



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



DISSERTAÇÃO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM PROCESSAMENTO E
ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS

**ESTUDO DA POLPA DE ACEROLA (*Malpighia emarginata*
D.C.) DESIDRATADA EM LEITO DE JORRO**

PATRÍCIA MARIA DE ARAÚJO GOMES

Campina Grande - Paraíba

AGOSTO - 2002

**ESTUDO DA POLPA DE ACEROLA (*Malpighia emargina D.C.*) DESIDRATADA EM
LEITO DE JORRO**

PATRÍCIA MARIA DE ARAÚJO GOMES

**Dissertação apresentada ao curso de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola da
Universidade Federal de Campina Grande,
como parte dos requisitos necessários para
obtenção do título de Mestre em Engenharia
Agrícola**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Armazenamento e Processamento de
Produtos Agrícolas**

**ORIENTADORES: Profa. Dra. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo
Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz**

CAMPINA GRANDE – PB

AGOSTO/2002

DIGITALIZAÇÃO:
SISTEMOTECA - UFCG

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA UFCG

G 633e
2002
Gomes, Patrícia Maria de Araújo
Estudo da polpa de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.)
desidratada em leite de jorro/ Patrícia Maria de Araújo
Gomes. – Campina Grande: UFCG, 2002.
86p.: il.

Dissertação (Mestrado). UFCG / CCT
Inclui bibliografia

1. Acerola. 2. Leite de jorro 3. Armazenamento
I. Título

CDU: 634.3: 631.563



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

PATRÍCIA MARIA DE ARAÚJO GOMES

Título: "Estudo da Polpa de Acerola (*Malpighia emarginata* D.C.)
desidratada em Leito de Jorro".

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Rossana M^a F. de Figueiredo
Dra. Rossana Maria F. de Figueiredo-Orientadora

Aprovada

Alexandre J. Melo Queiroz
Dr. Alexandre José de Melo Queiroz-Orientador

APROVADO

Carlos Alberto Gasparetto
Dr. Carlos Alberto Gasparetto-Examinador

Aprovado.

Gabriel Francisco da Silva
Dr. Gabriel Francisco da Silva-Examinador

A PROVA DA

AGOSTO - 2002

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me ter dado condições para a realização deste ideal e coragem para enfrentar todos os obstáculos surgidos ao longo do meu caminho.

A meus pais, Paulo Gomes Perico e Maria do Carmo A. Gomes, pelo incentivo e confiança para a realização deste mestrado.

A Edson, pelo amor e apoio à mim dedicados ao longo deste trabalho.

Aos professores e funcionários do LAPPA, em especial à Prof^a Dr^a Rossana Maria Feitosa de Figueiredo, orientadora, pelo apoio e ensinamentos em prol desta dissertação.

Ao Departamento de Engenharia Química (DEQ) em especial a professora Odelsia Leonor S. de Alsina, que possibilitou a utilização das dependências do Laboratório de Operações e Processos, para os experimentos de secagem.

À CORN Produtos Brasil S.A. pela doação da maltodextrina.

À todos os colegas do mestrado, em especial Edimir, Eliana, Juci e Robert, pela sincera amizade e companheirismo.

A todas as pessoas que, embora não citadas, me ajudaram na realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	v
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO.....	01
1.1. Objetivos.....	02
1.1.1. Objetivo Específicos	02
CAPÍTULO 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	04
2.1. A Acerola.....	04
2.2. Polpas de frutas.....	05
2.3. Caracterização Físico-química.....	06
2.3.1. pH.....	07
2.3.2. Acidez.....	07
2.3.3. Sólidos Solúveis.....	08
2.3.4. Açúcares.....	09
2.3.5. Umidade.....	09
2.3.6. Vitamina C.....	10
2.3.7. Cinzas.....	11
2.4. Secagem.....	11
2.4.1. Leito de Jorro.....	12
2.4.2. Mecanismo de secagem.....	13

2.4.3. Secagem de pastas e suspensões em leite de jorro.....	14
2.5. Microencapsulação.....	17
2.5.1. Material de parede.....	19
2.5.1.1. Maltodextrina.....	20
2.6. Atividade de água.....	21
2.7. Isotermas de adsorção de umidade.....	22
2.8. Fluidez	24
2.9. Cor.....	25
2.10. Colorimetria.....	27

CAPÍTULO 3. MATERIAL E MÉTODOS.....29

3.1 Materiais.....	29
3.2. Caracterização da polpa de acerola.....	29
3.2.1. pH.....	29
3.2.2. Sólidos solúveis (°Brix).....	29
3.2.3. Ácido ascórbico.....	29
3.2.4. Sólidos totais.....	30
3.2.5. Acidez total titulável.....	30
3.2.6. Açúcares redutores.....	30
3.2.7. Cinzas.....	30
3.3. Secagem.....	30
3.4. Caracterização da polpa de acerola em pó.....	32
3.4.1. Densidade.....	32
3.4.2. Tempo de escoamento e ângulo de repouso.....	32
3.4.3. Molhabilidade pelo método de Schubert.....	33
3.4.4. Isotermas de adsorção de umidade.....	33
3.4.4.1. Ajuste dos modelos matemáticos.....	34

3.5. Armazenamento.....	35
3.5.1. pH.....	35
3.5.2. Umidade.....	36
3.5.3. Ácido ascórbico.....	36
3.5.4. Cor.....	36
3.6. Erros experimentais.....	36
3.7. Análise estatística.....	37
CAPÍTULO 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.1. Caracterização da polpa de acerola.....	38
4.2. Caracterização da polpa de acerola em pó.....	39
4.3. Isotermas de adsorção de umidade.....	40
4.4. Estudo do armazenamento da polpa de acerola em pó.....	44
4.4.1. Ácido ascórbico.....	44
4.4.2. Umidade.....	47
4.4.3. pH.....	50
4.4.4. Cor.....	52
4.4.4.1. Luminosidade.....	52
4.4.4.2. Intensidade de vermelho (a).....	55
4.4.4.3. Intensidade de amarelo (b).....	57
CAPÍTULO 5. CONCLUSÕES.....	58
CAPÍTULO 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
APÊNDICE A.....	75
APÊNDICE B.....	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Frutos da aceroleira.....	04
Figura 3.1. Esquema do secador leito de jorro.....	31
Figura 4.1. Isotermas de adsorção da polpa de acerola em pó, ajustada pelo modelo de GAB.....	43
Figura 4.2. Teor de ácido ascórbico (mg/100g) da polpa de acerola em pó, durante o armazenamento por 60 dias, com valores ajustados pela equação quadrática.....	47
Figura 4.3. Teor de umidade (%) da polpa de acerola em pó, ao longo dos 60 dias de armazenamento, com valores ajustados pela equação quadrática.....	50
Figura 4.4. pH da polpa de acerola em pó, ao longo dos 60 dias de armazenamento	52
Figura 4.5. Valores do parâmetro luminosidade (L) para a polpa de acerola em pó, ao longo dos 60 dias de armazenamento, ajustados pela equação quadrática.....	52
Figura 4.6. Valores de intensidade de vermelho (a) para a polpa de acerola em pó, ao longo dos 60 dias armazenamento ajustados pela equação quadrática.....	57
Figura 4.7. Valores da intensidade de amarelo (b) da polpa de acerola em pó, ao longo dos 60 dias armazenamento, ajustados pela equação quadrática..	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Padrões de identidade e qualidade para a polpa de acerola	06
Tabela 2.2. Composição química da polpa de acerola	06
Tabela 3.1. Umidade relativa de equilíbrio (%) das soluções saturadas de sais	33
Tabela 4.1. Caracterização físico-química da polpa de acerola (valores médios)	38
Tabela 4.2. Caracterização física da polpa de acerola em pó (valores médios)	39
Tabela 4.3. Valores experimentais da umidade de equilíbrio (U_{eq}) para as diferentes Atividade de água (a_w) da polpa de acerola em pó, nas três temperaturas estudadas	41
Tabela 4.4. Parâmetros de ajuste dos modelos testados da isoterma de adsorção da polpa de acerola em pó, coeficiente de determinação (R^2) e desvios relativos médios (P), nas temperatura de 20°C, 25°C e 30°C.	42
Tabela 4.5. Análise de variância dos valores médios do teor de ácido ascórbico da polpa de acerola em pó	44
Tabela 4.6. Valores médios do teor de ácido ascórbico da polpa de acerola em pó, durante o armazenamento	45
Tabela 4.7. Equações propostas para o cálculo do ácido ascórbico da acerola em pó em função do tempo de armazenamento	46
Tabela 4.8. Análise de variância dos valores médios do teor de umidade da polpa de acerola em pó	47
Tabela 4.9. Valores médios do teor de umidade da polpa de acerola em pó, durante o armazenamento	48
Tabela 4.10. Equações propostas para o cálculo do teor de umidade da acerola em pó, em função do tempo de armazenamento	49
Tabela 4.11. Análise de variância dos valores médios do pH da polpa de acerola em pó	50
Tabela 4.12. Valores médios do pH da polpa de acerola em pó, durante o armazenamento	51
Tabela 4.13. Análise de variância dos valores médios do parâmetro luminosidade (L) da polpa de acerola em pó	52
Tabela 4.14. Valores médios do parâmetro luminosidade (L) da polpa de	

Tabela 4.14. Valores médios do parâmetro luminosidade (L) da polpa de acerola em pó durante o armazenamento	53
Tabela 4.15 Equações testadas para o cálculo da luminosidade (L)	54
Tabela 4.16. Análise de variância dos valores médios do parâmetro intensidade de vermelho (a) da polpa de acerola em pó	55
Tabela 4.17. Valores médios do parâmetro intensidade de vermelho (a) da polpa de acerola em pó, durante o armazenamento	56
Tabela 4.18. Equações testados para o cálculo da Int. de vermelho (a)	56
Tabela 4.19. Análise de variância dos valores médios do parâmetro de intensidade de amarelo (b) da polpa de acerola em pó	58
Tabela 4.20. Valores médios do parâmetro intensidade de amarelo (b) da polpa de acerola em pó, durante o armazenamento	58
Tabela 4.21. Modelos de equações testados para o cálculo da Int. de amarelo (b)	59



Dissertação de Mestrado: Estudo da polpa de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) desidratada em leito de jorro

Autora: Patrícia Maria de Araújo Gomes

Orientadores: Prof.^ª Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo

Prof. Alexandre José de Melo Queiroz

Departamento de Engenharia Agrícola- DEAg. UFCG - Agosto / 2002

RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo de produzir polpa de acerola (*Malpighia emarginata* D.C) em pó, caracteriza-lá e estudar as alterações produzidas pelo efeito do seu armazenamento. O pó de acerola foi obtido mediante a secagem de uma solução contendo 90% de polpa de acerola e 10% de maltodextrina, em um secador do tipo leito de jorro, com temperatura do ar de secagem de 70°C. Caracterizou-se físico-quimicamente a polpa de acerola, através da determinação de pH, sólidos solúveis (°Brix), umidade, sólidos totais, acidez total, ácido ascórbico, açúcares redutores e cinzas. Determinaram-se as isotermas de adsorção de umidade da polpa de acerola em pó, nas temperaturas de 20°C, 25°C e 30°C, através do método gravimétrico estático, utilizando-se soluções saturadas de sais. Os dados experimentais das isotermas foram ajustados com as equações de BET, GAB, Oswin e Smith, sendo classificadas como Tipo III de acordo com BRUNAUER. Fez-se a análise física da polpa de acerola em pó, por meio da determinação da densidade, ângulo de repouso, tempo de escoamento e molhabilidade, cujo resultados demonstraram que o pó de acerola é um produto de alta higroscopicidade e apresenta problemas de fluidez. No estudo do armazenamento da polpa de acerola em pó, em temperatura ambiente, observou-se, após 60 dias de armazenamento, perda de 29,72% no teor do ácido ascórbico, aumento de 51,31% na umidade e escurecimento do pó, constatado através da leitura dos parâmetros da cor (L, a, b); o valor do pH variou durante o armazenamento, oscilando entre 3,7 e 3,8.



M. Sc. Thesis: **Study of the West Indian cherry (*Malpighia emarginata* D.C.) pulp dehydrated at spouted bed**

Author: **Patrícia Maria de Araújo Gomes**

Supervisors: **Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo**

Alexandre José de Melo Queiroz

Department of Agricultural Engineering – DEAg – August/2002

ABSTRACT

This work had, as aim, the obtaining and characterization of West Indian cherry (*Malpighia emarginata* D.C) powder pulp and study the storage effect in the powder. The West Indian cherry powder was obtained by drying a solution containing 90% of West Indian cherry pulp and 10% of maltodextrin, in a spouted bed dryer, with drying air temperature of 70°C. The West Indian cherry pulp was physical-chemically characterized, by pH, soluble solids (°Brix), moisture content, total solids, total acidity, ascorbic acid, sugars reducers and ashes. The moisture adsorption isotherms of the West Indian cherry powder were determined in temperatures of 20°C, 25°C and 30°C, by gravimetric static method, using saturated salt solutions. The experimental data of isotherms were fitted with the BET, GAB, Oswin and Smith's equations, being classified as Type III according to BRUNAUER. The physical analysis of West Indian cherry powder was made by determination of density, repose angle, funnel discharge time and wettability whose demonstrated that the West Indian cherry powder is a high higroscopic product and has difficulty of flowability. In the study West Indian cherry powder storage, at room temperature, was observed, after 60 days of storage, loss of 29.72% in the ascorbic acid content, increase of 51.31% in the moisture content, browning of the powder, this had been verified by the parameters of the color (L, a, b); the value of the pH varied during the storage, between 3.7 and 3.8.

1. INTRODUÇÃO

A importância comercial das frutas tem origem no valor desses produtos para a dieta humana, não só do ponto de vista do sabor e aroma mas, também, para satisfazer e/ou completar necessidades nutricionais essenciais.

A procura das frutas pelo homem e a sua colheita não estão em harmonia durante todo o ano. O problema se complica ainda mais após a colheita, devido ao início do processo de decomposição relativamente rápido. De modo geral, as frutas são comercializadas "in natura", resultando assim em grande desperdício. De encontro a este fato, recomenda-se a industrialização da matéria-prima, com a finalidade de regularizar a oferta nos períodos de entressafra, preservando-a por maior tempo através da utilização de processos conservantes eficazes, porém impróprios para frutas "in natura".

A acerola (*Malpighia emarginata*, D.C.) tem tido, nos últimos anos, grande comercialização, com boa aceitação no mercado devido, especialmente, ao seu elevado teor de vitamina C, conjugado a sabor e textura agradáveis ao paladar do consumidor. Associado ao crescimento do consumo e na medida em que aumenta a oferta, cresce também a necessidade do processamento da polpa visando tanto sua conservação, dado que o fruto "in natura" possui curta vida útil pós-colheita, como a obtenção de produtos com maior valor agregado.

Dentre os processos industriais disponíveis para o processamento de polpas tem-se a secagem como alternativa para concentrar os princípios da matéria-prima e diminuir o teor de água disponível para os processos de decomposição. Além disso, diminui o volume e a massa, reduzindo os custos de transporte e estocagem.

A secagem de polpas de frutas em leito de jorro é uma tecnologia simples, que fornece produtos a baixo custo, permitindo uma conservação com maior valor agregado. Outra vantagem deste processo é que pode ser feito em escala semi-industrial, uma vez que o leito de jorro se adequa bem à pequena produção.

A utilização do leito de jorro para a secagem de polpa de frutas pode ser dificultada por problemas para a obtenção do pó e com redução nos teores nutricionais dos elementos

nutritivos termolábeis, devido ao aquecimento a que é submetido o material. Uma forma de se minimizar esses efeitos é fazendo uso da microencapsulação.

A microencapsulação de partículas encontra inúmeras aplicações nas indústrias químicas, farmacêuticas e de alimentos. Um dos vários objetivos da microencapsulação é proteger produtos alimentícios altamente sensíveis à luz, calor e umidade dos efeitos desses agentes, assegurando a sua conservação e o valor nutricional.

As técnicas de microencapsulação são utilizadas comercialmente em diversos processos de secagem: secagem por atomização e em leito fluidizado, entre outras.

A utilização da microencapsulação para secagem de polpas de frutas em leito de jorro vem aliar uma técnica que permite uma preservação mais eficiente dos princípios nutricionais, de aroma e do sabor característicos desses materiais, a um método de processamento simples e de custo relativamente baixo.

1.1. Objetivo geral

Este trabalho foi realizado com o objetivo de produzir, caracterizar e estudar o efeito do armazenamento da polpa de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) em pó, produzida em secador do tipo leito de jorro.

1.1.1. Objetivos específicos

- a) Produzir polpa de acerola em pó, utilizando-se uma solução contendo 90% de polpa de acerola e 10% de material encapsulante (maltodextrina).
- b) Caracterizar, físico-quimicamente, a polpa de acerola, antes e após a secagem.
- c) Analisar o comportamento higroscópico através do levantamento das isotermas de adsorção de umidade da polpa de acerola em pó, através do método gravimétrico estático, com soluções saturadas de sais, em três diferentes temperaturas.

- d) Caracterizar, fisicamente, a polpa de acerola em pó, mediante o estudo do tempo de escoamento, ângulo de repouso, densidade e molhabilidade.

- e) Estudar a estabilidade da polpa de acerola em pó embalada em sacos de polietileno durante o armazenamento por 60 dias, sob atmosfera ambiente, através dos parâmetros ácido ascórbico, umidade, pH e cor.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A acerola

A acerola, também conhecida como cereja das Antilhas, cuja origem é a América Central, mais precisamente as Antilhas, teve seu valor vitamínico descoberto em 1945, na Universidade Botânica de Porto Rico, revelando-se então uma preciosa fonte de vitamina C.

A aceroleira (*Malpighia emarginata* D.C) pertence à família das malpighiáceas, seus frutos (Figura 2.1) são uma drupa de superfície lisa ou dividida em 3 gomos, com tamanho variando de 3 a 6cm de diâmetro. A coloração externa varia do laranja ao vermelho intenso, quando maduro, e possui polpa carnosa, suculenta e de cor alaranjada.



Figura 2.1. Frutos da aceroleira

Segundo CARVALHO & GUERRA (1995) a composição dos frutos depende de fatores, tais como: condições climáticas, cultivar, tratamentos culturais, estágio de maturação etc., podendo, inclusive, ser alterada devido ao processamento e armazenamento.

O conteúdo de vitamina C na acerola chega a ser aproximadamente 100 vezes maior que a encontrada na laranja, ou 10 vezes maior que a da goiaba, tidas como frutas possuidoras de alto conteúdo de vitamina C (GONZAGA NETO & SOARES, 1994), pelo qual motivo ficou conhecida como “cereja da vida longa”.

É também fonte de betacaroteno, vitaminas do complexo B e de minerais (cálcio, fósforo, ferro, magnésio e manganês) elementos essenciais a uma dieta alimentar equilibrada.

Devido às suas características nutricionais, o estudo da acerola despertou o interesse de vários pesquisadores em todo o mundo, sendo hoje largamente cultivada em diversas regiões brasileiras, destacando-se o Norte e o Nordeste.

De acordo com PIMENTEL (1996) na preparação dos frutos para o processamento eliminam-se quantidades consideráveis de nutrientes, principalmente ácido ascórbico e carotenos, que se encontram nas camadas mais externas as quais são eliminadas. O alto teor de ácido ascórbico presente na acerola nos oferece a possibilidade de industrializá-la e armazená-la sem que ocorram grandes variações nutricionais.

A acerola é consumida sobretudo na forma de sucos e polpas, mas pode ser encontrada também como sorvetes, balas, compotas, iogurtes e outros, podendo ser largamente ampliadas as maneiras de consumo da acerola, uma vez que todos esses produtos conservam altas doses de vitamina C (MARINO NETO, 1986).

2.2. Polpa de frutas

De acordo com CHEN et al. (1990) sucos ou polpas de frutas são soluções compostas de carboidratos, açúcares, ácidos orgânicos e sais solúveis de ácidos orgânicos, com suspensão de componentes não solúveis.

O Ministério da Agricultura define polpa de acerola como o produto não fermentado, não concentrado, não diluído, obtido da parte comestível da acerola, através de processo tecnológico adequado; onde esta deve obedecer a um padrão de qualidade definido pelo mesmo, com um teor mínimo de sólidos totais, proveniente da parte comestível do fruto (BRASIL, 2000).

Na Tabela 2.1, são apresentados os padrões de identidade e qualidade para a polpa de acerola exigidos pelo Ministério da Agricultura e Abastecimento.

Tabela 2.1. Padrões de identidade e qualidade para polpa de acerola

Composição	Mínimo	Máximo
pH	2,8	-
Sólidos solúveis	5,5	-
Acidez total, em ác. Cítrico (g/100g)	0,8	-
Açúcares totais (g/100g)	4,0	9,50
Sólidos totais (g/100g)	6,5	-
Ácido ascórbico (mg/100g)	800	-

Fonte: BRASIL (2000)

2.3. Caracterização físico-química

Os parâmetros físico-químicos e químicos são de grande importância pois, além de caracterizar a matéria-prima, são utilizados no controle de qualidade do produto final. Quando se trabalha com processamento de frutas, é imprescindível que seja realizada a sua caracterização, para que o produto obtido chegue ao consumidor apresentando ótima qualidade e maior vida de prateleira.

Outro objetivo da caracterização físico-química é identificar a composição nutricional do produto e auxiliar no desenvolvimento de novos produtos. A análise de polpa de frutas inclui, entre outras, as determinações de densidade a 20°C, acidez titulável, açúcares redutores, sólidos totais, cinzas e ácido ascórbico.

Na Tabela 2.2 são apresentados resultados sobre a composição físico-química de polpas de acerola in natura.

Tabela 2.2. Composição química da polpa de acerola

Parâmetros	ARAÚJO (2000)	OLIVEIRA (1999)
Umidade (%)	93,10	-
Sólidos totais (%)	6,9	-
Sólidos solúveis (°Brix)	5,75	6,25
Acidez total titulável (% ác. cítrico)	1,09	1,03
Açúcares redutores (%)	3,19	3,20
pH	3,16	3,07
Ácido ascórbico (mg/100g)	1313,4	989,47
Cinzas (%)	0,38	-

2.3.2. Acidez

A acidez total (fixa e volátil) em alimentos é resultante dos ácidos orgânicos do próprio alimento, dos adicionados intencionalmente durante o processamento e daqueles resultantes de alterações químicas do produto. Portanto, a determinação da acidez total pode fornecer dados valiosos na apreciação do processamento e do estado de conservação do alimento, CARVALHO et al. (1990).

De acordo com ARAÚJO (2000) a acidez total expressa a percentagem em peso dos ácidos orgânicos presentes nas frutas. É indicativo da participação ácida no gosto doce ácido, no caso de polpas.

Em geral, os teores de acidez não excedem 1,5 a 2,0%, com raras exceções, como limão e espinafre, que podem conter teores acima de 3%. No entanto, alguns frutos também podem apresentar acidez muito baixa (CHITARRA & CHITARRA, 1990).

A acidez total da acerola varia proporcionalmente com a quantidade de ácido ascórbico presente, mas não de forma linear; devido à presença de outros ácidos, em particular, do ácido levomálico, que constitui de 25 a 50% do total de ácidos presentes na acerola (Santini citado por MATSUURA, 1994).

2.3.3. Sólidos solúveis (°Brix)

Indicam a quantidade, em grama, dos sólidos que se encontram dissolvidos no suco ou na polpa. São comumente designados com °Brix e tem tendência de aumento com a maturação, porém se sabe da existência de variação nos valores entre os frutos, conforme variedade, estágio de maturação etc. Os sólidos podem ser medidos com auxílio de refratômetro e são constituídos principalmente por compostos solúveis em água, que representam substâncias, tais como açúcares, ácidos, vitamina C e algumas pectinas (CHITARRA & CHITARRA, 1990).

Segundo Rodrigues et al., citado por CABRAL (2001) o valor dos sólidos solúveis nos frutos é importante, uma vez, que quanto maior a quantidade de sólidos solúveis existentes, menor será a quantidade de açúcar a ser adicionada na indústria quando os

frutos são processados, diminuindo o custo de produção e aumentando a qualidade do produto.

O °Brix da acerola apresenta valores menores nos frutos imaturos em relação aos maduros, devido aos processos bioquímicos de produção de açúcares solúveis a partir do amido resultante do amadurecimento da fruta (FENNEMA, 1982).

2.3.4. Açúcares

Os açúcares solúveis presentes nos frutos na forma livre ou combinada, são responsáveis pela doçura, pelo "flavor", pela cor atrativa, como derivado das antocianinas e pela textura, quando combinados adequadamente polissacarídeos estruturais. Os principais açúcares em frutos são a glicose, a frutose e a sacarose, em proporções variada dependendo da espécie. O teor de açúcares geralmente aumenta com a maturação dos frutos (CHITARRA & CHITARRA, 1990).

Entre os hidratos de carbono encontram-se em primeiro lugar, os açúcares, que podem ser considerados como as principais substâncias das frutas. Os diversos grupos de frutas contém as seguintes quantidades de açúcares: frutas com sementes de 8 a 15%, frutas com caroços 6 a 12%.

De acordo com LARA et al. (1976) na análise de alimentos a identificação dos açúcares presentes numa amostra quase sempre depende da natureza dos produtos. Em muitos casos, uma simples medida físico-química é suficiente para sua determinação; em outros porém, torna-se oportuna uma separação dos açúcares componentes.

2.3.5. Umidade

Umidade é definida como sendo a perda de peso sofrida pelo alimento em condições nas quais a água contida nos mesmos é removida. Segundo OLIVEIRA (1997) o teor de água presente em qualquer alimento, é de suma importância para a determinação de procedimentos necessários ao processamento e armazenamento. É uma determinação difícil, visto que os métodos usuais para a sua quantificação envolvem a destilação da água presente no alimento e, com isto, outros compostos voláteis também são evaporados.

Quando um produto alimentício é aquecido em condições nas quais a água é removida, ocorrerá perda de peso, a qual corresponde à umidade do produto. O resíduo obtido do aquecimento é chamado resíduo seco (LARA et al., 1976).

Através do estudo da caracterização físico-química da polpa de acerola, ARAÚJO (2000) encontrou valores de 93,1% de umidade para a polpa integral.

2.3.6. Vitamina C

A vitamina C é uma das principais vitaminas que fazem parte de um grupo de substâncias químicas complexas, as quais são necessárias para o funcionamento adequado do organismo. Cerca de 90% das necessidades de vitamina C do homem advêm de frutas e hortaliças (CHITARRA & CHITARRA, 1990). É facilmente degradável, é estável apenas em meio ácido; os principais fatores capazes de degradar o ácido ascórbico, são: meio alcalino, oxigênio, calor, ação da luz e a enzima oxidase do ácido ascórbico

Em alimentos, a vitamina C exerce função muito importante, devido à sua ação fortemente redutora. É largamente empregada como agente antioxidante, para estabilizar cor, sabor e aroma (BOBBIO & BOBBIO, 1985).

Segundo BOBBIO & BOBBIO (1985) a estabilidade da vitamina C aumenta com o abaixamento da temperatura e a maior perda se dá durante o aquecimento de alimentos, porém existem casos de perda também durante o congelamento, ou no armazenamento de alimentos a baixas temperaturas.

A acerola é uma das mais ricas fontes naturais de vitamina C, com teores variando entre 1.000 a 4.670mg/100g (COUCEIRO, 1985). O alto teor de vitamina C da acerola também é significativo porque, mesmo que haja degradação da mesma, por ação da luz, oxigênio ou calor, durante o processamento, os produtos ainda retêm quantidades significativas de vitamina C, pois experiências feitas com suco de acerola mostraram que, depois de cozido para a fabricação de geléia, o produto ainda continha 495mg/100g de vitamina C (GUIA RURAL ABRIL, 1988).

2.3.7 Cinzas

Segundo Angelucci, citado por PEREIRA (2000) cinzas em alimentos se referem ao resíduo inorgânico obtido pela queima da matéria orgânica, sem resíduo de carvão, mas nem sempre as cinzas representam todas as substâncias inorgânicas presentes nos produtos, visto que alguns sofrem volatilização ou redução, durante o aquecimento.

De acordo com OLIVEIRA (1997) a determinação de cinzas é considerada com medida geral de qualidade, além de freqüentemente utilizada como critério na identificação dos alimentos: As cinzas contêm os componentes minerais, dentre eles: cálcio, magnésio, ferro fósforo e chumbo.

2.4. Secagem

A secagem é um processo de conservação de alimentos pelo uso de calor, que visa remover a água livre dos alimentos por evaporação, retardando o crescimento de microrganismos e aumentando seu tempo de conservação (EVANGELISTA, 1987). É uma operação unitária importante, pois visa preparar o produto para a armazenagem mas, se mal conduzida, poderá baixar a qualidade comercial do produto antes mesmo da armazenagem, ou acelerar o processo de deterioração durante a armazenagem (MARTINS & MATA, 1984).

Segundo MARTINS & MATA (1984) no processo de secagem ocorre a transferência simultânea de calor e massa, sendo necessária utilização de calor para evaporar a umidade da superfície do produto, através de um meio de secagem externo, normalmente o ar.

A secagem de alimentos de origem vegetal e animal, quanto ao modo de sua realização é efetuada através de dois tipos: secagem natural ou ao sol e secagem artificial ou desidratação.

Existem diversas técnicas de secagem que podem ser usadas na desidratação de alimentos, porém a escolha é orientada pela natureza do material a ser desidratado, pela

forma que se deseja dar ao produto processado, pelo fator econômico e pelas condições de operação (EVANGELISTA, 1987).

A secagem de pastas é uma operação extremamente complexa em virtude da grande diversidade de seus tipos, com características muito distintas. Não existe um único equipamento que possa ser recomendado para a secagem de todos os tipos de materiais pastosos. A escolha da técnica a ser utilizada, requer um estudo específico para a determinação do método mais adequado para sua secagem (FREIRE, 1992).

Conforme FREIRE (1992) o produto final desidratado pode apresentar várias formas, desde um pó finamente disperso, pós-granulado grosseiro, grânulos, ou até pós aglomerados.

Para a secagem de polpas de frutas tem-se que levar em conta a composição inicial e a utilização final do pó (FIGUEIRÊDO, 1998).

2.4.1. Leito de jorro

De início, o leito de jorro foi proposto por Mathur e Girhler, em 1955, com a finalidade de promover o contato entre o fluido e as partículas sólidas de dimensões relativamente grandes. É um equipamento de eficiência térmica elevada que ocupa área reduzida, de baixo custo operacional e, sobretudo, segundo SILVA (1991) oferece produtos de alta qualidade, o qual tem despertado especial interesse, devido à sua aplicabilidade em processos que envolvem altas taxas de transferência de calor e massa.

A secagem em leito de jorro evoluiu consideravelmente, ocupando importante lugar no processamento; esta técnica é aplicada com eficiência a materiais granulares, pastas e suspensões à granulação, no recobrimento de partículas e na secagem de grãos (FREIRE, 1992). A sua aplicação na secagem de alimentos tem-se ampliado a cada dia, viabilizando a obtenção de produtos com características satisfatórias para o consumo direto, ou como matéria-prima para alimentos desidratados (DIAS et al., 1998; LIMA & ROCHA, 1995).

De acordo com MORAIS (1996) o leito de jorro convencional, consta basicamente de uma coluna cilíndrica de base tronco-cônica, com injeção de gás, normalmente o ar,

pela extremidade inferior da base, proporcionando à circulação das partículas sólidas em uma região central chamada jorro, onde há o arraste pneumático e a formação de uma fonte de sólidos em movimento descendente, que se comportam como leito deslizante. A maioria das partículas sólidas retorna ao jorro pela região inferior da base tronco-cônica, invertendo o sentido do movimento e se deslocando de maneira ascendente completando, assim, o movimento cíclico dos sólidos.

A secagem de polpa de frutas em leito de jorro, é operada com um leito de partículas inertes. No processo, a polpa é injetada no interior da coluna a qual recobre o leito, formando uma fina camada do material alimentado, que é secado pelo ar quente, tornando-se quebradiço, e removido através dos choques entre partículas ou entre elas e a parede, sendo arrastado pelo ar ascendente para fora do leito, na forma de pó (SPITZNER NETO & FREIRE, 2000).

Nos últimos anos foram secadas em leito de jorro, pastas ou suspensões com diversas características reológicas, como sangue animal (RÉ & FREIRE, 1989), polpa de umbu (LIMA, 1992), polpa de acerola (LIMA, 1996), polpa de manga (MEDEIROS, 2001) entre outros, e secagem de grãos, como urucum (SILVA, 1991; ALMEIDA, 1993), feijão (FERREIRA et al., 2000; OLIVEIRA & ROCHA, 1999), arroz em casca (FARIA, 1997) e soja (COSTA, 1997).

2.4.2. Mecanismos de secagem

Altas taxas de transferência de calor e massa são uma das principais características do leito de jorro, bem como a friabilidade da película aderida à superfície das partículas. Segundo LIMA (1992) esses dois fatores governam a performance do secador, um deles pode ser a etapa limitante no que se refere à estabilidade do processo, uma vez que esta depende não somente da taxa de secagem como, também, das propriedades mecânicas da película que se estiver fortemente aderida, pode simplesmente continuar a crescer como num processo de granulação.

De acordo com Mujundar, citado por LIMA (1992) o leito de jorro utilizado na secagem de pastas e suspensões está, portanto, sujeito a diversas implicações de ordem técnica, que pode ser controlada por uma seleção cuidadosa de condições operacionais

indicadas para o tipo de material manipulado. Soluções viscosas podem provocar aglomeração das partículas inertes, causando sérios problemas e comprometendo a performance do jorro.

Conforme BARRET & FANE (1989) para que se compreenda o potencial de secagem de pastas e suspensões em leito de jorro, é preciso conhecer o mecanismo que ocorre no interior do leito. Da alimentação a obtenção do produto em pó, o mecanismo no interior da coluna é o seguinte:

- atomização da suspensão sobre o leito de partículas inertes
- deposição da suspensão formando uma película fina que reveste o material inerte
- secagem da película, tornando-a frágil
- quebra da película devido ao atrito interpartículas no jorro
- arraste do pó obtido pela fratura da película, através da corrente de ar
- separação do pó através de um ciclone situado na parte superior do secador

BARRET & FANE (1989) observaram que a taxa de acúmulo de material no leito, aumenta com vazão da suspensão; a acumulação diminui com o aumento da vazão do ar de secagem e também com o aumento da temperatura de secagem. Ressalta-se, no entanto, que o aumento da temperatura de secagem reduz a eficiência térmica (LIMA, 1992).

2.4.3. Secagem de pastas e suspensões em leito de jorro

RÉ & FREIRE (1987) investigaram a secagem de extratos vegetais (soluções hidro-alcoólicas de alcachofra, guaraná e ptendium) em secador de leito de jorro, constatando a viabilidade desta técnica para a secagem de extratos farmacológicos devido ao bom desempenho operacional do secador e à obtenção de extratos secos com boas propriedades organolépticas.

Ao estudar a secagem de urucum em leito de jorro, SILVA (1991) observou que o equipamento se adequou ao processamento em termos do seu desempenho na secagem e da qualidade do produto final, sobretudo com relação à perda de bixina.

Ao desidratar a polpa de umbu em leito de jorro, LIMA (1993) obteve um produto em pó de boa qualidade, com teor de vitamina C na ordem de 500 a 650mg/100g de pó, mostrando que houve pequena degradação térmica, verificando a viabilidade do uso do leito de jorro para secagem de polpa de umbu.

LIMA et al. (1995a) estudaram a desidratação de polpas de frutas tropicais (serigüela, cajá e acerola) em leito de jorro, analisando o desempenho do processo e a qualidade do pó obtido. Os resultados experimentais indicaram problemas como o escurecimento da polpa de acerola, sob o efeito da temperatura de secagem (68,5°C).

Ao analisarem a influência das variáveis operacionais (temperatura, carga de inertes e vazão do ar) na desidratação da polpa de serigüela em leito de jorro, LIMA et al. (1995b) concluíram que, dependendo da faixa operacional, o pó de serigüela obtido apresenta baixo teor de umidade, em torno de 5%, compatível com os níveis exigidos para conservação.

LIMA (1996) realizou um estudo da dinâmica do secador leito de jorro convencional, para secagem de polpa de acerola. Foram feitos testes fluidodinâmicos através da análise das curvas típicas de um leito de jorro, com o objetivo de se obter as variáveis fluidodinâmicas que possam propiciar ao leito uma boa qualidade de jorro, em presença da polpa. Também foram estudados as circulações local e média de partículas sólidas e os perfis axial e radial de queda de pressão, para várias condições de operação. Os resultados mostraram que, com o aumento da porcentagem de polpa alimentada, os valores das variáveis fluidodinâmicas de queda de pressão máxima e queda de pressão de jorro mínimo aumentaram, ao contrário da velocidade de jorro mínimo, que não sofreu influência significativa deste parâmetro; observou-se, ainda, que a presença de polpa diminui a circulação de sólidos.

MORAIS (1996) também testou o desempenho do secador leito de jorro convencional para secar polpa de acerola, analisando a influência da temperatura, da vazão de entrada do ar e da altura do leito. Os resultados desses estudos mostraram que a temperatura não influenciou de maneira significativa o rendimento do pó, mas a umidade contida no pó é influenciada pela mesma. A vazão do ar influencia na umidade do pó para alturas do leito na região cônica, enquanto a altura do leito afeta diretamente o rendimento do pó.

CORREIA (1996) analisou a viabilidade da utilização do leite de jorro na secagem de pasta residual de soja, com objetivo de produzir farinha de soja com alto teor de proteínas e de gordura, com umidade aceitável para o setor alimentício, em que os melhores resultados foram obtidos utilizando o leite na sua configuração clássica.

DIAS et al. (2000) realizaram a secagem de feijão preto (*Phaseolus vulgaris*, L.) em leite de jorro bidimensional. Foi feito um estudo sobre a influência do tempo de secagem, da vazão de ar injetado no sistema e da carga de grãos em cada batelada sobre o tempo de cozimento, a capacidade de absorção, a densidade e o diâmetro da partícula. A taxa de secagem também foi estudada. Observou-se que em 6 horas a redução de umidade do grão é cerca de 60% e as condições operacionais estudadas não afetaram significativamente as propriedades físicas nem tecnológicas do feijão.

Um secador de leite de jorro bidimensional de seção retangular foi utilizado por FERREIRA et al. (2000) para produzir concentrado de feijão em pó. A partir dos resultados obtidos, concluíram que as variações nas condições de secagem não afetam significativamente o tamanho das partículas, a concentração mais adequada foi de 0,33g/ml e que suspensões com concentrações iguais a 1,00g/ml provocaram excessiva aglomeração das partículas inertes além de aumento da retenção do material no secador, com queda na eficiência de recuperação. A umidade final do pó é fortemente dependente da temperatura de secagem, sendo possível obter-se pós com umidades finais em torno de 0,055 b.s., em temperaturas de operações superiores a 60°C.

SPITZNER & FREIRE (2000) propuseram um método para a medida do grau de saturação da pasta em um leite de partículas no processo de secagem em leite de jorro. Utilizando ovo homogeneizado, foi verificado que os valores desse parâmetro assim como da umidade do filme de pasta (ovo) que recobria as partículas, praticamente não é alterada ao longo do leite, mostrando que o leite de jorro é um bom misturador.

MEDEIROS (2001) estudou a influência da composição química correlacionada com propriedades físicas das suspensões, na secagem de polpas de frutas tropicais em leite de jorro. Realizou-se uma série de experimentos fluidodinâmicos e de secagem, para se avaliar o efeito da composição sobre os parâmetros fluidodinâmicos do leite sobre a eficiência de produção de pó, retenção de sólidos e sobre as perdas de sólidos no

equipamento. Os resultados obtidos mostraram que a eficiência de produção de pó foi muito baixa, verificando-se elevada retenção de sólidos e grande quantidade do material disperso sobre a parede do equipamento.

2.5. Microencapsulação

A microencapsulação envolve técnicas sofisticadas e complexas de controle de propriedades de partículas sólidas, capazes de se incorporarem a um dado material ativo (ONEDA & RÉ, 1999). É um processo físico que envolve partículas sólidas, soluções ou dispersões, gotículas de líquidos ou de gases através de uma membrana fina de revestimento chamada material de parede, que serve para proteger o material ativo de fatores que possam causar deterioração, ou para estabilizar, permitindo a liberação controlada de componentes do núcleo sob determinadas condições (ROSEMBERG et al., 1990; SENNE & OLIVEIRA, 1999).

Esta técnica pode reter os voláteis e o aroma dos componentes dos produtos alimentícios, sua utilização depende das propriedades químicas e físicas do material a ser encapsulado, do tamanho desejado das microcápsulas, tipo de aplicação e mecanismo de liberação dos componentes do material ativo (JACKSON & LEE, 1991).

De acordo com BAKAN (1978) a utilidade geral da microencapsulação é manusear líquidos como sólidos, separar componentes numa mistura de sólidos, reduzir a volatilidade do material, proporcionar proteção do ambiente aos compostos do núcleo, alterar as propriedades da superfície, controlar a liberação dos componentes, reduzir a volatilidade ou inflamabilidade de líquido e mascarar o sabor amargo de alguns compostos.

Muitos produtos de interesse comercial, principalmente nas indústrias alimentícias e farmacêuticas, são substâncias voláteis, termo-sensíveis e susceptíveis à oxidação, encontrando-se freqüentemente na forma líquida, na condição ambiente. Por conseqüência, essas substâncias podem sofrer alterações irreversíveis de suas propriedades químicas e/ou de seus perfis sensoriais quando expostas, sem proteção, ao contato com outros materiais ou meio externo (SEENE & OLIVEIRA, 1999). Por isso, há necessidade da microencapsulação, pois transforma essas substâncias em materiais mais estáveis e com melhor facilidade de manuseio (forma sólida).

Vários são os métodos de microencapsulação, os quais têm sido amplamente estudados, dentre eles a coacervação em fases separadas, técnicas de polimerização, a secagem por aspersão (spray dryer), método de suspensão em ar e leite de jorro.

Inúmeros produtos alimentícios têm sido encapsulados, entre os quais ácidos, bases, aminoácidos, corantes, enzimas, microrganismos, aromas, gorduras, óleos, vitaminas, minerais e adoçantes.

ONIMARU & FREIRE (1995) analisaram a influência do diâmetro e da forma da partícula no recobrimento à base de açúcar em leite de jorro, cujos resultados mostraram influência significativa do diâmetro e menos significativa da forma.

ONEDA & RÉ (1999) investigaram a microencapsulação de sais orgânicos de cálcio pelo processo de spray drying, avaliando a influência de parâmetros do processo, como: tipo de polímero e proporção mássica entre material ativo (fonte de cálcio) e agente encapsulante (polímero) na qualidade do produto microencapsulado.

SEENE & OLIVEIRA (1999) estudaram a viabilidade de se utilizar o leite de jorro na microencapsulação do óleo essencial da casca de laranja. Analisou-se a influência da vazão de alimentação da matriz encapsulante e da temperatura de entrada do gás na retenção dos voláteis e no rendimento do processo, observando-se que os valores da retenção do óleo essencial no produto obtido se situaram entre 9 e 40% e foram dependentes das variáveis estudadas.

QUEIROZ FILHO et al. (1996) analisaram o recobrimento de comprimidos com filme polimérico em leite de jorro bidimensional, envolvendo três diferentes posições de atomização sobre o leite de partículas. Observaram-se as diferenças na qualidade da superfície do comprimido recoberto em função da posição de atomização e das variáveis do processo.

2.5.1. Material de parede

Também chamado cápsula, material de cobertura ou membrana, é representado por uma grande variedade de polímeros naturais ou mesmo películas sintéticas (BAKAN, 1978).

O uso de aditivos para facilitar a secagem e melhorar as propriedades para o transporte e armazenagem dos pós é inevitável, pois a alta higroscopicidade e termoplasticidade natural desses pós, que são obtidos de sucos de frutas causam problemas, como: adesão nas paredes do secador, dificuldade de manuseio, endurecimento, entre outros (BRANDARI et al., 1993).

Segundo MASTERS (1976) sucos de frutas são difíceis de desidratar convenientemente sem o uso de aditivos. A quantidade de material adicionado pode variar de acordo com a natureza da fruta em questão e das condições de secagem empregadas.

A variedade de material de parede, comumente usado na microencapsulação, é relativamente limitada e inclui gomas naturais, carboidratos, proteínas, ceras e alguns polímeros naturais quimicamente modificados (ASCHERI, 1999).

Conforme KING et al. (1976) certas condições devem ser preenchidas para que um material de parede tenha desempenho adequado, e são citadas a seguir:

- impedir as perdas dos componentes voláteis
- ter capacidade para envolver o material ativo, resultando um pó de escoamento livre com facilidade de manuseio e incorporação nos alimentos secos
- proteger o material ativo da oxidação, luz e umidade, durante a vida de prateleira

Para corresponder a estas funções, um agente encapsulante deve ter: boas propriedades emulsificantes; formar facilmente película envolvente; ter baixa viscosidade em altas concentrações de sólidos; apresentar baixa higroscopicidade; fácil reconstituição do componente encapsulado; ser econômico, de sabor leve e de fácil obtenção (SHAHIDI & HAN, 1993).

De acordo com REIS (1999) são utilizados como material de parede nos produtos alimentícios: maltodextrina, com baixa dextrose equivalente, xaropes de glicose, frutose, goma arábica, pectina, lactose, proteínas e agentes anticonglomerantes, entre outros.

2.5.1.1. Maltodextrina

Segundo a FDA (Food and Drug Administration) a maltodextrina é definida como um polímero sacarídeo nutritivo, formado de unidades D-glicose, unidas principalmente por ligações α -(1→4) e com dextrose equivalente (DE) menor que 20. Apresenta-se como pó branco ou solução concentrada obtida pela hidrólise parcial do amido de milho com ácidos e/ou enzimas (KENYON & ANDERSON, 1988)

A maltodextrina é muito usada na microencapsulação, por seu baixo custo, baixa higroscopicidade e por ser muito estável quando possui alta dextrose equivalente (DE), garantindo um tempo longo de armazenamento sem necessidade da adição de antioxidantes, mas possui desvantagens, tais como: pobre capacidade para formar filme e pobre retenção dos voláteis (ANANDARAMAN & REINECCIUS, 1986).

FIGUEIREDO (1998) estudou a microencapsulação do suco de acerola em secador por atomização utilizando como material de parede, a maltodextrina e goma arábica, obtendo diferentes pós de acerola, os quais apresentaram, após a secagem, teores de umidade variando de 2,51% a 7%, e ácido ascórbico na faixa de 2.207 a 4.136mg/100g de pó.

HACKBART (2001) otimizou o processo de desidratação do suco de acerola via “spray dryer”; como coadjuvante de secagem foi utilizada maltodextrina, obtendo-se pó de acerola com 4,9% de umidade e uma retenção do ácido ascórbico mostrou-se superior a 93% nas condições experimentadas.

REIS (1999) realizou testes utilizando vários aditivos (maltodextrina, glicose líquida e CMC) com o objetivo de selecionar o mais adequado para desidratação dos sucos de maracujá e abacaxi em secador por atomização, com base no rendimento do produto obtido e verificou que só com a maltodextrina foi possível a obtenção do produto.

2.6. Atividade de água

BOBBIO & BOBBIO (1984) definem a atividade de água (a_w) como sendo o teor de água livre do alimento, isto é, água fracamente ligada ao substrato. É definida como sendo a relação entre pressão de vapor de água em equilíbrio sobre o alimento (p) e a pressão de vapor da água pura (p_0), a mesma temperatura. A medida desse valor baseia-se no fato de que a pressão do vapor de água sobre um alimento, após atingir o equilíbrio a uma temperatura (T), corresponde à porcentagem da umidade relativa de equilíbrio (URE) do alimento. Quantitativamente, a atividade de água será igual a (URE) e pode ser representada pela Equação 2.1.

$$a_w = \frac{P}{P_0} = \frac{\%URE}{100} \quad (2.1)$$

sendo:

a_w = Atividade de água

P = Pressão de vapor de água no alimento

P_0 = Pressão de vapor de água pura nas condições de temperatura e pressão

URE = Umidade relativa de equilíbrio

O valor máximo da atividade de água é 1, na água pura. Nos alimentos ricos em água, corresponde a valores acima de 0,90, os quais, nestas condições sofrem facilmente contaminação microbiológica, enquanto com a atividade de água próxima de 0,6, teremos pequeno ou nenhum crescimento de microrganismos.

Os efeitos da variação da atividade de água num alimento não só estão ligados ao crescimento de microrganismo ou à sua deterioração química mas, também, à deterioração da sua consistência, tornando tais alimentos impróprios para o consumo ou, pelo menos, diminuir sua aceitação (BOBBIO & BOBBIO, 1984).

O conhecimento experimental da atividade de água constitui fator essencial nos projetos e estudos de sistemas de secagem, manuseio, armazenagem e embalagem de um alimento (ARAÚJO et al., 2001) visto que o aumento da atividade de água acima de

limites críticos pode ter como conseqüência um rápido crescimento de microrganismo, o que, por sua vez, obriga ao uso de preservativos químicos para evitar a deterioração do alimento.

2.7. Isotermas de adsorção de umidade

A existência de moléculas de água com diferentes propriedades num mesmo alimento, é também comprovada quando são traçadas as curvas representativas do teor de água em função da atividade de água no alimento, durante sua secagem (dessorção) e durante sua umidificação (adsorção), a temperatura constante (BOBBIO & BOBBIO, 1984).

De acordo com BOBBIO & BOBBIO (1984) as isotermas de adsorção e dessorção encontram importante aplicação prática no cálculo da atividade de água como, por exemplo, em mistura de componentes com diferentes atividades de água; na estimativa do peso e área da camada primária; no estudo do tipo de embalagem mais adequada face à capacidade de adsorção de água pelo alimento; permitem, ainda, a predição do grau de desidratação do alimento frente à mudança na temperatura ambiente durante o armazenamento.

Segundo SANTOS (1983) a capacidade de adsorção d'água de alimentos é mais facilmente estudada por meio de curvas isotérmicas. A isoterma de adsorção de umidade representa a quantidade máxima de água absorvida por uma substância, a dada temperatura constante, em função da umidade relativa.

De acordo com LOMAURO et al. (1985) uma isoterma de sorção de umidade pode ser dividida em três regiões, dependendo do estado da água presente no alimento: a primeira região representa a adsorção de uma película monomolecular de água, e a a_w está entre 0 e 0,35 de umidade relativa; a segunda região, que representa a adsorção nas camadas adicionais acima da monocamada, e se localiza entre 0,35 e 0,60 de umidade relativa, a terceira região, localizada acima de 0,60 relativa, representa a água condensada nos poros do material, seguida pela dissolução de materiais solúveis presentes.

Usam-se dois métodos para a determinação experimental das curvas de umidade de equilíbrio: o método estático e o método dinâmico (BROOKER et al., 1992). No estático a umidade de equilíbrio entre o produto e a atmosfera circundante é atingida sem movimentação do ar, enquanto no método dinâmico o ar ou o produto é movimentado até que o equilíbrio seja atingido.

¹⁴² Através da construção de isotermas de adsorção de umidade, pode-se resolver numerosos problemas de processamento e estocagem de alimentos, entre os quais: predição do tempo de secagem, da vida de prateleira em determinada embalagem e dos requisitos básicos necessários para que se possa embalar um produto e, ainda na caracterização de um produto, quando o mesmo é constituído por componentes de atividade de água diferentes (PENA et al., 2000).

Segundo PENA et al. (1997) a maior vantagem da utilização de modelos matemáticos na predição de isotermas de adsorção de umidade, reside no fato de que com poucos pontos experimentais, pode-se construir uma isoterma, a qual, por outro lado, pode ser facilmente interpolada ou extrapolada para a obtenção de pontos nas regiões de baixas e altas a_w , pontos esses de difícil determinação experimental.

De acordo ainda com PENA et al. (2000) existem numerosos modelos matemáticos disponíveis na literatura com capacidade de predizer uma isoterma de adsorção de umidade em alimentos. As equações de dois parâmetros são mais utilizadas por serem de fácil solução matemática, porém têm o inconveniente de, em geral, não se prestarem para predizer isotermas em todas as faixas de a_w , já as equações de três ou mais parâmetros quase sempre dão melhores resultados na predição, mas apresentam o inconveniente de serem de difícil solução matemática.

O modelo de BET descreve a adsorção de multicamadas, isto é, baseia-se na suposição de que a água é absorvida em forma de camadas. O modelo de GAB é uma extensão do modelo de BET, resultando numa equação tripamétrica (SILVA et al., 2001). Os modelos de Oswin e Smith têm-se mostrado eficiente para representar as curvas de adsorção de umidade de alimentos, ambos apresentando dois parâmetros.

De acordo com Brunauer et al., citados por FIGUEIREDO (1998), as isotermas de adsorção foram classificadas em cinco tipos gerais:

- o tipo I é conhecido como Langmuir
- o tipo II é o sigmóide
- os outros três tipos não possuem nenhum nome especial

As isotermas de adsorção de umidade de muitos alimentos são não lineares, geralmente apresentam forma sigmóide e têm sido classificadas como isotermas do tipo II, sendo que no caso dos frutos, predominam formas com concavidade voltada para o eixo das abcissas até níveis intermediários de umidade relativa, passando a uma forma exponencial em regiões de umidades relativas elevadas. Alimentos ricos em componentes solúveis, açúcares, arroz, café e ácido cítrico cristalino em geral são do tipo III. As isotermas do tipo I, IV e V não apresentam interesse maior no caso de alimentos.

2.8. Fluidez

De acordo com SANTOS (1983) a cristalização de substâncias dissolvidas é o mecanismo mais comum para aglomeração de pós de frutos desidratados. Estes contêm, geralmente, 50% ou mais de açúcares, que se encontram, em sua maioria, em estado amorfo e tais componentes favorecem a rápida absorção d'água desses pós, contribuindo para um posterior aumento da viscosidade do produto favorecendo em consequência disto, a formação de aglomerados de alta consistência (caking).

As propriedades físicas e de escoamento em pós são influenciadas ainda pela presença de filmes ou pontes líquidas entre as partículas. Geralmente, a formação do filme líquido na superfície das partículas, sobretudo em pós solúveis ou parcialmente solúveis, pode causar dificuldade de fluidez e, em casos extremos, sérios problemas de caking, embora a presença de pontes líquidas não provoque, necessariamente, a formação de agregados. Se mantido a um nível moderado de umidade, determinado pó pode manter algum grau de fluidez apesar das pontes líquidas (SANTOS, 1983).

A manipulação e o deslocamento de pós aglomeráveis (com alto potencial de caking) requerem certo controle das condições ambientais, fundamentalmente umidade e

temperatura a que os mesmos são expostos. De acordo com MOREIRA & PELEG (1980) umidade relativa regula a velocidade e o tipo das mudanças físicas que o pó pode sofrer, já que a umidade excessiva pode ocasionar absorção d'água pelas partículas e dissolução dos componentes solúveis, com o sistema resultante formando pontes líquidas que, por posterior diminuição de umidade, se convertem em uniões sólidas compostas.

Os métodos apropriados para a determinação das propriedades relacionadas à fluidez de pós são os testes de fluidez e obtenção do ângulo de repouso.

Nos testes de fluidez é verificada a velocidade de escoamento do pó. Entre os métodos descritos pela HUBER CORPORATION, citado por SANTOS (1983) para escoamento de pós, está o tempo de escoamento, que é o tempo que uma massa de pó, colocada em um funil, demora para escoar até uma placa de recolhimento localizada abaixo do funil, a uma distância constante.

Segundo MEDEIROS et al. (2001) o ângulo de repouso é o ângulo de talude formado com a horizontal, no qual o material permanecerá empilhado. O tamanho, a forma, o teor de umidade e a orientação das partículas, exercem influência no ângulo de repouso. Diferenciam-se dois tipos de ângulo de repouso: o estático e o dinâmico. A designação estática refere-se à fricção do sólido granular sobre si mesmo, quando todo o material está estático. Nos casos em que o volume do material está em movimento, como nos descarregamentos, encontra-se envolvido o ângulo de repouso dinâmico. Assume-se, que quanto menor o ângulo de repouso, mais fluídico é o pó, podendo-se afirmar que a fluidez de um material e o ângulo de repouso estão correlacionados.

2.9. Cor

Uma das qualidades mais importantes dos alimentos é a cor. Para a maioria dos consumidores, a cor é fator significante, determinando a aceitação dos mesmos (FERREIRA, 1991; FRANCIS, 1983).

A cor é uma das características de qualidade e da aparência dos alimentos, sem dúvida de grande importância. Basta lembrar que em muitos produtos de coloração

deficiente é permitida a adição de corantes naturais ou artificiais. Fisicamente, a cor é uma propriedade da aparência atribuída à distribuição espectral da luz (CHAVES, 1994).

Segundo BOBBIO & BOBBIO (1992) a aparência de um alimento concorre grandemente para a sua aceitabilidade, razão pela qual a cor talvez seja a propriedade mais importante dos alimentos, tanto dos naturais quanto dos processados. A cor dos alimentos resulta da presença de compostos coloridos já existentes no produto natural (pigmentos naturais) ou da adição de corantes sintéticos.

A manutenção da cor original no produto processado ou armazenado é, muitas vezes, difícil, pelas possibilidades de reação que os vários tipos de pigmentos naturais têm (BOBBIO & BOBBIO, 1984).

Três tipos principais de pigmento ocorrem nos produtos vegetais: clorofila, carotenóides e antocianinas. Em alguns produtos também ocorre formação de antoxantinas (CHITARRA & CHITARRA, 1990).

De acordo com CHITARRA & CHITARRA (1990) as clorofilas são os pigmentos responsáveis pela cor verde, é abundante principalmente nos frutos jovens e folhas. A sua degradação é causada por vários fatores, entre eles pode-se citar alteração no pH, atividade enzimática da clorofilase, oxidantes e outros.

Os carotenóides geralmente são de cor amarela a laranja, podendo apresentar cor vermelha, predominante em frutos cítricos. A degradação da cor nos alimentos por resultados dos pigmentos de caratenóides, ocasiona perda na qualidade do produto e destruição da vitamina A (FRANCIS, 1983). A transformação mais comum que os caratenóides sofrem nos alimentos é a oxidação, alterando a cor dos mesmos (CHITARRA & CHITARRA, 1990).

Antocianinas são pigmentos responsáveis pela cor vermelha, púrpura ou violeta da maioria das frutas Degrada-se facilmente, de acordo com vários mecanismos de reação; a degradação é influenciada por vários fatores, tais como oxidação do ácido ascórbico, oxigênio e pH (MARKAKIS, 1982). São pouco resistentes ao calor, sofrendo

transformações não bem esclarecidas e perdendo a sua cor ou alterando a tonalidade (BOBBIO & BOBBIO, 1984).

As antoxantinas correspondem a diferentes tipos de compostos flavonóides, que contribuem pouco para a coloração, exceto quando sofrem oxidação, produzindo escurecimento dos tecidos (CHITARRA & CHITARRA, 1990).

2.10. Colorimetria

Colorimetria é a ciência que estuda e quantifica como o sistema humano percebe a cor, na tentativa de especificá-la numericamente, de modo que:

- Estímulos, com as mesmas especificações sob iguais condições, vistos por um observador com visão normal, são semelhantes.
- Números compreendidos nas especificações são funções contínuas dos parâmetros físicos, que definem a energia espectral radiante do estímulo.

A cor é a resposta do olho humano à luz refletida por qualquer substância. Fisicamente, a cor é uma característica da luz, mensurável em termos de intensidade (energia radiante) e comprimentos de onda. Ela surge da presença de luz, em maior intensidade, em alguns comprimentos de onda que em outros. A inspeção visual dos produtos alimentícios tem, ocasionalmente, dado resultados errôneos em virtude da fonte de luz não emitir energia radiante suficiente, dentro dos valores críticos de comprimento de onda (CHAVES, 1994).

As modificações dos pigmentos nos alimentos são mostradas por meio da medida de cor, que pode ser usada como um meio indireto para calcular combinações de colorações de alimentos, sendo mais simples e mais rápido que a análise química (FRANCIS, 1983).

Na indústria alimentícia, para verificação da cor utiliza-se a colorimetria de triestímulos e as determinações são comumente feitas com instrumentos simples, chamados colorímetros triestímulos ou comparadores de cor.

Um colorímetro tristímulo é um instrumento muito simples. Tudo de que precisa é uma fonte luminosa (luz branca), três filtros que duplicam a resposta do olho humano e um sistema detector. Os filtros correspondem às três cores primárias (vermelho, verde e azul) os componentes da luz branca podem ser combinados para equiparar qualquer cor (FRANCIS, 1983).

Nos alimentos, a medida da cor pode ser representada através das normas internacionais desde a reunião da Commission Internationale de l'Eclairage, realizada em Paris no ano de 1931, na qual se estabeleceu uma nomenclatura conhecida como o sistema CIE. Entre as modificações deste sistema, uma das mais conhecidas e usadas é o sistema Hunter (L, a, b) e CIELAB (L^* , a^* , b^*) (CALVO, 1989).

Conforme FIGUEIRÊDO (1998) o espaço de cor Hunter, desenvolvido por R.S. Hunter em 1948, apresenta o espaço de cor mais uniforme visualmente que o espaço de cor CIE. Os espaços dentro do sólido são localizados através dos eixos L, a, b. L é a luminosidade e varia de branco ao preto (100 a 0). O vermelho é representado por +a, verde por -a, o amarelo +b e o azul por -b.

Ainda de acordo com FIGUEIRÊDO (1998) o espaço de cor do CIELAB (L^* , a^* , b^*) foi definido pelo CIE (Commission International d'Eclairage) em 1976, para proporcionar mais uniformidade nas diferenças de cor, em relação às diferenças visuais. Neste espaço de cor, L^* indica a luminosidade e a^* e b^* são coordenadas de cromaticidade (+ a^* =vermelho; - a^* =verde; + b^* =amarelo; - b^* = azul e o centro é acromático).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos de secagem do presente trabalho foram realizados no Laboratório de Transferência em Meios porosos e Sistemas Particulados do Departamento de Engenharia Química, e as demais análises foram executadas no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas, ambos da Universidade Federal de Campina Grande, Campus I, Campina Grande, PB.

3.1. Materiais

Utilizou-se polpa de acerola adquirida no comércio local, maltodextrina – 1920, produzida pela CORN – Produtos Brasil S.A. e, como material inerte, foram utilizadas partículas de poliestireno do tipo 849, produzidos pela EDN, Camaçari, Bahia.

3.2. Caracterização da polpa de acerola

3.2.1. pH

O pH foi determinado através do método potenciométrico, com peagômetro da marca Analyser modelo 300M, previamente calibrado com solução tampão de pH 7,00 e 4,00.

3.2.2. Sólidos solúveis (°Brix)

O °Brix foi determinado através da leitura direta em refratômetro tipo Abbe, marca ATAGO.

3.2.3. Ácido ascórbico

Segundo o método nº 43.065 da AOAC (1984), modificado por BENASSI (1990) no qual substitui o solvente extrator ácido metafosfórico por ácido oxálico. Este método baseia na titulação, empregando-se o 2,6 diclorofenol indofenol que dá cor azul em solução alcalina e cor rósea em solução ácida.

3.2.4. Sólidos totais

Os sólidos totais foram determinados a 70°C em estufa sob pressão reduzida até peso constante, segundo o método descrito pelo INSTITUTO ADOLFO LUTZ (1985). Os resultados foram expressos em percentagem (p/p).

3.2.5. Acidez total titulável

A acidez total titulável foi determinada pelo método acidimétrico nº 22038, da AOAC (1984). Os resultados foram expressos em percentagem de ácido málico.

3.2.6. Açúcares redutores

Os métodos de determinação de açúcares baseiam-se nas propriedades físicas de suas soluções ou no poder redutor dos açúcares mais simples. A determinação de açúcar pelo método de redução alcalina (AOAC, 1984) baseia-se na redução dos sais cúpricos e óxidos cuprosos presentes na solução de Fehling. O conteúdo de açúcar numa amostra de alimentos é determinada pelo volume de solução de açúcar de concentração desconhecida, necessária para reduzir completamente o volume medido na solução de Fehling. Os resultados foram expressos em percentagem (p/p).

3.2.7 Cinzas

Foi determinada segundo método oficial nº 940.26, da AOAC (1984) e os resultados expressos em percentagem (p/p).

3.3. Secagem

Elaborou-se uma solução contendo 90% de polpa de acerola e 10% de maltodextrina, realizados os experimentos de secagem usando-se um secador do tipo leito de jorro (Figura 3.1).

O secador consiste de uma base cônica de aço inoxidável com ângulo interno de 60° acoplado a uma coluna cilíndrica de inox com 60cm de diâmetro e 100cm de altura. A

coluna cilíndrica possui dois visores em acrílico, por onde se faz o acompanhamento visual do desenvolvimento do jorro, e do processo de secagem.

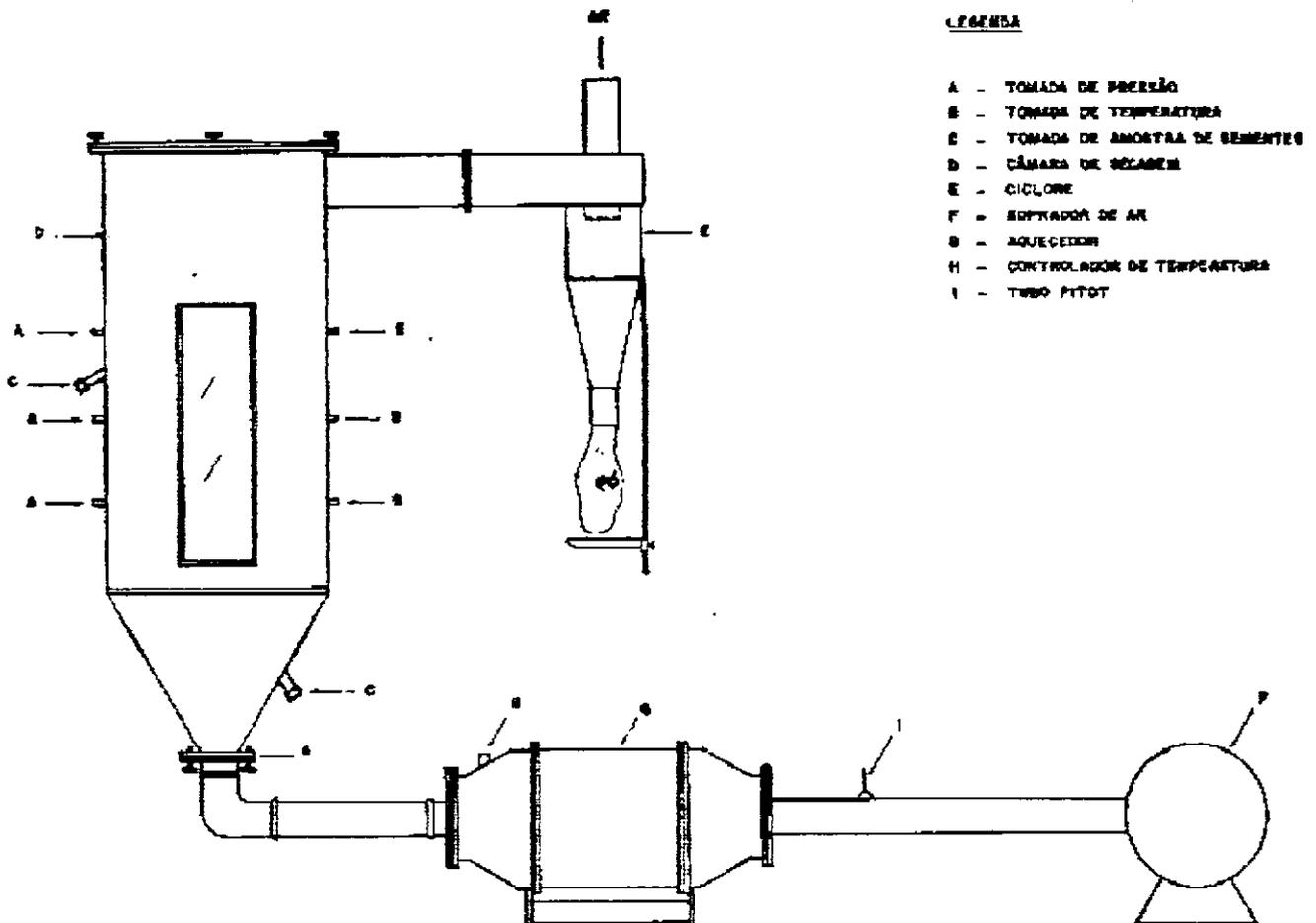


Figura 3.1. Esquema do secador leito de jorro (SILVA, 1991)

Possui ainda um soprador conectado a uma válvula, tipo globo de ½ pol., para controle da vazão de ar, do qual o ar proveniente passa ao longo de uma tubulação com aquecimento produzido por duas resistências tipo espiral, que aquecem o ar de secagem. As medidas de velocidade do ar e temperaturas foram efetuadas com anemômetro digital, com sensor tipo hélice, e termopares, respectivamente.

Antes do início da operação de secagem o leito de jorro foi carregado com 6,5 kg de inertes ligando-se, em seguida, o equipamento com velocidade do ar em 8,5m/s, e ajuste da temperatura na entrada do secador em 70°C.

Após a estabilização do sistema térmico e a cada 20 minutos a solução era injetada no leito, através de um pulverizador de alta pressão.

O material seco era coletado em sacos plásticos acoplado ao ciclone sendo, posteriormente, lacrados e armazenados em dessecador, temporariamente, a temperatura ambiente até o momento das análises.

3.4. Caracterização da polpa de acerola em pó

3.4.1. Densidade

Foi determinada utilizando-se picnômetro de 25 ml a temperatura ambiente, com auxílio de hexano.

3.4.2. Tempo de escoamento e ângulo de repouso

Nessas determinações foi utilizado um funil, cuja abertura de saída foi vedada e enchido com a amostra. O sistema de escoamento foi adaptado a um vibrador. Depois de cheio, o funil teve sua vedação retirada, e em seguida, foi ligado o vibrador e iniciada a contagem de tempo com um cronômetro, até que todo o material escoasse, sendo considerado como tempo de escoamento. Na pilha de pó formada na placa de recolhimento, foram medidos o diâmetro (D) da pilha e sua altura (h) obtendo-se o ângulo de repouso (Θ) de acordo com a Equação 3.1.

$$\Theta = \frac{\arctg 2h}{D} \quad (3.1)$$

3.4.3 Molhabilidade pelo Método de Schubert

Neste método pesou-se cerca de 1g da amostra e verteu-se em becker de 250 ml com 100ml de água a temperatura ambiente. O tempo necessário para o completo desaparecimento do pó da superfície do líquido em repouso foi cronometrado. O cálculo da taxa de molhabilidade foi feito através da Equação 3.2.

$$\text{Taxa de molhabilidade} = \frac{N}{t} \quad (3.2)$$

Sendo:

N = número de gramas da amostra

t = tempo em min.

3.4.4. Isotermas de adsorção de umidade

Empregou-se o método gravimétrico estático com soluções saturadas de sais em três temperaturas (20°C, 25°C e 30°C) (Tabela 3.1). As soluções de sais foram colocadas em recipientes de vidro hermético, contendo três cadinhos, com cerca de 1g da amostra em cada um, permanecendo nesses ambientes até atingirem o equilíbrio.

Tabela 3.1. Umidade relativa de equilíbrio (%) das soluções saturadas de sais.

Sal	Temperatura		
	20°C	25°C	30°C
KCHO ₂	23,11	22,21	21,61
MgCl ₂	33,07	32,78	32,44
K ₂ CO ₃	43,16	43,16	43,17
NaBr	59,14	57,57	56,03
KI	69,90	68,86	67,89
NaCl	75,47	75,29	75,09
KCl	85,11	84,34	83,62
K ₂ CrO ₄	-	97,80	97,00

Fonte: GREENSPAN (1977)

A umidade de equilíbrio (Equação 3.3) em base seca, foi determinada pela diferença entre a massa da amostra no equilíbrio e a massa seca, determinada em estufa.

$$U_{eq} = \frac{m_{eq} - m_s}{m_s} \quad (3.3)$$

Em que:

U_{eq} = umidade de equilíbrio em base seca

M_{eq} = massa da amostra no equilíbrio

m_s = massa seca da amostra

3.4.4.1. Ajuste dos modelos matemáticos

Para o ajuste matemático das isotermas de adsorção de umidade da polpa de acerola em pó, foram utilizadas as equações de BET, GAB, Oswin e Smith, fazendo-se uso de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton e critério de convergência de 0,0001, resolvidas pelo processador matemático STATISTICA versão 5.0.

BET

$$\frac{x}{x_m} = \frac{C a_w \left[1 - (n+1) (a_w)^n + n (a_w)^{n+1} \right]}{1 - a_w \left[1 - (1-C) a_w - C (a_w)^{n+1} \right]} \quad (3.4)$$

Sendo:

a_w = atividade de água

C = constante de BET

X = umidade de equilíbrio (base seca)

X_m = umidade na monocamada molecular

GAB

$$x = \frac{x_m C k a_w}{(1 - k a_w)(1 - k a_w + C k a_w)} \quad (3.5)$$

Onde:

a_w = atividade de água

X_e = umidade de equilíbrio

X_m = umidade na monocamada molecular

C e K = parâmetros que dependem da temperatura e natureza do produto

Oswin

$$x = a \left(\frac{a_w}{(1 - a_w)} \right)^b \quad (3.6)$$

Em que:

a_w = atividade de água

a e b = parâmetros de ajuste do modelo

X_e = umidade de equilíbrio

Smith

$$x = M_b - M_a (\ln(1 - a_w)) \quad (3.7)$$

Onde:

a_w = atividade de água

X_e = umidade de equilíbrio

M_a e M_b = parâmetros de ajuste do modelo

3.5. Armazenamento

As amostras da polpa de acerola em pó foram embaladas em sacos de polietileno, contendo aproximadamente 10g, seladas mecanicamente e armazenadas durante 60 dias em local limpo e seco, a temperatura ambiente, simulando as condições de supermercado. A cada 10 dias foram feitas as análises dos parâmetros pH, umidade, ácido ascórbico e cor.

3.5.1. pH

O pH das amostras reconstituídas com água destilada foi determinado através do método potenciométrico, com peagômetro da marca, Analyser modelo 300M, previamente calibrado com solução tampão de pH 7,00 e 4,00.

3.5.2. Umidade

A umidade das amostras foi determinada, utilizando-se cerca de 1g da amostra e levada a estufa a vácuo à 70°C até peso constante.

3.5.3. Ácido ascórbico

A análise do ácido ascórbico se deu nas amostras reconstituídas com água destilada, segundo o método nº 43.065 da AOAC (1984) modificado por BENASSI (1990), no qual se substitui o solvente extrator ácido metafosfórico por ácido oxálico. Este método se baseia na titulação empregando-se o 2,6 diclorofenol indofenol que dá cor azul em solução alcalina e cor rósea em solução ácida.

3.5.4. Cor

As medidas do parâmetro cor foram realizadas utilizando-se colorímetro Minolta, modelo CR 10, operando-se no sistema Hunter sendo **L** a luminosidade, **a** define a transição da cor verde (-a) para a cor vermelha (+a) e **b** representa a transição da cor azul (-b) para a cor amarela (+b). Foram feitas três medidas, anotando-se os valores médios de L, a, b.

3.6. Erros experimentais

Os critérios usados para determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais, foram o desvio percentual médio (P) calculado pela Equação 3.8, e o erro relativo (ε) calculado pela Equação 3.9.

$$P = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|(M_{\text{exp}} - M_{\text{teor}})|}{M_{\text{exp}}} \quad (3.8)$$

$$\varepsilon = \frac{M_{\text{exp}} - M_{\text{teor}}}{M_{\text{exp}}} \quad (3.9)$$

Sendo:

M_{exp} = valores obtidos experimentalmente

M_{teor} = valores preditos pelo modelo

n = número de dados experimentais

3.7. Análise estatística

A análise estatística dos dados obtidos experimentalmente ao longo do armazenamento, foi executada usando-se o programa computacional ASSITAT 6.2 (SILVA, 1998), através do delineamento inteiramente casualizado.

Análises de regressão linear, quadrática e exponencial, foram realizadas através do programa computacional STATISTIC versão 5.0, para os parâmetros. Os critérios usados para se determinar o melhor ajuste de cada equação, foram o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio percentual médio (P) calculado pela Equação 3.8.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização da polpa de acerola

Na Tabela 4.1 estão expressos os resultados médios da caracterização físico-química da polpa de acerola.

Tabela 4.1. Caracterização físico-química da polpa de acerola (valores médios)

Determinação	Valor obtido
Sólidos totais (%)	9,03±0,06
Umidade (%)	90,97±0,06
Acidez total titulável em ác.málico (%)	0,98±0,006
pH	3,01±0,011
Cinzas (%)	0,37±0,005
Sólidos solúveis (°Brix)	6,83±0,057
Açúcares redutores (% glicose)	2,16±0,055
Ácido ascórbico (mg/100g)	18,54±0,321

O valor médio da umidade da polpa de acerola, de 90,97%, é ligeiramente inferior aos valores determinados por ARAÚJO (2000) de 93,1%, e FIGUEIREDO (1998) de 92,9% .

O teor de sólidos totais de 9,03 % está dentro do padrão de identidade e qualidade para a polpa de acerola exigido pelo Ministério da Agricultura e do Abastecimento (BRASIL, 2000) que é de no mínimo de 6,50%.

Quanto ao conteúdo de acidez total titulável, observa-se que este resultado está próximo ao valor médio determinado por OLIVEIRA et al. (1999) 0,91%, para as polpas de acerola congeladas, provenientes de seis indústrias do Estado da Paraíba. Este valor se encontra também dentro dos limites estabelecidos pelo Ministério da Agricultura e do Abastecimento (BRASIL, 2000) que é de, no mínimo, 0,80%.

superdoce liofilizado, e inverso ao encontrado por PENA et al. (2000) ao estudarem o comportamento higroscópico do guaraná em pó.

Na Tabela 4.4 tem-se os valores dos parâmetros estimados, obtidos por regressão não-linear, dos modelos de GAB, BET, Oswin, Smith, para o ajuste das isotermas de adsorção da polpa de acerola em pó para cada temperatura estudada, assim como os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios percentuais médios (P).

Tabela 4.4. Parâmetros de ajuste dos modelos testados da isoterma de adsorção da polpa de acerola em pó, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P), nas temperatura de 20°C, 25°C e 30°C

Modelos	Temperatura (°C)	Parâmetros			R^2	P (%)
		X_m	C	K		
GAB	20	0,08004	2,05043	0,86616	0,9987	2,16
	25	28,54083	0,02142	0,25277	0,9690	2,61
	30	19,81159	0,02888	0,27050	0,9674	6,75
BET	Temperatura (°C)	X_m	C	n	R^2	P (%)
	20	0,09682	0,80076	7	0,9828	8,87
	25	0,06281	3,54883	8	0,9713	1,59
	30	0,07435	2,26163	7	0,9747	11,19
Oswin	Temperatura (°C)	a	b	R^2	P (%)	
	20	0,08663	0,64074	0,9950	5,44	
	25	0,11075	0,24566	0,7557	4,03	
	30	0,11129	0,27627	0,7978	3,35	
Smith	Temperatura (°C)	M_a	M_b	R^2	P (%)	
	20	-0,00590	0,13646	0,9966	8,99	
	25	0,06029	0,06074	0,7827	2,80	
	30	0,07001	0,05463	0,8292	2,16	

A partir dos valores do coeficiente de determinação (R^2) e do desvio percentual médio (P) expressos na Tabela 4.4, verifica-se que, dentre os modelos testados de dois

parâmetros, o que apresentou melhor resultado foi o de Smith. Entre os modelos testados de três parâmetros, verifica-se, ao analisar o R^2 separadamente para cada temperatura, que para a temperatura de 20°C o melhor modelo foi o de GAB, porém a 25°C e 30°C foi a equação de BET que apresentou maiores valores de R^2 , constatando que os modelos triparamétricos representam satisfatoriamente os dados experimentais, fato também verificado por ASCHERI & MARTUCCI (1996) cujos os autores concluíram que os modelos de GAB e BET foram os que melhor representaram o fenômeno de adsorção de umidade das microcapsulas do óleo essencial de laranja, e por TOSTES et al. (1996) ao analisarem as isotermas de adsorção de umidade a 15°C do pó de marapuama.

O modelo de GAB foi utilizado para ajustar as isotermas de adsorção da polpa de acerola em pó, pois descreve o comportamento de adsorção de umidade em alimentos e por ter sido o mais citado e testado por vários autores, como FIGUEIRÊDO (1998) e PENA et al. (2000) em suas pesquisas com suco de acerola microencapsulado e guaraná em pó, respectivamente. Apesar deste modelo ter apresentado em algumas temperaturas, menores coeficientes de determinação (R^2) seus valores foram acima de 90% e todos os desvios médios relativos (P) menores que 10%, podendo ser utilizado satisfatoriamente para representar os dados da acerola em pó.

As isotermas de adsorção de umidade da polpa de acerola para as três temperaturas estudadas, ajustadas pelo modelo de GAB, estão representadas na Figura 4.1.

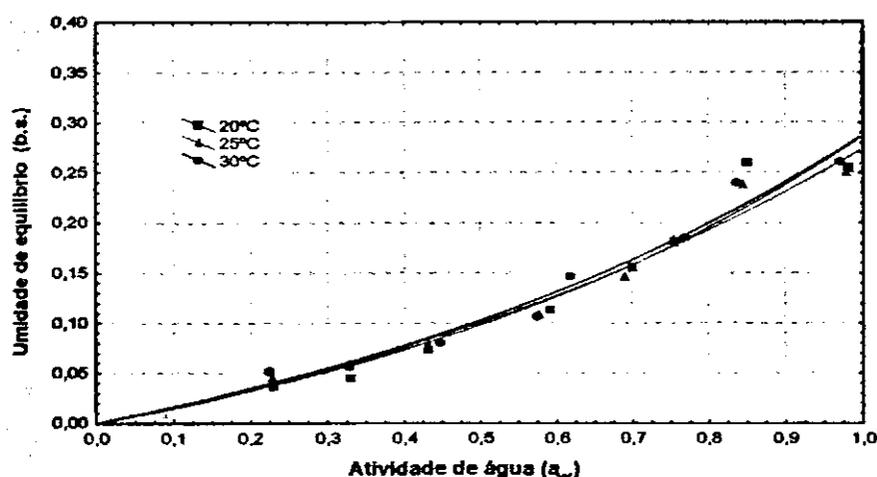


Figura 4.1. Isotermas de adsorção da polpa de acerola em pó, ajustada pelo modelo de GAB

Examinando-se a Figura 4.1, observa-se que as isotermas de adsorção de umidade da polpa de acerola em pó são do Tipo III, segundo a classificação de BRUNAUER, consideradas típicas de alimentos ricos em componentes solúveis, açúcares e café. Constata-se, também, que os conteúdos de umidade de equilíbrio aumentam com o aumento da atividade de água e que esta diminui com o aumento da temperatura.

Encontram-se, no Apêndice A (Figuras A.1 a A.3) as isotermas de adsorção de umidade da polpa de acerola em pó ajustadas com as equações de BET, GAB, Oswin e Smith, em todas as temperaturas do experimento.

4.4. Estudo do armazenamento da polpa de acerola em pó

4.4.1. Ácido ascórbico

Na Tabela 4.5 é apresentada a análise de variância dos valores médios do ácido ascórbico da polpa de acerola em pó. Nos sete períodos de tempo em que foram avaliados, verificam-se diferenças significativas entre os valores médios do ácido ascórbico a nível de 1% de probabilidade pelo teste F, para os diferentes tempos de armazenamento.

Tabela 4.5. Análise de variância dos valores médios do teor de ácido ascórbico da polpa de acerola em pó

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Tempo	6	1356,44006	226,07335	1697,4076**
Resíduo	14	1,86462	0,13319	
Total	20	1358,30469		

G.L.- Grau de liberdade; S.Q.- soma dos quadrados; Q.M.-Quadrado médio dos desvios e F.-Variável do teste F; ** Significativo a nível de 1% de probabilidade

Os valores médios do teor de ácido ascórbico da polpa de acerola em pó encontram-se na Tabela 4.6, na qual se constata que houve diferenças significativas entre os valores médios do ácido ascórbico para os diferentes tempos de armazenamento, exceto entre os tempos 30 e 40 dias de armazenamento, que não diferem estatisticamente entre si, vê-se também que o teor de ácido ascórbico diminui com o aumento do tempo de armazenamento, atingindo o percentual de perda de 29,72% no tempo final (60 dias) com

relação ao tempo inicial (0 dia). Este comportamento é similar ao mencionado por SOARES et al. (2001) que verificaram um percentual de redução do teor de vitamina C de 26,06% para a polpa de acerola em pó, após 60 dias de armazenamento embalado em sacos metalizados de polipropileno biorientado (B.O.P.P.), com revestimento interno de polietileno, e por OLIVA (1996) ao estudar néctar de acerola obtido pelos processos “Hot fill” e “Spin-Cooker”, que encontrou perdas de ácido ascórbico de 27,39% e 27%, respectivamente, após 180 dias de armazenamento, a temperatura ambiente. Tais valores superam os encontrados por LEME et al. (1973) que foram de 10,3% e 6,6% de perda de ácido ascórbico, da acerola obtida por liofilização, após 9 e 7 meses de armazenamento respectivamente, a temperatura ambiente. VISNARDI et al. (1993) constataram em seus estudos com a polpa de acerola, submetidos a dois tipos de armazenamento: congelamento a -18°C e resfriamento a 1°C por 30 dias, uma queda não significativa no teor de ácido ascórbico para a polpa congelada e perda de 50% do teor de ácido ascórbico para a polpa resfriada.

Tabela 4.6. Valores médios do teor de ácido ascórbico da polpa de acerola em pó, durante o armazenamento

Tempo (dias)	Ácido ascórbico (mg/100g)
0	81,91528 a
10	73,02982 b
20	64,95776 c
30	62,34772 d
40	61,46544 d
50	59,39351 e
60	57,57090 f

CV (%) = 0,55454; DMS = 1,01770; MG = 65,8114

MG-Média geral, CV-Coeficiente de variação; DMS - Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a nível de 5% de probabilidade

Tem-se na Tabela 4.7, os parâmetros de ajuste das equações testadas, do tipo linear, quadrática e exponencial, para o cálculo do ácido ascórbico da polpa de acerola em pó, em função do tempo de armazenamento. Nota-se que todas as equações se ajustaram bem aos

dados experimentais, de acordo com o coeficiente de determinação (R^2) porém a equação exponencial foi escolhida para representar os dados experimentais do ácido ascórbico, em função do tempo, mesmo apresentando um R^2 abaixo de 0,90 e desvio percentual médio (3,5342%); porém, de acordo com LOMAURO et al. (1985) um valor de P menor que cinco é considerado um bom ajuste da equação aos dados experimentais.

Tabela 4.7. Equações propostas para o cálculo do ácido ascórbico da acerola em pó, em função do tempo de armazenamento

Equações	Parâmetros			R^2	P (%)
	B	C	D		
$Aa = B + Ct$	76,93528	-0,37069	-	0,85100	3,8014
$Aa = B + Ct + Dt^2$	81,02606	-0,86191	0,008187	0,97553	1,2842
$Aa = Be^{Ct}$	77,87013	-0,00584	-	0,88212	3,5342

Aa=Ácido ascórbico (mg/100g); t= Tempo (dia)

Os valores preditos do ácido ascórbico calculados através das equações da Tabela 4.7 e os erros relativos utilizados no cálculo do desvio percentual médio, encontram-se no Apêndice B (Tabelas B.1 a B.3). Os erros relativos dos valores preditos pela equação linear variaram entre 0,27% e 6,57%; da equação quadrática variaram entre 0,26% e 3,13% e, para a equação exponencial, variaram entre 0,28% e 6,24%.

Diversos autores já estudaram o efeito do tempo de armazenamento na degradação do ácido ascórbico em frutas e seus produtos, testando vários tipos de equações. ALVES (1999) representou o comportamento da vitamina C da acerola através de equação polinomial de 2º grau, obtendo um R^2 de 0,8640. Considerando-se que este tipo de equação, quando utilizada para representar as perdas de ácido ascórbico apresentará uma divergência progressiva do processo real a partir do seu ponto de inflexão, tem sua aplicabilidade restrita dentro de determinado intervalo de tempo. No caso presente, esta aplicabilidade é aceitável entre zero e 60 dias (inclusive) resultando em erros relativos inferiores aos obtidos com as demais equações (Tabelas B1, B2 e B3, do Apêndice B).

Na Figura 4.2 estão representados, graficamente, os valores obtidos de forma experimental do teor de ácido ascórbico da polpa de acerola em pó, em função do tempo de

armazenamento e os valores ajustados pela equação quadrática. Observa-se diminuição no teor de ácido ascórbico durante o armazenamento.

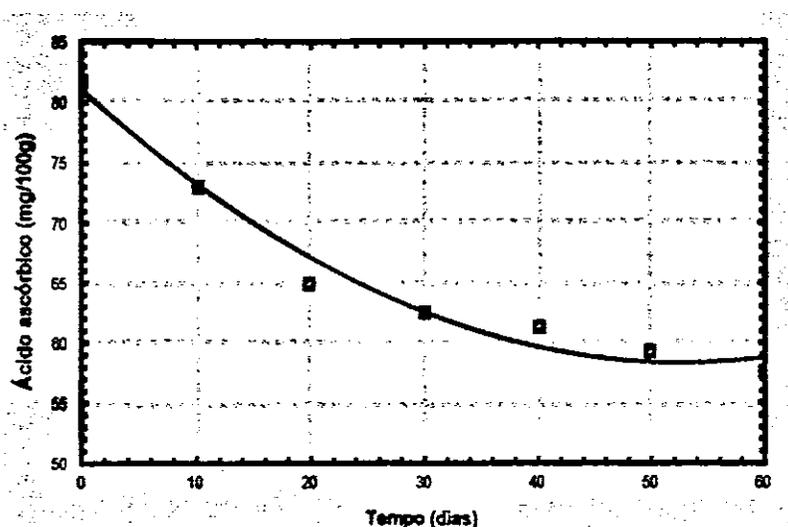


Figura 4.2. Teor de ácido ascórbico (mg/100g) da polpa de acerola em pó, durante o armazenamento por 60 dias com valores ajustados pela equação quadrática

4.4.2. Umidade

Na Tabela 4.8 vê-se a análise de variância do teor de umidade da polpa de acerola em pó e se verifica que o parâmetro tempo, com valor de F igual a 73,4103 apresentou resultado significativo a nível de 1%, valor este que representa a probabilidade de erro, ao se rejeitar a hipótese de nulidade.

Tabela 4.8. Análise de variância dos valores médios do teor de umidade da polpa de acerola em pó

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Tempo	6	41,66388	6,94398	73,4103**
Resíduo	14	1,32428	0,09459	
Total	20	42,98816		

G.L.- Grau de liberdade; S.Q.- soma dos quadrados; Q.M.-Quadrado médio dos desvios e F.-Variável do teste F ** Significativo a nível de 1% de probabilidade

Já na Tabela 4.9 estão apresentados os valores médios do teor de umidade da polpa de acerola em pó durante o armazenamento. O valor do teor de umidade inicial foi de

4,07437%, resultado inferior ao determinado por LIMA et al. (1995a) que foi de 15,79% para o pó de acerola desidratado em leito de jorro, nas mesmas condições operacionais.

Tabela 4.9. Valores médios do teor de umidade da polpa de acerola em pó, durante o armazenamento

Tempo (dias)	Umidade (%)
0	4,07437 e
10	4,70426 e
20	5,64218 d
30	6,37304 cd
40	6,99080 bc
50	7,41231 b
60	8,36791 a

CV (%) = 4,94182; DMS = 0,85765; MG = 6,2235

MG-Média geral, CV-Coeficiente de variação e DMS -Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a nível de 5% de probabilidade

Constata-se ainda na Tabela 4.9, diferença significativa entre os valores médios da umidade durante o armazenamento, porém entre os tempos 20 e 30 dias, entre 30 e 40 dias e entre 40 e 50 dias, esses valores são considerados estatisticamente iguais entre si. Observa-se também que o teor de umidade aumenta com o tempo de armazenamento, atingindo um percentual de ganho de umidade de 51,31% no final de armazenamento (60 dias) em relação ao tempo inicial (0 dia). Tal comportamento foi observado por SOARES et al. (2001) ao estudarem a estabilidade do pó de acerola desidratada pelo processo "FOAM-MAT", durante o armazenamento, a temperatura ambiente, tendo obtido um teor de umidade inicial de 7,24% e após 90 dias um teor de umidade de 12,30% constatando assim, aumento de 69,89%.

Na Tabela 4.10 são apresentados os parâmetros de ajuste das equações testadas para o cálculo do teor de umidade da polpa de acerola em pó, em função da tempo de armazenamento. Essas equações são do tipo linear, quadrática e exponencial. Observa-se que todas as equações apresentaram coeficiente de determinação (R^2) superior a 0,97, ou

seja, ajustaram-se bem aos dados experimentais, podendo ser usadas para prever o comportamento da umidade com o tempo. No entanto, a equação quadrática apresentou o maior R^2 podendo representar os dados experimentais da umidade, em função do tempo, resultando num ótimo ajuste.

Estão apresentados no Apêndice B (Tabelas B.4, B.5 e B.6) os valores preditos da umidade e os erros relativos.

Tabela 4.10. Equações propostas para o cálculo do teor de umidade da acerola em pó, em função do tempo de armazenamento

Equações	Parâmetros			R^2	P (%)
	A	B	C		
$U = A + Bt$	4,11870	0,07016	-	0,99250	1,752
$U = A+Bt+Ct^2$	4,04847	0,078588	-0,000140	0,99370	1,562
$U = Ae^{Bt}$	4,04847	0,01111	-	0,97711	3,564

U = Umidade (%); t = Tempo (dia)

A Figura 4.3 representa graficamente os valores obtidos experimentalmente, do teor de umidade da polpa de acerola em pó, em função do tempo de armazenamento, e os valores ajustados pela equação quadrática. Nota-se aumento nos valores de umidade com o tempo de armazenamento. Este acréscimo confirma que a embalagem utilizada não é impermeável ao vapor d'água e a amostra apresentou comportamento típico de produtos higroscópicos, absorvendo a umidade do ambiente ao longo do armazenamento. FIGUEIRÊDO (1998) observou que não houve variação de umidade do pó de acerola acondicionada em embalagem laminada com quatro camadas ao longo dos 360 dias de armazenamento.

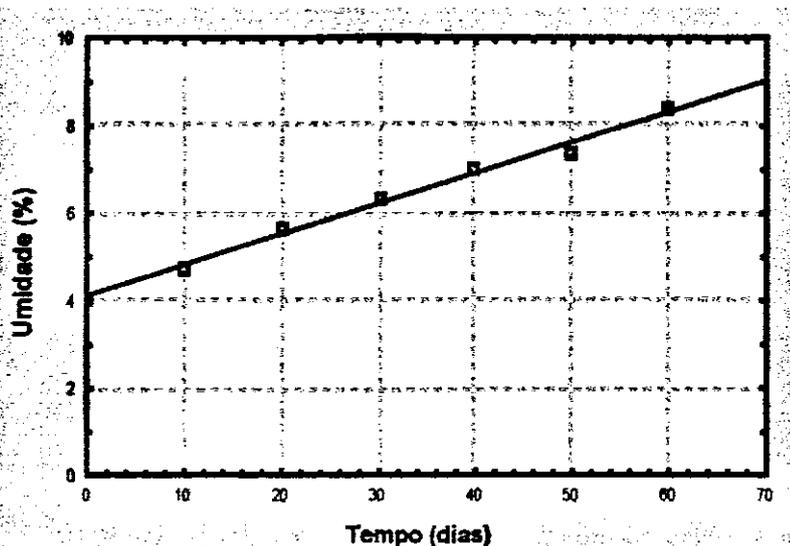


Figura 4.3. Teor de umidade (%) da polpa de acerola em pó ao longo dos 60 dias de armazenamento com valores ajustados pela equação quadrática

4.4.3 pH

Pela análise de variância para o pH da polpa de acerola em pó (Tabela 4.11) verifica-se diferença significativa para o fator tempo de armazenamento a nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$) pelo teste F:

Tabela 4.11. Análise de variância dos valores médios do pH da polpa de acerola em pó

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Tempo	6	0,02394	0,00399	9,2120**
Resíduo	14	0,00606	0,00043	
Total	20	0,03000		

G.L.- Grau de liberdade; S.Q.- soma dos quadrados; Q.M.-Quadrado médio dos desvios e F.-Variável do teste F

** Significativo a nível de 1% de probabilidade

Na Tabela 4.12 estão apresentados os valores médios do pH da polpa de acerola em pó, durante o armazenamento. Verificam-se que houve oscilações nos valores médios do pH, não ficando evidente nenhum tipo de comportamento padrão, apresentando-se isoladamente uma diferença significativa apenas no tempo de 50 dias, com relação a todos os outros períodos não existindo, entretanto diferença significativa entre o período inicial e

o final. Em seus estudos com a polpa de acerola preservada por três métodos de conservação, congelamento, tratamento térmico e utilização de aditivos químicos, PIMENTEL (1996) observou que o pH se manteve estável ao longo do período de 180 dias. Constata-se que o valor do pH da polpa de acerola em pó no tempo zero foi 3,82 e se encontra um pouco acima do obtido por SOARES et al. (2001) para a acerola em pó, que foi de 3,22. Comparando-se o pH da polpa de acerola antes da secagem, verifica-se que no pó ocorreu aumento de aproximadamente 27%.

Tabela 4.12. Valores médios do pH da polpa de acerola em pó, durante o armazenamento

Tempo (dias)	pH
0	3,820 b
10	3,826 ab
20	3,830 ab
30	3,883 a
40	3,826 ab
50	3,760 c
60	3,843 ab

CV (%) = 3,82714; DMS = 0,05803; MG = 3,82714

MG-Média geral, CV-Coeficiente de variação e DMS -Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a nível de 5% de probabilidade

A Figura 4.4 mostra os valores médios do pH obtidos experimentalmente, da polpa de acerola em pó, ao longo dos 60 dias de armazenamento. Observa-se que o valor do pH manteve oscilando entre 3,7 e 3,8.

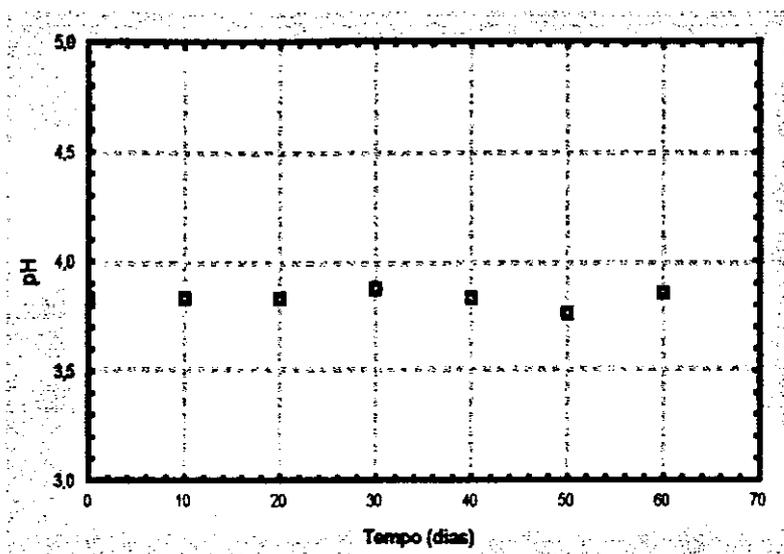


Figura 4.4. pH da polpa de acerola em pó ao longo dos 60 dias de armazenamento.

4.4.4 Cor

4.4.4.1. Luminosidade (L)

Tem-se, na Tabela 4.13, a análise de variância dos valores de luminosidade (L) da polpa de acerola em pó, na qual se constata diferença significativa entre os tempos de armazenamento, a nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$) pelo teste F.

Tabela 4.13. Análise de variância dos valores médios do parâmetro luminosidade (L) da polpa de acerola em pó

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Tempo	6	342,10678	57,01780	70,7427**
Resíduo	14	11,28384	0,80599	
Total	20	353,39063		

G.L.- Grau de liberdade; S.Q.- soma dos quadrados; Q.M.-Quadrado médio dos desvios e F.-Variável do teste F

** Significativo a nível de 1% de probabilidade

Os valores médios do parâmetro luminosidade (L) da polpa de acerola em pó, apresentados na Tabela 4.13, sofreram variação durante o armazenamento. Em termos percentuais, a redução no valor da luminosidade no final do armazenamento com relação

ao período inicial, foi de 18,84%. As reduções foram ocorrendo gradativamente, não existindo diferenças significativas entre o tempo inicial e os tempos de 10 e 20 dias; da mesma forma aconteceu entre os tempos de 20 e 30 dias e entre os tempos 40 e 50 dias. ROBBINS & MOORE (1990) armazenaram frutos de framboesa a 0°C, 4,5°C por 16 dias e a 20°C por 8 dias, em que os autores observaram que os parâmetros da cor diminuem com o tempo de armazenamento.

Tabela 4.14. Valores médios do parâmetro luminosidade (L) da polpa de acerola em pó durante o armazenamento

Tempo (dias)	Luminosidade (L)
0	58,43333 a
10	58,40001 a
20	57,46666 ab
30	55,46666 b
40	51,46666 c
50	50,66677 c
60	47,40000 d

CV (%) = 1,65684; DMS = 2,50352; MG = 54,1856.

MG-Média geral. CV-Coeficiente de variação e DMS -Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a nível de 5% de probabilidade

Estão apresentados, na Tabela 4.15, os parâmetros de ajuste das equações testadas para o cálculo da luminosidade da polpa de acerola em pó, em função da tempo. As equações são do tipo linear, quadrática e exponencial. Observando-se esta tabela, nota-se que a equação quadrática foi a que apresentou maior coeficiente de determinação (R^2) ou seja, acima de 0,96.

Estão apresentados no Apêndice B (Tabelas B.7, B.8 e B.9) os valores preditos da luminosidade e os erros relativos:

Tabela 4.15. Equações testadas para o cálculo da luminosidade (L)

Equações	Parâmetros			R ²	P (%)
	A	B	C		
$L = A + Bt$	60,03211	-0,19488	-	0,93255	1,780
$L = A+Bt+Ct^2$	58,87153	-0,055614	-0,00232	0,97224	0,906
$L = Ae^{Bt}$	60,12094	-0,00355	-	0,91974	1,867

L = Luminosidade; t= Tempo (dia)

A Figura 4.5 aponta uma representação gráfica dos valores de L (luminosidade) da polpa de acerola em pó, em função do tempo de armazenagem, e os valores ajustados pela equação quadrática. Observa-se diminuição no valor da luminosidade (L) durante o armazenamento, cujo fato foi observado também por OLIVA et al. (1996) ao armazenarem néctar de acerola (Spin Cooker) porém seus resultados demonstraram que as amostras armazenadas a temperatura ambiente apresentaram diminuição significativa no valor da luminosidade (L) com relação ao início, apenas a partir dos 75 dias.

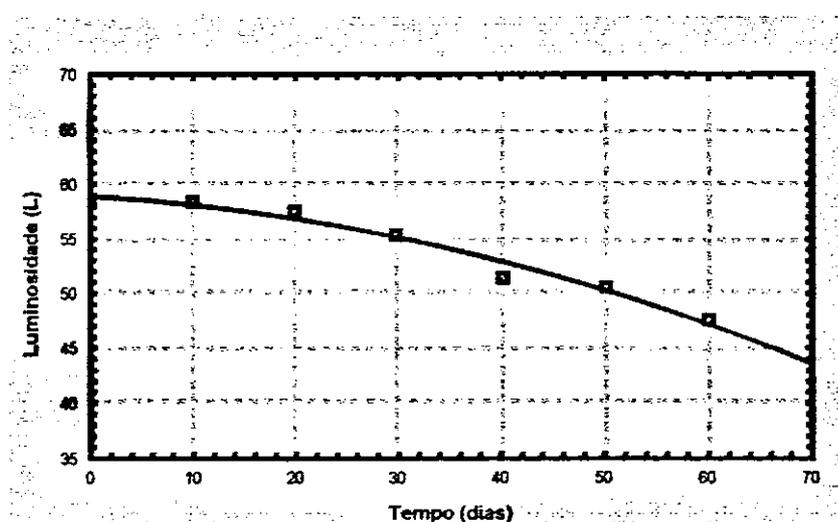


Figura 4.5. Valores do parâmetro luminosidade (L) para a polpa de acerola em pó, ao longo dos 60 dias de armazenagem, ajustados pela equação quadrática

4.4.4.2. Intensidade de vermelho (a)

Analisando-se os dados da análise de variância para a intensidade de vermelho (a) da polpa de acerola em pó, apresentados na Tabela 4.16, verifica-se efeito significativo a nível de 1% de probabilidade pelo teste de F.

Tabela 4.16. Análise de variância dos valores médios do parâmetro intensidade de vermelho (a) da polpa de acerola em pó

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Tempo	6	49,19189	8,19865	17,2353**
Resíduo	14	6,65967	0,47569	
Total	20	55,85156		

G.L.- Grau de liberdade; S.Q.- soma dos quadrados; Q.M.-Quadrado médio dos desvios e F.-Variável do teste F; ** Significativo a nível de 1% de probabilidade

Na Tabela 4.17 estão apresentados os valores médios da intensidade de vermelho (a) da polpa de acerola em pó, ao longo do armazenamento. Pode-se observar que não houve diferença significativa entre as médias dos valores da intensidade de vermelho (a) do tempo inicial e os tempos 10, 20, 30 e 40 dias. Em seus resultados, LIMA et al. (1995a) observaram que o pó de acerola obtido em leite de jorro, apresentou tendência ao escurecimento quando submetido a temperaturas do ar de secagem acima de 50°C.

Com relação ao aumento da intensidade de vermelho em percentual entre o valor inicial e o final (60 dias) este acréscimo foi de aproximadamente 35%, verificando-se que as condições do armazenamento influenciaram muito mais este parâmetro que a luminosidade.

Estão apresentados no Apêndice B (Tabelas B.10, B.11 e B.12) os valores preditos da intensidade de vermelho e os erros relativos.

Tabela 4.17. Valores médios do parâmetro intensidade de vermelho (a) da polpa de acerola em pó, durante o armazenamento

Tempo (dias)	Intensidade de vermelho (a)
0	+ 12,46667 c
10	+ 12,70000 c
20	+ 12,80000 c
30	+ 13,26667 c
40	+ 13,96667 bc
50	+ 15,60000 ab
60	+ 16,80000 a

CV (%) = 4,94664; DMS = 1,92331; MG = 13,9428.

MG-Média geral, CV-Coeficiente de variação e DMS -Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a nível de 5% de probabilidade

Na Tabela 4.18 encontram-se os parâmetros de ajuste das equações do tipo linear, quadrática e exponencial testadas para o cálculo da intensidade de vermelho (a) da polpa de acerola em pó, em função da tempo. Nota-se que a equação quadrática se ajustou muito bem aos dados experimentais, visto que o R^2 foi superior a 0,99.

Tabela 4.18. Equações testadas para o cálculo da intensidade de vermelho (a)

Equações	Parâmetros			R^2	P (%)
	B	C	D		
$a = B + Ct$	11,80358	0,071310	-	0,86834	5,281
$a = B+Ct+Dt^2$	12,57539	0,02331	0,001544	0,99040	0,881
$a = Be^{Ct}$	11,83190	-0,005281	-	0,89633	3,391

a = Int. de vermelho (adimensional); t= Tempo (dias)

Na Figura 4.6 tem-se os valores de intensidade de vermelho (a) na polpa de acerola em pó, obtidos experimentalmente em função do tempo de armazenagem, e os valores ajustados pela equação quadrática.

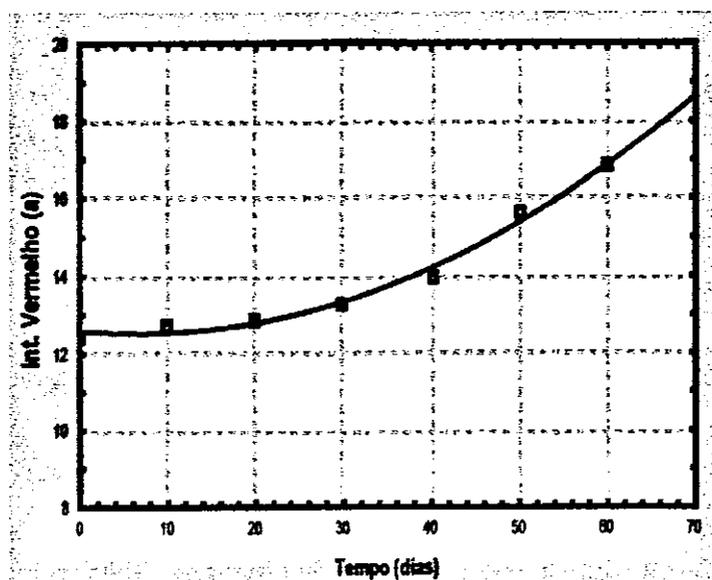


Figura 4.6. Valores de intensidade de vermelho (a) para a polpa de acerola em pó, ao longo dos 60 dias de armazenamento ajustados pela equação quadrática

Observa-se aumento da intensidade de vermelho (a) durante o armazenamento que, associada à redução da luminosidade, representa o escurecimento da amostra, sendo provavelmente ocasionada pela degradação do ácido ascórbico. Segundo SOARES et al. (2001) pode-se justificar e correlacionar o aumento da taxa de escurecimento ao decréscimo do teor de ácido ascórbico, possivelmente consequência do processo de degradação oxidativa caracterizado como escurecimento não enzimático. OLIVA et al. (1996) afirmaram que muitos autores têm associado o escurecimento em produtos de frutas com pH inferior a 4,0, como sendo proveniente da degradação do ácido ascórbico, principalmente anaeróbica, que gera produtos como furfural e polímeros escuros.

4.4.4.3. Intensidade de amarelo (b)

Na Tabela 4.19 é apresentada a análise de variância dos valores de intensidade de amarelo (b) da polpa de acerola em pó. Nesta análise, verifica-se que, a nível de significância de 1%, os valores da intensidade de amarelo durante o armazenamento não são, em média, iguais.

Tabela 4.19. Análise de variância dos valores médios do parâmetro de intensidade de amarelo (b) da polpa de acerola em pó

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Tempo	6	116,90299	19,48383	28,5564**
Resíduo	14	9,55209	0,68229	
Total	20	126,45508		

G.L.- Grau de liberdade; S.Q.- soma dos quadrados; Q.M.-Quadrado médio dos desvios e F.-Variável do teste F; ** Significativo a nível de 1% de probabilidade

Na Tabela 4.20 estão apresentados os valores médios da intensidade de amarelo da polpa de acerola em pó ao longo do armazenamento, onde se observa que não houve diferença significativa entre as médias dos valores de b entre os quatro primeiros períodos e entre os três últimos períodos de armazenamento. Apesar disso o percentual de aumento do valor de b no final do armazenamento (60 dias) com relação ao tempo zero foi de aproximadamente foi de 21%.

Tabela 4.20. Valores médios do parâmetro intensidade de amarelo (b) da polpa de acerola em pó, durante o armazenamento

Tempo (dias)	Intensidade de amarelo (b)
0	+ 29,26667 b
10	+ 29,53333 b
20	+ 30,56667 b
30	+ 30,83333 b
40	+ 33,70000 a
50	+ 34,86667 a
60	+ 35,30000 a

CV (%) = 2,30341; DMS = 2,30341; MG = 27,8312.

MG-Média geral, CV-Coeficiente de variação e DMS -Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey, a nível de 5% de probabilidade.

Estão apresentados, na Tabela 4.21, parâmetros de ajuste das equações linear, quadrática e exponencial testadas para predizer a intensidade de amarelo (b) da polpa de acerola em pó durante o armazenamento.

No Apêndice B (Tabelas B.13, B.14 e B.15) encontram-se os valores preditos da intensidade de amarelo e os erros relativos.

Tabela 4.21. Equações testadas para o cálculo da intensidade de amarelo (b)

Equações	Parâmetros			R ²	P (%)
	A	C	D		
$b = A + Ct$	28,59166	0,113929	-	0,932630	1,614
$b = A + Ct + Dt^2$	28,99047	0,66071	0,000798	0,946345	1,415
$b = Ae^{Ct}$	28,67442	0,003582	-	0,938570	1,552

b = Int. de amarelo(adimensional); t= Tempo (dias)

A Figura 4.7 apresenta os valores do parâmetro intensidade de amarelo (b) da polpa de acerola em pó, em função do tempo de armazenamento, e os valores ajustados pela equação quadrática. Observa-se que houve um aumento na intensidade de amarelo (b) durante o armazenamento devido possivelmente à reação das antocianinas com o ácido ascórbico presentes na acerola. Desta reação resultam perdas de ambos os componentes, com formação de pigmentos levemente escuros, podendo contribuir para o acréscimo verificado na cor da polpa de acerola em pó durante os 60 dias de armazenamento. Tal resultado é inverso ao encontrado por FIGUEIRÊDO (1998) que observou diminuição na intensidade de amarelo durante o armazenamento do pó de acerola microencapsulado em embalagem laminada contendo, em uma das camadas, alumínio, o qual tem a função de proteger o produto da luz.

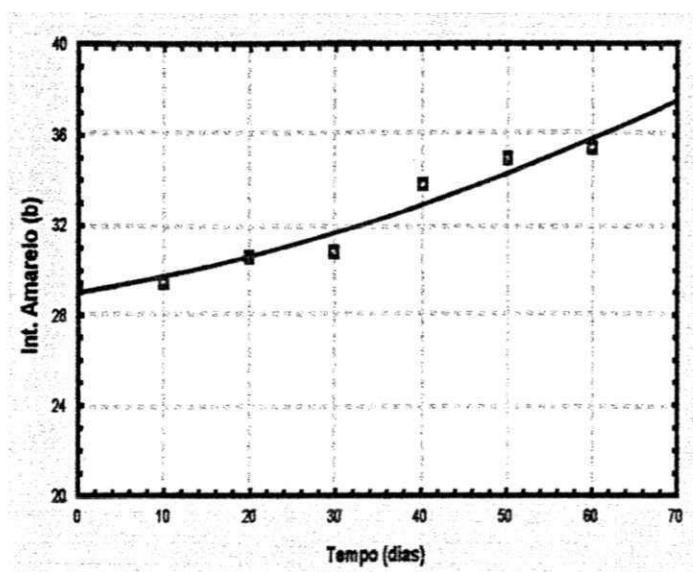


Figura 4.7. Valores da intensidade de amarelo (b) da polpa de acerola em pó, ao longo dos 60 dias de armazenamento, ajustados pela equação quadrática

Este comportamento é idêntico ao determinado por MATSSURA (1994) que também verificou aumento na intensidade de amarelo durante o armazenamento do suco integral de acerola com e sem tratamento térmico, durante 180 dias a -18°C .

5. CONCLUSÕES

Em relação a caracterização da polpa de acerola, utilizada na secagem:

- Os resultados obtidos na caracterização físico-química da polpa de acerola, estão de acordo com os valores recomendados pelo regulamento técnico geral de padrões de identidade e qualidade de polpas de fruta, do Ministério da Agricultura e Abastecimento, exceto o teor de ácido ascórbico, que foi muito inferior ao recomendado.

Quanto às características físicas da polpa de acerola em pó:

- Os valores da densidade, ângulo de repouso, tempo de escoamento e taxa de molhabilidade, foram de 1,313 g/cm³, 47,22°, 76 s e 0,1806 g/min, respectivamente. Com exceção da densidade, pode se afirmar que esses resultados indicam que a polpa de acerola em pó é um produto de alta higroscopicidade e apresenta problemas de fluidez.

- As isotermas de adsorção de umidade para a polpa de acerola são do Tipo III, de acordo com a classificação de BRUNAUER.

- O modelo de GAB apresentou os melhores ajustes aos dados experimentais, podendo representar satisfatoriamente as isotermas de adsorção de umidade da polpa de acerola em pó, apresentando um coeficiente de determinação (R²) acima de 90% e desvio médio relativo (P) menor que 10%, em todas as temperaturas estudadas.

Em relação ao armazenamento da polpa de acerola em pó sob atmosfera ambiente por 60 dias:

- A perda de ácido ascórbico ao final do tempo de armazenagem foi de 29,72%.
- O teor de umidade apresentou acréscimo de 51,31% ao final dos 60 dias de armazenamento.
- O pH das amostras reconstituídas da acerola em pó apresentou valores entre 3,7 e 3,8, ao longo do armazenamento.

- Os parâmetros de cor: luminosidade (L) diminuiu durante o tempo de armazenagem, enquanto a intensidade de vermelho (a) e a intensidade de amarelo (b) aumentaram indicando, assim, o escurecimento da polpa de acerola em pó.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABURTO, L. C.; TAVARES, D, Q; MARTUCCI, E, T.; Microencapsulação de óleo essencial de laranja. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v.19, n.3, p. 45-48, 1999.

ALMEIDA, M. M. **Processamento de urucum em leite de jorro: estudos fluidodinâmicos**. 1993. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

ALVES, R.E. Características das frutas para exportação. In: NETTO, A.G.; ARDITO, E.F.G.; GARCIA, E.E.C.G. ; BLEINROTH, E.W.; FREIRE, F. das C.O.; MENEZES, J.B.; BORDIN, M.R.; SOBRINHO. R.B.; ALVES, R.E. **Acerola para a exportação: procedimentos de colheita e pós-colheita**. MAARA/SDR - Brasília: EMBRAPA–SPI, 1996. 30p. (EMBRAPA– SPI. Publicações Técnicas FrupeX, 21)

ALVES, R. E. **Qualidade de acerola submetida à diferentes condições de congelamento, armazenamento e aplicação pós-colheita de cálcio**. 1999. 117f. (Doutorado em Ciência dos Alimentos), Universidade Federal de Lavras, Lavras.

ANANDARAMAM, S.; REINECCIUS, G. A. Stability of encapsuled orange pell oil. *Food Technology*, Chicago, v. 40, p. 88-93, 1996.

ARAÚJO, M. E. R.; ALMEIDA, F. A. C.; GOUVEIA J. P. G. de; SILVA, M. M. Atividade de água em goiaba (*Psidium guajava* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, CD.

ARAÚJO, M. S. O., **Avaliação das características físico-químicas e sensoriais de polpa de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) submetidas a diferentes técnicas de congelamento**. 2000, 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

ASCHERI, D. P. R.; MARTUCCI, E.T. Microencapsulamento de Óleo Essencial de Laranja: Determinação de Isotermas de Adsorção. In: HUMBINGER, M.; MURR, F.X.; AGUILERA, J.M. **Equipos y procesos para la industria de alimentos**. Anales del I Congreso Ibero-Americano de Ingeniería de Alimentos. Tomo I: Propiedades físicas de los alimentos. Valencia, España, p. 209-215, 1996.

ASCHERI, D. P. R. Estudo das características de adsorção de água e da estabilidade das microcápsulas de óleo essencial de laranja na seleção de material de parede. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 367-373, 1999.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. AOAC. **Official Methods of Analysis**, WILLIAMS, S. (Ed) 14.ed. Arlington, 1984. 1141p.

BAKAN, J. A. Microencapsulation. In: PERTESON, M. S.; JOHNSON, A. H. (Ed) **Encyclopedia of Food Science**. Westport: The Avi Publishing Company, 1978. p. 499-507.

BARRET, N.; FANE, A. Drying Liquid Materials in a Spouted Beds. In: **Drying Canada: Hemisphere**, New York, 1989, p.415-420.

BENASSI, M. T. **Análise dos efeitos de diferentes parâmetros na estabilidade de vitamina C em vegetais processados**. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos) Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução à química de alimentos**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 306 p.

BOBBIO, F.O.; BOBBIO, P.A **Introdução à química de alimentos**, 2ª ed. São Paulo: Varela, 1992. 223 p.

BRASIL. Instrução normativa nº 1, de 7 de janeiro de 2000. Estabelece o regulamento técnico para a fixação dos padrões de identidade e qualidade para a polpa de fruta. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília-DF, 10 de janeiro. 2000 seção 1, n.6, p.54-56.

BRANDARI, B. R.; SENOUSI, A.; DUMOULIN, E. D.; LEBERT, A. Spray drying of concentrated fruit juices. **Drying Technology**, v. 11, n. 5, p. 1081-1092, 1993.

BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. Theory and simulation of grain drying. In: **Drying and storage of grains and oilseeds**. Westport the AVI publishing Company, 1992. p. 205-240.

CABRAL, M. F. P., **Comportamento Reológico da Polpa de Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum Schum.*)** UFPB, 2001, 106p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) –Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

CALVO, C. Atlas de Color. Fundamentos Y aplicaciones. **Revista Agroquím. Tecnol. Aliment.**, Valência, v. 29, n. 1, p. 15-29. 1989.

CARVALHO, C.R.L; MANTOVAN, D.M.B; CARVALHO,P.R.N; MORAES, R.M de. **Análises Químicas de Alimentos**. Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas, 1990. 121p.

CARVALHO, I. T.; GUERRA, N. B. Suco de acerola: estabilidade durante o armazenamento. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE ACEROLA, 1995. Anais...** Vitória da Conquista, BA UESB-DFZ, p. 102-106.

CARVALHO, R. I. N.; MANICA, I. Características físicas, químicas e respiração de acerolas (*Malpighia glabra L.*) em três estádios de maturação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 15, n. 2, p. 21-26, ago., 1993.

CHAVES, J. B. P. **Controle de Qualidade Para Indústria de Alimentos**. Ed. da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, p. 18-31, 1994.

CHIRIFE, J. Fundamentals of the drying mechanism during air dehydration of foods. In: MUJUNDAR, A.S (ed). **Advances in drying**. Washington: Hemisphere Publishing Cooperation. p. 73-102. 1983.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio. Lavras, ESAL / FAEPE, 1990, 302 p.

CIABOTTI, E. D., BRAGA, M. E. D., CAVALCANTI-MATA, M .E. R. M. Alterações das características físico-químicas da polpa de maracujá amarelo submetido a diferentes técnicas de congelamento inicial. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 51-60, 2000.

CORRÊIA, E. C. **Secagem de pasta residual de soja em leito de jorro**. 1996, 91f. Dissertação (Mestrado em Eng. Química) - UFSCar, São Carlos.

COSTA, I. A. **Secagem de sementes de soja em leito de jorro em operação contínua**. 1997, 73f. Dissertação (Mestrado Eng. Química). UFSCar, São Carlos – SP.

COUCEIRO, E. M. **Curso de extensão sobre a cultura da acerola**. Recife: UFRPE, 45p. 1985.

DIAS, M. C.; MARQUES, W. M.; BORGES, S. V.; Efeito da secagem em leito de jorro bidimensional sobre as propriedades físicas e tecnológicas do feijão preto (*Phaseolus vulgaris*, L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 3, p. 401-405, 2000.

DIAS, M. C.; MARQUES, W. M.; BORGES, S. V.; MANCINI, M. C. Avaliação dos efeitos de secagem em leito de jorro bidimensional sobre as propriedades do feijão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS. 26., 1998, **Anais...** Teresópolis. v. 2, p. 371-376, 1998.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia dos Alimentos**. 2. Ed. São Paulo: Atheneu, 270 p. 1994.

FARIA, C. D. F. **Análises do rendimento de grãos inteiros na secagem de arroz em um leito de jorro cônico**. 1997, 100f. Dissertação (Mestrado em Eng. Química). Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

FENNEMA, O R. **Introducción a la ciência de los Alimentos**. Barcelona: Ed. Rovert, Barcelona, v. 1, 1982.

FERREIRA, V. L. P. **Princípios e aplicações da calorimetria em alimentos**. Campinas: ITAL, p.1-86. 1991.

FERREIRA, J. A.; ANDRADE, T. C. C. M.; MANCINI, M. C.; SCHEID, C. M. Obtenção de concentrado de feijão em pó em leito de jorro bidimensional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMA PARTICULADOS, 28., **Anais...** Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro. v. 1, p. 339-344, 2000.

FIGUEIRÊDO, R. M. F. Caracterização do particulado de suco de acerola microencapsulado. CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMA PARTICULADO 24, **Anais...** Uberlândia; Universidade Federal de Uberlândia. v.1, p. 45-48, 1996.

FIGUEIRÊDO, R. M. F. **Caracterização Físico-Química do Suco e Pó de Acerola (Malpighia punicifolia, L.)**, 1998, 184f, Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

FRANCIS, F. J. Colorimetry of foods. In: PELEG, M.; BAGLEY, E. B. **Physical properties of foods**. Westport: The Avi Publishing Company, 1983, p. 105-123.

FREIRE, J. T. **Tópicos especiais de secagem**. São Carlos: UFSCar, 1992. v. 1. 330 p.

GAVA, A. J. **Princípios de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Nobel, 1988. 284 p.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 12.ed. São Paulo: ESALQ/USP, 1987. 467 p.

GONZAGA NETO, L., SOARES, J.M. **Acerola para exportação: aspectos técnicos da produção**. EMBRAPA-SPI, 1994, 43 p.

GREENSPAN, L. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. **J. Res. Nat. Bur. of standards**, v. 81, n. 1, p. 89-96, 1977.

GUIA RURAL ABRIL, Anuário, São Paulo. Ed. Abril, 228 p. 1988.

HACKBART, S. T. **Desidratação do Suco de Acerola “Otimização Através de Método Simplex Squencial**. 2001, 86f. Dissertação (Mestrado em Ciências de alimentos), Universidade estadual de Londrina, Londrina.

JACKSON, L. S.; LEE, K. Microencapsulation and the food industry. **Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, Zurich, v. 24, n. 4, 1991.

KENYON, M. M.; ANDERSON, R. J. Maltodextrins and low-dextrose-equivalence corn syrup solids: production and technology for the flavor industry. In: RISCH, S. J.; REINECCIUS, G. A. **Flavor encapsulation**. Washington: American Chemical Society, 1988. Cap. 2: p.7-11.

KING, W.; TRUBIANO, P.; PERRY, P. Modified starch encapsulating agents offer superior emulsification, film forming, and low surface oil. **Food Product Development**, v. 10, n. 10, p. 54-57, 1976.

LARA, A. B. W. H.; NAZÁRIO, G.; ALMEIDA, M. E. W.; PREGNOLAT, W. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análises de alimentos**. 2.ed. São Paulo: Melhoramentos, 1976, v. 1, 371 p.

LEITÃO, M.F de F. Microbiologia de frutas tropicais e seus produtos. In: Instituto de Tecnologia de Alimentos. **Alguns Aspectos Tecnológicos das frutas tropicais e seus produtos**. São Paulo :ITAL, 1980, p.83-126 (Série Frutos Tropicais). In: Instituto de Tecnologia de Alimentos. **Alguns Aspectos Tecnológicos das frutas tropicais e seus produtos**. São Paulo: ITAL, 1980, p. 83-126 (Série Frutos Tropicais).

LEME Jr. J.; FONSECA, H.; NOGUEIRA, J. N. Variação do teor de ácido ascórbico e beta-caroteno em cereja das Antilhas (*Malpighia punicifolia* L.) liofilizada. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, Caracas- Venezuela. v. 23, n. 2, p. 207-215, 1973.

LIMA, A.C.C.; ROCHA, S.C.S. Análise experimental da secagem de feijão em leito de jorro e leito de jorro fluidizado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMA PARTICULADOS, 26, Anais... Maringá. v. 1, p. 259-270, 1995.

LIMA, M. F. M. de. **Desidratação de polpa de umbu em leito de jorro: estudos fluidodinâmicos e térmicos.** 1992, 188f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Centro de Ciências e tecnologia, Universidade federal da Paraíba, Campina Grande.

LIMA, C. A. P. **Desidratação de polpa de umbu em leito de jorro: estudos do desempenho de um jorro.** 1993, 56f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

LIMA, L. M. R. **Estudo das variáveis fluidodinâmicas na secagem de polpa de acerola em leito de jorro convencional.** 1996. 117f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade federal da Paraíba, Campina Grande.

LIMA, M. L.; SANTOS, C. I.; COSTA, F. A.; LIMA, M. F. M.; SANTOS, E. M. B. D.; CARVALHO, L. P. Desidratação de Polpas de Frutas Tropicais em Leito de Jorro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA. COBEQ – IC, Anais... São Carlos, 1995, 121-123p.

LIMA, M. F. M.; SANTOS, E. M. B. D.; CARVALHO, L. P.; COSTA, F. A.; SANTOS, C. I.; LIMA, L. M. Q. Influência das Variáveis Operacionais na Desidratação de Polpa de Siriguela em Leito de Jorro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 26. Anais... Marigá – PR, 1995. 147-152 p.

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part II: milk, coffe, tea, nuts, oilseeds, spices and starchy foods. **Lebensm.-wiss.-u.-Technol**, Zurich v. 18, n. 1, p. 118-124, 1985.

MARINO NETO, L. **Acerola, a cereja tropical.** São Paulo: Nobel, 1996.

MARTINS, J. H; MATA, M. E. R. M. **Introdução à Teoria e Simulação Matemática de Secagem de Grãos**. Núcleo de Tecnologia em Armazenagem, Campina Grande. UFPB, 104 p. 1984.

MARKAKIS, P. Stability of anthocyanins in foods. In: MARKAKIS, P. **Anthocyanins as Food Colors**. New York: Academic Press, 1982. 163 p.

MASTERS, K. **Spray-Drying**; na introduction to principles, operational practice and applications. 2ed. Londres, George Godwin, 684p. 1976.

MATSUURA, F. C. A. U. **Processamento de Suco Integral e Concentrado de Acerola**. Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, 1994. 140f. Tese (Doutorado)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MEDEIROS, M. F. D, ALSINA, O. L. S., ROCHA, S. C., JERÔNIMO, C. E. M, MATA, A. L. M. L., MEDEIROS, U. K. L., FURTUNATO, A. A., Escoabilidade de leitos de partículas inertes com polpa de frutas tropicais. Efeito na secagem em leito de jorro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 5, n. 3, p. 475-480, 2001.

MEDEIROS, M. F. D. **Influência da composição química dos materiais no desempenho do processo de secagem de polpas de frutas em leito de jorro**. 2001. 233f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MENEZES, H. C.; DRAETA, I. S. Bioquímica das frutas tropicais. In: **Alguns Aspectos Tecnológicos das frutas tropicais e seus produtos**. São Paulo. ITAL, 1980, p. 9-59 (Série Frutos Tropicais)

MORAIS, V. L. M., **Estudo do desempenho de um leito de jorro convencional para a secagem de polpa de acerola**. 1996, 128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

NOGUEIRA, J. N. **Estudo químico e tecnológico da acerola (Malpighia Glabra L.)**. 1991, 117f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Universidade federal do Ceará, Fortaleza.

NORMAS ANALÍTICAS DO INSTITUTO ADOLFO LUTZ – Métodos Químico e Físicos para Análise de Alimentos, 3ed. São Paulo: O Instituto, 1985. v. 1, 531 p.

OLIVA, P. B. **Estudo do armazenamento da acerola in natura e estabilidade do néctar de acerola**. 1995. 103f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

OLIVA, P. B.; MENEZES, H. C.; FERREIRA, V. L. P. Estudo da Estabilidade do Néctar de Acerola. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 16, n. 3 , p. 228-232, 1996.

OLIVEIRA, M. E. B. de.; BASTOS, M. S. R.; FEITOSA, T. Avaliação de parâmetros de qualidade físico-químicos de polpas congeladas de acerola, cajá e caju. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 326-332, 1999.

OLIVEIRA, C. A.; ROCHA, S. C. S.; **Análise Comparativa da Secagem de Feijão em Leito de Jorro com Condições Operacionais Contínuas e Intermitentes do Ar**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMA PARTICULADOS, 27, **Resumos**. Campos de Jordão –SP, p. 18. 1999.

ONEDA, F.; RÉ, M. I. Microencapsulação de sais orgânicos de cálcio por spray drying. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMA PARTICULADOS, 27, **Resumos**. Campos de Jordão –SP, p. 134. 1999.

ONIMARU, R. S.; FREIRE, J. T.. Influência do Diâmetro e da forma da Partícula no Recobrimento em Leito de Jorro. In: Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados 24, **Anais...** Uberlândia, universidade Federal de Uberlândia. v. 1, p. 153-158, 1996.

PENA, R. S; RIBEIRO, C. C; GRANDI, J. G., Influência da temperatura nos parâmetros de modelos bi-paramétricos que predizem isotermas de adsorção de umidade do guaraná

(*Paullinia cupana*) em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas. v. 17 (3), p. 229-232. 1997.

PENA, R.S; RIBEIRO, C.C; GRANDI, J.G. Aplicação de modelos matemático bi e tri-paramétricos na predição das isotermas de adsorção de umidade de guaraná (*Paullinia cupana*) em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 20, n. 1, p. 08-11, 2000.

PEREIRA, E. A. **Propriedades termofísicas de polpa de açaí (*euterpe oleracea mart.*)** 2001, 86f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

PIMENTEL, L. M. **Influência do Processamento Sobre a Vitamina C do Suco de Acerola (*M. glabra L.*)**. 1996, 85f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

PRADO, M.E.T.; ALONSO, L.F.T.; PARK, K.J. Isotermas de sorção de modelos matemáticos. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 19, n. 1, p. 143–146, 1999.

QUEIROZ FILHO, A. V.; PICOLLO, S.V.; ROCHA, S. C. S.; Análise do Recobrimento de Comprimidos em Leito de Jorro Bidimensional para Três posições de Atomização de Suspensão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 24, **Anais...** Uberlândia, v.1, p. 87-92, 1996.

RÉ, M. I.; FREIRE, J. T. Secagem de Extratos Farmacológicos, In: ENCONTRO SOBRE ESCOAMENTO EM MEIOS POROSOS 15. **Anais...** Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia. v. 2, p. 399-406, 1987.

REIS, A. L. S. M. H. **Avaliação das Propriedades Físicas e Químicas do Suco de Abacaxi (*Ananas sativus*, Schult.) e Maracujá (*Passiflora edulis*, f. *flavicarpa*) em Pó Desidratados por “Spray Dryer”**. 1999, 79f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

ROCKLAND, L. B. Water activity and storage stability. **Food Technology**, Chicago, v. 23, n. 10, p. 11-21, 1969.

ROBBINS, J. A.; MOORE, P. P. Color change in fresh red raspberry fruit stored at 0, 4.5, or 20°C. **HortScience**, v. 25, n. 12, p.1623-1624, 1990.

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

SANTOS, S. C. S. **Grau de caking de pós de abacte (Persea americana, Mill) obtidos por spray-dryng.** 1983, 108f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

SENNE, J. N.; OLIVEIRA, W. P. Microencapsulação de Óleo Essencial da Casca de Laranja Usando o Leito de Jorro: Estudos Preliminares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMA PARTICULADOS, 27, **Resumos**. Campos de Jordão –SP, p. 124. 1999.

SILVA, F. A.S The ASSISTAT software: statistical assistance. In INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 6., 1996,Cancun. **Anais...American Society of Agricultural Engineers**, p. 294-298.

SILVA, G.F. **Processamento de urucum em leito de jorro.** 1991, 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande

SILVA, M. M.; GOUVEIA J. P. G. de; MOURA, R. S. F.; ALMEIDA, F. A. C.; ARAÚJO, M. E. R. Adsorção de umidade em polpa de manga: Avaliação de modelos matemáticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30, Foz do Iguaçu, **Anais...**, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. CD.

SPITZNER NETO, P. I.; FREIRE, J. T. Medida do grau de saturação de pasta em um leito de jorro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMA PARTICULADOS, 28, **Anais...** Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro. v. 1, p. 149-156, 2000.

SHAHIDI, F.; HAN, X. Q. Encapsulation of food ingredients. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 33, p. 501-547, 1993.

SOARES, E.C.; OLIVEIRA, G.S.F.; MAIA, G. A.; MONTEIRO, J.C.S.; SILVA, A.J.; FILHO, M.S.S. Desidratação da polpa de acerola (*Malpighia emarginata D.C.*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 21, n. 2, p. 164-170. 2001.

TOSTES, E.; RIBEIRO, C.; GRANDI, J.G. Utilização de equações de dois e três parâmetros na modelagem matemática da isoterma de adsorção de umidade à 15°C do pó de marupuama (*Ptycopetalum olacoides benth*). In: HUMBINGER, M.; MURR, F.X.; AGUILERA, J.M. **Equipos y procesos para la industria de alimentos**. Anales del I Congreso Ibero-Americano de Ingenieria de Alimentos. Tomo I: Propriedades físicas de los alimentos. Valencia, España, p. 304-314, 1996.

VISNARDI, C.; VISENTAINER, J. V.; MATSUSHITA, M.; SOUZA, N. E. **Teor de vitamina C em polpa de acerola submetida a armazenamento e processamento**. 8º Encontro Nacional de Analistas de Alimentos (ENAAAL), Resumos, 211p. 1993.

YOSHIDA, C.M.P. Estudo da cinética de secagem do milho superdoce em leito fixo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 24, **Anais...** Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia. v. 1, p. 307-312, 1996.

APÊNDICE A

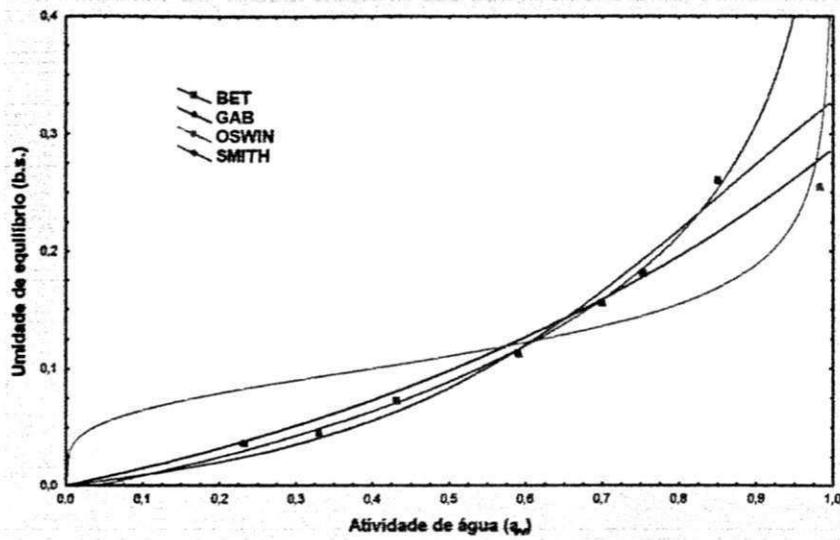


Figura A.1. Isotermas de adsorção de umidade da polpa de acerola em pó, a 20°C

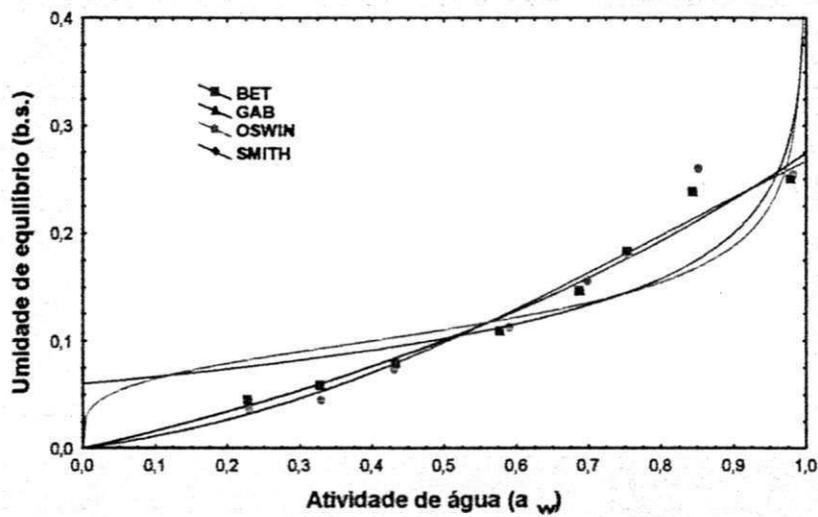


Figura A.2. Isotermas de adsorção de umidade da polpa de acerola em pó, a 25°C

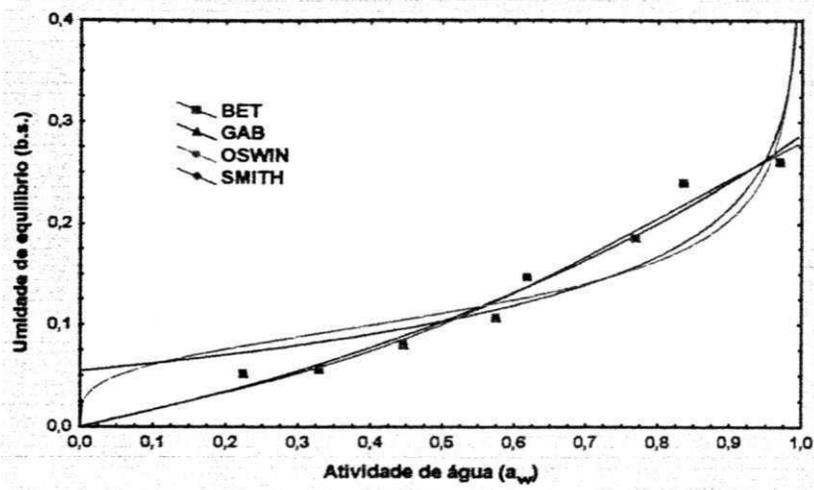


Figura A.3. Isotermas de adsorção de umidade da polpa de acerola em pó, a 30°C

APÉNDICE B

Tabela B.1. Valores estimados do ácido ascórbico (mg/100g) calculado pela equação linear e erro relativo

Tempo (dias)	Ácido ascórbico (mg/100g)		Erro relativo
	Experimental	Teórico	
0	81,91528	76,93529	-0,0647
10	73,02982	73,22564	0,0027
20	64,95776	69,51869	0,0657
30	62,34772	65,81174	0,0526
40	61,46544	62,10480	0,0103
50	59,39351	58,39785	-0,0171
60	57,57090	54,69091	-0,0527

Tabela B.2. Valores estimados do ácido ascórbico (mg/100g) calculado pela equação quadrática e erro relativo

Tempo (dias)	Ácido ascórbico (mg/100g)		Erro relativo
	Experimental	Teórico	
0	81,91528	81,02606	-0,0110
10	73,02982	73,22564	0,0026
20	64,95776	67,06721	0,0313
30	62,34772	62,53696	0,0030
40	61,46544	59,64872	-0,0043
50	59,39351	58,39785	-0,0171
60	57,57090	58,78439	0,0206

Tabela B.3. Valores estimados do ácido ascórbico (mg/100g) calculado pela equação exponencial e erro relativo

Tempo (dias)	Ácido ascórbico (mg/100g)		Erro relativo
	Experimental	Teórico	
0	81,91528	77,87013	-0,0594
10	73,02982	73,45061	0,0057
20	64,95776	69,28193	0,0624
30	62,34772	65,34989	0,0459
40	61,46544	61,64091	0,0028
50	59,39351	58,14248	-0,0215
60	57,57090	54,84261	-0,0497

Tabela B.4. Valores estimados do teor de umidade (%) calculado pela equação linear e erro relativo

Tempo (dias)	Umidade (%)		Erro relativo
	Experimental	Teórico	
0	4,074370	4,118695	0,0107
10	4,704260	4,820314	0,0240
20	5,642180	5,521934	-0,0217
30	6,373040	6,223553	-0,0240
40	6,990800	6,925172	-0,0094
50	7,412310	7,626791	0,0281
60	8,367909	8,328411	-0,0047

Tabela B.5. Valores estimados do teor de umidade (%) calculado pela equação quadrática e erro relativo

Tempo (dias)	Umidade (%)		Erro relativo
	Experimental	Teórico	
0	4,074370	4,048475	-0,00639
10	4,704260	4,820314	0,0240
20	5,642180	5,564066	-0,0140
30	6,373040	6,279729	-0,0148
40	6,990800	6,967304	-0,0037
50	7,412310	7,626791	0,0281
60	8,367909	8,258190	0,0187

Tabela B.6. Valores estimados do teor de umidade (%) calculado pela equação exponencial e erro relativo

Tempo (dias)	Umidade(%)		Erro relativo
	Experimental	Teórico	
0	4,074370	4,354566	0,0643
10	4,704260	4,866054	0,0332
20	5,642180	5,437622	-0,0376
30	6,373040	6,076326	-0,0488
40	6,990800	6,790052	-0,0295
50	7,412310	7,587614	0,0231
60	8,367909	8,478856	0,0130

Tabela B.7. Valores estimado da Luminosidade (L) calculado pela equação linear e erro relativo

Tempo (dias)	Luminosidade (L)		Erro relativo
	Experimental	Teórico	
0	58,43330	60,03211	0,0266
10	58,40010	58,08328	-0,0054
20	57,46660	56,13445	-0,0237
30	55,46660	54,18562	-0,0273
40	51,46660	52,23678	-0,0147
50	50,66670	50,28795	-0,0075
60	47,40000	48,33912	0,0194

Tabela B.8. Valores estimado da Luminosidade (L) calculado pela equação quadrática e erro relativo

Tempo (dias)	Luminosidade (L)		Erro relativo
	Experimental	Teórico	
0	58,43330	58,87122	0,00074
10	58,40010	58,08321	-0,0054
20	57,46660	56,83090	-0,0111
30	55,46660	55,11428	-0,0063
40	51,46660	52,9334	-0,0277
50	50,66670	50,28812	-0,0075
60	47,40000	47,17855	0,0469

Tabela B.9. Valores estimado da Luminosidade (L) calculado pela equação exponencial e erro relativo

Tempo (dias)	Luminosidade (L)		Erro relativo
	Experimental	Teórico	
0	58,43330	60,12094	0,0280
10	58,40010	58,02565	-0,0064
20	57,46660	56,00339	-0,0261
30	55,46660	54,05160	-0,0261
40	51,46660	52,16784	0,0134
50	50,66670	50,34973	-0,0062
60	47,40000	48,59498	0,0245

Tabela B.10. Valores estimado da Intensidade de vermelho (a) calculado pela equação linear e erro relativo

Tempo (dias)	Int. Vermelho (a)		Erro relativo
	Experimental	Teórico	
0	12,46667	11,80358	-0,0560
10	12,70000	12,51667	-0,0146
20	12,80000	13,22977	0,0324
30	13,26670	13,94287	0,0484
40	13,96670	14,65596	0,0470
50	15,60000	15,36906	-0,0150
60	16,80000	16,08212	-0,0594

Tabela B.11. Valores estimado da Intensidade de vermelho (a) calculado pela equação quadrática e erro relativo

Tempo (dias)	Int. Vermelho (a)		Erro relativo
	Experimental	Teórico	
0	12,46667	12,57539	0,0086
10	12,70000	12,51667	-0,0146
20	12,80000	12,76668	-0,0026
30	13,26670	13,35542	0,0044
40	13,96670	14,19288	0,0159
50	15,60000	15,36906	-0,0150
60	16,80000	16,85397	0,0032

Tabela B.12. Valores estimado da Intensidade de vermelho (a) calculado pela equação exponencial e erro relativo

Tempo (dias)	Int. Vermelho (a)		Erro relativo
	Experimental	Teórico	
0	12,46667	11,83190	-0,053
10	12,70000	12,47356	-0,018
20	12,80000	13,15003	0,026
30	13,26670	13,86318	0,050
40	13,96670	14,61500	0,044
50	15,60000	15,40760	-0,012
60	16,80000	16,24319	-0,034

Tabela B.13. Valores estimado da Intensidade de amarelo (b) calculado pela equação linear e erro relativo

Tempo (dias)	Int. Amarelo (b)		Erro relativo
	Experimental	Teórico	
0	29,26667	28,59166	-0,0230
10	29,53330	29,73095	0,0066
20	30,56670	30,87023	0,0098
30	30,83330	32,00952	0,0367
40	34,86667	33,14881	-0,0166
50	35,30000	34,28809	-0,0168
60	16,80000	35,42738	0,0035

Tabela B.14. Valores estimado da Intensidade de amarelo (b) calculado pela equação quadrática e erro relativo

Tempo (dias)	Int. Amarelo (b)		Erro relativo
	Experimental	Teórico	
0	29,26667	28,99047	0,0095
10	29,53330	29,73095	0,0066
20	30,56670	30,63095	0,0020
30	30,83330	31,69047	0,0271
40	34,86667	32,90952	-0,0245
50	35,30000	34,28809	-0,0160
60	16,80000	35,82619	0,0143

Tabela B.15. Valores estimado da Intensidade de amarelo (b) calculado pela equação exponencial e erro relativo

Tempo (dias)	Int. Amarelo (b)		Erro relativo
	Experimental	Teórico	
0	29,26667	28,67442	-0,0212
10	29,53330	29,72006	0,0060
20	30,56670	30,80383	0,0070
30	30,83330	31,92713	0,0341
40	34,86667	33,09138	-0,0183
50	35,30000	34,29809	-0,0165
60	16,80000	35,54881	0,0069