente no açúcar total e, no açúcar redutor, de 14,06% para a laminada e 22,25% para a transparente. Esta redução pode ser atribuída ao aumento da umidade no decorrer do armazenamento, conforme pode ser observado na Figura 4.11. Este comportamento também foi observado por Pereira, Queiroz e Figueirêdo (2006) em seu estudo do armazenamento de tomate em pó.

Figura 4.9 - Variação do teor de açúcares total (a) e redutor (b) no pó da polpa de manga armazenada sob as embalagens laminada e transparente por um período de 180 dias.



(a)



(b)

Na Tabela 4.9 encontram-se os resultados médios para os parâmetros colorimétricos do pó da polpa de manga. Onde, pode-se observar que para os valores de luminosidade (L^*) constatou-se uma diferença estatística significativa, pelo teste F, entre as embalagens utilizadas ao nível de 5% de probabilidade. Observa-se ainda que, ocorreu uma redução nos valores médios deste parâmetro na ordem de 4,27% para a embalagem laminada e 4,56% para a embalagem transparente, esta redução ocorreu de forma gradual e manteve-se desde o inicio até o final do armazenamento, sugerindo um escurecimento ao longo do armazenamento. Cano-Chauca et al. (2002) reportaram que em banana passa o decréscimo da coordenada L^* está diretamente correlacionado com o escurecimento. Essa redução pode estar relacionada com o aparecimento de compostos resultantes do escurecimento não-enzimático, como a reação de Maillard, tal reação ocorre lentamente à temperatura ambiente (SAPERS e DOUGLAS, 1987).

Para a coordenada a^* , entre o tempo inicial e o final houve uma diminuição de aproximadamente 61,67% para a embalagem laminada e 75% para a transparente na intensidade de vermelho. Também foi observado um decréscimo estatisticamente significativo para o parâmetro b^* entre o tempo inicial e final em ambas as embalagens avaliadas, indicando também uma redução da intensidade do amarelo. Esta redução dos parâmetros a^* e b^* caracterizam uma redução no croma (C^*) indicando uma menor intensidade de amarelo comparando com o teor observado para a polpa de manga. Porém, ao observarmos os resultados obtidos para a diferença de cor (ΔE), verificamos que, segundo a National Bureau of Standard (NBS), a diferença de cor só é notada ao olho nu a partir de uma diferença de 0,5 entre a última medição e a primeira medição, ou seja, entre o tempo final (T_{180}) e o tempo inicial (T_0) sendo classificada como leve que considera alterações de cor pequenas (KOKSAL e DIKBAS, 2008). Desta forma, durante o período de armazenamento analisado, a mudança de coloração não pode ser detectada a olho nu, pois a diferença de cor ocorrida entre o tempo final e o inicial foi de 0,2 e 0,24 para as embalagens laminada e transparente, respectivamente.

Tabela 4.9 - Parâmetros colorimétricos avaliados no pó da polpa de manga pelo período de 180 dias.

Tempo (Dias)	Parâmetros Analisados											
	E.L. L*	E.T. L*	E.L. a*	E.T. a*	E.L. b*	E.T. b*	C*	C	H ₀ *	H ₀ * E.T.	E.L. ΔE	E.T. ΔE
0	52,74a	52,38b	-0,23b	-0,12a	9,34a	9,30a	9,34a	9,30a	88,59b	89,24a	17,62a	17,57b
30	51,53b	51,67a	-0,19b	-0,10a	9,26a	9,31a	9,26a	9,31a	88,80b	89,41a	17,59a	17,50b
60	51,49a	51,31a	-0,18a	-0,17a	9,25a	9,28a	9,25a	9,28a	88,86a	88,95a	17,59a	17,55b
90	51,38a	51,10b	-0,28a	-0,32a	9,23b	9,29a	9,24b	9,29a	88,23a	88,01b	17,64a	17,61b
120	51,17a	50,96b	-0,31a	-0,31a	9,21b	9,20a	9,21a	9,21a	88,09a	88,09a	17,67a	17,67a
150	51,08b	50,67a	-0,40a	-0,46b	9,23b	9,15a	9,24a	9,16b	87,54a	87,12b	17,69b	17,79a
180	50,49a	49,99b	-0,60b	-0,48a	9,19b	9,16a	9,21a	9,17b	86,25b	87,00a	17,82a	17,81a

Fonte: Elaborada pela autora.

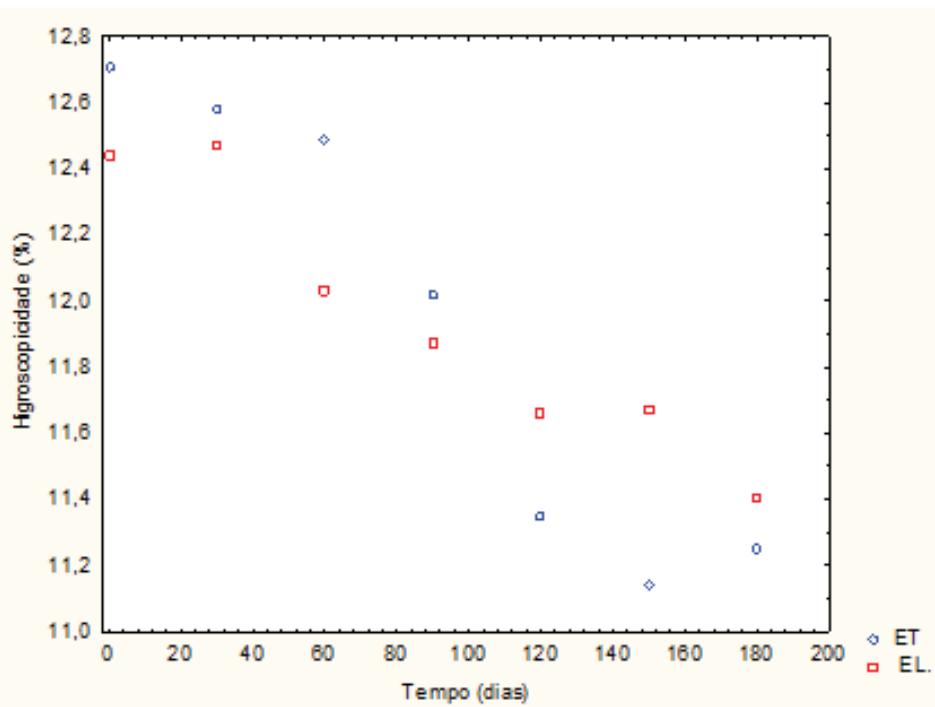
E.L. = Embalagem Laminada; E.T. = Embalagem Transparente.

Médias seguidas da mesma letra minúscula no mesmo período de tempo, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% entre as diferentes embalagens.

Observou-se ainda, na Tabela 4.9, que o parâmetro de tonalidade também apresentou uma leve e significativa alteração com o processo, indicando que a tonalidade da cor amarela e vermelha do pó da polpa de manga, armazenado tanto em embalagem laminada quanto em embalagem transparente, situou-se no primeiro quadrante do diagrama de cor, estando entre os eixos +a (vermelho) e +b (amarelo), fato que também foi observado por Alves (2008) ao trabalhar com pequi em pó liofilizado que encontrou valores entre 79,00 e 85,93.

Na Figura 4.10 pode-se observar que, tanto para a embalagem laminada quanto para a transparente, o parâmetro de higroscopicidade, comparando-se o tempo inicial com o final, apresentou uma redução na ordem de 8,36 % e 11,49 %, respectivamente, porém segundo a classificação preconizada por GEA Niro Research Laboratory (2003) o pó da polpa de manga armazenado nestes tipos de embalagens pode ser classificado como um pó ligeiramente higroscópico.

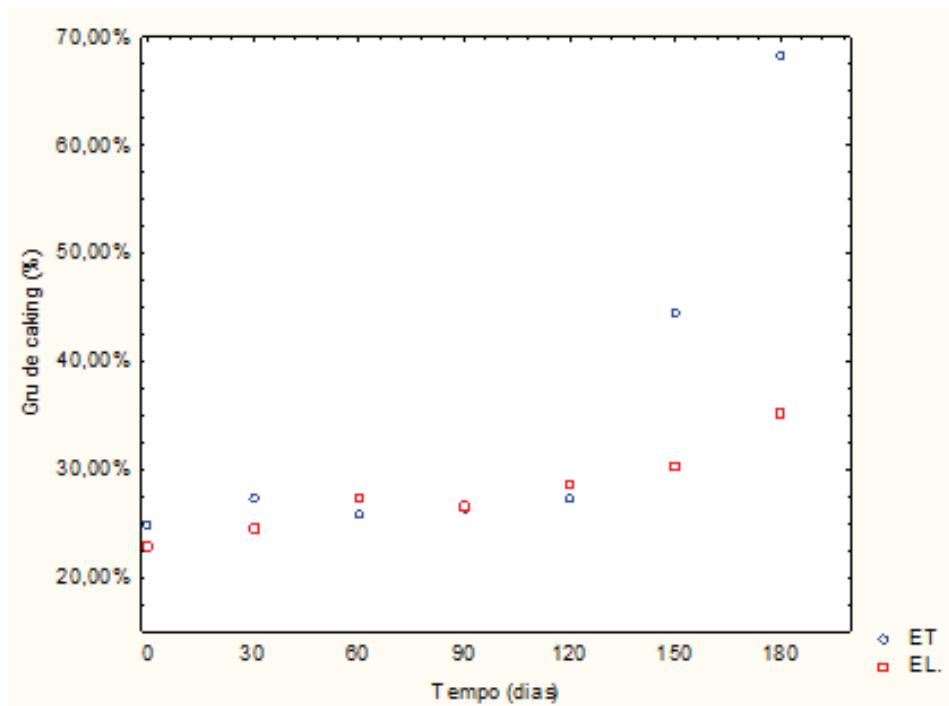
Figura 4.10 – Variação da higroscopicidade no pó da polpa de manga armazenado sob as embalagens laminada e transparente por um período de 180 dias.



Para o grau de *caking* ocorreu um acréscimo com o tempo de armazenamento na ordem de 52,86 % e 174,55 % para a embalagem laminada e transparente,

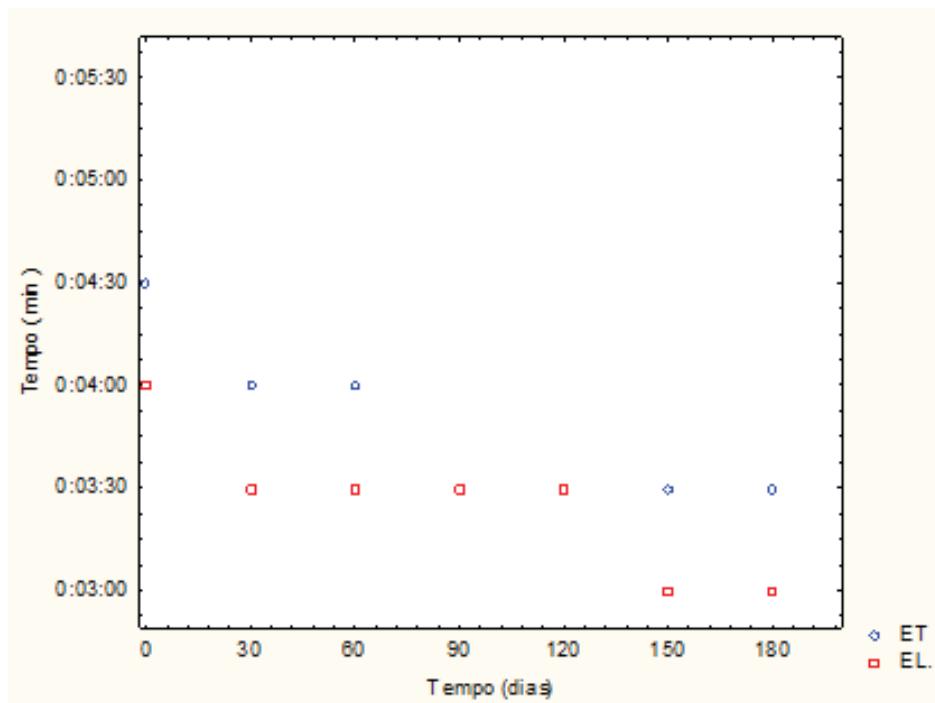
respectivamente, conforme Figura 4.13. Estes resultados vão de encontro ao observado para a análise de higroscopicidade evidenciando que a embalagem transparente não se mostrou adequada para o armazenamento deste produto. Segundo a classificação de GEA Niro Research Laboratory (2003), o pó obtido pode ser rotulado como pó com formação de *caking* para a amostra armazenada na embalagem laminada, já para a armazenada na embalagem transparente a amostra passou de uma amostra com formação de *caking* para uma amostra com muita formação de *caking*.

Figura 4.11 – Variação do grau de *caking* no pó da polpa de manga armazenado sob as embalagens laminada e transparente por um período de 180 dias.



Em relação ao parâmetro de reidratação, com o aumento dos dias de armazenamento, também observou-se uma redução no tempo para a rediratação da amostra conforme Figura 4.14. Em média, a redução no tempo para este parâmetro foi de, aproximadamente, 15,18% e 21,57%, respectivamente para as embalagens laminada e transparente.

Figura 4.12 – Variação do parâmetro de reidratação no pó da polpa de manga armazenado sob as embalagens laminada e transparente por um período de 180 dias.



É valido ressaltar que os resultados médios para os parâmetros de higroscopicidade, grau de *caking*, reidratação para o pó da polpa de manga confirmam os resultados médios observados para o parâmetro de umidade, nas diferentes embalagens, pois quanto mais umidade a amostra ganha no período de armazenamento mais rápido é a sua reidratação, maior seu grau de *caking* e menor seus resultados médios para o parâmetro de higroscopicidade.

4.1. Conclusões

O modelo Henderson, em todas as temperaturas analisadas, foi aquele que melhor se ajustou com um erro médio variando de 2,31 a 6,83 % e coeficiente de determinação variando de 0,9979 a 0,9992, seguido pelo modelo de GAB, ambos podendo representar as isotermas de adsorção do pó da polpa de manga.

O teor de água do pó da polpa de manga mostrou tendência de aumento com o incremento da atividade de água e, os valores de umidade da monocamada indicaram que o pó da polpa de manga é estável a um teor de umidade para armazenamento em torno de 16%. Acima deste valor crítico, a estabilidade do pó da polpa de manga será menor por isso, recomenda-se o uso de embalagens que ofereçam resistência à passagem de umidade.

Após os 180 dias de armazenamento, o pó da polpa de manga armazenado nas diferentes embalagens, ainda apresentavam-se na forma de pó e com características físico-químicas e higroscópicas adequadas, sendo a embalagem laminada a que melhor apresentou barreira de proteção à amostra em relação a absorção de umidade.

4.2. Referências Bibliográficas

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

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

AOAC. **Official methods of analysis of the Association Analytical Chemists.** 18.ed. Gaithersburg, Maryland, 2005.

AQUALAB. **Analizador de atividade de água Decagon.** Brasil: ABRASEQ, 1997. 21p. Manual, 01.

ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos:** teoria e prática. 4. Ed. atual. ampl. – Viçosa. MG: Ed. UFV, 2008.

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

BASTOS, BASTOS, D. da S.; SOARES, D. M. B. G.; ARAÚJO, K. G. de L. & VERRUMA-BERNARDI, M. R., Desidratação da Polpa de Manga “Tommy Atkins” Utilizando a Técnica de - Avaliações Químicas, Físico-químicas e Sensoriais. **Braz. Journal of Food Technology.** Preprint Serie, n.216, 2005.

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

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

BRANDÃO, M. C. C. et al. Análise físico química, microbiológica e sensorial de frutos de manga submetidos à desidratação osmótico solar. **Revista Brasileira de Fruticultura.** Jaboticabal. v. 25, n. 1, dez. 2003. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rbf/v25n1/a12v25n1.pdf>>. Acesso em: 15/06/2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 1, de 07 de janeiro de 2000. Dispõe sobre o “Regulamento Técnico Geral para fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para Polpa de Fruta”, **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2000.

CANO-CHAUCA, M. Análisis físico-químico, sensorial y microbiológico de banana pasa. Servicio de información y documentación alimentaria. **Alimentaria**, Madrid, v.329, p. 119-122, enero-febr. 2002.

FIORENTIN, L. D.; MENON, B. T.; ALVES, J. A.; BARROS, S. T. D.; PEREIRA, N. C.; MÓDENES, A. N. Determinação da cinética e das isotermas de secagem do bagaço de laranja. **Acta Scientiarum, Technology**, v. 32, n.2, p. 147 – 152, 2010. DOI: 10.4025/actascitechnol.v32i2.8242.

GABAS, A. L.; TELIS, V. R. N.; SOBRAL, P. J. A.; TELIS-ROMERO, J. Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. **Journal of Food Engineering**, v. 82, n.2, p. 246 – 252, 2007.

GEA Niro Research Laboratory. Analytical methods dry milk products. **GEA Niro analytical methods** 14 a e 15 a. Soeborg, Denmark. 2003. 103 p.

GOGUS, F.; MASKAN, M.; KAYA, A. Sorption isotherms of Turkish delight. **Journal of Food Protection**, v.22, p.345-357, 1998.

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.

HÉRBRARD, A.; OULAHNA, D.; GALET, L.; CUQ, B.; ABECASSIS, J.; FAGES, J. Hydration properties of durum wheat semolina: influence of particle size. **Powder Technology**, v. 130, n. 1 – 3, p. 211 – 218, fev. 2003.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz:** Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 4 ed. São Paulo, v.1, 2004.

KOKSAL, T.; DIKBAS, F. Color stability of different materials against various staining agents. **Dent Materials Journal**, v.27, n.1, p. 139 - 144, 2008.

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

LIMA, J. R.; BRUNO, L. M. Qualidade no armazenamento de manga processada por desidratação osmótica seguida de fritura. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 38, n. 3, p. 247 – 250, jul. – set., 2007.

MACHADO, A. V. Estudo da secagem do pedúnculo do caju em sistemas convencional e solar: modelagem e simulação do processo. 2009. 126 f. **Tese** (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

MADHLOPA, A.; JONES, S. A.; KALENGA SAKA, J. D. A solar air heater with composite-absorber systems for food dehydration. **Renewable Energy**, v. 27, p. 27–37, 2002.

MARTIM. N. S. P. P. Estudo das características de processamento de manga variedade *Tommy Atkins* desidratada. 2006. 76 f. **Dissertação** (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

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

MORAGA, G.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, A.; CHIRALT, A. Water sorption isotherms and phase transitions in kiwifruit. **Journal of Food Engineering**, Amsterdam, v. 72, n. 2, p. 147-156, 2006.

NOELTING, G.; BERNFELD, P. Sur les enzymes amylolitiques. 111. La β -amilase: dosage d'activité et contrôle de l'absence d' α -amilase. **Helvetica Chemica Acta**, Basel, v. 31, p.286-290, 1948.

ORREGO-ALZATE, C. E.; GIRALDO-GÓMEZ, G. I.; GONZÁLEZ-JIMÉNEZ, M. E. Calorimetric study and adsorption isotherms of freeze-dried tomato tree (*Cyphomandra betacea* (Cav) Send) juice. In: MERCOSUR CONGRESS ON CHEMICAL ENGINEERING, 2., MERCOSUR CONGRESS ON PROCESS SYSTEMS ENGINEERING, 4., 2005, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ENPROMER. CD.

PEREIRA, I. E.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Características físico-químicas do tomate em pó durante o armazenamento. **Rev. de Biologia e Ciências da Terra.** V. 6, n. 1, p. 83 – 90, 1º semestre, 2006.

REIS, C., R. et al. Almacenamiento de mango secano: análisis fisicoquímico, microbiológico, color y sensorial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 5, n.3, p. 214-225, 2006.

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

SAPERS, G. M.; DOUGLAS, F. W. Measurement of enzymatic browning at cut surfaces and in the juice of raw apple and pear fruits. **Journal of Food Science**, v.52, p.1258-1263, 1987.

SHIEBER, A.; ULRICH, W.; CARLE, R. Characterization of polyphenols in mango puree concentrate by HPLC with diode array and mass spectrometric detection. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.1, p. 161 -166, 2000.

SIERRA, D. M. ; ROSA, N. N. ; GABAS, A. L. . Influência da adição de maltodextrina na atomização de polpa de manga em spray dryer. **Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP**, 2007.

SOUZA NETO, M. A.; MAIA, G. A.; LIMA, J. R.; FIGUEIREDO, R. W.; SOUZA FILHO, M. S. M.; LIMA, A. S. Desidratação osmótica de manga seguida de secagem convencional: avaliação das variáveis de processo. **Revista Ciência Agropecuária**, Lavras, v. 29, n. 5, p. 1021 – 1028, set.-out., 2005.

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

TELIS, V.R.N.; SOBRAL, P.J.A. Glass transitions and state diagram for freeze-dried pineapple. **Lebensmittel Wissenschaft & Technology**, Zurich, v.34, n.4, p.199-205, 2001.

TOLOBA, M. P.; PELETZER, M.; ENRIQUEZ, N.; POLLIO, M. L. Grain sorption equilibria of quinoa grains. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 3, p. 365-371, 2004.

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

WANG, H.; ZHANG, S.; CHEN, G. Glass transition and state diagram for fresh and freeze-dried Chinese gooseberry. **Journal of Food Engineering**, v. 84, n.2, p. 307 – 312, 2008.

CAPÍTULO V

CAPÍTULO V: INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DO PROCESSO DE SPRAY-DRYER NA OBTENÇÃO DO PÓ DE SUCO DE CAJU

5.1. Introdução

Segundo Andrigueto et al (2010), o Brasil é o terceiro maior produtor de frutos com 6% da produção mundial. Dentre os frutos produzidos encontra-se o caju que é uma fruta tropical, cuja produção no Brasil está concentrada no Nordeste, sendo de grande importância social e econômica para esta região (CIANCI et al., 2005).

De acordo com dados do IBGE (2012), o Brasil no ano de 2011 produziu 230.785 toneladas de castanha de caju, sendo a Região Nordeste responsável por 98,44% desta produção. O consumo de sucos de frutas, segundo Estrella (2004), foi de aproximadamente 2,2 bilhões de litros, nas mais diferentes formas. Destes, 579 mil litros são de sucos integrais, com destaque para caju (51%).

Este aumento no consumo de bebidas a base de frutas foi promovido pela preocupação com a saúde, o que elevou a procura por bebidas com características nutricionais importantes para a prevenção e controle de doenças. A tendência mundial de consumo é a substituição dos refrigerantes por bebidas mais saudáveis e com apelo à praticidade, gerando uma demanda por produtos naturais, orgânicos e enriquecidos (ESPERANCINI, 2005).

Os sucos integrais de frutas são uma tradição no Brasil, sendo envasados em garrafas de vidro, em embalagens cartonadas ou, mais recentemente, em embalagens de poliestireno tereftalato (PET), produzidas, na grande maioria, pelos sistemas *hot fill*, e em menor quantidade pelo sistema asséptico (MAIA, 2000).

Este capítulo teve como objetivo avaliar a influência da vazão do ar quente e da temperatura do ar de entrada sobre o rendimento do processo e o teor de umidade no pó após o processo de atomização de suco integral de caju para estabelecer as melhores condições operacionais de secagem no processo de spray-dryer.

5.2. Material e Métodos

5.2.1. Obtenção e armazenamento da matéria-prima

O suco integral de caju, sem a adição de conservantes, foi processado na planta-piloto de processamento de frutas da Embrapa Agroindústria Tropical localizada na cidade de Fortaleza - CE. Após o processo, o suco foi embalado em embalagem de poliestireno tereftalato (PET), sendo conduzido ao Laboratório de Controle de Qualidade e Secagem do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, onde foram mantidas sob congelamento em freezer vertical, a -18 °C e, o descongelamento foi realizado na embalagem original do produto, em geladeira (5 °C) por 18 horas.

5.2.2. Preparo da amostra para a secagem e armazenamento dos pós de suco de caju obtidos.

Após o descongelamento, realizado na embalagem original do produto, em geladeira (5°C) por 18 horas. Foi pesado 600g de suco integral para cada ensaio e adicionado a maltodextrina. Após completa dissolução e homogeneização, a solução formulada foi levada a um spray-dryer modelo LM MSD 1.0 da marca Labmaq do Brasil com a utilização de um bico aspersor de 1,2mm de abertura de diâmetro e, o processo de atomização obedeceu aos parâmetros estabelecidos no planejamento composto central rotacional, que consiste dos 4 pontos do planejamento experimental 2² (com 2 níveis e 2 fatores) mais 4 pontos axiais referentes e 3 pontos centrais (tripla repetição no nível 0), perfazendo um total de 11 ensaios conforme Tabela 5.1, sendo mantidos constantes os seguintes parâmetros: velocidade de alimentação (0,55 L/h), concentração de maltodextrina (30% - p/p), vazão do ar comprimido (3,0L/min) e pressão de atomização (100 psi).

Para escolher a melhor condição de processo, foram avaliadas as influências das variáveis independentes (vazão do ar quente e temperatura do ar de entrada)

CAPÍTULO V

sobre as variáveis respostas de rendimento do processo e o teor de umidade no pó obtido.

Após a pesagem dos pós do suco de caju obtidos, para efeito de rendimento, os mesmos foram acondicionados em sacos de filme grofado, formados da combinação de poliamida e polietileno, sob temperatura ambiente (25 °C).

5.2.3. Determinações Analíticas nos pós do suco de caju

As determinações analíticas de umidade e rendimento realizadas nos pós do suco de caju foram realizadas em triplicata e, seguiu a metodologia descrita no capítulo III, subitem 3.2.4.

5.2.4. Análise Estatística

A análise de significância dos efeitos das variáveis independentes sobre as variáveis resposta, foi avaliada através do programa Statistica, versão 7,0 (StatSoft Co., 2007) bem como também a análise de variância (ANOVA) dos resultados obtidos. Neste contexto, o teste F foi empregado como critério de validação da significância estatística dos modelos obtidos ao nível de confiança de 95%.

5.3. Resultados e Discussão

Na Tabela 5.1 são encontrados os resultados médios para os parâmetros de rendimento e umidade realizados nos pós do suco de caju bem como o planejamento composto central rotacional. Onde, pode-se verificar que o ensaio 08 apresentou o maior valor absoluto para o rendimento e o menor valor absoluto para a umidade sendo, este ensaio, submetido às seguintes condições de processo: 3,75 m³/ min (vazão de ar quente) e 178°C (Temperatura de entrada do ar) e, estabelecido com a condição mais adequada de atomização para o suco de caju, como pode ser observado abaixo na análise qualitativa realizada.

CAPÍTULO V

Tabela 5.1 – Planejamento composto central rotacional e resultados médios para os parâmetros de rendimento e umidade para os pós do suco de caju.

Ensaios	Planejamento Composto		Análises Realizadas	
	Central rotacional		Rendimento (%)	Umidade (%)
	X ₁	X ₂		
01	3,25 (-1,00)	130,00 (-1,00)	88,01	1,50
02	3,25 (-1,00)	170,00 (1,00)	94,95	2,46
03	4,25 (1,00)	130,00 (-1,00)	85,54	3,06
04	4,25 (1,00)	170,00 (1,00)	98,31	2,04
05	3,04 (-1,41)	150,00 (0,00)	83,64	3,35
06	4,46 (1,41)	150,00 (0,00)	83,61	2,71
07	3,75 (0,00)	122,00 (-1,41)	73,98	3,05
08	3,75 (0,00)	178,00 (1,41)	99,30	1,36
09	3,75 (0,00)	150,00 (0,00)	93,20	3,00
10	3,75 (0,00)	150,00 (0,00)	95,00	2,63
11	3,75 (0,00)	150,00 (0,00)	94,40	2,74

Fonte: Elaborada pela autora.

Onde: X₁ = vazão de ar quente (m³/min) e X₂ = temperatura do ar (°C).

Os resultados de umidade dos pós do suco de caju variaram de 1,36 a 3,35% e encontram-se de acordo com os parâmetros estabelecidos pela legislação para produtos desidratados, sendo este um fator protetor ao desenvolvimento de microorganismos deteriorantes e patogênicos (BRASIL, 2005).

Na Tabela 5.2 são apresentados os resultados da ANOVA ao nível de 95% de confiança para as variáveis respostas de rendimento e umidade do pó mostrando que o modelo ajustado não foi significativo, com coeficiente de correlação de 0,64 e 0,80, respectivamente. O teste F mostrou valores de F_{calculado} inferior e superior aos valores de F_{tabelado} para a análise de regressão e falta de ajuste, respectivamente para o parâmetro de rendimento e, F_{calculado} inferior aos valores de F_{tabelado} tanto para a análise de regressão quanto para a falta de ajuste para o parâmetro de umidade.

CAPÍTULO V

Tabela 5.2 - Análise de variância para os parâmetros de rendimento (%) e umidade (%) do pó do suco de caju

Fonte de variação	Soma	GL	Média quadrática	Valor de F	F _{cal} /F _{tab}
	quadrática				
RENDIMENTO (%)					
Ressessão	474,43	5	94,89	3,89	0,77
Residual	122,12	5	24,42	-	-
Falta de Ajuste	120,44	3	40,15	47,79	2,49
Erro Puro	1,68	2	0,84	-	-
Total	596,55	10			
UMIDADE (%)					
Ressessão	2,69	5	0,54	1,77	0,35
Residual	1,52	5	0,30	-	-
Falta de Ajuste	1,45	3	0,48	13,81	0,72
Erro Puro	0,07	2	0,04	-	-
Total	4,21	10			

Fonte: Elaborada pela autora.

F_{tab} = 5,05

Apesar do modelo não ter sido significativo, observando os efeitos dos fatores lineares e quadráticos sobre o rendimento (Tabela 5.3), verifica-se que apenas a vazão de ar quente, em termo linear e, a interação entre as variáveis independentes não foram significativos sobre esta variável resposta. Sendo que apenas temperatura (linear) apresentou um efeito positivo no rendimento, ou seja, um aumento qualquer neste parâmetro pode acarretar um aumento no rendimento do pó do suco de caju. Já em termos quadráticos, tanto a vazão de ar quente quanto a temperatura apresentaram um efeito negativo sobre o rendimento.

CAPÍTULO V

Tabela 5.3 - Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística(p) para os fatores do modelo codificado para rendimento.

Fatores	Efeito Estimado	Erro Puro	t(2)	p-valor
RENDIMENTO (%)				
Vazão do ar quente(L)	0,21	0,65	0,33	0,77
Vazão do ar quente (Q)	-7,23*	0,77*	-9,46*	0,01*
Temperatura (L)	13,93*	0,65*	21,40*	0,00*
Temperatura (Q)	-4,27*	0,78*	-5,46*	0,03*
Vazão x Temperatura	2,92	0,92	3,18	0,09
UMIDADE (%)				
Vazão do ar quente(L)	0,06	0,13	0,43	0,71
Vazão do ar quente (Q)	0,07	0,16	0,43	0,71
Temperatura (L)	-0,61*	0,14*	-4,54*	0,04*
Temperatura (Q)	-0,77*	0,16*	-4,78*	0,04*
Vazão x Temperatura	-0,99*	0,19*	-5,21*	0,04*

Fonte: Elaborada pela autora.

* Valores significativos a $p \leq 0,05$; (L): termo linear; (Q): termo quadrático.

Para a variável resposta de umidade, observa-se na Tabela 5.3, que a temperatura (termos linear e quadrático) e a interação entre as variáveis independentes apresentaram um efeito negativo sobre esta variável resposta, ou seja, um aumento qualquer neste parâmetro pode acarretar em uma diminuição na umidade deste pó. Efeito também observado por Tonon et al.(2008), em seu estudo sobre a secagem por atomização de suco de açaí.

Na Equação 01 é apresentado o modelo empírico calculado a partir dos dados das variáveis independentes (vazão de ar quente e temperatura de entrada do ar) sobre o rendimento (variável resposta), utilizando os recursos do software *Statistica* 7.0.

$$\text{Rendimento} = -200,45 + 86,84x + 1,40y + 0,15xy - 14,47x^2 - 0,01y^2 \quad [\text{Equação 01}]$$

Onde:

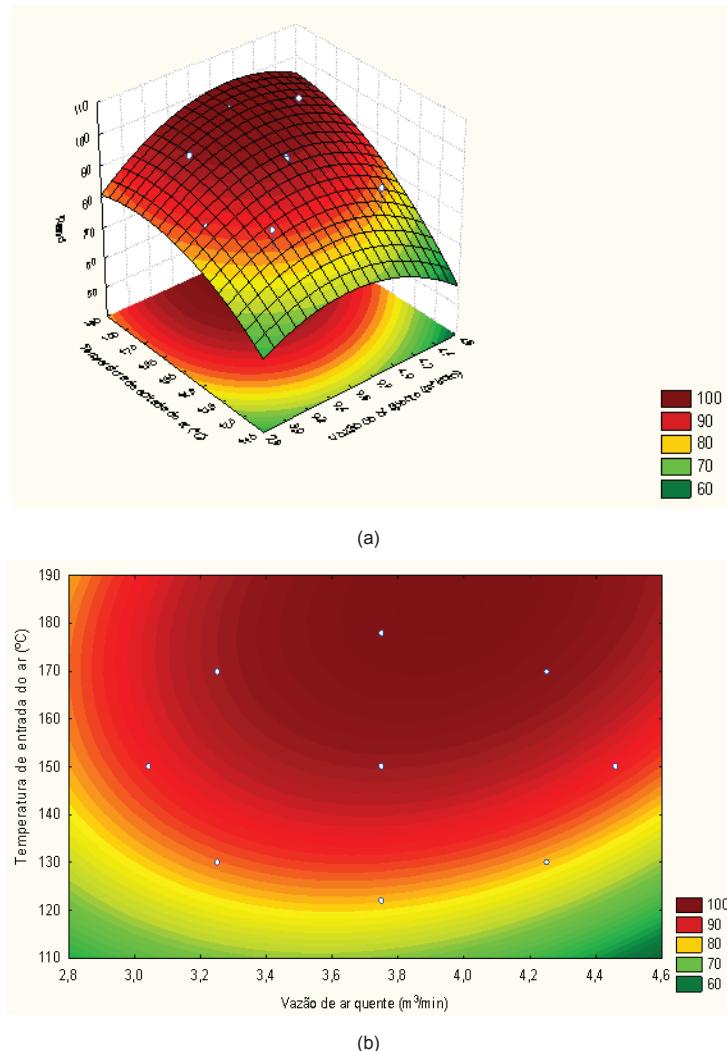
X = vazão de ar quente (m^3/min);

Y = Temperatura de entrada do ar ($^{\circ}\text{C}$).

CAPÍTULO V

Na Figura 5.1, pode-se observar a superfície de resposta e as curvas de contorno criadas a partir do modelo estatístico do planejamento experimental utilizado (Equação 01), onde se evidencia que os maiores valores encontrados para o parâmetro de rendimento (variável resposta em questão) ocorreram quando a temperatura do ar estava em suas maiores concentrações. E, apesar do delineamento utilizado não ter sido estatisticamente significativo, observa-se que foi encontrada uma região ótima experimental, ou seja, região onde é obtido o maior percentual de rendimento, não sendo possível se fazer mais teste com temperaturas maiores devido às características técnicas próprias do equipamento utilizado.

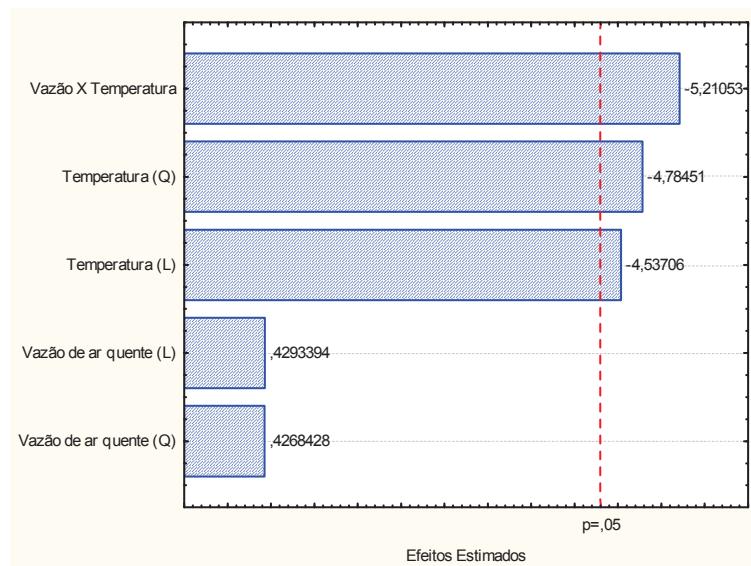
Figura 5.1 - Superfície de resposta (a) e curvas de contorno (b) do rendimento (%) do pó do suco de caju, de acordo com a vazão de ar quente ($\text{m}^3/\text{min.}$) e a temperatura ($^{\circ}\text{C}$).



Fonte: Elaborada pela autora.

Em relação à variável resposta de umidade, apesar do delineamento não ter sido significativo, observa-se através do gráfico de Pareto (Figura 5.2), que a temperatura (termos linear e quadrático) e a interação entre a vazão de ar quente e a temperatura apresentaram significância sobre esta variável resposta sob o nível de confiança de 95%.

Figura 5.2 - Gráfico de Pareto para análise dos efeitos dos parâmetros de vazão de ar quente e temperatura de entrada do ar sobre a umidade (variável resposta) do pó do suco de caju.



Fonte: Elaborada pela autora.

5.4. Conclusões

As condições mais adequadas de atomização, definidas a partir dos valores absolutos do rendimento (maior teor) e da umidade (menor teor) dos pós do sudo de caju, foram definidas como sendo: $3,75 \text{ m}^3/\text{min}$ de vazão de ar quente e 178°C da temperatura de entrada do ar.

CAPÍTULO V

5.5. Referências Bibliográficas

- ANDRIGUETO, J.R.; NASSER, L.C.B.; TEIXEIRA, J.M.A. **Produção integrada de frutas:** conceito, histórico e a evolução para o sistema agropecuário de produção integrada - SAPI. Disponível em: <www.agricultura.gov.br>. Acesso em: mar. 2010
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 272, de 22 de setembro de 2005. Dispõe sobre o “Regulamento Técnico para produtos de vegetais, produtos de frutas e cogumelos comestíveis”, **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2005.
- CIANCI, F. C.; SILVA, L. F. M.; CABRAL, L. M. C.; MATTA, V. M. Clarificação e concentração de suco de caju por processos com membranas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas – SP, v. 25, n. 3, p. 579-583, 2005.
- ESPERANCINI, M. S. T. **Mercado brasileiro de bebidas.** In: VENTURINI FILHO, W. G. (Coord.) **Tecnologia de bebidas: matéria-prima, BPF/APPCC, legislação e mercado.** São Paulo: Edgard Blücher, 2005. cap. 2, p. 21-49.
- ESTRELLA, A. Sucos tropicais no Brasil para consumo local. Juice Latin America 2004. 15-17 jun. 2004, São Paulo, Brasil, 2004. CD-Rom. 32 p.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal.** 2011. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=1613&z=t&o=11&i=P>. Acesso em: 19/02/2013.
- MAIA, G.A. Production and processing of tropical fruit juices from Brazil. In: **Annals of the 23rd IFU Symposium**, p. 128-139, Havana, 2000

CAPÍTULO V

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

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açaí (*Euterpe oleracea Mart.*) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 88, n. 3, p.411-418, 2008.

CAPÍTULO VI: CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, ISOTERMAS DE ADSORÇÃO E AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DO PÓ DO SUCO DE CAJU OBTIDO PELO PROCESSO DE SPRAY-DRYER.

6.1. Introdução

O Brasil é o terceiro maior produtor de frutas do mundo, mas a qualidade de nossos produtos não atende plenamente as exigências dos consumidores, especialmente quando se visa à exportação (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

Como a comercialização dos frutos está, praticamente, restrita a sua época de safra e, devido a sua alta perecibilidade, uma alternativa para reduzir as perdas existentes, que em algumas regiões do Brasil chega a 60% da produção, é o emprego da desidratação, um dos processos mais antigos utilizados para preservação de produtos com alto teor de água (FIOREZE, 2004).

A desidratação por meio de secadores por aspersão é o modo mais conveniente de secar soluções que contêm sólidos em suspensão, especialmente de origem orgânica (LANGRISH e FLETCHER, 2001). Este tipo de secagem consiste, basicamente, na atomização do líquido em um compartimento que recebe um fluxo de ar quente ocasionando uma rápida evaporação da água e permitindo manter baixa a temperatura das partículas, de maneira que a alta temperatura do ar de secagem não afete demasiadamente o produto (DAIÚTO e CEREDA, 2003).

As características do pó produzido em secadores por aspersão dependem principalmente das variáveis operacionais do secador (temperaturas de entrada e saída do ar do secador), da composição do suco de frutas, da concentração de sólidos no suco e também do tipo de aditivo utilizado na formulação.

Este capítulo teve como objetivos fazer uma caracterização físico-química do suco integral de caju em pó, avaliar seu comportamento higroscópico por meio de modelos matemáticos aplicados as isoterms de adsorção e, verificar a estabilidade deste pó durante 180 dias.

CAPÍTULO VI

6.2. Material e Métodos

6.2.1. Matéria-prima

Foi utilizada como matéria-prima o pó do suco de caju obtido por atomização em um Spray-dryer com a utilização de um bico aspersor de 1,2 mm de abertura de diâmetro e, as seguintes variáveis de processo: vazão de ar quente ($3,75 \text{ m}^3/\text{min}$), velocidade de alimentação (0,55 L/ h), temperatura de entrada do ar (178°C), concentração de maltodextrina 20DE (30 %), velocidade do ar (3,0 L / min), pressão de atomização (100 psi).

6.2.2. Embalagem para armazenamento do pó de suco de caju.

Também foram utilizadas neste trabalho as duas embalagens (transparente e laminada) descritas no Capítulo IV, subitem 4.2.2.

6.2.3. Determinações analíticas

Todas as determinações físico-químicas tanto no suco de caju quanto em seu pó foram realizadas em triplicata, sendo elas: atividade de água, umidade, pH, acidez titulável, sólidos solúveis, vitamina C, carotenóides, açúcares redutores e totais, análise colorimétrica (L^* , a^* , b^* , C^* , h_0^* e $\Delta E L^* a^* b^*$), higroscopicidade, grau de *caking*, reidratação, e construção das isotermas de adsorção, todas segundo as metodologias descritas no Capítulo IV, subitem 4.2.3.

6.2.4. Estudo da estabilidade

Após a caracterização físico-química realizada tanto no suco integral de caju como em seu pó, foi realizado um estudo sobre o efeito das condições de armazenamento sobre a estabilidade do pó do suco de caju. Sendo realizadas as determinações analíticas supracitadas em intervalos de 30 dias, por um período de 180 dias.

6.2.5. Análise estatística

A análise de variância das determinações analíticas realizadas, foi avaliada através do programa Statistica, versão 7,0 (StatSoft Co., 2007) assim como para realizar os procedimentos de otimização gráfica. Neste contexto, o teste F foi empregado como critério de validação da significância estatística dos modelos obtidos ao nível de confiança de 95%.

6.3. Resultados e Discussão

6.3.1. Caracterização do suco de caju e do pó do suco de caju.

Na Tabela 6.1 são apresentados os resultados das análises físico-químicas no que concernem aos parâmetros de umidade, pH, acidez, sólidos solúveis ($^{\circ}$ Brix) e os parâmetros de cor para o suco de caju e seu pó. Observa-se que todos os parâmetros avaliados para o suco de caju encontram-se de acordo com os teores preconizados pelos Padrões de Identidade e Qualidade para suco de caju (BRASIL, 2000). Em relação ao resultado encontrado para o parâmetro de umidade, pode-se dizer que o pó do suco de caju pode ser considerado um produto de difícil ataque microbiano e ocorrência de reações químicas indesejáveis, pois sua umidade perdeu em média 98,85% de água em relação ao suco de caju.

Pinheiro et al. (2006) em seu trabalho sobre sucos de frutas integrais, encontraram para o suco de caju valores de pH na faixa de 3,17 a 4,06 e os teores de sólidos solúveis variando no intervalo de 10,3 a 13 $^{\circ}$ Brix, estando os resultados médios encontrados nesta pesquisa em concordância com os referidos autores. Já em relação ao suco de caju em pó, o pH apresentou um valor inferior a 4,5, outro fator que confirma a estabilidade deste produto pois produtos com estes valores de pH são considerados ácidos, dificultando o desenvolvimento e proliferação dos microrganismos.

CAPÍTULO VI

Tabela 6.1 - Caracterização físico-química do suco de caju e do pó do suco de caju utilizados neste estudo.

Parâmetros Analisados	Suco de caju	Pó do suco de caju
Umidade (%)	90,02a ± 0,05	1,04b± 0,01
pH	3,92a ± 0,01	3,88b± 0,01
Acidez (%)	0,31a ± 0,03	0,40b± 0,01
Sólidos Solúveis (°Brix)	10,60a ± 0,00	98,67b± 0,58
Cor		
L*	79,37a ± 0,03	57,09b ± 0,01
a*	-3,64a ± 0,13	-1,52b ± 0,01
b*	8,99a ± 0,55	5,99b ± 0,01
C*	9,70a ± 0,54	6,18b ± 0,01
h ₀ *	67,93a ± 0,89	75,73b ± 0,01
ΔE*	-	22,58 ± 0,08

Fonte: Elaborada pela autora.

Médias seguidas da mesma letra na linha, não diferem entre si, segundo o teste F a 95% de confiança.

Também foi observado um incremento nos valores de acidez e sólidos solúveis (°Brix) no pó do suco de caju quando comparado com o suco de caju, este fato esta relacionado ao processo de secagem e, consequentemente, a concentração dos nutrientes no produto seco. Os valores de acidez, tanto para o suco integral quanto para seu pó foram inferiores ao encontrado por Assis et al. (2007) em seu estudo de recuperação e concentração de componentes do aroma de caju (*Anacardium occidentale* L.) por evaporação.

O suco em pó de caju apresentou boa característica física de cor. Em relação a esta análise, os parâmetros de luminosidade L* foram de 79,37 e 57,09 para o suco integral e para o suco de caju em pó, respectivamente. Esta diferença de luminosidade pode estar relacionada ao processamento utilizado, pois o efeito da temperatura durante o processo de secagem pode favorecer o escurecimento devido ao alto conteúdo de açúcar presente no suco de caju em pó. Este resultado esta em concordância com os resultados observados por Quek, Chok e Swedlund (2007), em seu estudo com suco de melancia em pó obtido por spray drying.

CAPÍTULO VI

Através destes parâmetros a* e b* constatou-se que o suco de caju em pó apresentou uma tendência por croma C* (parâmetro associado à pureza da cor) de menor intensidade de amarelo quando comparado com o teor observado para o suco de caju. Já para o ângulo de tonalidade (h_0^*) foi observado valor superior para o pó quando comparado ao do suco integral, porém ambos os ângulos de tonalidade situaram-se no primeiro quadrante do diagrama de cor, estando entre os eixos a+ (vermelho) e +b (amarelo), tendendo mais ao amarelo que ao vermelho.

Na Tabela 6.2 encontram-se os resultados médios para os parâmetros de atividade de água, vitamina C, carotenoides, açúcares redutores e totais tanto para o suco de caju quanto para o seu pó, bem como, a higroscopicidade, grau de *caking* e reidratação para o pó do suco de caju.

Tabela 6.2 - Caracterização físico-química do suco de caju e do pó do suco de caju.

Parâmetros Analisados	Suco de caju	Pó do suco de caju
Atividade de água	0,99a ± 0,00	0,22b ± 0,00
Vitamina C (mg/ 100g) b.s.*	1592,71a ± 52,05	282,67b ± 3,04
Carotenoides (mg/ 100g) b.s.*	1,82a ± 0,29	0,66b ± 0,02
Açúcar Redutor (%) b.s.*	47,36 ^a ± 1,46	25,48b ± 0,02
Açúcar Total (%) b.s.*	99,54a ± 1,34	56,38b ± 0,02
Higroscopicidade (%)	-	16,86 ± 0,30
Grau de <i>caking</i> (%)	-	85,35 ± 0,37
Reidratação (min.)	-	01,30 ± 0,00

Fonte: Elaborada pela autora.

Observando o parâmetro de atividade de água, verifica-se que após o processo de secagem, houve uma redução da ordem de 77,78 %, o que confere ao pó do suco de caju uma maior estabilidade microbiológica e, consequentemente, um aumento na vida útil do produto. Vale ressaltar que o pó do suco de caju apresentou um valor bem abaixo do indicado para frutas secas, que varia entre 0,51 e 0,89, conforme Franco e Landgraf (2005).

CAPÍTULO VI

Para o parâmetro de vitamina C tanto para o suco integral de caju quanto para o seu pó foram encontrados valores dentro do padrão observado na literatura por vários pesquisadores, dentre estes, Cianci et al. (2005), Aragão e Alsina (2007) e Maia et al. (2001). Vale ressaltar que o processo de atomização causou uma redução do teor de vitamina C da ordem de 82,25 %, sendo esta redução, relacionada ao efeito da temperatura na aceleração da degradação desta vitamina, fato documentado na literatura por diversos autores, como por exemplo, Al-Zubaidy e Khalil (2007), para suco de limão e, Oliveira et al (2013) em sua pesquisa sobre a cinética de degradação e vida-de-prateleira de suco integral de manga bem como a presença de outros fatores que ocasionam esta perca como, por exemplo, a presença de oxigênio, luz e etc.

O teor de carotenoides de 0,18mg/100g para o suco de caju encontrados nesta pesquisa, foi inferior tanto ao observado por Oliveira (2008) para o suco integral de caju (0,24mg/100g) em seu estudo da influência de adjuvante de secagem sobre as propriedades de suco de caju atomizado e por Abreu (2007) em sua pesquisa sobre a qualidade e atividade total de pedúnculos de clones comerciais de cajueiro anão precoce que determinou teores variando de 0,22 a 0,93mg/100g. Já em relação ao pó do suco de caju foi observado um valor superior ao encontrado por Oliveira (2008) que foi de 0,33mg/100g, porém esta diferença, apesar de se ter trabalhado com a mesma fruta e o mesmo processo de secagem pode ter se dado devido a diferenças da safra, da concentração do adjuvante de secagem bem como da técnica utilizada para a realização da análise.

É válido ressaltar que ao observar os resultados, em base seca, percebe-se que tanto os teores encontrados para o açúcar redutor quanto o total no pó do suco de caju tiveram uma redução em seus teores. Fato não observado por Brandão et al. (2003), que encontrou um aumento no teor de açúcares totais e, uma estabilização nos teores de açúcares redutores porém, esta discordância, deve-se aos diferentes processos de secagem utilizados, a diferença entre as frutas utilizadas nos estudos, etc.

Segundo a classificação de GEA Niro Research Laboratory (2003) o pó do suco de caju é considerado um produto higroscópico e com muita formação de caking. Oliveira (2008) verificando a influência de adjuvante de secagem sobre as

CAPÍTULO VI

propriedades de suco de caju atomizado encontrou valores variando de 37,21 a 45,86% de higroscopidade, valor bem acima do encontrado nesta pesquisa, porém o próprio autor informa que as condições de armazenamento foram abusivas, pois o pó foi exposto a uma umidade relativa de 90% sem nenhuma proteção (embalagem). Já em relação à reidratação, o pó do suco de caju necessitou de 01 minuto e 30 segundos para a sua completa dissolução.

É importante salientar que o pó do suco de caju apresentou-se mais higroscópico que o pó da polpa de manga, isto, além de outros fatores como, por exemplo, o teor de açúcares redutores presente, pode ser relacionado à granulometria dos referido pós, pois o pó do suco de caju apresentou-se mais fino que a polpa de manga em pó e, segundo Costa et al. (2003), o produto mais fino apresenta maior superfície de contato e, portanto, um número maior de sítios ativos absorvendo mais umidade que o material com granulometria maior.

6.3.2. Isotermas de adsorção

Na Tabela 6.3 são apresentados os parâmetros de ajustes para os modelos de GAB, BET, Henderson e Oswin das isotermas de adsorção do suco de caju em pó. E, analisando a referida tabela, tendo como base o erro médio e o coeficiente de determinação (R^2), pode-se observar que para o pó do suco de caju, o modelo de Henderson foi o que melhor se ajustou à curva experimental, com o menor valor de erro médio (E) e o maior valor no coeficiente de determinação (R^2) em todas as temperaturas estudadas. O segundo modelo que melhor representou esses dados experimentais foi o de GAB sendo, o modelo de Oswin, o que representou o pior ajuste para os dados em questão. Os coeficientes de determinação (R^2) apresentaram valores acima de 0,99 para ambos os modelos, possibilitando afirmar que as equações ajustaram-se, adequadamente, os resultados experimentais para a amostra. Diante disto, foram discutidos os principais resultados e elaborou-se as isotermas de sorção dos dois melhores modelos obtidos (Henderson e GAB).

CAPÍTULO VI

Tabela 6.3 - Parâmetros dos ajustes dos modelos das isotermas de adsorção do pó do suco de caju em diferentes temperaturas.

Modelos	T (°C)	Parâmetros			R ²	E (%)
		X_m	C	K		
GAB	25	0,1739	0,7292	0,8694	0,9983	9,5109
	30	0,1807	0,7440	0,8619	0,9981	9,7812
	35	0,1817	0,7416	0,8734	0,9978	8,7331
	40	0,1952	0,7550	0,8554	0,9980	9,4207
		X_m	C	n		
BET	25	0,2937	0,4621	1,7200	0,9927	17,3233
	30	0,4244	0,3160	1,7718	0,9931	16,7336
	35	0,1280	1,4796	1,5114	0,9900	17,0865
	40	0,5363	0,2581	1,7818	0,9944	14,5634
		a	b			
Henderson	25	0,7179	3,3780		0,9987	7,6575
	30	0,7333	3,3960		0,9984	8,0553
	35	0,7156	3,2101		0,9982	6,4217
	40	0,7454	3,2954		0,9982	7,6175
		a	b			
Oswin	25	0,1175	0,7640		0,9926	18,0193
	30	0,1222	0,7469		0,9918	18,8222
	35	0,1224	0,7894		0,9927	15,3273
	40	0,1279	0,7597		0,9925	16,9944

Fonte: Elaborada pela autora.

Onde: X_m = conteúdo de umidade na monocamada molecular (g . g⁻¹ em base seca); n = número de camadas moleculares; C = constante de BET relacionada ao calor de sorção da camada molecular; a , b e K = parâmetros de ajuste.

Observando-se a Tabela 6.3, verifica-se que os valores do conteúdo de umidade na monocamada molecular (X_m) do modelo de BET apresentaram flutuações aleatórias dentro da faixa de temperatura estudada e, para o modelo de

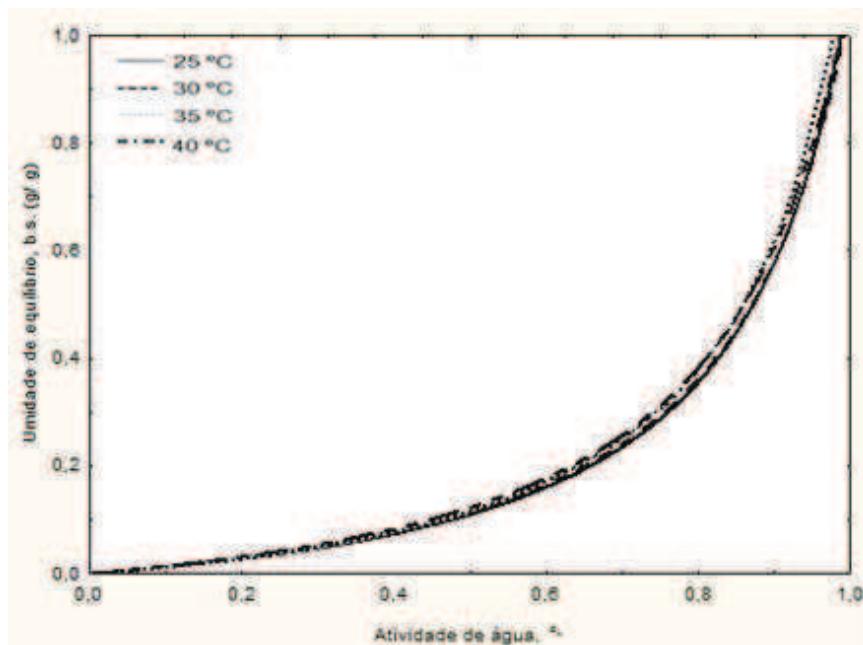
CAPÍTULO VI

GAB, ocorreu uma pequena elevação para este parâmetro com o aumento da temperatura. Este parâmetro (X_m), segundo Ferreira e Pena (2003), é de grande importância, pois pode ser relacionado com o início de uma série de reações químicas de deterioração dos alimentos, significando que, por exemplo, no seu estudo, para o modelo de GAB, os valores da umidade na monocamada (X_m) que variaram de 17,39% a 19,52 %, são os teores de umidade para uma armazenagem segura, na qual o material tem estabilidade e, está menos sujeito a alterações deteriorantes.

Há elevação no conteúdo de umidade na monocamada molecular (X_m) para o modelo de GAB, também foi observado nesta pesquisa para o pó da polpa de manga bem como por Firentin et al. (2010) em seu estudo da determinação da cinética e das isotermas de secagem do bagaço de laranja. Segundo Saltmarch e Labuzza (1980), para alimentos que contenham açúcar, em elevadas atividades de água, ocorre à dissolução deste constituinte e o açúcar cristalino é convertido em um amorf. A quantidade de água absorvida aumenta gradativamente depois desta transição, em virtude do aumento do número de sítios de adsorção na ruptura da estrutura cristalina do açúcar. Este processo é conhecido como endotérmico.

As isotermas de adsorção do suco de caju atomizado foram obtidas traçando os teores de água de equilíbrio do suco de caju em pó em função da atividade de água e, esta construção encerrou-se em um período de 5 dias. Os valores experimentais obtidos mostram que o comportamento das isotermas foi do tipo exponencial, conforme pode ser verificado em todas as figuras apresentadas. E, as curvas obtidas apresentaram formato do tipo III (formato de J), com uma zona mais plana na sua primeira parte, que caracterizam alimentos com grande quantidade de açúcar e solutos e, que têm pouca sorção por capilaridade (ORDOÑEZ, 2005). Este tipo de curva também foi observado por Gabas et al.,(2007) em polpa de abacaxi adicionada de maltodextrina ou goma arábica e seca a vácuo, por Wang, Zhang e Chen (2008) em gooseberry liofilizada e, por Tonon (2008), estudando o equilíbrio de açaí em pó atomizado com diferentes agentes carreadores.

Figura 6.1 - Isoterma de adsorção do pó do suco de caju para o modelo de GAB sob diferentes temperaturas (25°C, 30°C, 35°C e 40°C).



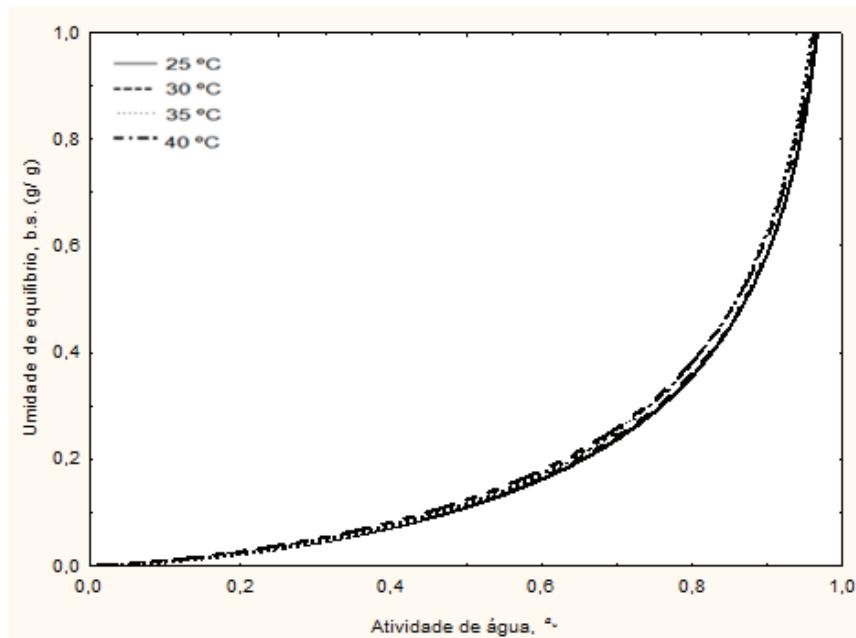
Fonte: Elaborada pela autora.

O parâmetro C , que representa a energia livre parcial molar, também apresentou flutuações aleatórias para o modelo de BET dentro da mesma faixa de temperatura estudada e para o modelo de GAB, os valores de C aumentaram com o aumento da temperatura, estando de acordo com o comportamento observado por Vencato et al. (2005), ao determinarem as isotermas da proteína de soja entre 10 e 40°C, uma vez que, embora sejam crescentes entre 25 e 35°C, a 30°C, apresenta um valor superior ao obtido para 35°C e, inferior ao encontrado para 40°C.

Com relação ao parâmetro K do modelo de GAB, que representa o fator de correção das propriedades das moléculas na multicamada com relação ao volume do líquido, observam-se valores menores que um (1), variando entre 0,8554 a 0,8734. Costa et al (2003) ao estudarem as isotermas de adsorção de pós de beterraba, abóbora e cenoura, desidratados em secador em leito de jorro, encontram valores de K também menores que um. Pode-se observar ainda que com o aumento da temperatura, com exceção do valor obtido para a temperatura de 35°C, tem-se uma diminuição desse parâmetro.

Ainda observando as Figuras 6.1 e 6.2, pode-se constatar que, em baixas a_w , o suco de caju em pó adsorve pequenas quantidades de água, sendo em altas a_w , observado um elevado aumento na quantidade de água adsorvida. Esse tipo de comportamento foi apontado por Telis e Sobral (2001) como típico de alimentos ricos em açúcares.

Figura 6.2 - Isoterma de adsorção do pó do suco de caju para o modelo de Henderson sob diferentes temperaturas (25°C , 30°C , 35°C e 40°C).



Os parâmetros encontrados para os modelos de Henderson e Oswin estão de acordo com o Blahovec (2004) que afirma que o modelo de Henderson deve apresentar $a > 0$ e $b > 1$ e, o modelo de Oswin, $a > 0$ e $0 < b < 1$ e, estes valores indicam que não há ponto de inflexão na curva e, sendo assim, não há mudanças na concavidade das funções, logo, esses parâmetros possuem consistência matemática e física.

Ainda, em relação ao parâmetro “a” dos modelos de Henderson e Oswin, seus valores sofreram um aumento com a elevação da temperatura, com exceção no modelo de Henderson a 35°C onde se observa um valor inferior ao encontrado na

CAPÍTULO VI

temperatura de 25°C. Um discreto aumento no parâmetro “a” também foi relatado por Oliveira et al. (2009) estudando as isotermas de dessorção da coroa do abacaxi.

Figura 6.3 - Amostras armazenadas em diferentes umidades relativas, a 25 °C.

CH_3COOK $a_w = 0,21$	
K_2CO_3 $a_w = 0,44$	
NaBr $a_w = 0,58$	
SnCl_2 $a_w = 0,76$	
KCl $a_w = 0,84$	
BaCl_2 $a_w = 0,90$	

Fonte: Elaborada pela autora.

CAPÍTULO VI

Na Figura 6.3 são apresentadas algumas mudanças nas características físicas do pó do suco de caju armazenada em diferentes umidades relativas. Quando armazenada sob umidades relativas de até 44% (K_2CO_3), as partículas permaneceram na forma de um pó solto. Em uma umidade relativa de 58% (NaBr), as partículas começaram a apresentar a formação de aglomerados que não se soltavam mais com tanta facilidade. Nos ambientes com umidade relativa mais elevada, as transformações físicas foram mais evidentes. Em umidades relativas superiores a 76% ($SnCl_2$), principalmente nas de 84 e 90%, as amostras já começam a ficar liquefeitas.

6.3.3. Estudo da estabilidade

De acordo com a Tabela 6.4, os parâmetros de atividade de água, umidade, pH e sólidos solúveis ($^{\circ}$ Brix) apresentaram diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$) entre as amostras armazenadas nas diferentes embalagens e, apenas a acidez não apresentaram resultado significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Em relação à atividade de água, observa-se que o seu teor aumentou com o tempo de armazenamento, atingindo um percentual de ganho de água de 42,86% e 142,86% ao final do armazenamento (180 dias) em relação ao tempo inicial para o pó do suco de caju armazenado na embalagem laminada e transparente, respectivamente. Para a umidade também foi observado comportamento semelhante, pois, neste parâmetro, foi observado um acréscimo de 44,68% (embalagem laminada) e 400,87% (embalagem transparente), este ganho de umidade pode ser atribuído tanto a higroscopicidade da amostra quanto a troca de umidade com o ambiente externo devido à baixa proteção fornecida pelas embalagens, em especial a embalagem transparente. Estes resultados estão de acordo com o observado por Ramos et al (2008) em seu estudo sobre o efeito do tipo de embalagem no armazenamento de abacaxi desidratado onde encontraram ganho crescente de umidade durante o período de armazenamento sob embalagens de polietileno transparente e de polietileno com folha de alumínio.

CAPÍTULO VI

Tabela 6.4 – Parâmetros físico-químicos avaliados no pó do suco de caju pelo período de 180 dias.

Tempo (dias)	a_w		Umidade (%)		pH		Sólidos Solúveis (°Brix)		Acidez (%)	
	E.L.	E.T.	E.L.	E.T.	E.L.	E.T.	E.L.	E.T.	E.L.	E.T.
0	0,21 a	0,21 a	0,94 b	1,15 a	3,83 a	3,82 a	98,67 a	98,67 a	0,40 a	0,40 a
30	0,22 b	0,36 a	0,94 b	2,05 a	3,84 a	3,82 a	97,33 a	95,67 b	0,39 a	0,39 a
60	0,23 b	0,40 a	1,10 b	4,93 a	3,89 a	3,95 a	95,00 a	95,00 a	0,37 a	0,37 a
90	0,23 b	0,41 a	1,10 b	4,96 a	3,86 a	3,93 a	94,67 a	94,67 a	0,38 a	0,36 a
120	0,24 b	0,47 a	1,14 b	5,38 a	3,84 b	4,07 a	93,33 a	93,00 a	0,38 a	0,39 a
150	0,25 b	0,48 a	1,28 b	5,71 a	3,91 b	4,12 a	92,33 a	92,67 a	0,39 a	0,38 a
180	0,30 b	0,51 a	1,36 b	5,76 a	3,93 b	4,10 a	92,00 a	92,67 a	0,37 a	0,37 a

Fonte: Elaborada pela autora.

E.L. – Embalagem Laminada; E.T. – Embalagem Transparente

Médias seguidas da mesma letra minúscula na mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% para as diferentes embalagens.

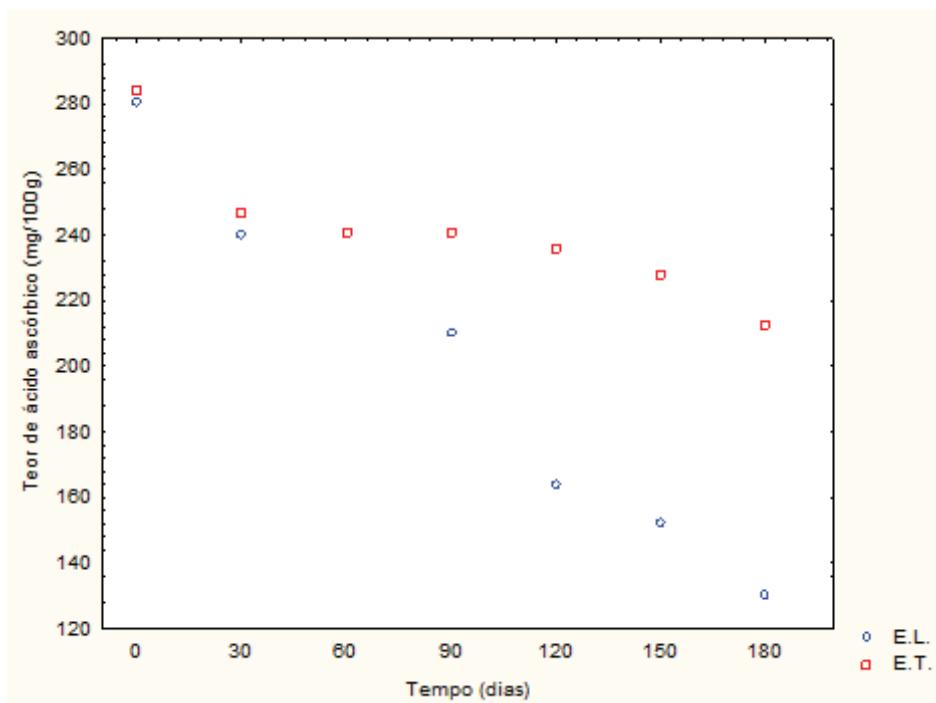
A faixa de pH variou de 3,83 a 3,93 para a amostra armazenada na embalagem laminada e, de 3,82 a 4,10 para a amostra da embalagem transparente, durante o período de armazenamento. Gava, Silva e Frias (2009) classificam os alimentos em três grupos em função do pH, sendo eles: pouco ácido ($\text{pH} > 4,5$), ácidos ($\text{pH} 4 - 4,5$) e muito ácido ($\text{pH} < 4,0$).

Para o parâmetro de sólidos solúveis, observa-se uma redução na concentração em torno de 6% para ambas as amostras (embalagens laminada e transparente) durante o período de armazenamento sendo, esta redução, atribuída ao aumento de umidade ocasionada pela troca de umidade com o ambiente externo. Moreira et al. (2011) observaram comportamento similar estudando a estabilidade da polpa de cupuaçu desidratada em estufa.

Em relação ao parâmetro de acidez, apesar de se observar uma leve redução em termos numéricos no decorrer do armazenamento, não foi verificado diferença estatística significativa podendo-se dizer que, neste período de armazenamento, a acidez não apresentou diferença estatística significativa. Em relação a esta redução numérica observada, este resultado é coerente com o observado para o pH, pois como o aumento do pH a acidez tende a diminuir.

Apesar da redução do teor de vitamina C com o armazenamento, conforme Figura 6.4, que foi da ordem de 25,14% para o pó do suco de caju armazenado na embalagem laminada e 53,46% para a armazenada na embalagem transparente. Nota-se que a embalagem laminada apresentou maior proteção para esse tipo de material e, estes resultados vão de encontro com o observado por Galdino et al. (2003) em seu estudo com umbu em pó.

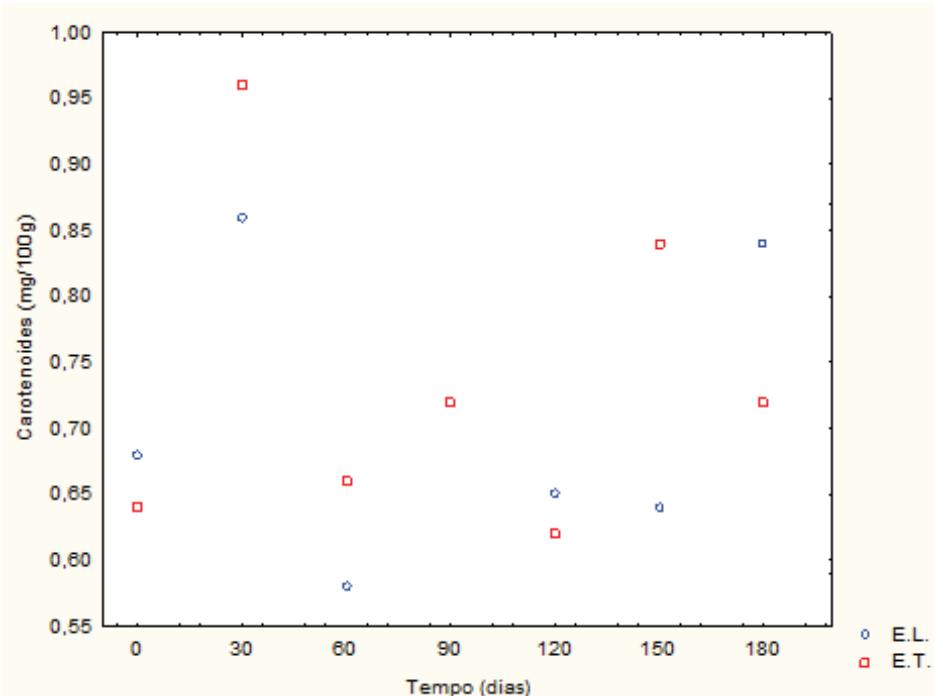
Figura 6.4 – Variação do teor de vitamina C no pó do suco de caju armazenado sob as embalagens laminada e transparente por um período de 180 dias.



Os valores médios para o parâmetro de carotenoides não apresentaram diferença estatística significativa apesar de apresentarem valores numéricos bastante diferentes, variando de 0,64 a 0,96mg/100g para o pó do suco de caju armazenado na embalagem laminada e, 0,58 a 0,86mg/100g para a amostra armazenada na embalagem transparente. Este fato de não ter sido observado diferença significativa apesar de valores numericamente diferentes, está relacionado à grande variabilidade entre os resultados, pois como observado também para o pó da polpa de manga, na realização desta análise, o pó do suco de caju ao entrar em

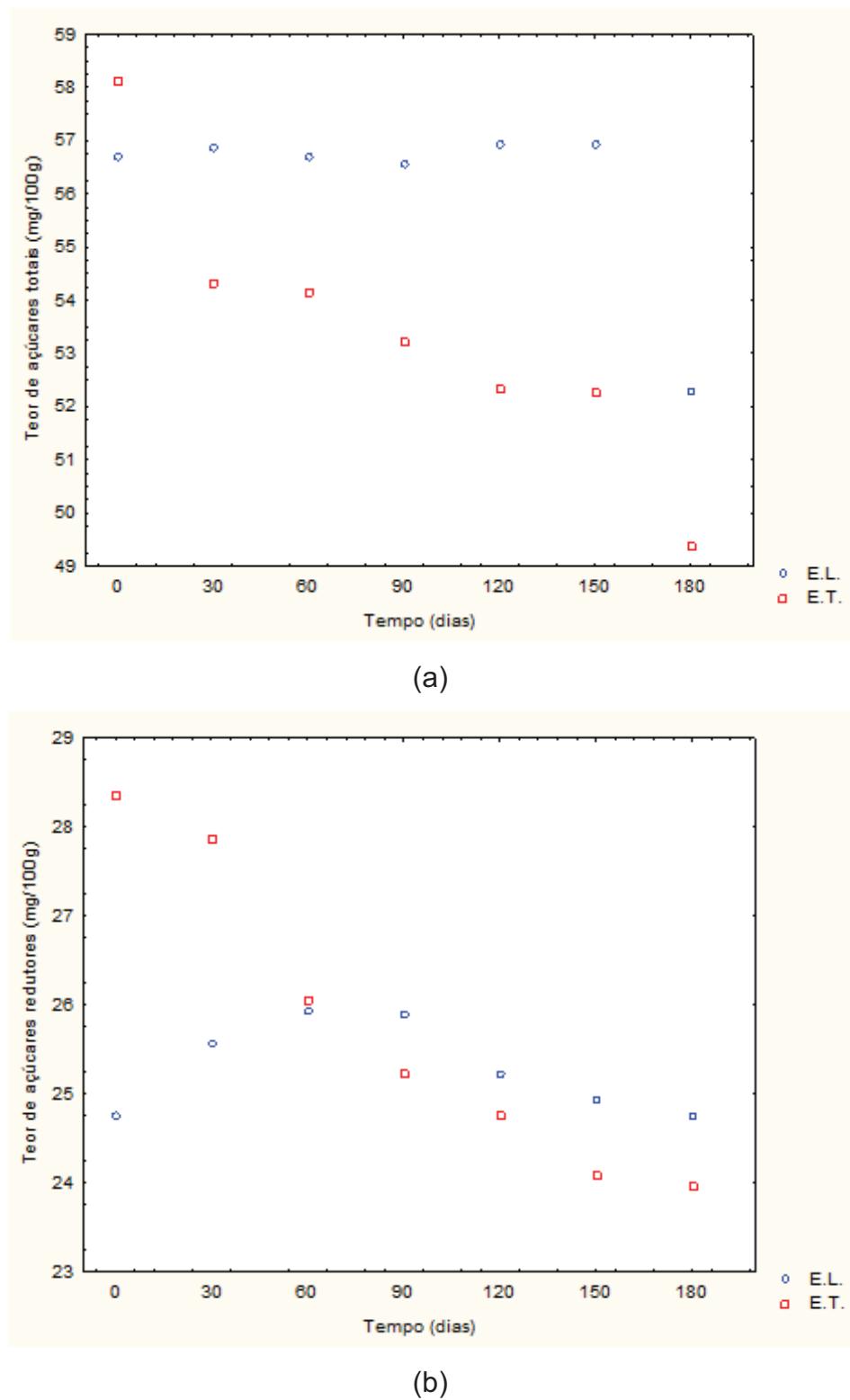
contato com a acetona (reagente utilizada na análise) ocorre à formação de um aglomerado que, pode estar dificultando a extração deste pigmento.

Figura 6.5 - Variação do teor de carotenoides no pó do suco de caju armazenado sob as embalagens laminada e transparente por um período de 180 dias.



Para os parâmetros de açúcares redutores e totais também foram observados redução em seus teores durante o período de armazenamento, principalmente para a amostra armazenada na embalagem transparente, apresentando diferença estatística significativa entre as amostras armazenadas nas diferentes embalagens. Fato também observado neste estudo com o pó da polpa de manga. Esta redução nos teores de açúcares redutores também foi constatada no estudo do armazenamento de tomate em pó feito por Pereira, Queiroz e Figueirêdo (2006), esses autores atribuem essa diminuição possivelmente ao aumento da umidade nas amostras ou pela degradação, e/ou transformação dos açúcares redutores em outros açúcares, ou, ainda, por outros componentes.

Figura 6.6 - Variação do teor de açúcares total (a) e redutor (b) no pó do suco de caju armazenado sob as embalagens laminada e transparente por um período de 180 dias.



CAPÍTULO VI

Os parâmetros L^* , a^* e b^* , bem como as coordenadas croma (C^*), o ângulo de tonalidade (h_0) e a diferença de cor (ΔE) do pó do suco de caju armazenados nas duas embalagens utilizadas são apresentados na Tabela 6.5. Onde, verifica-se que todos os parâmetros avaliados apresentaram diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$) entre as amostras armazenadas nas diferentes embalagens.

O parâmetro L^* variou significativamente ($p \leq 0,05$) ao longo dos 180 dias de armazenamento, apresentando uma redução em seus valores de 2,24% e 19,39% para o pó do suco de caju armazenado nas embalagens laminada e transparente, respectivamente, caracterizando um escurecimento deste produto que pode estar relacionado tanto devido a troca gasosa com o ambiente quanto devido ao efeito do processamento. Comportamento similar, foi observado por Gomes, Figueirêdo e Queiroz (2004) estudando o armazenamento da polpa de acerola em pó em embalagens de polietileno sob temperatura ambiente, onde houve uma redução da luminosidade em 18,8 % após 60 dias de armazenamento.

Tanto para a coordenada a^* que representa a variação da cor verde ($a^* < 0$) para vermelho ($a^* > 0$) quanto para a coordenada b^* que representa a variação da cor entre o azul ($b^* < 0$) e o amarelo ($b^* > 0$), foram observados comportamentos diferenciados no pó do suco de caju armazenados nas embalagens laminada e transparente, pois, para o parâmetro a^* foi observado uma redução da ordem de 21,29% para a amostra da embalagem laminada enquanto para a amostra da embalagem transparente ocorreu um acréscimo de 85,91% com o tempo de armazenamento. Já para a coordenada b^* foi observado comportamento inverso, ou seja, ocorreu aumento de 3,03% para a amostra da embalagem laminada e redução de 18,57% para o pó do suco de caju da embalagem transparente.

Tabela 6.5 - Parâmetros colorimétricos avaliados no pó do suco de caju pelo período de 180 dias.

Tempo (Dias)	Parâmetros Analisados										
	E.L. L*	E.T. L*	E.L. a*	E.T. a*	E.L. b*	E.T. b*	C*	H ₀ *	E.T. H ₀ *	E.L. ΔE	E.T. ΔE
0	57,15a	57,04b	-1,55b	-1,49a	5,95b	6,03a	6,15b	6,21a	75,36b	76,09a	22,53b
30	57,14a	57,07b	-1,77b	-1,73a	6,01a	6,02a	6,26a	6,26a	73,61b	74,21a	22,51b
60	57,16a	56,38b	-1,81b	-1,64a	6,02a	6,04a	6,28a	6,26b	73,29b	74,78a	22,48b
90	57,15a	56,03b	-1,88b	-1,61a	6,06a	6,02a	6,34a	6,23b	72,77b	75,03a	22,49b
120	57,12a	51,81b	-1,86b	-1,52a	6,06a	6,05a	6,34a	6,24b	72,91b	75,90a	22,52b
150	56,29a	49,87b	-1,89b	-1,36a	6,12a	5,30b	6,41a	5,47b	72,81b	75,63a	23,33b
180	55,87a	45,98b	-1,88b	-1,28a	6,13a	4,91b	6,41a	5,08b	72,95b	75,36a	23,74b
											33,73a

Fonte: Elaborada pela autora.

E.L. = Embalagem Laminada; E.T. = Embalagem Transparente.

Médias seguidas da mesma letra minúscula no mesmo período de tempo, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% entre as diferentes embalagens.

CAPÍTULO VI

Ainda sobre as coordenadas a^* e b^* , mais uma vez a embalagem laminada se sobressai sobre a embalagem transparente, pois o acréscimo da coordenada a^* , observada na amostra da embalagem transparente, pode ser consequência de reações de escurecimento provocadas pelo contato com o ar e, a redução da coordenada b^* caracteriza uma perda da coloração amarela, coloração característica do suco integral de caju e, isto também pode estar relacionado à presença de luz. Gomes, Figueirêdo e Queiroz (2004), também relataram em sua pesquisa que o aumento da intensidade de vermelho (a^*) associado à redução da luminosidade retrata o escurecimento das amostras.

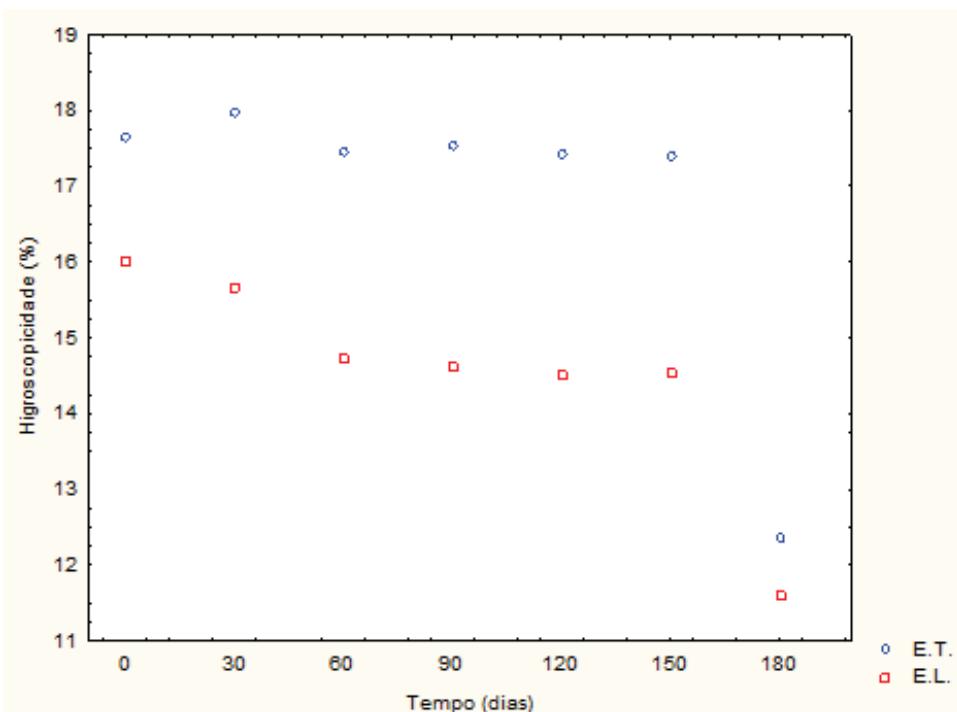
Para o croma (C^*), que indica a saturação ou pureza da cor, também foi verificado comportamentos diferenciados para o pó do suco de caju armazenado nas embalagens laminada e transparente, pois, na primeira ocorreu um acréscimo de 4,23% durante o período de armazenamento enquanto que na outra embalagem ocorreu uma redução de 18,20%. Este acréscimo, ocorrido no pó do suco de caju armazenado na embalagem laminada e, a redução no parâmetro de luminosidade para esta amostra, mostrou que a coloração se intensificou no período de armazenamento.

O ângulo de tonalidade (h_0) obtido para o pó do suco de caju armazenado nas duas embalagens se situou no primeiro quadrante do diagrama de cor, estando entre os eixos $+a$ (vermelho) e $+b$ (amarelo). É valido ressaltar que, todos os valores observados foram superiores 70°, tendendo mais ao amarelo que ao vermelho, fato que já era esperado devido à coloração original do suco integral de caju. Porém, ao observarmos os resultados obtidos para a diferença de cor (ΔE), verificamos que, segundo a National Bureau of Standard (NBS), a diferença de cor só é notada ao olho nu a partir de uma diferença de 0,5 entre a última medição e a primeira medição, ou seja, entre o tempo final (T_{180}) e o tempo inicial (T_0) (KOKSAL e DIKBAS, 2008). Desta forma, durante o período de armazenamento analisado, a mudança de coloração para o pó do suco de caju pode ser detectada a olho nu, pois a diferença de cor ocorrida entre o tempo final e o inicial foi de 1,21 para a amostra armazenada na embalagem laminada caracterizando uma leve mudança de coloração e, 11,1 para a amostra armazenada sob a embalagem transparente,

classificando esta mudança de coloração como grande como alterações de cor excessivas.

Na Figura 6.7 observa-se que a higroscopicidade do pó do suco de caju variou de 16,02 a 11,59 (para a amostra da embalagem laminada) e 17,65 a 12,36g de umidade por 100g de sólidos do pó (para a amostra armazenada na embalagem transparente). Uma alteração para este parâmetro também foi observada por Tonon, Brabet e Hubinger (2008) em seu estudo com o suco de açaí atomizado que observou variação de 12,5 a 15,8 g/ 100 g.

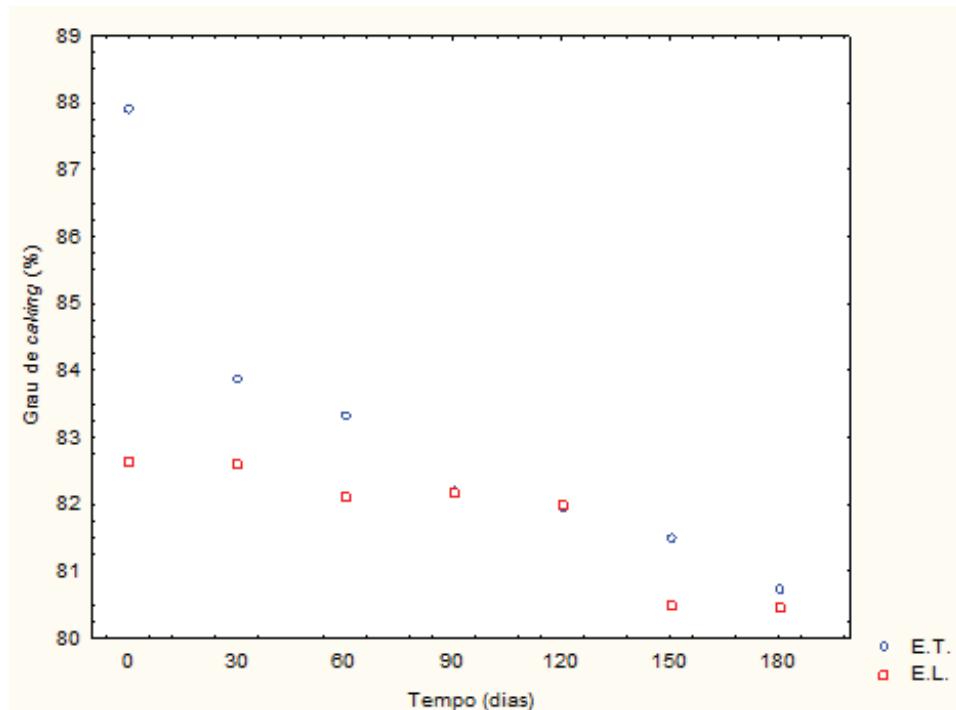
Figura 6.7 – Variação da higroscopicidade no pó do suco de caju armazenado sob as embalagens laminada e transparente por um período de 180 dias.



Segundo Downton, Flores-Luna e King (1982), o *caking* de pós produzidos a partir de alimentos com alta concentração de açúcares pode ser atribuído à absorção de umidade. A água é adsorvida na superfície das partículas, formando uma solução saturada e tornando as partículas pegajosas, capazes de formar pontes líquidas. Portanto, o grau de *caking* do pó está intimamente relacionado com sua higroscopicidade. Em relação a este parâmetro, o pó do suco de caju é considerado um produto com muita formação de *caking*, tanto nas duas embalagens

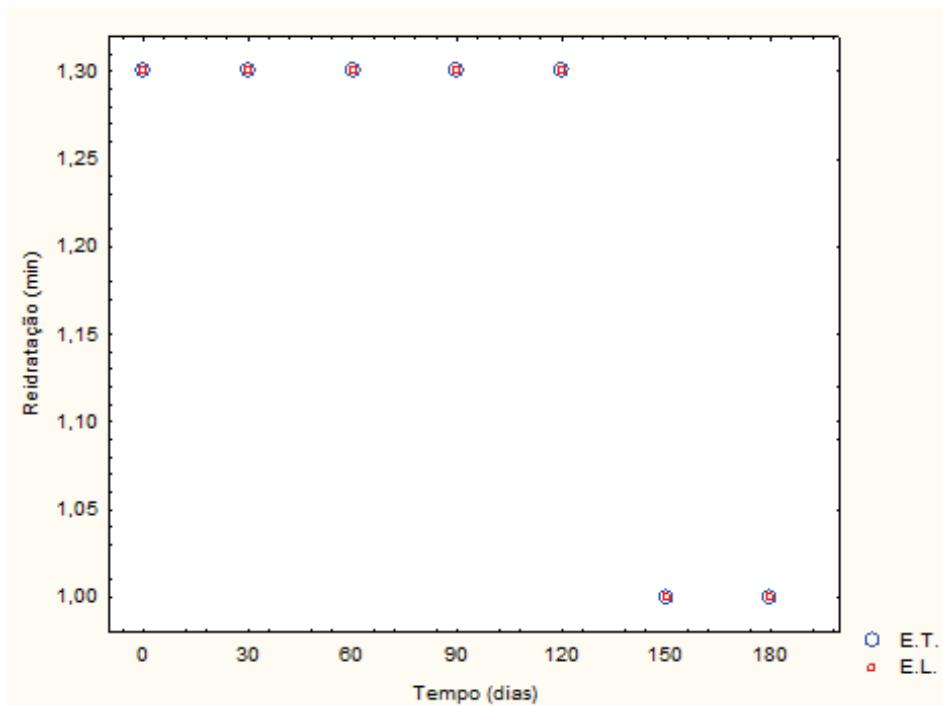
armazenadas quanto no decorrer do tempo de armazenamento (GEA Niro Research Laboratory, 2003).

Figura 6.8 – Variação do grau de caking no pó do suco de caju armazenado sob as embalagens laminada e transparente por um período de 180 dias.



Este parâmetro de reidratação é de fundamental importância para produtos desidratados, pois é considerado um atributo de qualidade. Em relação ao pó do suco de caju, com o aumento dos dias de armazenamento, observou-se uma redução no tempo para a reidratação das amostras na ordem de 23,08% para o produto armazenado tanto na embalagem laminada quanto na transparente.

Figura 6.9 – Variação do parâmetro de reidratação no pó do suco de caju armazenado sob as embalagens laminada e transparente por um período de 180 dias.



6.1. Conclusões

O pó do suco de caju oferece grande potencial de utilização por se apresentar como um produto de boa qualidade, tanto em relação as suas características físico-químicas quanto higroscópicas. Além de ser um produto na forma de pó que reduz os gastos com transporte e armazenamento.

O modelo Henderson, em todas as temperaturas analisadas, foi o que melhor se ajustou com um erro médio variando de 6,42 a 8,06% e coeficiente de determinação variando de 0,9981 a 0,9987, seguido pelo modelo de GAB, ambos podendo representar as isotermas de adsorção do pó do suco de caju.

Em relação às embalagens utilizadas, a embalagem laminada se mostrou mais adequada para o armazenamento do pó do suco de caju do que a embalagem transparente.

6.2. Referências Bibliográficas

ABREU, C. R. A. Qualidade e capacidade antioxidante total de pedúnculos de clones comerciais de cajueiro anão precoce (*Anacardium occidentale* L.)/ Cyntia Rafaelle Amaral de Abreu – Fortaleza, CE: 1, 2007. **Dissertação** (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará. Curso de Engenharia de Alimentos, 2007.

AL-ZUBAIDY, M.M.I.; KHALIL, R.A. Kinetic and prediction studies of ascorbic acid degradation in normal and concentrate local lemon juice during storage. **Food Chemistry**, v.101, n.1, p.254-259, 2007.

ARAGÃO, R. F.; ALSINA, O. L. S. Estudo experimental da secagem de fatias de caju em secador de bandejas. **Alimentos Ciencia e Ingeniería**, v. 16, n. 3, 2007.

ASSIS, A.V.R.; BIZZO, H.R.; MATTA, V.M.; CABRAL, L.M.C. Recuperação e concentração de componentes do aroma de caju (*Anacardium occidentale* L.) por pervaporação. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, 27 (2): 349 – 354, abr. – jun., 2007.

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

BRANDÃO, M. C. C. et al. Análise físico química, microbiológica e sensorial de frutos de manga submetidos à desidratação osmótico solar. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal. v. 25, n. 1, dez. 2003. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/rbf/v25n1/a12v25n1.pdf>>. Acesso em: 15/06/2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 1, de 07 de janeiro de 2000. Dispõe sobre o “Regulamento Técnico Geral para fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para Polpa de Fruta”, **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2000.

CAPÍTULO VI

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio.** 2. Ed. rev. e ampl. Lavras: UFLA, 2005.

CIANCI, F. C.; SILVA, L. F. M.; CABRAL, L. M. C.; MATTA, V. M. Clarificação e concentração de suco de caju por processos com membranas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas – SP, v. 25, n. 3, p. 579-583, 2005.

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

DAIÚTO, E. R.; CEREDA, M. P. Amido como suporte na desidratação por atomização e em microencapsulamento. In: CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F. **Tecnologias, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2003. v. 3. cap. 16, p. 449-474. (Série: Culturas de tuberosas amiláceas Latino Americanas).

DOWNTON, G. E. FLORES-LUNA, J. L. KING, C. J. Mechanism of stickiness in hygroscopic, amorphous powders. **Industrial and Engineering Chemistry Fundamentals**, v. 21, n. 4, p.447-451, 1982.

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

FIORENZE, R. **Princípios de secagem de produtos biológicos**. João Pessoa. Editora Universitária – UFPB, 2004, 229p.

FIRENTIN, L. D.; MENON, B. T.; ALVES, J. A.; BARROS, S. T. D.; PEREIRA, N. C.; MÓDENES, A. N. Determinação da cinética e das isotermas de secagem do bagaço de laranja. **Acta Scientiarum, Technology**, v. 32, n.2, p. 147 – 152, 2010. DOI: 10.4025/actascitechnol.v32i2.8242.

CAPÍTULO VI

FRANCO, B. D. G. de m; LANDGRAF, M. **Microbiologia de Alimentos**, 2005. 182 f, Editora Atheneu. São Paulo/SP.

GABAS, A. L.; TELIS, V. R. N.; SOBRAL, P. J. A.; TELIS-ROMERO, J. Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. **Journal of Food Engineering**, v. 82, n.2, p. 246 – 252, 2007.

GALDINO, P. O.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; SILVA, R. N. G. Avaliação da estabilidade da polpa de umbu em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 73-80, 2003.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B.; FRIAS, J.R. G. **Tecnologia de Alimentos: Princípios e Aplicações**. São Paulo: Editora Nobel. Nova edição revista e ampliada, 2009. 512p.

GEA Niro Research Laboratory. Analytical methods dry milk products. GEA Niro analytical methods 14 a e 15 a. Soeborg, Denmark. 2003. 103 p.

GOMES, P. M. de A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de; QUEIROZ, A. J. de M. Armazenamento da polpa de acerola em pó a temperatura ambiente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 3, jul. – set., 2004.

KOKSAL, T.; DIKBAS, F. Color stability of different materials against various staining agents. **Dent Materials Journal**, v.27, n.1, p. 139 - 144, 2008.

LANGRISH, T.A.G.; FLETCHER, D.F. Spray drying of food ingredients and applications of CFD in spray drying, **Chemical Engineering and Processing**, Elsevier, 40, p.345-354, 2001.

MAIA, G. A.; MONTEIRO, J. C. S.; GUIMARÃES, A. C. L. Estudo da estabilidade físico-química e química do suco de caju com alto teor de polpa. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n.1, p. 43 - 46, 2001.

CAPÍTULO VI

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

OLIVEIRA, A. N.; RAMOS, A. M. CHAVES, J. B. P.; VALENTE, M. E. R. Cinética de degradação e vida-de-prateleira de suco integral de manga. **Ciência Rural**, v. 43, n.1, p. 172 – 177, jan. 2013.

OLIVEIRA, M. A. Avaliação da influência de adjuvantes de secagem sobre as propriedades de suco de caju atomizado / Mirela Araújo de Oliveira – Fortaleza, CE: 1, 2008. **Dissertação** (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Curso de Engenharia de Alimentos, 2008.

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

ORDOÑEZ, J.A. **Tecnologia de Alimentos**: Componentes dos alimentos e processos. v.1, Porto Alegre: Artmed. 2005.

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

PINHEIRO, A.M.; FERNANDES, A.G.; FAI, A.E.C.; PRADO, G.M.; SOUSA, P.H.M.; MAIA, G.A. Avaliação química, físico-química e microbiológica de sucos de frutas integrais: abacaxi, caju e maracujá. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas - SP, v. 26, n.1, p. 98-103, jan.-mar., 2006.

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

RAMOS, A. M.; QUINTERO, A. C. F.; FARAOXI, A. S.; SOARES, N. F.F.; PEREIRA, J.A.M. Efeito do tipo de embalagem e do tempo de armazenamento nas qualidades

CAPÍTULO VI

físico-química e microbiológica de abacaxi desidratado. **Alimentos e Nutrição**, v. 19, n. 3, p. 259 – 269, jul/set. 2008.

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

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

TELIS, V.R.N.; SOBRAL, P.J.A. Glass transitions and state diagram for freeze-dried pineapple. **Lebensmittel Wissenschaft & Technology**, Zurich, v.34, n.4, p.199-205, 2001.

TONON, R. V. Secagem por atomização do suco de açaí: influência das variáveis de processo, qualidade e estabilidade do produto / Renata Valeriano Tonon. -- Campinas, SP: 1, 2008. **Tese** (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas. Faculdade Engenharia de Alimentos, 2008.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açaí (*Euterpe oleracea Mart.*) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 88, n. 3, p.411-418, 2008.

VENCATO, C. E.; MARCZAK, L. F. D.; NOREÑA, C. P. Z.; KITASAWA, S. Moisture sorption isotherms of organic soy protein (NGMO). In: MERCOSUR CONGRESS ON CHEMICAL ENGINEERING, 2., 2005, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ENPROMER. CD.

WANG, H.; ZHANG, S.; CHEN, G. Glass transition and state diagram for fresh and freeze-dried Chinese gooseberry. **Journal of Food Engineering**, v. 84, n.2, p. 307 – 312, 2008.

CAPÍTULO VII: CONSIDERAÇÕES GERAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.

7.1. Considerações Gerais

Ao analisar, inicialmente, a influência das condições do processo de secagem da polpa integral de manga, apenas o parâmetro de vazão de ar quente apresentou um efeito positivo significativo sobre o rendimento. Com isso, elaborou-se um novo planejamento experimental a fim de estabelecer uma região ótima de processo e, neste último delineamento, observou-se a influência da vazão de ar quente e da temperatura sobre as variáveis respostas de rendimento e umidade do pó, do qual se extraiu as melhores condições de processo.

Dante dos resultados encontrados nos delineamentos, tanto para a obtenção do pó da polpa de manga quanto do pó do suco de caju, as condições de processo estabelecidas foram: vazão de ar quente ($3,75\text{m}^3/\text{min}$), temperatura de entrada do ar (178°C), velocidade de alimentação ($0,55\text{L/h}$), concentração de maltodextrina (30%), vazão do ar comprimido (30L/min) e pressão de atomização (100psi).

O rendimento do processo para o pó da polpa de manga pode ser classificado como baixo, o que já era previsto, visto que a polpa integral de manga apresenta alta concentração de ácidos e açúcares de baixo peso molecular. Já para o pó do suco de caju, os resultados dos rendimentos são considerados altos, isto pode estar relacionado à diferença da concentração do produto inicial, pois o suco, apesar de integral é menos concentrado do que a polpa, apresentando menores concentrações de ácidos e açúcares de baixo peso molecular, parâmetros que contribuem para a fixação do produto nas paredes na câmara de secagem e, ocasiona a redução do rendimento final.

Os pós da polpa de manga e do suco de caju apresentaram características físico-químicas adequadas, como por exemplo, pH, acidez, retenção de vitamina C, baixas umidades e atividade de água bem como, uma boa higroscopicidade e

CAPÍTULO VII

capacidade de reidratação. Além de serem produtos na forma de pó que reduz os gastos com transporte e armazenamento.

As isotermas de sorção, tanto para o pó da polpa de manga quanto para o pó do suco de caju, apresentaram-se como isotermas do tipo III (Formato J), apresentando bons ajustes a todos os modelos utilizados, com valores de R^2 próximos a 1 e valores de erro relativo médio em geral inferiores a 10%, sendo o modelo Henderson, em todas as temperaturas analisadas, o que melhor se ajustou, seguido pelo modelo de GAB, ambos podendo representar as isotermas de adsorção destes produtos.

Em relação à estabilidade, ambos os pós, após o período de 180 dias de armazenamento, ainda apresentavam-se na forma de pó e com boas características físico-químicas e higroscópicas, sendo a embalagem laminada a que melhor apresentou barreira de proteção à amostra.

7.2. Sugestões para trabalhos futuros

Estudar o processo de secagem da polpa de manga e do suco de caju utilizando outros tipos de adjuvante de secagem como a goma arábica, goma de cajueiro, etc. bem como a combinações entre estes agentes, que possam resultar em produtos de boa qualidade e com um bom rendimento de processo, sempre levando em conta a relação custo-benefício;

Realizar a análise de carotenoides seguindo outra metodologia para verificar a perca e/ou a estabilidade deste constituinte nos pós obtidos;

Analizar a microestrutura das partículas, através de análise morfológica;

Fazer a determinação da temperatura de transição vítreia dos pós da polpa de manga e do suco de caju para junto a analise das isotermas poder se estabelecer a melhor condição de armazenamento destas amostras;

Caracterizar a composição mineral e vitamínica destes produtos;

Realizar uma análise sensorial do pó da polpa de manga e do pó do suco de caju verificando sua aceitação e intenção de compra.

Aplicar os pós produzidos a partir da polpa de manga e do suco de caju como ingredientes em outros produtos alimentícios (bebidas, iogurte, biscoito, etc) e, avaliar a estabilidade.