



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
COPEAG - COORD. DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. AGRÍCOLA



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Tese de Doutorado

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM PROCESSAMENTO E
ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS

KARLA DOS SANTOS MELO

Biblioteca UFCG
SMBC_CDSA
CAMPUS DE SUMÉ
Reg.10547/12

Campina Grande
Paraíba



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AGRÍCOLA



TESE DE DOUTORADO

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM PROCESSAMENTO E ARMAZENAMENTO
DE PRODUTOS AGRÍCOLAS

SECAGEM POR ASPERSÃO DA POLPA DE ATEMOIA

KARLA DOS SANTOS MELO



**Campina Grande - Paraíba
FEVEREIRO – 2012**

SECAGEM POR ASPERSÃO DA POLPA DE ATEMOIA

KARLA DOS SANTOS MELO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutora em Engenharia Agrícola.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas

**ORIENTADORES: Prof^ª. Dr^ª. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo
Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz**



**Campina Grande - Paraíba
Fevereiro – 2012**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

M528s Melo, Karla dos Santos.
 Secagem por aspersão da polpa de atemóia / Karla dos Santos Melo. –
 Campina Grande, 2012.
 230 f. : il.

 Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de
 Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

 Orientadores: Prof^ª. Dr^ª. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo, Prof. Dr.
 Alexandre José de Melo Queiroz.

 Referências.

 1. Secagem - Polpa de Atemóia. 2. *Annona cherimola* Mill x *Annona*
 squamosa L.. 3. Planejamento Experimental. 4. Isoterma. 5. Degradação.

I. Título.

CDU 631.563.2(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE

KARLA DOS SANTOS MELO

SECAGEM POR ASPERSÃO DA POLPA DE ATEMÓIA

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Rossana M. F. de Figueiredo
Dr.ª Rossana Maria Feitosa de Figueiredo
Orientadora (UAEA/UFCG)

Aprovada

Alexandre J. M. Queiroz
Dr. Alexandre José de Melo Queiroz
Orientador (UAEA/CTRN/UFCG)

Aprovada

Maristela de Fátima Simplicio de Santana
Dr.ª Maristela de Fátima Simplicio de Santana
Examinadora (INSA)

Aprovada

Ana Regina Campos
Dr.ª Ana Regina Nascimento Campos
Examinadora (CES/UFCG)

Aprovada

Libia de Sousa Conrado Oliveira
Dr.ª Libia de Sousa Conrado Oliveira
Examinadora (UAEQ/UFCG)

Aprovada

Jailane de Souza Aquino
Dr.ª Jailane de Souza Aquino
Examinadora (CCS/UFPB)

Aprovada

FEVEREIRO - 2012

*“O único lugar onde o
sucesso vem antes do
trabalho é no
dicionário.”*

(Albert Einstein)

UFGO - BIBLIOTECA

DEDICATÓRIA

*Ofereço este trabalho a meus pais,
Manuel Batista e Estefânia, a minhas
irmãs Kalina, Karen e Débora e a meu
esposo, Sebastião.*

*"Alguém me disse que sonhou
Que estava numa praia caminhando com Jesus
E olhando o céu viu sua vida
Tanta estrada percorrida
Sempre em busca de uma luz
E olhando as marcas na areia
Viu ao lado dos seus passos as pegadas de Jesus
E aí ele falou:*

- Não te entendo, meu Senhor!

E olhou pro chão

*- Nos caminhos mais difíceis, eu não vejo as tuas marcas
Por que me deixaste só?*

Jesus respondeu:

*- Os passos são só meus, jamais te abandonei
É que nos momentos mais difíceis de viver
Nos meus braços te levei"*

(Padre Zezinho)



*"Agradeço todas as dificuldades que enfrentei; não fosse por elas, eu
não teria saído do lugar. As facilidades nos impedem de caminhar.
Mesmo as críticas nos auxiliam muito."*

(Chico Chavier)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me acompanhar e me dar forças quando muitas vezes quis fraquejar.

A meus pais, por terem participado de perto de tudo que vivi, por terem me ajudado, dando força e carinho, por me amarem.

A minhas irmãs Débora, Kalina e Karen, por dividirem comigo os bons e maus momentos desta caminhada.

A meus sobrinhos Amanda, Gustavo e Ana Carolina, que são meus pequenos amores.

A meu esposo, Sebastião, pelo companheirismo, compreensão, carinho e dedicação, e pela felicidade de tê-lo perto de mim neste momento.

Aos meus sogros, Francisca e Milton, por suas orações.

A todos os meus mestres com os quais tive a oportunidade de conviver e aprender, em especial a esses três grandes professores que me ensinaram muito e tiveram paciência de me encaminhar nesta profissão que amo tanto: Prof^ª. Rossana, Prof^ª. Josivanda e Prof. Alexandre.

A banca por suas valiosas contribuições.

A todos os amigos que se dispuseram a ensinar e, com sua presença, sempre me fortaleceram, sobretudo a Tâmila fundamental nesta jornada.

A Capes, pela bolsa concedida.

À Universidade Federal de Campina Grande, por me permitir momentos tão importantes e de grande satisfação.

A Corn Products Brasil pela doação da maltodextrina.

Ao Laboratório de Caracterização de Materiais da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais (UAEMA/CCT/UFCG) por disponibilizar o microscópio eletrônico de varredura (MEV) para a realização das micrografias.

Aos colegas do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido (CDSA/UFCG) pela compreensão e apoio para a conclusão desta pesquisa.

A todos vocês, meu

Muito Obrigada!!!



MELO, K. dos S. **Secagem por aspersão da polpa de atemoia**. 2012. 230 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

RESUMO

A atemoia é uma fruta que vem atraindo cada vez mais a atenção dos consumidores, devido suas características sensoriais, e do produtor, em virtude do seu alto valor comercial, porém o fruto apresenta uma vida útil curta. Com isto, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de se estudar a secagem da polpa de atemoia em secador por aspersão, para isto, foram realizados testes preliminares com formulações elaboradas com 50% de polpa de atemoia e 50% de água, adicionadas de diferentes concentrações de maltodextrina (25, 30 e 35%) e dextroses equivalentes (10, 14 e 20) com as condições de secagem: temperatura de entrada do ar de secagem de 170 °C e vazão de alimentação de 0,5 L h⁻¹. Posteriormente, a formulação escolhida foi submetida a um planejamento experimental fatorial com duas variáveis de entrada: temperatura de entrada do ar de secagem (160, 170 e 180 °C) e vazão de alimentação (0,3; 0,5 e 0,7 L h⁻¹), com a finalidade de definir as melhores condições de secagem. Tanto para a seleção da formulação como das condições de secagem os parâmetros avaliados foram teor de água, atividade de água, cor, ácido ascórbico e rendimento. O pó produzido com a formulação predefinida nas melhores condições de secagem foi caracterizado quanto aos parâmetros químicos, físicos, físico-químicos e morfologia. Ainda foram determinadas as isotermas de adsorção de água nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, tempos de meia vida das reações de degradação de ácido ascórbico, nas temperaturas 20, 30 e 40 °C e teor de água relativa de 55%, e analisada a influência da temperatura de armazenamento por meio do modelo de Arrhenius. A partir dos testes preliminares selecionou-se a formulação elaborada com 25% de maltodextrina (DE-10) e, através do planejamento experimental fatorial definiu-se como sendo as melhores condições de secagem por aspersão a temperatura de entrada do ar de secagem de 180 °C e vazão de alimentação de 0,3 L h⁻¹. As amostras em pó, coletadas na câmara de secagem e ciclone, apresentaram teor de água de 1,37±0,04 e 0,49±0,01% b.u., respectivamente. O pó coletado na câmara de secagem foi mais solúvel e apresentou uma maior quantidade de espaços vazios do que o pó do ciclone. As partículas das duas amostras não apresentaram formato esférico, estas formaram agregados pegajosos. De forma geral o modelo de Peleg proporcionou os melhores ajustes aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água das amostras em pó, com R²>0,99 e P<9%. As isotermas de adsorção do pó coletado na câmara de secagem foram classificadas como Tipo III e, de forma geral as amostras em pó do ciclone foram classificadas como Tipo II. As maiores degradações do ácido ascórbico ocorreram nas maiores temperaturas de armazenamento, e as taxas de redução foram de 0,73 mg 100g⁻¹ dia⁻¹; 1,01 mg 100g⁻¹ dia⁻¹ e 1,24 mg 100g⁻¹ dia⁻¹, para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C, respectivamente. O tempo de meia vida diminuiu com o aumento da temperatura e a energia de ativação do pó coletado na câmara de secagem foi de 31,16 kJ.mol⁻¹.

Palavras chave: *Annona cherimola* Millx *Annona squamosa* L.. Atomização. Planejamento experimental. Isoterma. Degradação.



MELO, K. dos S..**Secagem por aspersão da polpa de atemoia**.2012. 230 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

ABSTRACT

The atemoia is a fruit that is increasingly attracting the attention of consumers due to their organoleptic characteristics, and the producer because of its high commercial value, but the fruit has a shelf-life short. The objective of this work was to study the drying of atemoia pulp in spray drying. For this, were performed preliminary tests with formulations prepared with 50% atemoia pulp and 50% water, added of different concentrations of maltodextrin (25, 30 and 35%) and dextroses equivalent (10, 14:20) under conditions of drying: inlet temperature - 170 °C and feed flow rate - 0.3 Lh⁻¹. Subsequently, the chosen formulation was subjected to a factorial experimental design with two input variables: air temperature drying (160, 170 and 180 °C) and flow rate (0.3, 0.5 and 0.7 L h⁻¹), as purpose if define best drying conditions. Both for the selection of the formulation of the conditions of drying parameters evaluated were moisture, water activity, color, vitamin C and yield. The powder formulation produced with pre-set the best drying conditions was characterized chemical, physical, physico-chemical properties and morphology. Were determined the moisture adsorption isotherms at 20, 30 and 40 °C, times of half-life of kinect of ascorbic acid degradation, at 20, 30 and 40 °C and relative humidity of 55% and analyzed the influence of temperature through the Arrhenius equation. From tests preliminary selected-if the formulation elaborated with 25% maltodextrin DE-10, and through design experimental factorial defined itself as being the best drying conditions by sprinkling the inlet temperature of 180 °C and feeding flow of 0.3 L h⁻¹. The powder samples (collected in the drying chamber and cyclone) had a moisture content of 1.37 ± 0.04 and 0.49 ± 0.01 %w.b., respectively. The powder collected in the drying chamber is more soluble and has a larger amount of voids than powder the cyclone. The particles of the two samples showed no spherical shape, these formed aggregates gooey. The Peleg model generally provided the best fit to the experimental data of moisture adsorption isotherms, with R²> 0.99 and P <9% and R²> 0.99 and P <5% for the dust collecting chamber drying and cyclone, respectively. The adsorption isotherms of the dust collected in the drying chamber were classified as Type III, and in general the cyclone powder samples were classified as Type II. The highest ascorbic acid degradations occurred with higher temperatures. The reduction rates were approximately 0.73 mg 100g⁻¹ dia⁻¹; 1.01 mg 100g⁻¹ dia⁻¹ and 1.24 mg 100g⁻¹ dia⁻¹, at 20, 30 and 40 °C, respectively. For the first-order reaction was obtained R²>0.93. The half-life decreased with increasing temperature and the activation energy of the powder collected in the drying chamber was 31.16 kJ.mol⁻¹.

Key words: *Annona cherimola* Millx *Annona squamosa* L.. Spray. Experimental design. Isotherm. Degradation.



MELO, K. dos S..**Secagem por aspersão da polpa de atemoia**.2012. 230 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

RESUMEN

La atemoia es una fruta que está atrayendo cada vez más la atención tanto de los consumidores, debido a sus características sensoriales, como del productor, a causa de su alto valor comercial. Sin embargo la fruta tiene una vida útil corta. El presente trabajo tuvo como objetivo estudiar el secado de la pulpa de la atemoia en los secadores de atomización. Para eso, se realizaron pruebas preliminares con formulaciones preparadas con 50% de pulpa de atemoia y 50% de agua, añadidas de diferentes concentraciones de maltodextrina (25, 30 y 35%) y dextrosas equivalente (10, 14 y 20) bajo condiciones de secado: temperatura de entrada del aire de secado - 170 °C y velocidad de flujo - 0,5 L h⁻¹. Posteriormente, la formulación escogida fue sometida a un diseño experimental factorial con dos variables de entrada: temperatura de entrada del aire de secado (160, 170 y 180 °C) y velocidad de flujo (0,3, 0,5 y 0,7 h L⁻¹), con el fin de definirse las mejores condiciones de secado. Los parámetros evaluados tanto para la selección de la formulación como de las condiciones de secado fueron: el tenor del agua, el color, el ácido ascórbico y el rendimiento. El polvo producido con la formulación predefinida en las mejores condiciones de secado se caracterizó según parámetros químicos, físicos, físico-químicos y lamorfología. Aún se determinaron las isotermas de adsorción de agua a temperaturas de 20, 30 y 40 °C, tiempos de media vida de las reacciones de degradación de ácido ascórbico, a temperaturas de 20, 30 y 40 °C y humedad relativa de 55% y analizaron la influencia de la temperatura a través del modelo de Arrhenius. A partir de ensayos preliminares, se seleccionó la formulación elaborada con 25% de maltodextrina DE-10 y a través de la planificación experimental factorial, se definieron como las mejores condiciones de secado por aspersión la temperatura de entrada de 180 °C y la alimentación de flujo de 0,3 L h⁻¹. Las muestras en polvo (recogido en la cámara de secado y ciclón) tenían un contenido de humedad de 1,37 ± 0,04 y 0,49 ± 0,01 % b.u., respectivamente. El polvo recogido en la cámara de secado es más soluble y tiene una mayor cantidad de huecos que el polvo del ciclón. Las partículas de las dos muestras no mostraron ninguna forma esférica, todos forman agregados. El modelo de Peleg, por lo general proporciona el mejor ajuste a los datos experimentales de las isotermas de adsorción de agua, con R² > 0,99 y P < 9% para la cámara de recogida de polvo secado y ciclón, respectivamente. Las isotermas de adsorción de el polvo recogido en la cámara de secado fueron clasificados como Tipo III, y en general las muestras de polvo del ciclón fueron clasificadas como Tipo II. Las mayores degradaciones de ácido ascórbico se produjeron con temperaturas más altas de almacenamiento y las tasas de reducción fueron de aproximadamente 0,7321 mg/ 100g día y 1,2368 mg/ 100gdía, para temperaturas de 20, 30 y 40 °C, respectivamente. El tiempo de media vida disminuyó al aumentar la temperatura y la energía de activación del polvo recogido en la cámara de secado fue de 31,16 kJ.mol⁻¹.

Palabras llave: *Annona cherimola* Millx *Annona squamosa* L.; atomización; planificación experimental; isoterma, degradación.

UNIC - BIBLIOTECA

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| LISTA DE FIGURAS..... | v |
| LISTA DE TABELAS..... | x |
| 1 - INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 – Objetivo geral | 2 |
| 1.1.1 - Objetivos específicos..... | 3 |
| 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 5 |
| 2.1 – Atemoia | 5 |
| 2.2 – Secagem..... | 8 |
| 2.2.1 – Secagem por aspersão (<i>spray drying</i>)..... | 10 |
| 2.2.1 – Maltodextrina | 17 |
| Classe..... | 18 |
| 2.3 – Propriedades físicas do líquido que influenciam na secagem por aspersão | 20 |
| 2.3.1 – Massa específica | 20 |
| 2.3.2 - Viscosidade | 21 |
| 2.4 - Atividade de água..... | 24 |
| 2.4.1 - Isotermas de adsorção de água | 27 |
| 2.5 – Cinética de degradação | 29 |
| 2.5.1 – Ácido ascórbico | 31 |
| 2.5.2 – Efeito da temperatura..... | 33 |
| 2.6 - Planejamento experimental | 34 |
| 3 – MATERIAL E MÉTODOS | 36 |
| 3.1 - Matérias-primas..... | 36 |
| 3.2 – Propriedades físicas do fruto | 36 |
| 3.2.1 – Massa | 36 |
| 3.2.2 – Diâmetros mutuamente perpendiculares | 36 |
| 3.2.3 – Área superficial..... | 37 |
| 3.2.4 – Volume superficial | 37 |
| 3.3 – Processamento do fruto | 38 |
| 3.4 – Caracterização da polpa de atemoia | 39 |
| 3.4.1 - Caracterização química e físico-química | 39 |
| 3.4.1.1 – pH | 39 |
| 3.4.1.2 – Sólidos solúveis totais (°Brix) | 40 |

| | |
|--|-----------|
| 3.4.1.3 – Teor de água/Sólidos totais..... | 40 |
| 3.4.1.4 – Acidez total titulável..... | 40 |
| 3.4.1.5 – Relação SST/ATT..... | 40 |
| 3.4.1.6 – Açúcares redutores | 40 |
| 3.4.1.7– Cinzas | 40 |
| 3.4.1.8 – Ácido ascórbico | 41 |
| 3.4.1.9 – Proteína..... | 41 |
| 3.4.2 – Caracterização física..... | 41 |
| 3.4.2.1 – Cor | 41 |
| 3.4.2.2 – Atividade de água | 41 |
| 3.4.2.3 – Massa específica | 41 |
| 3.4.2.4 – Comportamento reológico | 42 |
| 3.5 – Formulações | 44 |
| 3.5.1 - Elaboração das formulações..... | 44 |
| 3.5.2 – Caracterização das formulações | 44 |
| 3.5.2.1 – Massa específica das formulações..... | 45 |
| 3.5.3 – Análise estatística | 45 |
| 3.6 – Seleção da formulação..... | 45 |
| 3.6.1 – Análise estatística | 46 |
| 3.7 – Planejamento experimental..... | 46 |
| 3.8 – Caracterização do pó | 49 |
| 3.8.1 – Densidade absoluta..... | 49 |
| 3.8.2 – Densidade aparente..... | 49 |
| 3.8.3 – Porosidade | 50 |
| 3.8.4 – Solubilidade..... | 50 |
| 3.8.5 – Morfologia..... | 50 |
| 3.9 – Isotermas de adsorção de água..... | 51 |
| 3.10 - Cinética de degradação do teor de ácido ascórbico da amostra em pó | 53 |
| 3.10.1 – Efeito da temperatura..... | 54 |
| 3.10.2 – Análise estatística | 54 |
| 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO | 55 |
| 4.1 – Propriedades físicas da atemoia <i>in natura</i> | 55 |
| 4.2 – Caracterização da polpa de atemoia integral e da formulação selecionada..... | 56 |

| | |
|--|------------|
| 4.2.1 – Comportamento reológico da polpa de atemoia | 62 |
| 4.3 – Propriedades físico-químicas e físicas das formulações..... | 66 |
| 4.3.1 – Sólidos solúveis totais (°Brix) | 66 |
| 4.3.2 – Massa específica | 67 |
| 4.3.3 – Viscosidade aparente | 69 |
| 4.4 – Seleção da formulação..... | 85 |
| 4.4.1 – Rendimento..... | 86 |
| 4.4.2 – Teor de água | 88 |
| 4.4.3 - Atividade de água..... | 92 |
| 4.4.4 – Luminosidade | 95 |
| 4.4.5 - Intensidade de vermelho (+a)..... | 98 |
| 4.4.6 - Intensidade de amarelo (+b)..... | 100 |
| 4.4.7 – Ácido ascórbico | 103 |
| 4.4.8 - Formulação selecionada..... | 106 |
| 4.5 – Planejamento experimental fatorial (seleção da condição de secagem)..... | 106 |
| 4.5.1 – Rendimento..... | 107 |
| 4.5.2 – Teor de água | 110 |
| 4.5.3 - Atividade de água..... | 114 |
| 4.5.4 – Luminosidade | 118 |
| 4.5.5 - Intensidade de vermelho (+a)..... | 123 |
| 4.5.6 - Intensidade de amarelo..... | 127 |
| 4.5.7 – Ácido ascórbico | 132 |
| 4.5.8 – Condições de secagem selecionada | 138 |
| 4.6 – Caracterização das amostras em pó | 138 |
| 4.6.1 - Caracterização química, física e físico-química..... | 138 |
| 4.6.2 – Morfologia..... | 143 |
| 4.7 – Isotermas de adsorção de água | 145 |
| 4.8 – Cinética de degradação | 151 |
| 5 - CONCLUSÕES | 155 |
| 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 158 |
| APÊNDICE A | 180 |
| APÊNDICE B | 188 |
| APÊNDICE C | 201 |

| | |
|-------------------------|------------|
| APÊNDICE D | 209 |
| APÊNDICE E | 218 |
| APÊNDICE F | 224 |
| APÊNDICE G | 228 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Atemoia (Fonte: Autor)..... | 6 |
| Figura 2 – Atemoeira (Fonte: Autor) | 7 |
| Figura 3 – Disco rotativo (A) e bico pulverizador (B) (Fonte: BERNA, 2009)..... | 11 |
| Figura 4 – Etapas do processo de secagem por atomização (Fonte: BRAS SPRAY, 2005)..... | 11 |
| Figura 5 - Esquema do secador por aspersão e do fluxo do ar de secagem (Fonte: LANNES & MEDEIROS, 2003)..... | 12 |
| Figura 6 – Secador por aspersão (<i>spray dryer</i>) modelo LM MSD 1.0. marca Labmaq (Fonte: LABMAQ (2010) adaptado pelo autor)..... | 13 |
| Figura 7 – Diagrama esquemático dos fatores que afetam o resultado da secagem por atomização (Fonte: LABMAQ, 2003)..... | 14 |
| Figura 8 – Velocidade das principais alterações de alimentos em função da atividade de água (Fonte: ATIVIDADE DA ÁGUA, 2009)..... | 26 |
| Figura 9 – Tipos de isotermas de sorção (Fonte: BRUNAUER et al., 1938)..... | 27 |
| Figura 10 – Determinação de a (A) e b (B)..... | 37 |
| Figura 11 – Atemoia inteira (A) e partida ao meio (B)..... | 38 |
| Figura 12 - Fluxograma das operações realizadas para obtenção da polpa de atemoia | 39 |
| Figura 13 – Amostra em pó coletada na câmara de secagem (A) e no ciclone (B)..... | 49 |
| Figura 14 – Viscosidade aparente (Pa.s) da polpa integral de atemoia em função da taxa de deformação a 25 °C | 63 |
| Figura 15 – Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa integral de atemoia com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk | 65 |
| Figura 16 – Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação para as formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes DE-10 (A), DE-14 (B) e DE-20 (C) | 74 |
| Figura 17 – Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação para as formulações elaboradas com diferentes dextroses equivalentes e concentrações de maltodextrina 25% (A), 30% (B) e 35% (C)..... | 76 |
| Figura 18 – Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação das formulações elaboradas com polpa integral de atemoia e diferentes concentrações de maltodextrina (DE-10) com ajustes pelo modelo de Mizrahi-Berk..... | 79 |



| | |
|--|-----|
| Figura 19 – Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação das formulações elaboradas com a polpa integral de atemoia e diferentes concentrações de maltodextrina (DE-14) com ajustes pelo modelo de Mizrahi-Berk..... | 82 |
| Figura 20 – Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação das formulações elaboradas com a polpa integral de atemoia e diferentes concentrações de maltodextrina (DE-20) com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk..... | 85 |
| Figura 21 – Diagrama de Pareto do rendimento (%) do pó coletado na câmara de secagem..... | 108 |
| Figura 22 – Diagrama de Pareto do teor de água (% b.u.) do pó coletado na câmara de secagem..... | 111 |
| Figura 23 – Diagrama de Pareto do teor de água (%) do pó do ciclone..... | 113 |
| Figura 24 – Diagrama de Pareto da atividade de água do pó coletado na câmara de secagem..... | 115 |
| Figura 25 – Diagrama de Pareto da atividade de água do pó do ciclone..... | 117 |
| Figura 26 – Diagrama de Pareto da luminosidade do pó coletado na câmara de secagem..... | 119 |
| Figura 27 – Diagrama de Pareto da luminosidade do pó do ciclone..... | 121 |
| Figura 28 – Superfície de resposta (A) e curva de contorno (B) para a resposta luminosidade do pó do ciclone em função temperatura de entrada e vazão da bomba..... | 123 |
| Figura 29 – Diagrama de Pareto da intensidade de vermelho (+a) do pó coletado na câmara de secagem..... | 124 |
| Figura 30 – Diagrama de Pareto da intensidade de vermelho (+a) do pó do ciclone..... | 126 |
| Figura 31 – Diagrama de Pareto da intensidade de amarelo (+b) do pó coletado na câmara de secagem..... | 128 |
| Figura 32 – Diagrama de Pareto da intensidade de amarelo (+b) do pó do ciclone..... | 131 |
| Figura 33 – Diagrama de Pareto do ácido ascórbico (mg/100 g) do pó coletado na câmara de secagem..... | 134 |
| Figura 34 – Diagrama de Pareto do ácido ascórbico (mg 100g ⁻¹) do pó do ciclone..... | 136 |

| | |
|---|-----|
| Figura 35 – Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) para a resposta ácido ascórbico do pó do ciclone em função temperatura de entrada e vazão da bomba | 137 |
| Figura 36 - Imagens das partículas resultantes da secagem da Formulação 1 coletadas na câmara de secagem e no ciclone | 144 |
| Figura 37 - Isotermas de adsorção de água das amostras em pó produzidas a partir da Formulação 1 coletadas na câmara de secagem, com ajustes pelo modelo de Peleg..... | 147 |
| Figura 38 - Isotermas de adsorção de água das amostras em pó produzidas a partir da Formulação 1 coletadas no ciclone, com ajustes pelo modelo de Peleg | 150 |
| Figura 39 – Cinética de degradação do ácido ascórbico para as amostras em pó da Formulação 1 coletada na câmara de secagem | 151 |
| Figura 40 – Modelo cinético de primeira ordem da variação do teor de ácido ascórbico em amostras em pó da Formulação 1 coletadas na câmara de secagem..... | 153 |
| Figura A.1 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa integral de atemoia com ajuste pelo modelo de Casson | 186 |
| Figura A.2 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa integral de atemoia com ajuste pelo modelo da Lei da Potência..... | 186 |
| Figura A.3 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa integral de atemoia com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley..... | 187 |
| Figura B.1 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa integral de atemoia nas diferentes concentrações de maltodextrina (DE-10) com ajuste pelo modelo de Casson | 196 |
| Figura B.2 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa integral de atemoia nas diferentes concentrações de maltodextrina (DE-10) com ajuste pelo modelo da Lei da Potência..... | 196 |
| Figura B.3 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa integral de atemoia nas diferentes concentrações de maltodextrina (DE-10) com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley | 197 |
| Figura B.4 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa integral de atemoia nas diferentes concentrações de maltodextrina (DE-14) com ajuste pelo modelo de Casson..... | 197 |

| | |
|---|-----|
| Figura B.5 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa integral de atemoia nas diferentes concentrações de maltodextrina (DE-14) com ajuste pelo modelo da Lei da Potência..... | 198 |
| Figura B.6 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa integral de atemoia nas diferentes concentrações de maltodextrina (DE-14) com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley | 198 |
| Figura B.7 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa integral de atemoia nas diferentes concentrações de maltodextrina (DE-20) com ajuste pelo modelo de Casson..... | 199 |
| Figura B.8 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa integral de atemoia nas diferentes concentrações de maltodextrina (DE-20) com ajuste pelo modelo da Lei da Potência..... | 199 |
| Figura B.9 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa integral de atemoia nas diferentes concentrações de maltodextrina (DE-20) com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley | 200 |
| Figura D.1 – Valores observados versus valores preditos para o rendimento (%) do pó da câmara de secagem | 211 |
| Figura D.2 – Valores observados versus valores preditos para o rendimento (%) do pó do ciclone..... | 211 |
| Figura D.3 – Valores observados versus valores preditos para o teor de água (% b.u.) do pó da câmara de secagem | 212 |
| Figura D.4 – Valores observados versus valores preditos para o teor de água (% b.u.) do pó do ciclone..... | 212 |
| Figura D.5 – Valores observados versus valores preditos para a atividade de água do pó da câmara de secagem | 213 |
| Figura D.6 – Valores observados versus valores preditos para a atividade de água do pó do ciclone..... | 213 |
| Figura D.7 – Valores observados versus valores preditos para a luminosidade do pó da câmara de secagem | 214 |
| Figura D.8 – Valores observados versus valores preditos para a luminosidade do pó do ciclone..... | 214 |
| Figura D.9 – Valores observados versus valores preditos para a intensidade de vermelho (+a) do pó da câmara de secagem..... | 215 |

| | |
|---|-----|
| Figura D.10 – Valores observados versus valores preditos para a intensidade de vermelho (+a) do pó do ciclone | 215 |
| Figura D.11 – Valores observados versus valores preditos para a intensidade de amarelo (+b) do pó da câmara de secagem..... | 216 |
| Figura D.12 – Valores observados versus valores preditos para a intensidade de amarelo (+b) do pó do ciclone | 216 |
| Figura D.13 – Valores observados versus valores preditos para o ácido ascórbico ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$) do pó da câmara de secagem..... | 217 |
| Figura D.14 – Valores observados versus valores preditos para o ácido ascórbico ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$) do pó do ciclone | 217 |
| Figura F.1 - Isotermas de adsorção de água das amostras em pó produzidas a partir da Formulação 1 coletadas na câmara de secagem, com ajustes pelo modelo de GAB | 226 |
| Figura F.2 - Isotermas de adsorção de água das amostras em pó produzidas a partir da Formulação 1 coletadas na câmara de secagem, com ajustes pelo modelo de Oswin | 226 |
| Figura F.3 - Isotermas de adsorção de água das amostras em pó produzidas a partir da Formulação 1 coletadas no ciclone, com ajustes pelo modelo de GAB..... | 227 |
| Figura F.4 - Isotermas de adsorção de água das amostras em pó produzidas a partir da Formulação 1 coletadas no ciclone, com ajustes pelo modelo de Oswin..... | 227 |
| Figura G.1 - Representação gráfica de Arrhenius da constante cinética de primeira ordem para a degradação do ácido ascórbico do pó coletado na câmara de secagem..... | 230 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Propriedades físicas da atemoia cv. "Gefner" | 6 |
| Tabela 2 - Composição química e físico-química da atemoia cv."Gefner" | 7 |
| Tabela 3 – Influência das variáveis do processo de secagem por aspersão..... | 15 |
| Tabela 4 – Principais aditivos usados como facilitadores da secagem por aspersão ou como agentes encapsulantes de ingredientes alimentares | 18 |
| Tabela 5 – Características dos amidos e seus hidrolisados, de acordo com sua DE | 19 |
| Tabela 6 – Valores reais e os níveis dos fatores do planejamento experimental completo (2^2)..... | 47 |
| Tabela 7 – Matriz do planejamento dos experimentos em sua forma real e codificada..... | 47 |
| Tabela 8 – Metodologia aplicada na apresentação estatística dos dados | 48 |
| Tabela 9 – Modelos cinéticos | 53 |
| Tabela 10 – Propriedades físicas da atemoia cv."Gefner" <i>in natura</i> | 55 |
| Tabela 11 - Caracterização química, física e físico-química da polpa integral da atemoia e da Formulação 1..... | 57 |
| Tabela 12 - Caracterização química e física da polpa integral da atemoia antes e após o congelamento da polpa..... | 62 |
| Tabela 13 - Parâmetros dos modelos reológicos, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) da polpa integral de atemoia | 64 |
| Tabela 14 – Valores médios dos sólidos solúveis totais ($^{\circ}$ Brix) das formulações nas diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalente | 66 |
| Tabela 15 – Valores médios da massa específica (kg m^{-3}) das formulações nas diferentes concentrações de maltodextrina e dextrose equivalente..... | 68 |
| Tabela 16 – Valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina (DE-10) em função das velocidades de rotação | 69 |
| Tabela 17 – Valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina (DE-14) em função das velocidades de rotação | 70 |
| Tabela 18 – Valores médios das viscosidades aparentes (Pa.s) das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina (DE-20) em função das velocidades de rotação | 72 |



| | |
|--|----|
| Tabela 19 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos reológicos das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina (DE-10) | 78 |
| Tabela 20 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos reológicos das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina (DE-14) | 80 |
| Tabela 21 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos reológicos das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina (DE-20) | 83 |
| Tabela 22 – Valores médios do rendimento (%) do pó coletado na câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes..... | 86 |
| Tabela 23 – Valores médios do rendimento (%) do pó coletado no ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes..... | 88 |
| Tabela 24 – Valores médios do teor de água (% b.u.) do pó coletado na câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes..... | 89 |
| Tabela 25 – Valores médios do teor de água (% b.u.) do pó coletado no ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente | 91 |
| Tabela 26 – Valores médios da atividade de água (a_w) do pó coletado na câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes..... | 92 |
| Tabela 27 – Valores médios da atividade de água (a_w) do pó coletado no ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente | 94 |
| Tabela 28 – Valores médios da luminosidade (L^*) do pó coletado na câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente | 95 |
| Tabela 29 – Valores médios da luminosidade (L^*) do pó do ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente..... | 97 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 30 – Valores médios da intensidade de vermelho (+a) do pó coletado na câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes | 98 |
| Tabela 31 – Valores médios da intensidade de vermelho (+a) do pó do ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente | 100 |
| Tabela 32 – Valores médios da intensidade de amarelo (+b) do pó da câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente | 101 |
| Tabela 33 – Valores médios da intensidade de amarelo (+b) do pó do ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente | 102 |
| Tabela 34 – Valores médios do ácido ascórbico ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) do pó da câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente | 104 |
| Tabela 35 – Valores médios do ácido ascórbico ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) do pó do ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente | 105 |
| Tabela 36 -Efeito estimado, erro, coeficiente t e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real do rendimento (%) do pó coletado na câmara de secagem | 108 |
| Tabela 37 -Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para o rendimento (%) do pó coletado na câmara de secagem | 108 |
| Tabela 38 -Efeito estimado, erro, coeficiente t e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real do rendimento (%) do pó do ciclone | 109 |
| Tabela 39 -Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para o rendimento (%) do pó do ciclone | 110 |
| Tabela 40 -Efeito estimado, erro, coeficiente t e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real do teor de água (% b.u.) do pó coletado na câmara de secagem..... | 111 |
| Tabela 41 -Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para o teor de água (% b.u.) do pó coletado na câmara de secagem | 112 |



| | |
|---|-----|
| Tabela 42 -Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real do teor de água (% b.u.) do pó do ciclone..... | 113 |
| Tabela 43 -Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para o teor de água (% b.u.) do pó do ciclone | 114 |
| Tabela 44 -Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real da atividade de água do pó coletado na câmara de secagem | 115 |
| Tabela 45 -Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a atividade de água do pó coletado na câmara de secagem | 116 |
| Tabela 46 -Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real da atividade de água do pó do ciclone..... | 117 |
| Tabela 47 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a atividade de água do pó do ciclone..... | 118 |
| Tabela 48 -Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real da luminosidade do pó coletado na câmara de secagem | 119 |
| Tabela 49 -Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a luminosidade do pó coletado na câmara de secagem | 120 |
| Tabela 50 -Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real da luminosidade do pó do ciclone | 121 |
| Tabela 51 -Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a luminosidade do pó do ciclone | 122 |
| Tabela 52 -Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real da intensidade de vermelho (+a) do pó coletado na câmara de secagem | 124 |
| Tabela 53 -Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a intensidade de vermelho (+a) do pó coletado na câmara de secagem..... | 125 |
| Tabela 54 -Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real da intensidade de vermelho (+a) do pó do ciclone | 126 |
| Tabela 55 -Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a intensidade de vermelho (+a) do pó do ciclone..... | 127 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 56 -Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real da intensidade de amarelo (+b) do pó coletado na câmara de secagem | 128 |
| Tabela 57 -Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a intensidade de amarelo (+b) do pó coletado na câmara de secagem..... | 129 |
| Tabela 58 -Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real da intensidade de amarelo (+b) do pó do ciclone | 130 |
| Tabela 59 -Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a intensidade de amarelo (+b) do pó do ciclone..... | 132 |
| Tabela 60 -Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real do ácido ascórbico (mg/100 g) do pó coletado na câmara de secagem | 133 |
| Tabela 61 -Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para do ácido ascórbico (mg 100g ⁻¹) do pó coletado na câmara de secagem..... | 135 |
| Tabela 62 -Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real do ácido ascórbico (mg 100g ⁻¹) do pó do ciclone | 135 |
| Tabela 63 -Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para o ácido ascórbico (mg/100 g) do pó do ciclone | 137 |
| Tabela 64 - Caracterização química e física do pó da Formulação 1 coletado na câmara de secagem e no ciclone | 139 |
| Tabela 65 – Parâmetros, coeficientes de determinação (R ²) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água, a 20, 30 e 40 °C, das amostras em pó produzidas a partir da Formulação 1 coletadas na câmara de secagem | 146 |
| Tabela 66 – Parâmetros, coeficientes de determinação (R ²) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água, a 20, 30 e 40 °C, das amostras em pó produzidas a partir da Formulação 1 coletadas no ciclone | 149 |
| Tabela 67 – Parâmetros cinéticos da degradação do ácido ascórbico em três diferentes temperaturas para o pó coletado na câmara de secagem | 152 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 68 - Parâmetros de Arrhenius e coeficiente de reação (Q_{10}) para degradação de ácido ascórbico para o pó coletado na câmara de secagem..... | 153 |
| Tabela A.1 -Análise de variância dos valores médios do teor de água | 181 |
| Tabela A.2 -Análise de variância dos valores médios dos sólidos totais | 181 |
| Tabela A.3 -Análise de variância dos valores médios dos sólidos solúveis totais | 181 |
| Tabela A.4 -Análise de variância dos valores médios da acidez total titulável..... | 181 |
| Tabela A.5 -Análise de variância dos valores médios do SST/ATT | 182 |
| Tabela A.6 -Análise de variância dos valores médios do ácido ascórbico | 182 |
| Tabela A.7 -Análise de variância dos valores médios das cinzas..... | 182 |
| Tabela A.8 -Análise de variância dos valores médios dos açúcares redutores..... | 182 |
| Tabela A.9 -Análise de variância dos valores médios das proteínas..... | 183 |
| Tabela A.10 -Análise de variância dos valores médios da massa específica | 183 |
| Tabela A.11 -Análise de variância dos valores médios da atividade de água | 183 |
| Tabela A.12 -Análise de variância dos valores médios da luminosidade..... | 183 |
| Tabela A.13 -Análise de variância dos valores médios da intensidade de vermelho | 184 |
| Tabela A.14 -Análise de variância dos valores médios da intensidade de amarelo | 184 |
| Tabela A.15 -Análise de variância dos valores médios do ácido ascórbico..... | 184 |
| Tabela A.16 -Análise de variância dos valores médios da luminosidade..... | 184 |
| Tabela A.17 -Análise de variância dos valores médios da intensidade de vermelho | 185 |
| Tabela A.18 -Análise de variância dos valores médios da intensidade de amarelo | 185 |
| Tabela A.19 - Valores médios da viscosidade aparente (Pa.s), tensão de cisalhamento (Pa) e taxa de deformação (s^{-1}) para a polpa integral de atemoia na temperatura de 25 °C, em diferentes velocidades de rotação (rpm)..... | 185 |
| Tabela B.1 -Análise de variância dos valores médios dos sólidos solúveis totais das formulações nas diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes..... | 189 |
| Tabela B.2 -Análise de variância dos valores médios da massa específica das formulações nas diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes..... | 189 |
| Tabela B.3 -Análise de variância dos valores médios das viscosidades aparentes das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina (DE-10) em função das velocidades de rotação | 190 |

| | |
|--|-----|
| Tabela B.4 -Análise de variância dos valores médios das viscosidades aparentes das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina (DE-14) em função das velocidades de rotação | 190 |
| Tabela B.5 -Análise de variância dos valores médios das viscosidades aparentes das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina (DE - 20) em função das velocidades de rotação | 191 |
| Tabela B.6 - Valores médios da viscosidade aparente (Pa.s), tensão de cisalhamento (Pa) e taxa de deformação (s^{-1}) para a Formulação 01 na temperatura de 25 °C, em diferentes velocidades de rotação (rpm) | 191 |
| Tabela B.7 - Valores médios da viscosidade aparente (Pa.s), tensão de cisalhamento (Pa) e taxa de deformação (s^{-1}) para a Formulação 02 na temperatura de 25 °C, em diferentes velocidades de rotação (rpm) | 192 |
| Tabela B.8 - Valores médios da viscosidade aparente (Pa.s), tensão de cisalhamento (Pa) e taxa de deformação (s^{-1}) para a Formulação 03 na temperatura de 25 °C, em diferentes velocidades de rotação (rpm) | 192 |
| Tabela B.9 - Valores médios da viscosidade aparente (Pa.s), tensão de cisalhamento (Pa) e taxa de deformação (s^{-1}) para a Formulação 04 na temperatura de 25 °C, em diferentes velocidades de rotação (rpm) | 193 |
| Tabela B.10 - Valores médios da viscosidade aparente (Pa.s), tensão de cisalhamento (Pa) e taxa de deformação (s^{-1}) para a Formulação 05 na temperatura de 25 °C, em diferentes velocidades de rotação (rpm) | 193 |
| Tabela B.11 - Valores médios da viscosidade aparente (Pa.s), tensão de cisalhamento (Pa) e taxa de deformação (s^{-1}) para a Formulação 06 na temperatura de 25 °C, em diferentes velocidades de rotação (rpm) | 194 |
| Tabela B.12 - Valores médios da viscosidade aparente (Pa.s), tensão de cisalhamento (Pa) e taxa de deformação (s^{-1}) para a Formulação 07 na temperatura de 25 °C, em diferentes velocidades de rotação (rpm) | 194 |
| Tabela B.13 - Valores médios da viscosidade aparente (Pa.s), tensão de cisalhamento (Pa) e taxa de deformação (s^{-1}) para a Formulação 08 na temperatura de 25 °C, em diferentes velocidades de rotação (rpm) | 195 |
| Tabela B.14 - Valores médios da viscosidade aparente (Pa.s), tensão de cisalhamento (Pa) e taxa de deformação (s^{-1}) para a Formulação 09 na temperatura de 25 °C, em diferentes velocidades de rotação (rpm) | 195 |

| | |
|---|-----|
| Tabela C.1 -Análise de variância dos valores médios do rendimento do pó da câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente | 202 |
| Tabela C.2 -Análise de variância dos valores médios do rendimento do pó do ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente | 202 |
| Tabela C.3 -Análise de variância dos valores médios do teor de água do pó da câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente | 203 |
| Tabela C.4 -Análise de variância dos valores médios do teor de água do pó do ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente | 203 |
| Tabela C.5 -Análise de variância dos valores médios da atividade de água do pó da câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente..... | 204 |
| Tabela C.6 -Análise de variância dos valores médios da atividade de água do pó do ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente | 204 |
| Tabela C.7 -Análise de variância dos valores médios da luminosidade (L*) do pó da câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente..... | 205 |
| Tabela C.8 -Análise de variância dos valores médios da luminosidade (L*) do pó do ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente | 205 |
| Tabela C.9 -Análise de variância dos valores médios da intensidade de vermelho (+a) do pó da câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente..... | 206 |
| Tabela C.10 -Análise de variância dos valores médios da intensidade de vermelho (+a) do pó do ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente..... | 206 |
| Tabela C.11 -Análise de variância dos valores médios da intensidade de amarelo (+b) do pó da câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente..... | 207 |

| | |
|---|-----|
| Tabela C.12 -Análise de variância dos valores médios da intensidade de amarelo (+b) do pó do ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente..... | 207 |
| Tabela C.13 -Análise de variância dos valores médios do ácido ascórbico ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$) do pó da câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente..... | 208 |
| Tabela C.14 -Análise de variância dos valores médios do ácido ascórbico ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$) do pó do ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente..... | 208 |
| Tabela D.1 -Valores das respostas do pó da câmara de secagem e temperatura de saída do produto | 210 |
| Tabela D.2 -Valores das respostas do pó do ciclone e temperatura de saída do produto. | 210 |
| Tabela E.1 -Análise de variância dos valores médios do teor de água das amostras em pó..... | 219 |
| Tabela E.2 -Análise de variância dos valores médios dos sólidos totais das amostras em pó | 219 |
| Tabela E.3 -Análise de variância dos valores médios dos sólidos solúveis totais das amostras em pó..... | 219 |
| Tabela E.4 -Análise de variância dos valores médios da acidez total titulável das amostras em pó..... | 219 |
| Tabela E.5 -Análise de variância dos valores médios do SST/ATT das amostras em pó | 220 |
| Tabela E.6 -Análise de variância dos valores médios do ácido ascórbico das amostras em pó | 220 |
| Tabela E.7 -Análise de variância dos valores médios das cinzas das amostras em pó | 220 |
| Tabela E.8 -Análise de variância dos valores médios dos açúcares redutores das amostras em pó..... | 220 |
| Tabela E.9 -Análise de variância dos valores médios das proteínas das amostras em pó..... | 221 |
| Tabela E.10 -Análise de variância dos valores médios da atividade de água das amostras em pó..... | 221 |
| Tabela E.11 -Análise de variância dos valores médios da luminosidade das amostras em pó..... | 221 |

| | |
|---|-----|
| Tabela E.12 -Análise de variância dos valores médios da intensidade de vermelho das amostras em pó..... | 221 |
| Tabela E.13 -Análise de variância dos valores médios da intensidade de amarelo das amostras em pó..... | 222 |
| Tabela E.14 -Análise de variância dos valores médios da densidade absoluta das amostras em pó..... | 222 |
| Tabela E.15 -Análise de variância dos valores médios da densidade aparente das amostras em pó..... | 222 |
| Tabela E.16 -Análise de variância dos valores médios da porosidade das amostras em pó..... | 222 |
| Tabela E.17 -Análise de variância dos valores médios da solubilidade das amostras em pó..... | 223 |
| Tabela F.1 – Valores médios da teor de água de equilíbrio em função da atividade de água das amostras em pó produzidas a partir da Formulação 1 coletada na câmara, para as temperaturas estudadas..... | 225 |
| Tabela F.2 – Valores médios da teor de água de equilíbrio em função da atividade de água das amostras em pó produzidas a partir da Formulação 1 coletada no ciclone, para as temperaturas estudadas..... | 225 |
| Tabela G.1 – Valores médios do ácido ascórbico ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$) para as amostras em pó da Formulação 1 coletada na câmara de secagem..... | 229 |

1 - INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas, haja vista que sua produção supera os 41 milhões de toneladas, perdendo apenas para a China e a Índia. Absorvendo a maior parte da safra o grande consumo interno faz com que o País ocupe a 15ª posição no ranking dos maiores exportadores. Do total produzido, 47% são consumidos *in natura* e 53% são processados (ANUÁRIO, 2008).

O agronegócio brasileiro representa aproximadamente 21% do Produto Interno Bruto (PIB), sendo responsável por 37% dos empregos e 41% das exportações do país. Dentro desse setor a fruticultura é um dos segmentos de maior destaque, respondendo por 25% do valor da produção agrícola interna e atendendo tanto ao mercado nacional quanto internacional, com elevado investimento do capital e altos níveis tecnológicos, garantindo a competitividade à cadeia frutícola (LACERDA et al., 2004).

Dentre as frutas cultivadas no Brasil a atemoia, da família *Annonaceae*, é muito saborosa e com boa potencialidade econômica (MELO et al., 2002a). Estima-se que sejam cultivados 10.000 ha de anonáceas no Brasil (CARMO, 2000), dos quais 1.000 ha correspondem à atemoia, distribuídos em aproximadamente 500 ha na região Nordeste do país e 500 ha no Sudeste brasileiro, concentrando na região Nordeste 50% da produção de atemoia (MARCELLINI et al., 2003). A cultura de atemoia, um híbrido entre *Annona squamosa* L. (fruta-do-conde ou ata) e *Annona cherimola* Mill. (cherimóia), proporciona boa remuneração ao produtor, pois o preço de 1 kg de fruto custa R\$ 3,00, alcançando valores de R\$ 7,95 nas entressafas, valores estes obtidos na cidade de Petrolina, no ano de 2011.

A perda pós-colheita de frutas no Brasil é estimada em aproximadamente 40% devido ao manejo inadequado (ÁLVARES, 2009); com isto, faz-se necessária a utilização de métodos de conservação com a finalidade de aumentar a vida de prateleira e contribuir para a redução desses índices.

A desidratação de frutas é um dos processos de conservação mais antigos para sua preservação. No passado, era realizada exclusivamente por processos naturais mas atualmente diversos processos artificiais são empregados nesta tarefa e independem das condições atmosféricas (FIOREZE, 2004). A secagem ou desidratação é muito utilizada na preservação de alimentos, pois diminui a disponibilidade da água para reações de deterioração dos produtos, aumenta sua estabilidade, e reduz seu volume, facilitando o transporte e armazenamento (SHIGEMATSU et al., 2005). Além disso, há contribuição da

Introdução

secagem no setor agroindustrial quanto à minimização de perdas pós-colheita, assim como a função de agregar valor ao produto final deve ser ressaltada (PARK et al., 2006).

Uma das formas de apresentação de produtos secos é em pó, sendo um dos processos mais utilizados na obtenção de produtos a secagem por aspersão (*spray drying*). Esta é a transformação de um produto no estado fluido para o estado sólido em forma de pó (KAJIYAMA & PARK, 2008). A secagem por aspersão é uma alternativa bastante viável para a conservação de frutas, visto que gera um produto na forma de pó, com maior valor agregado e de fácil manipulação, o qual, devido à redução da quantidade de água para próximo de 2%, torna-se bastante estável, podendo ser estocado na temperatura ambiente por um período prolongado (CAVALCANTI et al., 2006).

O material em pó obtido deve apresentar o máximo das características iniciais do produto e protegê-lo das condições adversas do meio externo. Para este fim são incorporados ao produto a ser seco aditivos, algumas vezes denominados de materiais de parede, microencapsulantes ou agentes carreadores (CAVALCANTI et al., 2005; TONON et al., 2009). Um dos materiais mais utilizados como aditivo na secagem por aspersão é a maltodextrina, devido sobretudo ao seu baixo custo e por apresentar baixa higroscopicidade, evitando a aglomeração das partículas. Este material exerce, também, efeito antioxidante e promove uma ótima retenção de substâncias voláteis, da ordem de 65 a 80% (KENYON & ANDERSON, 1988).

OLIVEIRA et al. (2007) ressaltam considerando as tendências atuais por alimentos nutritivos e de rápido preparo, que a desidratação de sucos para utilização em bebidas instantâneas desponta como interessante alternativa em substituição aos similares artificiais existentes no mercado. Além disso esses produtos têm quando bem embalados, uma vida útil superior a 12 meses de estocagem à temperatura ambiente, representando uma economia nos custos de transporte e armazenamento.

Verificou-se, dentre os estudos de secagem por aspersão, a inexistência da secagem da polpa de atemoia e a escassez de trabalhos que estudam a influência das variáveis do processo, tais como condições de operação do secador e do produto.

1.1 – Objetivo geral

Este trabalho foi realizado com o objetivo principal de se estudar a secagem por aspersão da polpa de atemoia (*Annona squamosa* L. x *Annona cherimola* Mill.).

1.1.1 - Objetivos específicos

- Determinar no fruto *in natura* as propriedades físicas: massa, diâmetro, comprimento, área superficial e volume superficial;
- Caracterizar a polpa de atemoia integral quanto aos parâmetros físicos, químicos e físico-químicos;
- Elaborar formulações com 50% de polpa de atemoia e 50% de água destilada, adicionadas de diferentes concentrações de maltodextrina (25, 30 e 35%) com diferentes dextroses equivalentes (10, 14 e 20);
- Determinar nas formulações elaboradas os seguintes fatores que influenciam nos resultados no processo de secagem por aspersão: teor de sólidos solúveis totais, massa específica e viscosidade aparente;
- Selecionar a melhor formulação (concentração de maltodextrina e dextrose equivalente), a partir de testes preliminares de secagem por aspersão com uma temperatura do ar de secagem de 170°C e vazão da bomba de 0,5 L h⁻¹, através da análise dos seguintes parâmetros: rendimento, teor de água, atividade de água, cor (L*, a* e b*) e ácido ascórbico;
- Caracterizar química, física e físico-quimicamente a formulação selecionada;
- Desidratar a formulação selecionada utilizando planejamento experimental com duas variáveis de entrada: temperatura de entrada do ar de secagem (160, 170 e 180 °C) e vazão de alimentação (0,3; 0,5 e 0,7 Lh⁻¹) analisando-se as variáveis de respostas: rendimento, teor de água, atividade de água, cor (L*, a* e b*) e ácido ascórbico;
- Identificar a amostra em pó com as melhores características avaliadas das variáveis resposta e condições de secagem por aspersão, a partir dos resultados dos modelos gerados e das superfícies de respostas obtidas através do planejamento experimental;
- Caracterizar a amostra em pó selecionada através de análises químicas, físicas, físico-químicas e morfológicas;
- Determinar as isotermas de adsorção de água para a amostra em pó selecionada, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C;
- Avaliar as cinéticas de degradação do ácido ascórbico da amostra em pó selecionada, para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C e teor de água relativa de 55%;

Introdução

- Avaliar através do modelo de Arrhenius o efeito da temperatura nas reações de degradação do ácido ascórbico, para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C e teor de água relativa de 55%;
- Determinar o tempo de meia vida e o fator Q_{10} .

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – Atemoia

Segundo PEÑA (2003), a família *Annonaceae* é bastante diversificada e inclui cerca de 2.300 espécies; a maioria pertencente ao gênero *Annona*, e é nativa das regiões tropicais e subtropicais.

No Brasil apenas as espécies do gênero *Annona* são cultivadas comercialmente, sendo as mais importantes: a graviola, destinada, sobretudo para a indústria de sucos e polpas, e a fruta do conde (pinha), cherimóia, atemoia e fruta-da-condessa, utilizadas principalmente para consumo *in natura* (MOSCA et al., 2003). O estado de São Paulo é considerado o maior produtor nacional de atemoia, com o equivalente a 43,8% da produção total (SILVA, 2006).

A atemoia (Figura 1), oriunda das Antilhas e pertencente à família Annonacea, é um híbrido da cherimóia (*Annona cherimola* Mill.) com a fruta do conde (*Annona squamosa* L.), obtida no início do século pelo cruzamento dessas espécies (MEDEIROS et al., 2009). Alguns autores afirmam que o primeiro cruzamento entre a cherimóia e a pinha, foi realizado nos Estados Unidos para que frutos com as qualidades da cherimóia fossem obtidos em regiões de clima mais quente, onde a pinha apresenta boa adaptação, mas não as mesmas qualidades da cherimóia (PINTO et al., 2005). Esta fruta apresenta, sobre a fruta-do-conde e a fruta-da-condessa, a vantagem de ser mais saborosa, conter menor número de sementes e apresentar vida pós-colheita mais prolongada. A planta apresenta maior produtividade e se adapta melhor a climas com características bem diferentes que as demais espécies produtoras de frutos destinados ao consumo *in natura* (MOSCA & LIMA, 2010).

A introdução da atemoia (*Annona cherimola* Millx *Annona squamosa* L.) na região Nordeste é recente, havendo uma predominância da cultivar Gefner, de origem israelense, inicialmente cultivada nos projetos de irrigação do Vale do São Francisco. O interesse pela exploração em todo território nacional tem aumentado em razão do retorno lucrativo comercial que a cultura oferece (SILVA et al., 2009).



Figura 1 – Atemoia (Fonte: Autor)

A Embrapa Semiárido tem estudado as cultivares Gefner, African Pride e PR – 3. Os frutos da cultivar Gefner, já implantada em algumas áreas comerciais do Vale do São Francisco, podem atingir até 500 g, são bem formados, com carpelos estreitos e pontiagudos, apresentam polpa branca, succulenta e doce podendo atingir um teor de sólidos solúveis totais de 25 °Brix. Quanto às cultivares African Pride e PR – 3, os frutos são menores, podendo atingir até 100 g, apresentam casca lisa e polpa succulenta (SANTOS et al., 2001). Na Tabela 1 se apresentam as propriedades físicas da atemoia cv. "Gefner".

UFCC - BIBLIOTECA

Tabela 1 – Propriedades físicas da atemoia cv. "Gefner"

| Parâmetro | Média |
|---------------------------|---------------|
| Comprimento do fruto (cm) | 108,55* |
| Diâmetro do fruto (cm) | 92,00* |
| Polpa (%) | 63,4 ± 4,6*** |
| Casca (%) | 28,3 ± 3,9*** |
| Semente (%) | 6,7 ± 1,9*** |
| Peso médio da fruta (g) | 321,47** |
| Número de sementes | 37,4 ± 9,9*** |

Fonte: *MEDEIROS et al. (2009); **MARCELLINI et al. (2003); ***NEVES & YUARA (2003)

A atemoieira (Figura 2) produz frutos com polpa branca, doce, ligeiramente ácida e sucosa (OLIVEIRA et al., 2010). É uma fruteira que, ao contrário das outras espécies de sua família, não é encontrada crescendo espontaneamente na natureza (SILVA, 2006).



Figura 2 – Atemoeira (Fonte: Autor)

Na Tabela 2 tem-se alguns valores das características químicas e físico-químicas da polpa de atemoia cv. "Gefner". A atemoia possui alto teor de açúcares, proteínas, potássio e vitamina C, sendo de fácil digestão (SIQUEIRA, 2010). A fruta pode ser consumida *in natura* como também na forma de polpa, licores, sorvetes, sucos, doces e compotas (MARCELLINI et al., 2003).

Tabela 2 - Composição química e físico-química da atemoia cv. "Gefner"

| Parâmetro | Média |
|--|----------|
| pH | 5,23* |
| Sólidos solúveis totais (°Brix) | 23,40* |
| Teor de água (% b.u.) | 75,55** |
| Ácido ascórbico (mg/100 g) | 15,84* |
| Acidez total titulável (% ácido cítrico) | 1,00* |
| Proteína (g/100 g) | 1,00*** |
| Lipídios (g/100 g) | 0,30*** |
| Cinzas (g/100 g) | 0,70*** |
| Fibra alimentar (g/100 g) | 2,10*** |
| Carboidratos (g/100 g) | 25,30*** |

Fonte: * MEDEIROS et al. (2009); ** MARCELLINI et al. (2003); *** TACO (2011).

A atemoia é considerada uma fruta subtropical exótica com sabor e aroma agradáveis, com produção e consumo relativamente baixos mas se apresenta como fruto promissor, em razão de suas características físicas e sensoriais que apontam para o aproveitamento tecnológico do fruto como opção para aumentar o consumo e a área de cultivo. É um fruto de alta perecibilidade e o escurecimento e amolecimento da casca são os principais problemas pós-colheita (SANTOS et al., 2009).

Apesar de alguns poucos estudos publicados sobre sua conservação pós-colheita, os dados presentes na literatura ainda são muito escassos, o que justifica a necessidade de maior número de pesquisas, principalmente sobre as variedades comerciais, haja vista que a produção desse fruto vem demonstrando grande crescimento e despertando cada vez mais interesse dos produtores por se tratar de um produto nobre e de grande valor comercial (EBDA, 2010).

2.2 – Secagem

A vida útil pós-colheita da maioria dos frutos é muito curta, principalmente quando são colhidos maduros e estocados sob condições ambientais de temperatura e teor de água relativa, além disso, como a comercialização de frutas está restrita à sua época de safra e geralmente tem perecibilidade alta, existe a necessidade de processá-los para que possam abastecer o mercado consumidor no período de entressafra.

Uma das técnicas de processamento de frutas que pode ser utilizada para disponibilizar o produto em outra forma, durante a entressafra é a secagem. Neste tipo de processo o produto obtido tem o armazenamento prolongado com maior estabilidade e vida útil, podendo o consumidor ter acesso ao mesmo durante o ano todo e não apenas no período de safra da fruta (RODRIGUES et al., 2005; ALEXANDRE et al., 2007).

A secagem, além de ser utilizada como método de conservação reduzindo a deterioração e perdas do valor comercial, resulta ainda em uma transformação do produto, agregando valor e dando origem a uma nova opção no mercado. Este método permite que o produto obtido tenha maior vida de prateleira devido à redução da atividade de água, o que é associado à redução no custo do transporte e armazenamento em razão da leveza e compactação, combinadas com os efeitos benéficos da estabilidade microbiológica e química dos alimentos (FELLOWS, 2006).

As vantagens de se utilizar o processo de secagem são várias, dentre as quais se tem: facilidade na conservação do produto; estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura

ambiente durante longos períodos de tempo; proteção contra degradação enzimática e oxidativa; redução do peso; economia de energia por não necessitar de refrigeração e a disponibilidade do produto durante qualquer época do ano (PARK et al., 2001). Além de ajudar a prolongar a vida útil, diminui o peso do produto para o transporte e o espaço necessário para o armazenamento (AGUIRRE & GASPARINO FILHO, 2002).

A secagem de produtos agrícolas pode ser definida como um processo simultâneo de transferência de calor e massa entre o produto e o ar de secagem, que consiste na remoção da teor de água excessiva contida no interior do produto por meio da evaporação, geralmente causada por convecção forçada de ar aquecido, de modo a permitir a manutenção de sua qualidade durante o armazenamento por longos períodos de tempo (AFONSO JÚNIOR & CORRÊA, 1999).

Uma vez que o produto é colocado em contato com o ar quente, ocorre transferência de calor do ar para o produto sob o efeito da diferença de temperatura existente entre eles. Simultaneamente, a diferença de pressão parcial de vapor entre o ar e a superfície do produto determina uma transferência de massa para o ar. Esta última se faz na forma de vapor de água e uma parte do calor que chega ao produto é utilizada para vaporizar a água (ALMEIDA et al., 2002). Conforme SHIGEMATSU et al. (2005), se a temperatura de secagem não for bem controlada pode provocar alterações indesejáveis na aparência, cor, textura e no conteúdo de nutrientes do produto final.

A secagem é apontada como um dos procedimentos mais importantes para a redução da atividade de água (a_w) (GABAS, 1998). A diminuição da quantidade de água disponível no material reduz a atividade biológica e as mudanças químicas e físicas que ocorrem durante o período de pós-colheita. A conservação pela secagem se baseia no fato de que, tanto os micro-organismos como as enzimas e todo o mecanismo metabólico necessitam de água para suas atividades. Com a redução da quantidade de água disponível até níveis seguros para armazenagem, serão reduzidos a atividade de água, a velocidade das reações químicas no produto e o desenvolvimento de micro-organismos (CHRISTENSEN & KAUFMANN, 1974).

O tipo de secagem a ser utilizado depende, dentre outros fatores, do produto a ser desidratado, da sua constituição química e das características físicas do produto final desejado (CUNNINGHAM, 1982).

Segundo MHIMID & BENNASRALLAH (1997), os secadores podem ser classificados de três formas distintas: a) quanto ao modo de operação: contínuo ou descontínuo; b) quanto ao mecanismo de aquecimento do material: direto (contato direto

com o gás quente) e indireto (pela parede, por radiação etc.); c) quanto aos sentidos dos fluxos e do ar de secagem: leito fixo; fluxos cruzados; fluxos contracorrentes; fluxos concorrentes e fluxos mistos.

2.2.1 – Secagem por aspersão (*spray drying*)

A secagem por aspersão é um dos métodos mais empregados para obtenção de produtos em pó ou microencapsulação, devido à boa retenção dos compostos voláteis e estabilidade do produto final (REINECCIUS, 1989). Este processo é o modo mais conveniente de secar soluções que contêm sólidos em suspensão, especialmente de origem orgânica (LANGRISH & FLETCHER, 2001).

Este tipo de secagem é empregada na desidratação de alimentos sensíveis ao calor, líquidos ou pastosos, como: leite, ovos, frutas, extratos de café e de tomate. Os alimentos líquidos são atomizados em gotículas microscópicas que entram em contato com fluxo de ar quente, sendo a secagem muito rápida e a qualidade do produto excelente. Além disso, esta secagem tem como vantagem a produção contínua em larga escala, baixos custos de mão-de-obra, operação e manutenção dos equipamentos relativamente simples (FELLOWS, 2006; BARUFFALDI & OLIVEIRA, 1998).

A secagem por aspersão consiste, basicamente, na atomização do líquido em um compartimento que recebe um fluxo de ar quente. A rápida evaporação da água permite manter baixa a temperatura das partículas, de maneira que a alta temperatura do ar de secagem não afete demasiadamente o produto (DAIÚTO & CEREDA, 2003).

A aspersão ou atomização é resultante da aplicação de uma energia, de maneira a agir sobre o líquido até o ponto em que ocorrem seu rompimento e desintegração, criando um *spray* de gotículas, mediante um disco rotativo ou bico pulverizador (Figura 3). Esses discos ou bicos possuem diâmetro dos furos variáveis, os quais influenciam no tamanho das partículas em pó obtidas. Através deste processo a área de superfície de contato do produto pulverizado é aumentada enormemente, que ao se encontrar dentro da câmara com a corrente do ar quente de secagem produz uma vaporização rápida do solvente do produto, em geral água, que seca suavemente sem choque térmico, transformando-se em pó, e concluindo o processo, com sua coleta (KAJIYAMA & PARK, 2008; BRAS SPRAY, 2005; LANNES & MEDEIROS, 2003). Este processo é exemplificado na Figura 4.

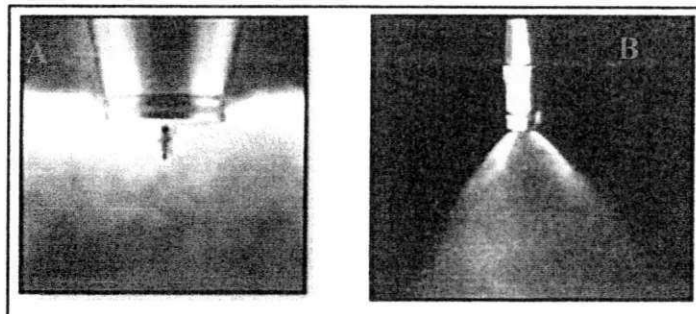


Figura 3 – Disco rotativo (A) e bico pulverizador (B) (Fonte: BERNA, 2009)

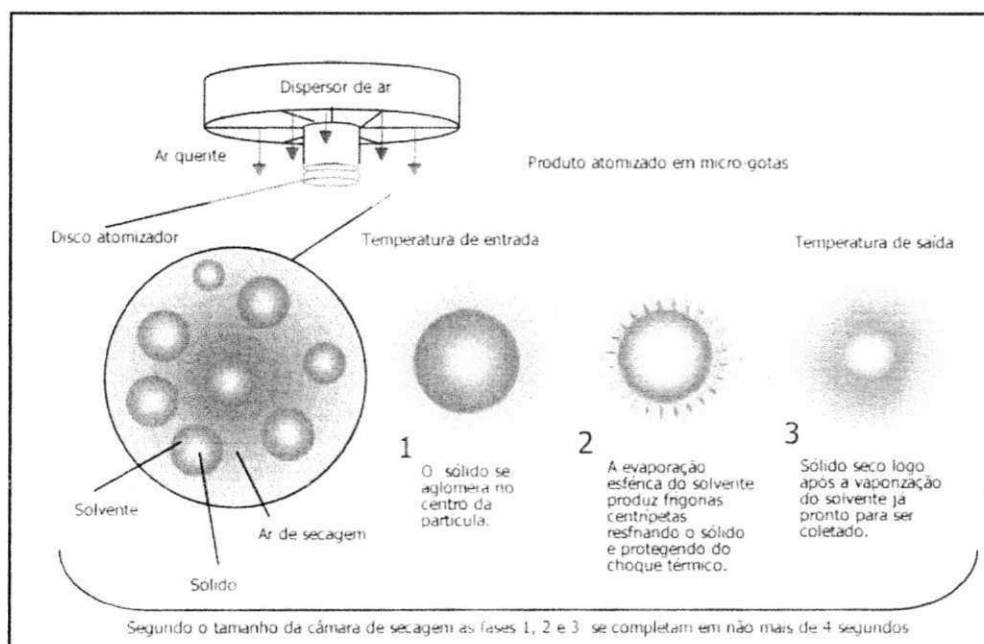


Figura 4 – Etapas do processo de secagem por atomização (Fonte: BRAS SPRAY, 2005)

Nesse tipo de secador a alimentação do produto e a introdução do ar de secagem se processam no topo da câmara em sistema de fluxo co-corrente. A secagem se processa enquanto o ar quente e o produto na forma de pequenas gotículas, percorrem a câmara de secagem até a base cônica. O ar úmido e o produto seco vão em seguida ao ciclone, onde são separados, sendo o ar úmido retirado e o produto seco na forma de pó coletado na base do ciclone (LANNES & MEDEIROS, 2003). O esquema do fluxo do ar de secagem encontra-se representado na Figura 5.

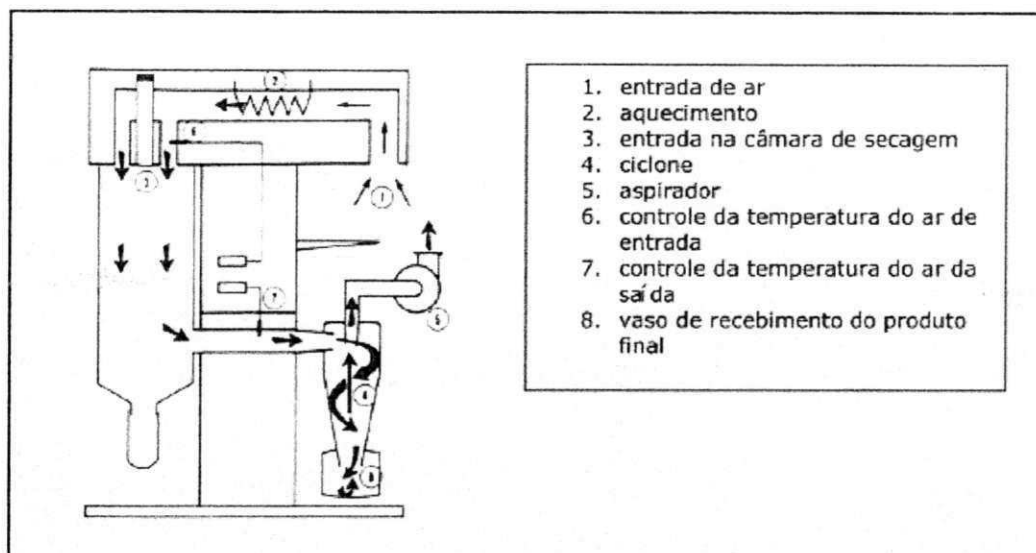


Figura 5 - Esquema do secador por aspersão e do fluxo do ar de secagem (Fonte: LANNES & MEDEIROS, 2003)

Esses secadores são amplamente utilizados na secagem de materiais por oferecerem excelente contato entre as partículas e o gás. O estudo da secagem de materiais nesses secadores visa à otimização de processos industriais e à obtenção de produtos com características morfológicas (área superficial, diâmetro médio de partícula, densidade específica) de acordo com as exigências do mercado. As partículas podem ter diâmetros que variam de unidades micrométricas até unidades milimétricas e apresentam formas diversas, dependendo dos materiais e dos métodos usados para sua obtenção (ANSELMO et al., 2006). De acordo com o tamanho, as partículas podem ser classificadas em nano ($< 0,2\mu\text{m}$), micro ($0,2$ a $500\mu\text{m}$), ou macropartículas ($> 500\mu\text{m}$) (RÉ, 1998).

O formato da maior parte das partículas atomizadas é esférico, que garante fluxo como o de fluidos. Isto auxilia no processo de manuseio e envase, por exemplo, e também na diminuição de custos. As partículas possuem, ainda, homogeneidade na composição e a distribuição no tamanho das partículas é muito próxima, minimizando a obtenção de partículas muito finas, o que é bastante importante para o produto obtido (LANNES & MEDEIROS, 2003).

Na Figura 6, se encontram as partes que compõem um secador por aspersão (*spray dryer*) modelo LM MSD 1.0. marca Labmaq.

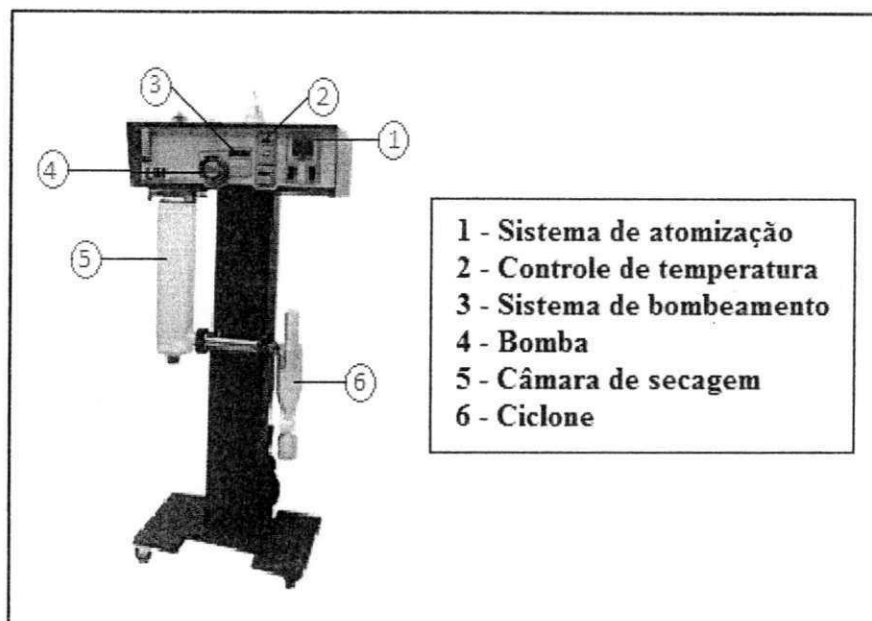


Figura 6 – Secador por aspersão (*spray dryer*) modelo LM MSD 1.0. marca Labmaq(Fonte: LABMAQ (2010) adaptado pelo autor)

Geralmente, para a produção de produtos de frutas em pó (sucos em pó ou polpas em pó), torna-se necessário o uso de aditivos que evitem a caramelização dos açúcares que existem nas polpas das frutas. Durante o processo de secagem por aspersão o aditivo as vezes denominado de material de parede, pode neste caso envolver as partículas sólidas formando uma microcápsula. Mediante este processo simples e rápido, se consegue secar os sólidos e sólidos solúveis, com qualidade e com a preservação das características essenciais (RODRIGUES et al., 2005).

No caso de alimentos ricos em açúcares um dos fatores mais críticos é a absorção de água, que promove a formação de aglomerados, a dissolução de açúcares amorfos e a recristalização dos mesmos, dificultando a reconstituição e as condições de escoamento do produto, além de acelerar outras reações deteriorativas que depreciam a qualidade do produto (AMMUR et al., 1977; ANGUELOVA & WARTHESEN, 2000; BORGES & CAL-VIDAL, 1994; TEUNOU et al., 1999).

As características finais do produto em pó obtido em um processo de secagem por aspersão, dependem de algumas variáveis de processo, tais como as características do líquido atomizado (teor de sólidos, tamanho das gotículas, viscosidade), tipo e mecanismo de funcionamento do aspersor, e as características do ar de secagem. É importante que o processo seja otimizado, a fim de se obter produtos com melhores características sensoriais e nutricionais, além de um rendimento melhor de secagem (TONON et al., 2009).

Na Figura 7 encontra-se um diagrama com os principais fatores que afetam este tipo de secagem.

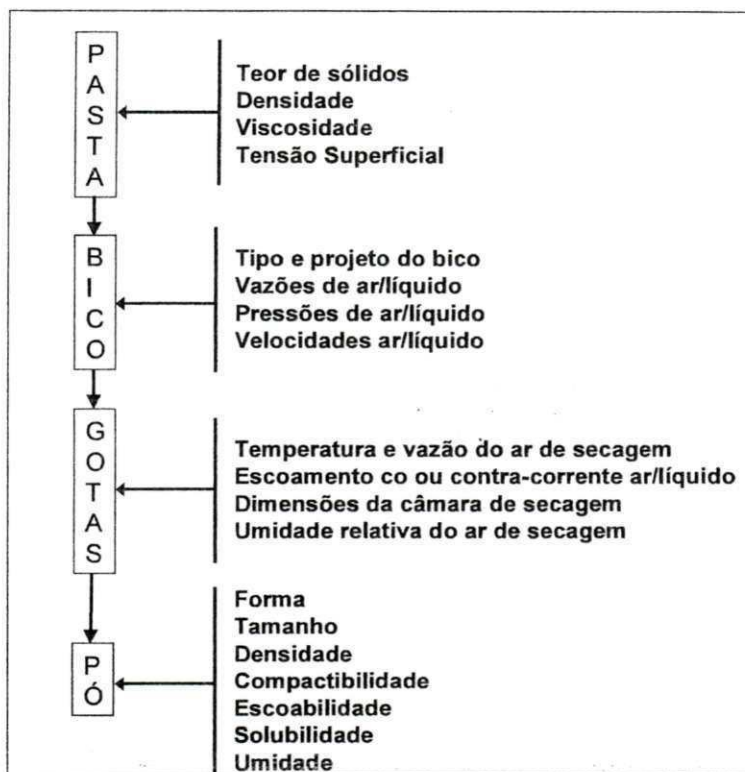


Figura 7 – Diagrama esquemático dos fatores que afetam o resultado da secagem por atomização (Fonte: LABMAQ, 2003)

Em geral, a otimização das características físicas e químicas dos materiais utilizados nesta técnica envolve a comparação entre parâmetros de processo, tais como: aquecimento, volume de ar, tipo de bico atomizador, vazão do material a ser seco ou do sistema de atomização e temperatura do ar de secagem. Os parâmetros de formulação são avaliados conjuntamente com os de processo. É importante se verificar, por exemplo, quando se eleva a temperatura, se não existem extensa desnaturação protéica, perda de aromas e flavorizantes, assim como comprometimento da solubilidade, estabilidade e compactação (WENDEL & CELIK, 1998; RHODES, 1990).

Na Tabela 3 se encontra a influência de algumas variáveis do processo de secagem por aspersão sobre parâmetros do produto em pó (teor de água final do produto, rendimento e tamanho das partículas) e na temperatura de saída.

Tabela 3 – Influência das variáveis do processo de secagem por aspersão

| Parâmetro/ Dependência | Temperatura de entrada alta | Vazão do líquido de entrada alta | Vazão do ar de entrada alta | Alta concentração de solutos a atomizar |
|--|--|---|--|---|
| Teor de água final do produto | ↓ Teor de água | ↑ Teor de água (Mais água conduz a uma pressão parcial mais alta) | Não afeta | ↓ Teor de água, (Menos água para evaporar, menor pressão parcial) |
| Rendimento | ↑ Rendimento (evita a eventual pegajosidade) | Depende da aplicação | Não afeta | ↑ Rendimento (Partículas maiores conduzem a uma maior separação) |
| Temperatura de saída | ↑ Temperatura de saída (Há uma relação direta entre as duas temperaturas) | ↓ Temperatura, (Evapora-se mais água) | ↑ Quantidade de ar fresco que tem que aquecer | ↑ Temperatura, (Menor quantidade de água a ser evaporada) |
| Tamanho da partícula | Não afeta | ↑ Partículas (Há maior quantidade de líquido a dispersar) | ↓ Tamanho (Aumenta a energia para a dispersão do fluido) | ↑ Partículas (Há mais produto) |

Fonte: MASTERES (2002) adaptada pelo autor. Obs.: ↑ = aumenta; ↓ = diminui

TONON & HUBINGER (2007) avaliaram a influência das seguintes variáveis do processo de secagem por aspersão, temperatura do ar de secagem (138 a 202 °C), vazão mássica do produto na alimentação do secador (5 a 25 g min⁻¹) e concentração de maltodextrina (10 a 30%), sobre os parâmetros analisados no suco de açaí microencapsulado, teor de água, higroscopicidade e características morfológicas. Estes autores observaram que os teores de água dos pós obtidos diminuiu com o aumento da temperatura do ar de secagem e com a diminuição da vazão mássica do produto; que a higroscopicidade, ao contrário, aumentou com o uso de temperaturas maiores e vazões mássicas menores, e diminuiu com o aumento da concentração de maltodextrina; e em relação à morfologia, as partículas produzidas com diferentes concentrações de maltodextrina foram semelhantes entre si, apresentando formato esférico e superfície com rugosidades. O aumento da temperatura do ar de secagem levou à formação de uma maior

quantidade de partículas com superfície lisa, fato atribuído à maior transferência de calor e, conseqüentemente, à formação mais rápida de uma membrana ao redor da gota atomizada.

Fatores como teor de água e atividade de água são de grande importância no estudo do produto em pó obtido. A definição do processo e a adequação dos parâmetros de operação do equipamento são particulares a cada produto final desejado, em função das características que se deseja a ele imprimir (STRAATSMA et al., 1999). Além destas, como avaliação das características finais do produto em pó final obtido no processo de secagem por aspersão destaca-se a massa específica, microestrutura e distribuição do tamanho das partículas.

RÉ & HIGA (1995) verificaram, estudando a influência das propriedades físicas de soluções de maltodextrina nas propriedades do produto seco obtido em secador por aspersão, que as propriedades físicas do líquido a ser seco e o aumento da concentração de sólidos na alimentação do secador podem causar um aumento ou diminuição da massa específica da partícula seca, dependendo fortemente da forma como este parâmetro afeta a tendência da partícula em se expandir. A obtenção de sólidos de menor massa específica a partir de soluções mais concentradas e viscosas tem sido atribuída, na literatura, à formação de partículas de maior porosidade ou à incorporação de ar nas gotículas formadas na atomização.

A microestrutura, por sua vez, está ligada à funcionalidade e às propriedades de escoamento dos pós. Já a distribuição do tamanho das partículas também pode ser considerada importante em vários aspectos, podendo influenciar o sabor, cor e textura do produto (O'HAGAN et al., 2005).

DOMINGUES et al. (2002) constataram estudando as propriedades físicas do suco de abacaxi desidratado em secador por aspersão que a massa específica e da partícula foi também influenciada pela concentração de maltodextrina e velocidade de atomização, quando a mesma aumentou com o acréscimo de maltodextrina e foi reduzida quando a velocidade de atomização foi elevada. Já FRANCISONI et al. (2002) notaram que o acréscimo da concentração de maltodextrina aumenta a massa específica normal e compactada do suco de maracujá desidratado em secador por aspersão.

CAVALCANTI MATA et al. (2005a) estudaram o tamanho das partículas de umbu em pó produzido a partir de diferentes formulações (Formulação 1 – 15% de maltodextrina; Formulação 2 – 20% de maltodextrina; Formulação 3 – 15% de maltodextrina + 3% de goma arábica; Formulação 4 - 15% de maltodextrina + 5% de goma arábica; Formulação 5 - 15% de maltodextrina + 3% de β -ciclodextrina; Formulação 6 -

15% de maltodextrina + 5% de β -ciclodextrina) obtidas pela secagem por aspersão (temperatura ar de secagem = 160 °C), avaliado por meio de microscopia eletrônica de varredura. Estes autores observaram que a Formulação 1 elaborada com com 15% de maltodextrina teve as microcápsulas com formatos mais bem definidos, com diâmetro variando entre 0,32 e 9,03 μ m e formaram menos aglomeração.

TONON (2009) observou ao estudar a influência das variáveis do processo de secagem por aspersão do açaí em pó sobre a morfologia e distribuição do tamanho das partículas em relação à morfologia que o aumento da temperatura do ar de secagem resultou em um maior número de partículas com superfície lisa e com maior diâmetro médio, devido às taxas de secagem mais elevadas, e promoveu a formação rápida de uma película rígida. O aumento na concentração de maltodextrina também levou à produção de partículas maiores, o que está relacionado ao aumento da viscosidade da mistura.

2.2.1 – Maltodextrina

As características do pó produzido em secadores por aspersão dependem sobremaneira das variáveis operacionais do secador (temperaturas de entrada e saída do ar do secador), da composição do suco de frutas, da concentração de sólidos no suco e também do tipo de aditivo utilizado na formulação. O uso de aditivos promotores de secagem é um procedimento indispensável na secagem por aspersão da maioria das polpas de frutas, visto que esses materiais, por conterem alto teor de açúcares, são propícios a caramelização, inviabilizando o processo. A maltodextrina é um dos aditivos mais utilizados porque, além do baixo custo, apresenta baixa higroscopicidade, evita a aglomeração das partículas; possui efeito antioxidante e retém os voláteis na faixa de 65 a 80% (REINECCIUS, 1991; SHAHIDI & HAN, 1993).

Numerosos aditivos (Tabela 4) aprovados e com propriedades aceitáveis para a indústria de alimentos estão disponíveis comercialmente e estão sendo usados na secagem por aspersão (RIGHETTO, 2003).

Tabela 4 – Principais aditivos usados como facilitadores da secagem por aspersão ou como agentes encapsulantes de ingredientes alimentares

| Classe | Agentes encapsulantes |
|--------------|--|
| Carboidratos | Amidos, maltodextrinas, xarope de milho, dextranas, sacaroses e ciclodextrinas |
| Celuloses | Carboxi metilcelulose (CMC), metilcelulose, etilcelulose, nitrocelulose, acetilcelulose |
| Gomas | Goma acácia (goma arábica), alginato de sódio, carragena |
| Lipídeos | Cera, parafina, ácido triesteárico, diglicerídeos, monoglicerídeos, óleos, gorduras, óleos solidificados |
| Proteínas | Gluteína, caseína, gelatina, albumina, hemoglobina, peptídeos |

Fonte: SHAHIDI & HAN (1993)

Maltodextrinas são misturas de maltooligossacarídeos com dextrose equivalente (DE) inferior a 20. Quando a DE é igual ou maior que 20, é chamada sólido de xarope de milho, produzidas a partir da hidrólise do amido; em geral, são encontradas como pó branco, não-doce, apresentando a fórmula geral $(C_6H_{12}O_5)_nH_2O$ e são largamente utilizadas nas indústrias alimentícias e farmacêuticas (SILVA, 1998).

A hidrólise de uma dispersão de amido com ácidos ou enzimas produz maltodextrinas. Estas são usualmente descritas por sua dextrose equivalente (DE). A DE é relacionada ao grau de polimerização (DP) através da seguinte equação: $DE = 100/DP$ (DE e DP são valores médios para uma população de moléculas). Assim, a DE de um produto de hidrólise equivale ao seu poder redutor, como uma porcentagem do poder redutor da dextrose pura (D-glicose), sendo então inversamente relacionada ao seu peso molecular médio (BE MILLER & WHISTLER, 1996).

Segundo TONON (2009) variações nos valores de DE resultam em maltodextrinas com propriedades físico-químicas diferentes. MURRAY & LUFT (1973) descreveram as características do amido e seus derivados, de acordo com sua DE. As características destes produtos estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Características dos amidos e seus hidrolisados, de acordo com sua DE

| Propriedade | Dextrose equivalente (DE) | | | | | | |
|------------------------------|---------------------------|----|----|----|----|----|----|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 36 | 42 |
| Escurecimento não enzimático | → | | | | | | |
| Higroscopicidade | → | | | | | | |
| Doçura | → | | | | | | |
| Viscosidade | ← | | | | | | |
| Solubilidade | → | | | | | | |

Fonte: MURRAY & LUFT (1973) adaptada por TONON (2009)

A adição de maltodextrina modifica as características físico-químicas da polpa *in natura*, fato este, comprovado por OLIVEIRA et al. (2006) ao estudarem as características físico-químicas da polpa de pitanga integral e formulada, composta de polpa integral com adição de 15% de maltodextrina e 30% de água destilada (p/p). Referidos autores avaliaram as amostras quanto aos parâmetros de teores de sólidos solúveis totais (°Brix), pH, teor de água, proteínas, extrato alcoólico, acidez total titulável, açúcares redutores, cinzas, ácido ascórbico e cor e verificaram que a polpa de pitanga integral e a polpa formulada se apresentaram estatisticamente diferentes com relação a todos os parâmetros avaliados.

A combinação de solubilidade com baixa higroscopicidade faz com que as maltodextrinas com baixa dextrose equivalente (DE) sejam adequadas como veículo na desidratação de sucos de frutas. O uso de alta DE proporciona uma maior tendência a reações de escurecimento, maior higroscopicidade e solubilidade, maior doçura, menor coesividade, menor estabilidade da emulsão (MURRAY & LUFT, 1973).

A utilização de agentes carreadores (aditivos) pode promover um manuseio melhor do produto em pó obtido, conferindo uma maior proteção contra a adsorção de água do ambiente e tornando-o menos higroscópico (TONON et al., 2009). A concentração deste agente, como por exemplo, a maltodextrina, modifica as características do pó final obtido.

Esta afirmação foi observada no estudo realizado por TONON et al. (2009), ao estudarem a influência da temperatura do ar de secagem (138, 170 e 202 °C) e da concentração de agente carreador maltodextrina a 10, 20 e 30%, sobre as propriedades físico-químicas (teor de água, higroscopicidade, retenção de antocianinas, cor, distribuição do tamanho de partículas e morfologia) do suco de açaí em pó. Os autores verificaram também que o aumento da temperatura do ar de secagem resultou em partículas maiores,

menos úmidas, mais higroscópicas e com menor retenção de antocianinas, além de provocar uma diminuição do parâmetro de cor (L^* e ângulo de tom H^*). Já, o aumento na concentração de maltodextrina resultou em partículas maiores e menos higroscópicas, com maior luminosidade (L^*), menores valores de C^* e maiores valores de H^* . Em relação à morfologia, o aumento da temperatura levou à formação de uma maior quantidade de partículas com superfície lisa, fato atribuído à maior transferência de calor e, conseqüentemente, à formação mais rápida de uma membrana ao redor da gota atomizada.

2.3 – Propriedades físicas do líquido que influenciam na secagem por aspersão

2.3.1 – Massa específica

Uma das características mais importantes do estado líquido é sua densidade absoluta ou também chamada massa específica ou, ainda, simplesmente densidade. A massa específica é definida como a relação existente entre a massa e o volume de uma substância (corpo). Expressa, portanto, a quantidade de matéria contida em uma unidade de volume (Equação 1).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

em que:

ρ - massa específica (kg/m^3);

m - massa (kg); e

V - volume (m^3).

Para a secagem por aspersão a massa específica do líquido/formulação é um dos principais parâmetros que devem ser avaliados.

A massa específica de líquidos e de sólidos não varia significativamente com a pressão em condições comuns mas mudam com a temperatura e composição do produto (HIMMELBLAU, 1998). Dados de massa específica e sua variação com a concentração e a temperatura são muito importantes para a indústria de alimentos em geral, visto que são necessários para projetos e otimização de várias operações de processos (bombeamento, evaporação, filtração, mistura, em cálculos de transferência de calor, etc.), e servem ainda como índice de qualidade (MOHSENIN, 1980; ALVARADO & ROMERO, 1989;

RAMOS & IBARZ, 1998). Além disso, os conhecimentos a respeito desta propriedade também são significativos na caracterização, identificação e utilização de substâncias ou de materiais.

MELO et al. (2005) verificaram, estudando a massa específica do leite de cabra e do leite de cabra com adição de diferentes concentrações de maltodextrina (2,5, 5, 7,5, 10, 12,5, 15%) nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 °C, que a massa específica das amostras aumentou com o aumento da concentração de maltodextrina e diminuiu com o aumento da temperatura.

2.3.2 - Viscosidade

Para a fabricação de produtos que utilizam polpa de frutas e para definição dos processos, é indispensável o conhecimento das suas propriedades físicas e químicas. Dentre essas propriedades o comportamento reológico ocupa posição de destaque (VIDAL et al., 2000). No Brasil há escassez de dados sobre propriedades reológicas dos sucos, polpas e outros concentrados de frutas produzidas aqui. A matéria-prima brasileira apresenta características diferentes daquelas produzidas em outras partes do mundo, em especial no que diz respeito aos teores de polpa e de açúcares, que influenciam diretamente no teor de sólidos solúveis e insolúveis (VIDAL, 1997). É através desses dados que a indústria nacional apresenta a possibilidade de, respeitando as características individuais de cada fruta, desenvolver tecnologias e aumentar o padrão de qualidade dos seus produtos.

As propriedades reológicas estão intimamente relacionadas com a composição e estrutura dos alimentos, tendo em vista que a viscosidade de cada produto está diretamente relacionada com a qualidade de alimentos que se apresentam na forma de fluidos, influenciando diretamente na textura e, portanto, na sua qualidade sensorial. Por outro lado, é de grande interesse industrial o conhecimento do comportamento reológico dos alimentos durante o processo de elaboração, como concentração, mistura, pasteurização e outras operações unitárias (DURAN, 1991).

A viscosidade dos fluidos pode ser afetada por fatores como: concentração, temperatura, tempo, pressão e gradiente de velocidade. O conhecimento da influência desses fatores no comportamento reológico dos alimentos é de fundamental importância para o controle de qualidade.

Para o processo de secagem por aspersão a viscosidade do material a ser processado também é uma propriedade de grande importância a ser determinada, pois, esta afeta as



condições de secagem e a qualidade do produto final. De acordo com RÉ (1998), o aumento da viscosidade até certo valor diminui a circulação interna e as oscilações das gotas, facilitando a secagem. No entanto, soluções com viscosidades muito elevadas requerem uma maior exposição à aspensão e dificultam a formação das gotas, resultando em partículas de forma irregular.

NASCIMENTO et al. (2008) estudaram a influência do aumento da concentração de maltodextrina (2,5; 5; 7,5%) na polpa de umbu-cajá verificaram que este aumento resultou no aumento da viscosidade aparente.

O comportamento reológico de produtos alimentícios pode ser estimado por meio de modelos reológicos, em que sua principal função é representar matematicamente a relação entre os valores experimentais da tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, para determinado fluido e, assim, permitir o tratamento analítico do escoamento desses materiais. São úteis para relacionar propriedades reológicas de um fluido com grandezas práticas como: concentração, temperatura, etc. Este conhecimento é indispensável no controle de qualidade, controle de processos e no projeto e dimensionamento de equipamentos e processos (VIEIRA, 1995).

Tem-se, na literatura, vários modelos que podem ser utilizados para prever o comportamento reológico de polpa de frutas e de outros produtos alimentícios. Dentre os modelos mais conhecidos tem-se o de Ostwald-de-Waelle ou Lei da Potência, Herschel-Bulkley, Casson e Mizrahi-Berk.

O modelo de Ostwald-de-Waelle (Equação 2), também conhecido como Lei da Potência é um dos modelos reológicos mais utilizados para descrever o comportamento reológico dos fluidos não-newtonianos (pseudoplásticos e dilatantes) em amplas faixas de taxa de deformação.

$$\tau = K (\dot{\gamma})^n \quad (2)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

$\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s^{-1})

K - índice de consistência (Pas^n)

n - índice de comportamento do fluido (adimensional)

Para os valores de $n < 1$, a viscosidade aparente decresce com o aumento do gradiente de velocidade, caracterizando o fluido como não newtoniano com comportamento pseudoplástico, para $n > 1$, é caracterizado como fluido dilatante e para $n = 1$ o fluido é classificado como newtoniano (LEWIS, 2000).

CABRAL et al. (2002) encontraram, ajustando o modelo de Ostwald-de-Waele aos reogramas da polpa de cupuaçu peneirada, determinados nas temperaturas de 10, 15, 20, 25 e 30 °C, coeficientes de determinação superiores a 0,92. PEREIRA et al. (2003) obtiveram coeficientes de determinação superiores a 0,98 quando ajustaram o modelo de Ostwald-de-Waele às curvas de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de açaí com diferentes concentrações de sólidos totais (9,7; 12,5 e 15,2%), na temperatura de 30 °C.

O modelo de Herschel–Bulkley (Equação 3) apresenta três parâmetros reológicos, é uma forma modificada do modelo de Ostwald-de-Waele, ao qual se adiciona um novo parâmetro, tensão inicial (τ_{0H}).

$$\tau - \tau_{0H} = K_H \dot{\gamma}^{n_H} \quad (3)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

$\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s^{-1})

τ_{0H} - tensão de cisalhamento inicial (Pa)

K_H - índice de consistência ($Pa \cdot s^n$)

n_H - índice de comportamento de fluido (adimensional)

CASSON (1959) propôs a Equação 4 para escoamento de suspensão de partículas interagindo em meio newtoniano, considerando que as mesmas interagem entre si.

$$\tau^{1/2} = K_{0C} + K_C \dot{\gamma}^{1/2} \quad (4)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

$\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s^{-1})

$K_{0C}^2 = \tau_{0C}$ - tensão de cisalhamento inicial (Pa)

K_C - viscosidade plástica de Casson (Pa.s)

PEREIRA et al. (2003) avaliando o comportamento reológico de polpa de açaí nas concentrações de sólidos totais de 9,7; 12,5 e 15,2% e na temperatura de 30 °C, constataram bom ajuste para todas as amostras dos dados de tensão de cisalhamento versus taxa de deformação pelos modelos Casson e Herschel-Bulkley, com coeficientes de determinação (R^2) acima de 0,9, em todos os tratamentos.

O modelo proposto por MIZRAHI & BERK (1970), Equação 5, foi idealizado para o estudo do escoamento do suco de laranja concentrado e suspensão de partículas interagindo em um solvente pseudoplástico. Este modelo é uma proposta modificada do modelo de Casson, que se reduz ao mesmo quando n_M é igual a 0,5.

$$\tau^{1/2} - K_{0M} = K_M \dot{\gamma}^{n_M} \quad (5)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

$\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s^{-1})

K_{0M} - raiz quadrada da tensão inicial (Pa)

K_M - índice de consistência ($Pa \cdot s^n$)

n_M - índice de comportamento do fluido (adimensional)

O modelo de Mizrahi–Berk foi ajustado às curvas de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de manga integral, nas temperaturas de 10 a 60 °C, apresentando coeficientes de determinação superiores a 0,99 (BEZERRA et al., 2001).

2.4 - Atividade de água

Os produtos alimentícios são materiais capazes de absorver, reter ou eliminar água, os quais sempre estabelecem um equilíbrio de teor de água com o ar ao seu redor. A água sempre causa aumento da pressão de vapor sobre a superfície das amostras e, quando esta pressão e a pressão de vapor de água da atmosfera são iguais, ocorre o equilíbrio da teor de água (ARAÚJO et al., 2005).

A água é um dos mais importantes componentes dos alimentos, capaz de afetar as propriedades físicas, químicas e microbiológicas. A forma como a água afeta a natureza física e as propriedades dos alimentos é complicada devido à interação entre a água e o

meio, o que envolve a estrutura física e a composição química dos diversos solutos incluindo polímeros e coloides ou partículas dispersas. É possível estabelecer uma relação estreita entre o teor de água livre no alimento e sua conservação. O teor de água livre é expresso pela atividade de água (a_w) (PARK et al., 2006).

A atividade de água é definida como a relação entre a pressão parcial de vapor da água contida no alimento (P) e a pressão de vapor da água pura (P_0), a certa temperatura (Equação 6) (RIBEIRO & SERAVALLI, 2007).

$$a_w = \frac{P}{P_0} \quad (6)$$

Segundo PEREDA et al. (2005) a a_w de um alimento e a teor de água relativa do ambiente no qual se encontram, tendem sempre a se equilibrar, razão pela qual é comum se expressar como teor de água relativa de equilíbrio (%) (URE) (Equação 7):

$$a_w = \frac{URE}{100} \quad (7)$$

O valor máximo da atividade de água é 1, para a água pura. Nos alimentos ricos em água, a a_w acima de 0,90 forma soluções diluídas, com os alimentos servindo de substrato para reações químicas e o desenvolvimento microbiano. Entre 0,40 e 0,80 há uma aceleração das reações químicas pelo aumento da concentração dos substratos. Próximo a 0,60, cessa a atividade microbiana e, para a_w inferior a 0,30, atinge-se a zona de adsorção primária (PARK et al., 2006).

SÁNCHEZ (1999) afirmou que todos os alimentos contêm água, no entanto, a água não se encontra ligada do mesmo modo. O autor comenta que em alguns casos, a água pode estar relativamente livre e em outros estar ligada a estrutura do alimento, não ficando disponível para processos de deterioração, desta forma, o conceito de atividade de água em um alimento permite quantificar o grau de liberdade da água contida no mesmo, e o seu controle torna-se muito importante na preservação de produtos alimentícios.

BARUFFALDI & OLIVEIRA (1998) afirmaram que nas mesmas condições de temperatura e pressão para cada micro-organismo existe um valor ótimo de atividade de água e uma faixa dentro da qual se verificará crescimento. Estes autores mencionaram que a atividade de água de 0,60 representa o valor mínimo necessário para o desenvolvimento de micro-

Revisão Bibliográfica

organismos e que em que eles se desenvolvem plenamente vai de 0,65 a 1. Segundo estes autores, as reações deteriorativas de origem enzimática, inclusive reações de Maillard, ocorrem em qualquer valor de a_w , sendo predominantes, porém, em valores acima de 0,3.

De acordo com AZEREDO (2004) os alimentos podem ser classificados, conforme a suscetibilidade a alterações microbiológicas em:

- Alimentos de alta atividade de água ($a_w > 0,85$) – muito propensos a deteriorações microbiológicas em geral;
- Alimentos de atividade de água intermediária ($0,60 < a_w < 0,85$) – podem sofrer deterioração por micro-organismos xerofílicos e osmofílicos;
- Alimentos de baixa atividade de água ($a_w < 0,60$) – nos quais não há crescimento de micro-organismos, embora eles possam sobreviver.

A diminuição da atividade de água com a desidratação da fruta ou do produto de fruta contribui para sua conservação e conseqüente uso prolongado (PARK et al., 2001).

A disponibilidade da água para a atividade microbiológica, enzimática ou química é que determina a vida-de-prateleira de um alimento, e isso é medido pela atividade de água (Figura 8) do alimento (FELLOWS, 2006).

Devido a todos estes fatores é que a determinação da atividade de água de um alimento torna-se imprescindível no estudo do processamento e armazenamento de produtos agrícolas.

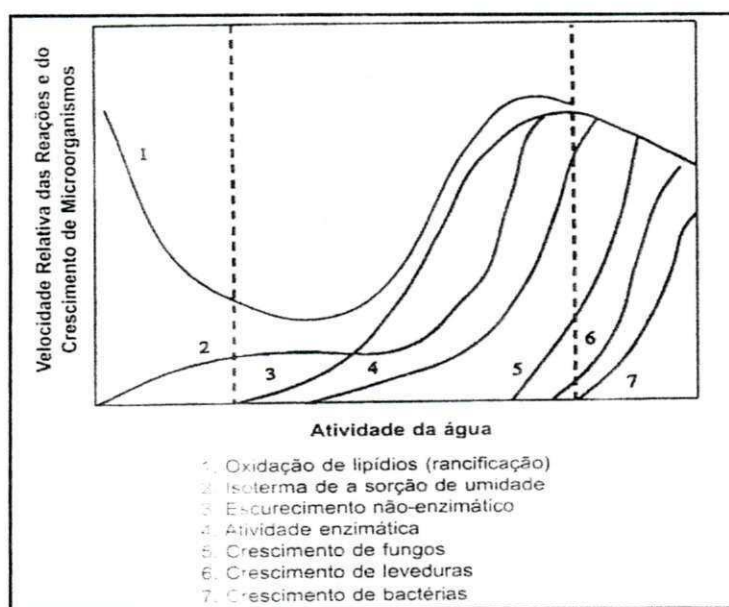


Figura 8 – Velocidade das principais alterações de alimentos em função da atividade de água (Fonte: ATIVIDADE DA ÁGUA, 2009)

2.4.1 - Isotermas de adsorção de água

Isotermas de sorção de água são a representação gráfica da teor de água de equilíbrio da amostra em função da atividade de água, a temperatura constante. As isotermas de sorção são imprescindíveis na análise e controle de vários processos na indústria de alimentos, tais como preservação, secagem, definição de embalagem e misturas. Essas curvas podem ser usadas para prever as mudanças na estabilidade do alimento e para selecionar o material de embalagem e os ingredientes apropriados para a formulação de um produto alimentício (ZHANG et al., 1996).

As isotermas podem ser classificadas de acordo com seus formatos, que podem ser de cinco tipos gerais, representados na Figura 9. No caso de alimentos, as isotermas de maior interesse são as do tipo II e III (BRUNAUER et al., 1938).

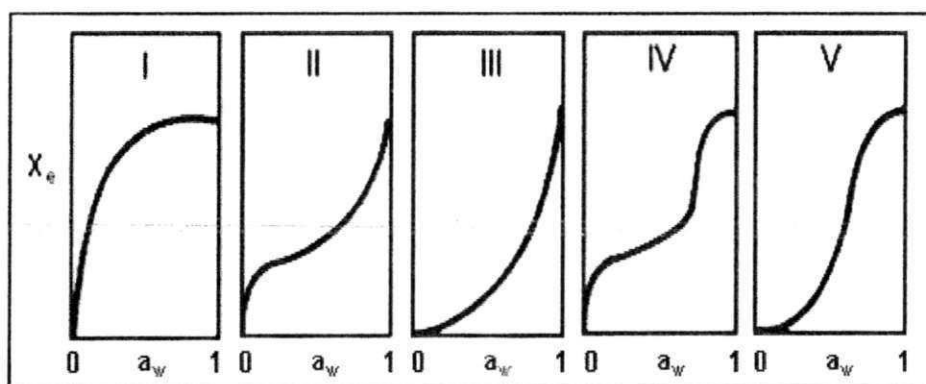


Figura 9 – Tipos de isotermas de sorção (Fonte: BRUNAUER et al., 1938)

A isoterma pode ser denominada de adsorção, quando a amostra ganha teor de água do ambiente e de dessorção, quando a amostra perde teor de água para o ambiente.

A isoterma de dessorção tem importância particular no projeto de processos de desidratação de alimentos, especialmente na determinação de secagem e em um ponto que assegure a viabilidade econômica e a segurança microbiológica (MCLAUGHLIN & MAGEE, 1998). Além disso, a determinação das isotermas de adsorção/dessorção de água se faz oportuna pela sua aplicação na 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).

A isoterma de adsorção de água ilustra a capacidade de uma amostra em pó para absorver água quando colocada em determinadas condições atmosféricas e de temperatura. A presença da água em um pó pode afetar significativamente suas propriedades de fluidez e consistência. Para muitos alimentos em pó existe um valor da teor de água relativa (teor de água relativa crítica) em uma temperatura acima da qual o pó endurecerá e esta é, geralmente, muito prejudicial à sua fluidez (TEUNOW et al., 1999).

Nas amostras em pó a qualidade e a vida útil têm forte dependência com o seu teor de água, que exerce influência sobre a palatabilidade, digestibilidade, estrutura física e manuseio. Praticamente, todos os processos deteriorativos que ocorrem com os alimentos também são influenciados pela concentração e mobilidade da água presente (ALEXANDRE et al., 2007).

As isotermas de sorção normalmente são representadas por modelos matemáticos empíricos e teóricos. A literatura apresenta uma longa lista de modelos disponíveis, que podem ser baseados em teorias sobre os mecanismos de sorção, ou ainda serem puramente empíricos ou semiempíricos. A escolha do modelo mais apropriado geralmente é baseada no grau de ajuste dos dados experimentais e no significado físico do modelo (TONON, 2009).

Modelos como o de GAB (Guggenheim-Anderson-de Boer), Oswin e Peleg são bastante utilizados na representação de produtos alimentícios.

O modelo de GAB (Equação 8) foi utilizado por ASCHERI (1999) para ajustar os dados experimentais das isotermas de adsorção de água, nas temperaturas de 30, 40 e 50 °C, de microcápsulas de óleo essencial de laranja, obtendo coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,99.

$$X_e = \frac{X_m CKa_w}{(1 - Ka_w)(1 - Ka_w + CKa_w)} \quad (8)$$

em que:

X_e - teor de água de equilíbrio

a_w - atividade de água

X_m - teor de água na monocamada molecular

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

O modelo de Peleg (Equação 9) foi empregado por CAVALCANTI et al. (2006) ao estudarem as isotermas de adsorção de água, nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 °C, de cápsulas em pó produzido com adição de 20% de maltodextrina, pelo processo de secagem por

aspersão. Estes autores observaram que a amostra apresentou coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,97, para todas as temperaturas, e apresentaram forma sigmoideal, considerada do tipo II.

$$X_e = K_1 a_w^{n_1} + K_2 a_w^{n_2} \quad (9)$$

em que:

X_e - teor de água de equilíbrio

a_w - atividade de água

K_1, K_2, n_1 e n_2 - constantes do modelo

SILVA et al. (2008a) avaliaram o comportamento higroscópico do açaí e do cupuaçu em pó, através das isotermas de adsorção, nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C, ajustadas pelo modelo de Oswin (Equação 10). Estes autores observaram que as curvas obtidas apresentaram comportamento do tipo III, característico de materiais ricos em carboidratos.

$$X_e = a \left(\frac{a_w}{(1 - a_w)} \right)^b \quad (10)$$

em que:

X_e - teor de água de equilíbrio

a_w - atividade de água

a e b - parâmetros de ajuste do modelo

2.5 – Cinética de degradação

A degradação ou a perda de qualidade de um alimento é, na prática, representada pela perda de atributos de qualidade, como por exemplo, nutrientes e sabores característicos, ou pela formação de atributos indesejáveis, como toxinas e sabores estranhos (AZEREDO, 2004).

Segundo ALVES (2004) a equação geral da cinética da degradação tem a forma da Equação 11.

$$-\frac{d[A]}{d\theta} = k[A]^n \quad (11)$$

em que:

A – concentração do atributo a ser avaliado

θ – tempo

k – constante da velocidade da reação

n – é a ordem da reação

A maioria das alterações que ocorrem em alimentos segue um padrão de ordem zero ou de primeira ordem. Numa reação de ordem zero a redução de um atributo desejável A , com o tempo, ocorre a uma taxa constante (TAOUKIS & LABUZA, 1996). A reação ordem zero segue a Equação 12.

$$A = A_0 - k\theta \quad (12)$$

em que:

A – concentração do atributo a ser avaliado após um tempo “ θ ”

A_0 - concentração inicial do atributo a ser avaliado

k – constante da velocidade da reação

θ – tempo

Exemplos de algumas alterações que podem ser aplicadas à cinética de ordem zero incluem degradações enzimáticas e reação de Maillard (LABUZA, 1982).

Para reações de primeira ordem, a taxa de perda de qualidade é diretamente relacionada à qualidade remanescente, ou seja, com o tempo, a qualidade se reduz gradativamente, e a taxa de perda de qualidade cai (AZEREDO, 2004). A reação de primeira ordem é descrita na Equação 13.

$$\ln \frac{A}{A_0} = -k\theta \quad (13)$$

em que:

A – concentração do atributo a ser avaliado após um tempo “ θ ”

A_0 - concentração inicial do atributo a ser avaliado

k – constante da velocidade da reação

θ – tempo

Perda de vitaminas, oxidação de pigmentos e crescimento microbiano são alguns dos exemplos de alterações que podem ser aplicados a um modelo de primeira ordem (TAOUKIS & LABUZA, 1996).

O tempo de meia vida, ou seja, o tempo necessário para que a concentração de um reagente diminua pela metade seu valor inicial, é segundo AZEREDO (2004), para uma reação de primeira ordem, expresso pela Equação 14.

$$\theta_{(1/2)} = \frac{0,693}{k} \quad (14)$$

em que:

k – constante da velocidade da reação;

$\theta_{(1/2)}$ – tempo de meia vida.

2.5.1 – Ácido ascórbico

As vitaminas são compostos orgânicos, necessários, em quantidades mínimas, para promover o crescimento, manter a vida e a capacidade de reprodução. São substâncias que, com raras exceções, devem ser fornecidas na dieta, na dose adequada. A ingestão diária de nutrientes necessária para garantir o funcionamento adequado do organismo é especificada como Ingestão Diária Recomendada (IDR) e de acordo com BRASIL (1998) a IDR de vitamina C para um adulto é de 60 mg.

A principal classificação das vitaminas é baseada em sua solubilidade: hidrossolúveis (vitaminas do complexo B e vitamina C) e lipossolúveis (A, D, E, K) (RIBEIRO & SERAVALLI, 2007).

Quimicamente, a vitamina C é a lactona do ácido derivado de um monossacarídeo, e na realidade essa vitamina pertence à classe dos carboidratos. É um sólido branco, cristalino, com ponto de fusão entre 190-192 °C, bastante solúvel em água e etanol absoluto, insolúvel nos solventes orgânicos comuns, como clorofórmio, benzeno e éter. No estado sólido é relativamente estável, no entanto, quando em solução, é facilmente oxidada (BOBBIO & BOBBIO, 1995). A vitamina C é uma molécula ácida com forte atividade redutora e atua como antioxidante sobre radicais livres e na reciclagem da vitamina E. A vitamina C é necessária para a manutenção do colágeno, participando na hidroxilação da prolina formando a hidroxiprolina. É essencial para a oxidação da fenilalanina e da tirosina e para a conversão de folacina em ácido tetra-hidrofolico. Essa vitamina também participa na síntese e metabolismo de neurotransmissores (dopamina →



noradrenalina, triptofano → serotonina), nos sistemas de oxigenases de função mista (metaboliza: fármacos, hormônios, carcinógenos, etc.) e na absorção e metabolismo do ferro: $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ (PENTEADO, 2003).

Avaliar a quantidade de ácido ascórbico constitui um importante fator para o controle da qualidade de alimentos, pois sua degradação pode favorecer o escurecimento não enzimático, e pode causar aparecimento de sabor estranho (QUINÁIA & FERREIRA, 2007; CASTRO, 2005). Além disso, o ácido ascórbico é um importante indicador, pois sendo a vitamina mais termolábil, sua presença no alimento, indica que provavelmente os demais nutrientes também estão sendo preservados (CARDELLO & CARDELLO, 1998).

As perdas mais significativas no processamento de alimentos constituem resultado da degradação química. Em alimentos ricos em ácido ascórbico, a perda está associada com as reações de escurecimento não-enzimático (ARAÚJO, 2011).

A degradação do ácido ascórbico depende de vários fatores como o pH alcalino, temperatura, presença de oxigênio, metais, presença de luz e teor de água elevada (ALDRIGUE et al., 2002). No processo de desidratação, a perda de ácido ascórbico é afetada principalmente pela aplicação de altas temperaturas (GABAS et al., 2003).

Embora de modo geral, a estabilidade da vitamina C aumenta com o abaixamento da temperatura e a maior perda se dá durante o aquecimento de alimentos, existem casos de perda durante o congelamento, ou armazenamento de alimentos a baixas temperaturas. Também pode ocorrer perda de vitamina C por lixiviação, que por sua vez é ainda maior quando a mesma é feita com aquecimento (BOBBIO & BOBBIO, 1995).

GABAS et al. (2003), afirmaram que estudos realizados sobre a cinética de degradação da vitamina C em função das condições de processamento permitem escolher processos alternativos ou operações mais eficientes para minimizar perdas de qualidade. Além disso, fornece informações sobre a degradação ao longo da armazenagem, permitindo estimar o teor de vitamina ao fim da vida-de-prateleira do produto, e em seguida adequá-lo a sua rotulagem. Além disso, segundo FRANZEN et al. (1990) permitem escolher processos alternativos ou operações mais eficientes para minimizar perdas de qualidade.

O estudo da cinética de degradação do ácido ascórbico, utilizando-se os modelos de reação de ordem zero e de primeira ordem foi realizado para várias frutas ou produtos de frutas, dentre os quais: purê de pêssego, ameixa liofilizada, polpa de fruta congelada (acerola, goiaba e caju) e goiaba (YAMASHITA & BENASSI, 2000; GABAS et al., 2003; CASTRO, 2005; TORALLES et al., 2008).

2.5.2 – Efeito da temperatura

A temperatura é um dos fatores ambientais mais estudados, por ser um dos fatores que mais afetam a estabilidade de um produto. De acordo com TAOUSKIS et al. (1997) este fato se justifica não apenas por seu grande efeito sobre as taxas de reação, mas, também, pelo fato de ser um fator totalmente imposto pelo ambiente ao alimento, enquanto que outros fatores ambientais como a teor de água relativa e a pressão parcial de gases, podem ser ao menos parcialmente controlados pela embalagem.

O modelo mais utilizado para expressar taxas de reação em função da temperatura é o modelo de Arrhenius (Equação 15), descrito por TORALLES et al. (2008):

$$k = Ae^{\left(\frac{-E_A}{RT}\right)} \quad (15)$$

em que:

k – constante da reação;

A – fator pré-exponencial;

E_A – energia de ativação (energia mínima requerida para que uma reação se inicie);

R – constante universal dos gases, $8,31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$;

T – temperatura absoluta (K).

Uma forma mais simples de se trabalhar com esta equação é expressar o logaritmo natural em função de $1/T$ em um plano cartesiano. Como resultado, o coeficiente angular da própria reta ($-E_a/R$) determina a energia de ativação, visto que o valor da constante universal dos gases (R) é conhecido.

TORALLES et al. (2008) verificaram ao estudarem o efeito da temperatura em purê de pêssego da cultivar Jade na faixa de temperatura de 70 a 90 °C, para concentrações de 12, 22 e 32 °Brix, que a energia de ativação para degradação do ácido ascórbico foi da ordem de 45 kJ.mol^{-1} e se revelou independente da concentração de sólidos solúveis (°Brix). MIGUEL et al. (2009) determinaram a influência da temperatura de armazenamento (20, 30 e 40 °C) sobre a cor (L, a e b) de geléias de morango armazenadas durante seis meses, tendo sido observado ao aplicar o modelo de Arrhenius uma energia de ativação (E_a) de $5,66 \text{ kcal.mol}^{-1}$.

A dependência das taxas de reação em relação à temperatura pode ser descrita pelo modelo de Arrhenius ou ainda pelo fator Q_{10} , Equação 16, (SINGH, 1994), utilizado

geralmente nos testes de estabilidade ou armazenamento acelerado. Em geral o fator Q_{10} é utilizado quando o tempo de estocagem é muito longo e a indústria precisa de resultados em um tempo mais curto.

$$Q_{10} = \frac{k_{(T+10)}}{k_T} \quad (16)$$

em que:

k – constante da reação;

T – temperatura absoluta (K).

O fator Q_{10} indica o aumento ou a diminuição na taxa de uma reação, quando o produto é estocado em temperatura 10 °C maior. Sendo assim, é possível se realizar o teste em temperaturas mais altas, que acelerem o processo de degradação, e extrapolar os resultados para temperaturas mais baixas, como as encontradas durante a distribuição e o armazenamento do produto (LABUZA & SCHMIDL, 1985).

2.6 - Planejamento experimental

A importância das variáveis em um processo pode ser determinada por meio da adoção de um método de planejamento experimental, o qual possibilita o planejamento e a execução de forma organizada, com um número reduzido de ensaios ao mínimo necessário. Este método permite, ainda, a verificação dos efeitos individuais e de interação de todas as variáveis sobre a resposta, a definição das variáveis mais importantes para o processo, a avaliação dos erros experimentais e de regressão e a modelagem empírica dos resultados, em função das variáveis escolhidas, usando-se programas estatísticos de regressão (GOUVEIA et al., 2002). Além disso, a metodologia do planejamento fatorial, associada a análise de superfícies de respostas, é uma ferramenta fundamentada na teoria estatística, que fornece informações seguras sobre o processo, minimizando o empirismo que envolve técnicas de tentativa e erro (BOX et al., 1978).

Sendo o planejamento experimental um método baseado e executado com técnicas estatísticas, é de fundamental importância a avaliação dos modelos empíricos, obtidos por meio de regressão dos dados experimentais, mediante uma análise estatística, utilizando-se o coeficiente de determinação (R^2) e o valor estimado para o teste F. Para a regressão não ser apenas estatisticamente significativa, mas útil para fins preditivos, o valor de F calculado deve ser no mínimo quatro a cinco vezes o valor de F tabelado (BARROS NETO et al., 1995).

Usando esta técnica para realizar os ensaios experimentais, é possível estimar os efeitos principais das variáveis na resposta ou variável dependente. A tabela de análise de variância dá informações sobre o quanto foi bom o ajuste, sendo possível propor o modelo probabilístico que correlaciona à resposta em função das variáveis estudadas, construindo a superfície de resposta para determinar a faixa ótima de operação (RODRIGUES et al., 1998).

A metodologia de superfície de resposta (RSM) é uma técnica que tem sido aplicada com sucesso na otimização de processos alimentícios, e consiste em um grupo de procedimentos matemáticos e estatísticos que são usados para estudar a relação entre uma ou mais respostas (variáveis dependentes) e um número de fatores (variáveis independentes) (PARK et al., 2004).

No processo de secagem é de fundamental importância o estudo de variáveis, como a temperatura do ar de secagem e a velocidade do ar, as quais podem ser obtidas por meio de um planejamento experimental, o qual permite verificar, através de um número menor de experimentos, a influência das variáveis no estudo da cinética de secagem, verificando, também: os efeitos individuais e de interação de todas as variáveis sobre a resposta; a definição das variáveis mais importantes para o processo; observação dos erros experimentais e de regressão; a modelagem empírica dos resultados em função das variáveis escolhidas, utilizando programas estatísticos de regressão; e mostrando as melhores faixas de operação de processos (RODRIGUES et al., 2002).

Vários autores utilizaram planejamento experimental em seus trabalhos de pesquisa: TONON & HUBINGER (2007) utilizaram um planejamento experimental completo 2^3 , tendo como variáveis independentes a temperatura do ar de secagem (138 a 202 °C), a vazão mássica do produto na alimentação do secador (5 a 25 g/min) e a concentração de maltodextrina (10 a 30%) e como variáveis respostas o teor de água, a higroscopicidade e as características morfológicas do suco de açaí microencapsulado, produzido por secagem por aspersão; VALDUGA et al. (2008) utilizaram planejamento fatorial, tendo como variáveis independentes a relação amltodextrina:goma ((0:100, 50:50, 100:0) e extrato (30-70mL), com o objetivo de avaliar a quantidade de antocianinas totais, encontrada no bagaço de uva da cultivar Isabel (*Vitis labrusca*), microencapsulada em secador por aspersão, com temperatura do ar de secagem na entrada de 180 °C e na saída de 90 °C, a pressão de atomização entre 0,08 a 0,14 bar, a vazão média do ar de secagem de 75,031 m³/h e a vazão média de alimentação de 0,08 L/h.

3 – MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA), no Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

3.1 - Matérias-primas

As matérias-primas utilizadas neste trabalho foram atemoias (*Annona cherimola* Millx *Annona squamosa* L.) cv. “Gefner”, em estágio de maturação meio maduras, adquiridas na Empresa Paraibana de Abastecimentos e Serviços Agrícolas (EMPASA) no município de Campina Grande – PB, cujo os frutos são oriundos do município de Petrolina-PE, e maltodextrinas (MOR-REX[®]) doadas pela Corn Products Brasil com dextroses equivalentes iguais a 10, 14 e 20.

3.2 – Propriedades físicas do fruto

Para a realização da determinação das propriedades físicas da atemoia foram utilizadas 20 frutas escolhidas de forma aleatória.

3.2.1 – Massa

A massa dos frutos foi determinada através de pesagem, realizada em balança semianalítica de precisão 0,01g. Feita a pesagem do fruto, retirou-se a casca, em seguida separou-se a polpa da semente, sendo todos estes pesados separadamente.

3.2.2 – Diâmetros mutuamente perpendiculares

As determinações dos diâmetros mutuamente perpendiculares (a, b e c) foram realizadas com o auxílio de um paquímetro digital (Figura 10), com resolução de 0,1 mm. Sendo a o comprimento do fruto, b o diâmetro e c a espessura.

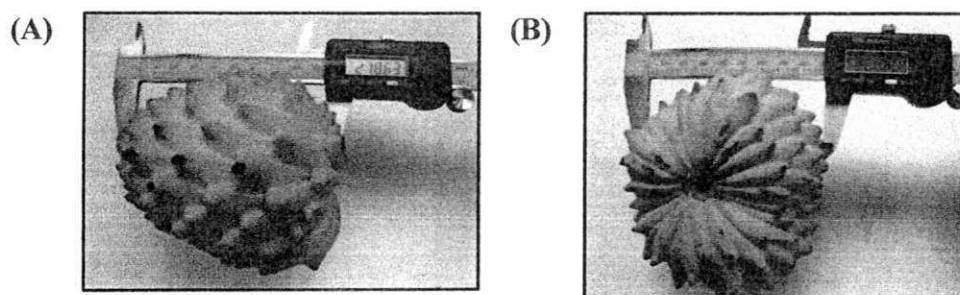


Figura 10 – Determinação de a (A) e b (B)

3.2.3 – Área superficial

Esta área foi determinada supondo-se que a fruta tenha a forma aproximada de um esferóide oblato, sendo assim a área superficial foi calculada pela Equação 17.

$$A_s = 2\pi a^2 + \pi \left(\frac{b^2}{e} \right) \ln \left(\frac{1+e}{1-e} \right) \quad (17)$$

em que:

- A_s – área superficial, cm^2
- a – comprimento, cm
- b – diâmetro, cm
- e - excentricidade (Equação 18)

$$e = \left[1 - \left(\frac{b}{a} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (18)$$

3.2.4 – Volume superficial

Considerando a atemoia um esferoide oblato, o volume superficial foi calculado pela Equação 19.

$$V = \frac{4}{3} (\pi a^2 b) \quad (19)$$

em que:

V – volume superficial, cm^3

a – comprimento, cm

b – diâmetro, cm

3.3 – Processamento do fruto

Ao chegar ao laboratório os frutos foram selecionados manualmente com o objetivo de separar as atemoias (Figura 11A) com aspecto de podridão ou qualquer outro tipo de injúria; em seguida, foram lavados em água corrente para retirada de sujidades aderidas à casca; posteriormente foram sanitizados com solução de hipoclorito de sódio (200 ppm), depois foram novamente lavados em água corrente para a retirada do excesso da solução de hipoclorito de sódio, logo após os frutos foram partidos manualmente ao meio (Figura 11B) com facas de aço inoxidável, e em seguida foi feita a retirada da polpa com sementes com o auxílio de uma colher.

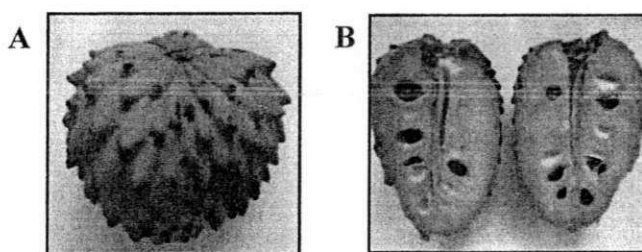


Figura 11 –Atemoia inteira (A) e partida ao meio (B)

O despulpamento final, e a separação da polpa das sementes, foram realizados em despulpadeira da marca Laboremus modelo DF – 200 com motor de 2.0 CV e capacidade aproximada de 400 kg/h. A polpa foi desintegrada e separada das sementes, com o auxílio de uma peneira de malha de 2,5 mm; a seguir fez-se o refinamento da polpa utilizando-se uma peneira de malha de 1,0 mm de diâmetro. A polpa de atemoia refinada foi acondicionada em embalagens de polietileno de baixa densidade contendo aproximadamente 500 g de polpa e congelada rapidamente por imersão em nitrogênio líquido a $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. Posteriormente o produto congelado foi armazenado em freezer a $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ até o momento da utilização nos experimentos.

No fluxograma da Figura 12 são apresentadas as etapas do processamento para obtenção da polpa de atemoia.

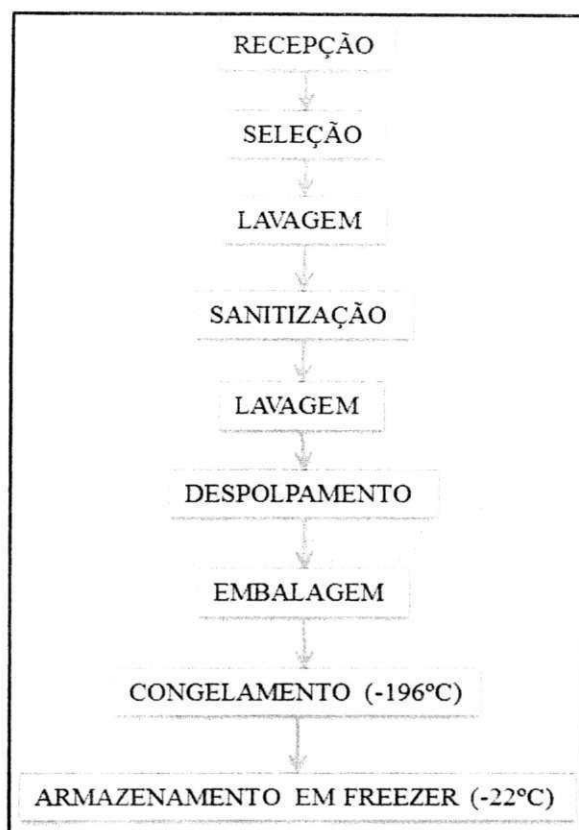


Figura 12 - Fluxograma das operações realizadas para obtenção da polpa de atemoia

3.4 – Caracterização da polpa de atemoia

A polpa de atemoia integral foi caracterizada quanto aos parâmetros químicos, físicos e físico-químicos.

3.4.1 - Caracterização química e físico-química

3.4.1.1 – pH

O pH foi determinado pelo método potenciométrico, com o medidor de pH da marca Tecnal modelo TEC-2, previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0.

3.4.1.2 – Sólidos solúveis totais (°Brix)

Os sólidos solúveis totais, expressos em °Brix foram determinados pelo método refratométrico, com refratômetro do tipo Abbe, de acordo com as normas do manual do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005).

3.4.1.3 – Teor de água/Sólidos totais

O teor de água e os sólidos totais foram determinados por secagem sob pressão reduzida à temperatura de 70 °C, até peso constante, através do método descrito no manual do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005).

3.4.1.4 – Acidez total titulável

A acidez total titulável foi determinada através do método acidimétrico do manual do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005), em que as amostras foram tituladas com solução padronizada de NaOH 0,1 M; os resultados foram expressos em percentagem de ácido cítrico.

3.4.1.5 – Relação SST/ATT

A relação SST/ATT foi calculada através da razão entre os sólidos solúveis totais (SST) e a acidez total titulável (ATT) de acordo com o manual do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005).

3.4.1.6 – Açúcares redutores

Os açúcares redutores foram determinados utilizando-se a metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005), e os resultados expressos em percentagem de glicose.

3.4.1.7– Cinzas

As cinzas foram determinadas através da metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005) e expressas em percentagem (%).

3.4.1.8 – Ácido ascórbico

O ácido ascórbico foi determinado segundo o método da AOAC (1997), modificado por BENASSI & ANTUNES (1988). Nesta metodologia, o ácido oxálico é usado como solução extratora e a metodologia se baseia na titulação da amostra com o sal 2,6 diclorofenolindofenol sódio, que apresenta cor rosa em solução ácida e cor azul em solução alcalina. Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico/100 g da amostra.

3.4.1.9 – Proteína

O teor de proteína, expresso em percentagem (%), foi determinado através do método descrito no manual do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005).

3.4.2 – Caracterização física

3.4.2.1 – Cor

A cor foi determinada por leitura direta na amostra utilizando-se espectrofotômetro MiniScan HunterLab XE Plus, com sistema de cor Cielab. O instrumento, equipado com iluminante D65/10° foi calibrado com placa preta e placa branca padrão ($X = 80,5$, $Y = 85,3$, $Z = 90,0$), conforme instruções do fabricante. Os parâmetros determinados foram: L^* que representa a luminosidade, transição do branco (0) para o preto (100); a^* que representa a transição da cor verde ($-a^*$) para a cor vermelha ($+a^*$); e b^* a transição da cor azul ($-b^*$) para a cor amarela ($+b^*$).

3.4.2.2 – Atividade de água

A atividade de água da polpa de atemoia integral foi determinada por medida direta em medidor Aqualab, modelo 3TE, fabricado por Decagon Devices na temperatura de 25 °C.

3.4.2.3 – Massa específica

A massa específica da polpa de atemoia, em triplicata, foi determinada na temperatura de 25 °C, em picnômetro de inox. O método consiste na medida da massa de

um volume conhecido. A massa específica foi calculada como a relação entre a massa e o volume das amostras (Equação 20).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (20)$$

em que:

ρ - massa específica (kg/m³)

m - massa (kg)

V - volume (m³)

3.4.2.4 – Comportamento reológico

As medidas das viscosidades aparentes da polpa de atemoia foram realizadas na temperatura de 25 °C, a pressão atmosférica ambiente utilizando-se um viscosímetro Brookfield modelo RVT, fabricado por Brookfield Engineering Laboratories, E.U.A. Na determinação das medidas, em sextuplicata, utilizou-se o *spindle* número 4, nas velocidades de rotação de 0,5, 1,0, 2,5, 5, 10 e 20rpm. Para a realização dos experimentos a temperatura foi controlada utilizando-se um banho termostaticado.

Com os valores de torque e das viscosidades aparentes obtidos no viscosímetro, foram calculadas, de acordo com a metodologia de MITSCHKA (1982), as tensões de cisalhamento e as taxas de deformação.

Os modelos de Ostwald-de-Waele ou Lei da potência (Equação 21), Mizrahi–Berk (Equação 22), Herschel–Bulkley (Equação 23) e Casson (Equação 24) foram ajustados às curvas da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para descrever o comportamento reológico da polpa de atemoia utilizando-se o programa computacional Statistica versão 5.0.

Ostwald-de-Waele ou Lei da potência

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad (21)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

$\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s⁻¹)

K - índice de consistência (Pa sⁿ)

n - índice de comportamento do fluido (adimensional)

Mizrahi–Berk

$$\tau^{0,5} = K_{OM} + K_M \dot{\gamma}^{n_M} \quad (22)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)^{0,5}

$\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s⁻¹)

K_{OM} - raiz quadrada da tensão inicial (Pa)

K_M - índice de consistência (Pa sⁿ)

n_M - índice de comportamento do fluido (adimensional)

Herschel–Bulkley

$$\tau = \tau_{OH} + \kappa_H \dot{\gamma}^{n_H} \quad (23)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

$\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s⁻¹)

τ_{OH} - tensão de cisalhamento inicial (Pa)

κ_H - índice de consistência (Pa sⁿ)

n_H - índice de comportamento do fluido (adimensional)

Casson

$$\tau^{0,5} = K_{0C} + K_C \dot{\gamma}^{0,5} \quad (24)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)^{0,5}

$\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s⁻¹)^{0,5}

$K_{0C}^2 = \tau_{0C}$ - tensão de cisalhamento inicial (Pa)

K_C - viscosidade plástica de Casson (Pa.s)

Foram utilizados como critérios para a determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais, o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio percentual médio (P), calculado pela Equação 25.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|x_{\text{exp}} - x_{\text{teor}}|}{x_{\text{exp}}} \quad (25)$$

em que:

P - desvio percentual médio (%)

x_{exp} - valores obtidos experimentalmente

x_{toer} - valores preditos pelo modelo

n - número de dados experimentais

3.5 – Formulações

3.5.1 - Elaboração das formulações

Foram elaboradas nove formulações com a polpa de atemoia e a maltodextrina. Inicialmente diluiu-se a polpa de atemoia integral em água destilada, com o objetivo de diminuir a viscosidade aparente e a concentração dos sólidos insolúveis em água, esta mistura foi elaborada na proporção de 1:1 (p/p), isto significa, 50% de polpa de atemoia mais 50% de água destilada. A seguir com esta mistura foram elaboradas as formulações adicionando-se diferentes concentrações de maltodextrina (25, 30 e 35%) com diferentes dextroses equivalentes (DE = 10, DE = 14 e DE = 20). Estas formulações foram homogeneizadas em liquidificador doméstico, denominando-as como se segue:

- Formulação 1 – polpa de atemoia + 25% de maltodextrina com DE = 10;
- Formulação 2 – polpa de atemoia + 30% de maltodextrina com DE = 10;
- Formulação 3 – polpa de atemoia + 35% de maltodextrina com DE = 10;
- Formulação 4 – polpa de atemoia + 25% de maltodextrina com DE = 14;
- Formulação 5 – polpa de atemoia + 30% de maltodextrina com DE = 14;
- Formulação 6 – polpa de atemoia + 35% de maltodextrina com DE = 14;
- Formulação 7 – polpa de atemoia + 25% de maltodextrina com DE = 20;
- Formulação 8 – polpa de atemoia + 30% de maltodextrina com DE = 20;
- Formulação 9 – polpa de atemoia + 35% de maltodextrina com DE = 20.

3.5.2 – Caracterização das formulações

Todas as formulações foram avaliadas quanto aos principais parâmetros que influenciam no processo de secagem por aspersão: sólidos solúveis totais (°Brix), determinado de acordo com o (item 3.4.1.2); massa específica, na temperatura de 25 °C e viscosidade aparente, também a 25 °C (item 3.4.2.4).

3.5.2.1 – Massa específica das formulações

As massas específicas das formulações foram determinadas em triplicata, utilizando-se o método picnométrico na temperatura de 25 °C; este método consiste na medida da massa de um volume conhecido do líquido em um picnômetro de vidro de 25 mL; a massa específica foi calculada como a relação entre a massa e o volume das amostras (Equação 20).

3.5.3 – Análise estatística

Para avaliação estatística dos dados experimentais, de sólidos solúveis totais (°Brix), massa específica e da viscosidade aparente, obtidos na caracterização das formulações, foi empregado o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 3, para os seguintes fatores: concentração de maltodextrina (25, 30 e 35%); dextrose equivalente (10, 14 e 20); e 3 repetições para os sólidos solúveis totais (°Brix) e a massa específica, e 6 repetições para a viscosidade aparente com a comparação entre médias pelo teste de Tukey. Foi utilizado o programa computacional ASSISTAT versão 7.5 Beta para realização desta estatística (SILVA & AZEVEDO, 2006).

3.6 – Seleção da formulação

Para a seleção da melhor formulação, dentre as nove a serem testadas (Formulações de nº 1 ao nº 9) descritas no item 3.5.1, contendo diferentes concentrações de maltodextrina com diferentes dextroses equivalentes, foram fixados inicialmente durante os testes preliminares do processo de secagem por aspersão os seguintes parâmetros:

- Vazão de alimentação da formulação = 0,5 L h⁻¹
- Pressão do ar = 30 kgf cm⁻²
- Temperatura do ar de secagem = 170°C
- Bico aspersor = 1,2 mm

Com o objetivo de se definir a melhor formulação dentre as testadas, os produtos em pó obtidos nessas secagens foram avaliados quanto aos seguintes parâmetros: teor de água, de acordo com a metodologia do item 3.4.1.3; ácido ascórbico (item 3.4.1.8); cor (item 3.4.2.1); atividade de água (item 3.4.2.2) e rendimento, calculado através da Equação 26.

$$R = \frac{M_f \times 100}{M_i} \quad (26)$$

em que:

R – rendimento (% m/m)

M_f - Massa do produto em pó (g);

M_i – Massa inicial da formulação (g).

Após a análise dos dados avaliados (teor de água, ácido ascórbico, cor, atividade de água e rendimento) nestas amostras em pó, foi definida qual a melhor formulação a ser utilizada nas próximas etapas.

A formulação selecionada foi caracterizada química, físico e físico-quimicamente de acordo com as metodologias descritas no item 3.4, avaliando-se os parâmetros de: pH, sólidos solúveis totais (°Brix), teor de água/sólidos totais, acidez total titulável, relação SST/ATT, açúcares redutores, cinzas, ácido ascórbico, proteína, cor e atividade de água.

3.6.1 – Análise estatística

Para a avaliação estatística dos dados experimentais (teor de água, ácido ascórbico, cor, atividade de água e rendimento) utilizados para definição da melhor formulação, foram empregados o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x3 x 3, com 3 concentrações de maltodextrina (25, 30 e 35%), 3 dextroses equivalentes (10, 14 e 20) e 3 repetições, com a comparação entre médias pelo teste de Tukey, além disso, os parâmetros da caracterização química, física e físico-química da polpa de atemoia integral e da formulação selecionada também foram avaliados estatisticamente através do delineamento inteiramente casualizado com a comparação entre médias pelo teste de Tukey. Para tal, foi utilizado o programa computacional ASSISTAT versão 7.5 Beta (SILVA & AZEVEDO, 2006).

3.7 – Planejamento experimental

Com a formulação (concentração de maltodextrina e dextrose equivalente) definida no item 3.6, elaborou-se um planejamento experimental em esquema fatorial (2^2), em que a temperatura do ar de secagem e a vazão de alimentação (entrada) foram definidas como sendo as variáveis nos dois níveis (-1 e +1) a ser estudadas no processo de secagem por



Material e Métodos

aspersão. Este planejamento foi elaborado com a finalidade de se definir as melhores condições de secagem por aspersão para a formulação predefinida.

As temperaturas do ar de secagem (entrada do secador) testadas para a referida formulação foram 160, 170 e 180 °C e as vazões de alimentação da amostra (entrada) de 0,3, 0,5 e 0,7 L h⁻¹. Na Tabela 6 encontram-se os valores reais e codificados para o planejamento fatorial, e na Tabela 7, apresenta-se a matriz de planejamento dos experimentos, com três pontos centrais.

Tabela 6 – Valores reais e os níveis dos fatores do planejamento experimental completo (2²)

| Variáveis | Níveis | | |
|---------------------------------------|--------|-----|-----|
| | -1 | 0 | +1 |
| Temperatura de entrada (°C) | 160 | 170 | 180 |
| Vazão de entrada (L h ⁻¹) | 0,3 | 0,5 | 0,7 |

Tabela 7 – Matriz do planejamento dos experimentos em sua forma real e codificada

| Ensaio | Temperatura de entrada (°C) | | Vazão de entrada (L h ⁻¹) | |
|--------|-----------------------------|------|---------------------------------------|------|
| | Codificada | Real | Codificada | Real |
| 1 | -1 | 160 | -1 | 0,3 |
| 2 | +1 | 180 | -1 | 0,3 |
| 3 | -1 | 160 | +1 | 0,7 |
| 4 | +1 | 180 | +1 | 0,7 |
| 5 | 0 | 170 | 0 | 0,5 |
| 6 | 0 | 170 | 0 | 0,5 |
| 7 | 0 | 170 | 0 | 0,5 |

Para a avaliação da qualidade dos modelos empíricos encontrados através da regressão aplicada aos dados experimentais, utilizou-se a metodologia de BARROS NETO et al. (1995), conforme Tabela 8.

Tabela 8 – Metodologia aplicada na apresentação estatística dos dados

| Fonte de Variação | Somaquadrática | Média da soma quadrática | Grau de liberdade | Teste F |
|-----------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|---------------------------|
| Devido a Regressão | SQ_R | MQ_R | L-1 | MQ_R / MQ_r |
| Resíduo | SQ_r | MQ_r | N-L | - |
| Falta de ajuste | SQ_{faj} | MQ_{faj} | M-L | - |
| Erro puro | SQ_{ep} | MQ_{ep} | N-M | - |
| Total | SQ_T | - | N-1 | - |
| Coeficiente de determinação | $R^2 = SQ_R / SQ_T$ | - | - | - |
| F Tabelado | - | - | - | $F_{confiança, L-1, N-L}$ |

em que:

SQ_R – soma quadrática devida à regressão (modelo ajustado);

SQ_r – soma quadrática residual (desvio);

SQ_{faj} – soma quadrática devida à falta de ajuste;

SQ_{ep} – soma quadrática devida ao erro puro;

SQ_T – soma quadrática em torno da média, ($SQ_T = SQ_R + SQ_r$);

MQ_R – média quadrática devida à regressão;

MQ_r – média quadrática residual;

MQ_{faj} – média quadrática devida à falta de ajuste;

MQ_{ep} – média quadrática devida ao erro puro;

L – número de termos do modelo completo;

M – número de níveis distintos;

N – número total de experimentos.

Foram construídas superfícies de resposta para os modelos que foram estatisticamente significativos, para as variáveis de saída (respostas) analisadas: teor de água (item 3.4.1.3); ácido ascórbico (item 3.4.1.8); cor (item 3.4.2.1); atividade de água (item 3.4.2.2) e rendimento (item 3.6).

3.8 – Caracterização do pó

A amostra em pó produzida (Figura 13) na melhor condição de secagem por aspersão (temperatura de secagem e vazão de alimentação da amostra), indicada a partir da análise dos resultados no item anterior (3.7) também foi caracterizada quanto aos seguintes parâmetros: pH (item 3.4.1.1); sólidos solúveis totais (item 3.4.1.2); teor de água/sólidos totais (item 3.4.1.3); acidez total titulável (item 3.4.1.4); relação SST/ATT (item 3.4.1.5); açúcares redutores (item 3.4.1.6); cinzas (item 3.4.1.7); ácido ascórbico (item 3.4.1.8); proteínas (item 3.4.1.9); cor (item 3.4.2.1) e atividade de água (item 3.4.2.2). Além destas análises a amostra em pó foi avaliada quanto à: densidade absoluta, densidade aparente, porosidade, solubilidade e morfologia.

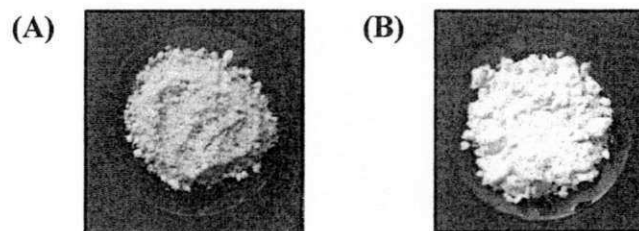


Figura 13 – Amostra em pó coletada na câmara de secagem (A) e no ciclone (B)

3.8.1 – Densidade absoluta

Foi determinada utilizando-se picnômetro de vidro de 25 ml a temperatura de 25 °C, usando-se hexano como líquido imiscível.

3.8.2 – Densidade aparente

A densidade aparente foi determinada a partir do método descrito por TONON (2009), em que 2 g do pó foram transferidos para uma proveta e compactados através do batimento da proveta 50 vezes sobre a bancada; a densidade foi calculada como a relação entre a massa e o volume das amostras (Equação 27).

$$\rho_{ap} = \frac{m}{V} \quad (27)$$

em que:

ρ_{ap} - densidade (g/cm^3)

m - massa (g)

V - volume (cm^3)

3.8.3 – Porosidade

A porosidade foi calculada pela Equação 28, a partir da relação entre a densidade aparente e a densidade absoluta.

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_{abs}} \quad (28)$$

em que:

ε - porosidade intragranular

ρ_{ap} - densidade aparente (g/cm^3)

ρ_{abs} - densidade absoluta (g/cm^3)

3.8.4 – Solubilidade

Determinou-se a solubilidade do pó através da metodologia descrita por GOULA & ADAMOPOULOS (2005), adicionando-se 2 g do material a 50 mL de água destilada a temperatura ambiente (25 °C). A mistura foi agitada em um béquer de 100 mL com um agitador magnético usando-se uma barra magnética e o tempo requerido para o material ser dissolvido completamente foi registrado.

3.8.5 – Morfologia

A morfologia das partículas foi realizada através da microscopia eletrônica de varredura (MEV), no Laboratório de Caracterização de Materiais da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais (UAEMa/CCT/UFCG). As amostras foram fixadas em porta amostras metálicos (*stubs*), com uma fita adesiva de dupla face condutora convencional. Em seguida, foram metalizadas com uma liga de ouro/paládio, em um metalizador Quik Coat SC-701, (Sanyu Electron, Tóquio, Japão). As amostras foram então observadas em um

microscópio eletrônico de varredura (Superscan SSX-550, Shimadzu) e a aquisição das imagens foi realizada pelo software LEO, versão 3.01.

3.9 – Isotermas de adsorção de água

Nas amostras em pó coletadas na câmara de secagem e ciclone, produzidas na melhor condição de secagem por aspersão indicada a partir da análise dos resultados no item 3.7, foram determinadas as isotermas de adsorção de água (teor de água de equilíbrio versus atividade de água), para isto utilizou-se o método especial indireto estático, segundo CAPRISTE & ROTSTEIN (1982), nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, com variação de ± 1 °C. A leitura da atividade de água da amostra foi feita em triplicata utilizando-se o equipamento Aqualab modelo 3TE da Decagon Devices. Quando a amostra adsorveu água até ficar estável foi levada a estufa a 70 °C até peso constante para determinação do teor de água de equilíbrio. O teor de água de equilíbrio, em base seca foi determinada pela relação entre a massa de água e a massa seca das amostras (Equação 29).

$$X_e = \frac{m_e - m_s}{m_s} 100 \quad (29)$$

em que:

X_e - teor de água de equilíbrio (% base seca)

m_e - massa da amostra no equilíbrio

m_s - massa seca da amostra

Os modelos de GAB (Equação 30), Oswin (Equação 31) e Peleg (Equação 32) foram ajustados às isotermas de adsorção de água das amostras em pó utilizando-se o programa Statistica versão 5.0, através de regressão não linear pelo método de estimativa Quase-Newton.

GAB

$$X_e = \frac{X_m C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)} \quad (30)$$

em que:

X_e - teor de água de equilíbrio

a_w - atividade de água

X_m - teor de água na monocamada molecular

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

Oswin

$$X_e = a \left(\frac{a_w}{(1 - a_w)} \right)^b \quad (31)$$

em que:

X_e - teor de água de equilíbrio

a_w - atividade de água

a e b - parâmetros de ajuste do modelo

Peleg

$$X_e = K_1 a_w^{n_1} + K_2 a_w^{n_2} \quad (32)$$

em que:

X_e - teor de água de equilíbrio

a_w - atividade de água

K_1, K_2, n_1 e n_2 - constantes do modelo

Os critérios usados para determinação do melhor modelo ajustado às isotermas de adsorção de água aos dados experimentais foram os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios percentuais médios (P) calculados conforme a Equação 33.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|(x_{\text{exp}} - x_{\text{teor}})|}{x_{\text{exp}}} \quad (33)$$

em que:

P - desvio percentual médio (%)

x_{exp} - valores obtidos experimentalmente

x_{teor} - valores preditos pelo modelo

n - número de dados experimentais

3.10 - Cinética de degradação do teor de ácido ascórbico da amostra em pó

Na amostra em pó produzida na melhor condição de secagem por aspersão, indicada a partir da análise dos resultados no item 3.7, foram determinadas também às cinéticas de degradação do teor de ácido ascórbico.

Para a determinação destas cinéticas, a amostra em pó coletada na câmara de secagem foi colocada em placa de Petri e armazenada em potes herméticos contendo solução saturada de brometo de sódio (NaBr) de forma a criarem ambientes com teor de água relativamédia de 55%. Os potes foram colocados em câmaras B.O.D. nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C.

As cinéticas da degradação do ácido ascórbico foram determinadas diariamente, durante 15 dias. O ácido ascórbico foi determinado de acordo com o método da AOAC (1997), modificado por BENASSI & ANTUNES (1988). As constantes cinéticas de ordem zero e de primeira ordem foram calculadas utilizando-se os modelos cinéticos apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Modelos cinéticos

| Ordem da reação | Modelo |
|-----------------|--------------------------------|
| Zero | $A = A_0 - k\theta$ |
| Primeira | $\ln \frac{A}{A_0} = -k\theta$ |

Em que: A – concentração do parâmetro avaliado após um tempo “ θ ”; A_0 - concentração inicial do parâmetro avaliado; k – constante da velocidade da reação e θ – tempo.

Para avaliar o modelo que produziu o melhor ajuste, foi utilizado como parâmetro o coeficiente de determinação (R^2).

O tempo de meia vida ($\theta_{(1/2)}$) para reação de primeira ordem foi calculado através da Equação 34 (AZEREDO et al., 2004); o valor de k utilizado foi o do modelo cinético que melhor se ajustou aos dados experimentais das cinéticas de degradação do ácido ascórbico.

$$\theta_{(1/2)} = \frac{0,693}{k} \quad (34)$$

em que:

k – constante da reação

3.10.1 – Efeito da temperatura

Foi utilizada a equação de Arrhenius (Equação 35) para verificar o efeito da temperatura na constante cinética (k), para as reações de degradação do ácido ascórbico, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e teor de água relativa de 55%. Novamente o valor de k utilizado foi o do modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais das cinéticas de degradação do ácido ascórbico.

$$k = Ae^{\left(\frac{-E_A}{RT}\right)} \quad (35)$$

em que:

k – constante da reação

A – fator pré-exponencial

E_A – energia de ativação (energia mínima requerida para que uma reação se inicie)

R – constante universal dos gases (8,31 J mol⁻¹ K⁻¹)

T – temperatura absoluta (K)

O fator Q_{10} que indica o aumento ou a diminuição na taxa de uma reação, quando o produto é estocado em uma temperatura 10 °C maior, foi determinado pela Equação 36.

$$Q_{10} = \frac{k_{(T+10)}}{k_T} \quad (36)$$

em que:

k – constante da reação;

T – temperatura absoluta (K).

3.10.2 – Análise estatística

Os dados da degradação do ácido ascórbico e do efeito da temperatura foram analisados através de regressão linear com auxílio do programa Statistica, versão 5.0.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Propriedades físicas da atemoia *in natura*

Na Tabela 10 encontram-se os valores médios e os desvios padrão das propriedades físicas da atemoia *in natura*.

Tabela 10 – Propriedades físicas da atemoia cv. "Gefner" *in natura*

| Parâmetro | Média e desvio padrão |
|---------------------------------------|-----------------------|
| Comprimento do fruto (cm) | 10,55±0,95 |
| Diâmetro do fruto (cm) | 9,01±0,64 |
| Espessura (cm) | 7,97±0,65 |
| Polpa (%) | 66,72 ± 4,52 |
| Casca (%) | 28,20 ± 4,55 |
| Semente (%) | 5,08 ± 1,16 |
| Massa média da fruta (g) | 427,04±86,30 |
| Área superficial (cm ²) | 1294,02±168,90 |
| Volume superficial (cm ³) | 4356,28±864,75 |

Verifica-se que os valores médios encontrados para o comprimento e o diâmetro do fruto foram próximos aos obtidos por MEDEIROS et al. (2009), para a mesma fruta que foram de 10,8 cm e 9,2 cm para o comprimento e o diâmetro, respectivamente. O percentual médio calculado da polpa da fruta foi próximo ao valor relatado por NEVES & YUARA (2003), para a atemoia cv. Gefner, que foi de 63,4 ± 4,6%, o valor do percentual de casca foi igual e o percentual de sementes foi próximo ao encontrado pelos mesmos autores, que obtiveram valores de 28,3 ± 3,9% e 6,7 ± 1,9%, respectivamente; já a massa média da fruta foi superior ao relatado por MARCELLI et al. (2003) que encontraram para a mesma variedade uma massa média de 321,47 g. Constata-se, ainda, que a área e o volume superficiais da atemoia cv. "Gefner" foram de 1294,02±168,90 cm² e 4356,28±864,75 cm³, respectivamente. O tamanho e a massa são características físicas inerentes às espécies ou cultivares, mas são utilizados como atributos de qualidade para a seleção e classificação, contudo, é necessário observar que os materiais biológicos não têm a uniformidade dos

produtos confeccionados e moldados pela indústria (CHITARRA & CHITARRA, 2005; MATA et al., 2002).

4.2 – Caracterização da polpa de atemoia integral e da formulação selecionada

Nas Tabelas A.1 a A.14 (Apêndice A) são apresentadas as análises de variância dos valores médios da caracterização química, físico-química e física da polpa integral da atemoia e da Formulação 1 (50% de polpa de atemoia + 50% de água destililada + 25% de maltodextrina - DE-10). Verifica-se efeito significativo dos tratamentos, a 1% de probabilidade pelo teste F, sobre todos os parâmetros avaliados.

Na Tabela 11 são apresentados os valores médios e os desvios padrão da caracterização química, físico-química e física, determinada em base úmida, da polpa integral da atemoia e da Formulação 1. Comparando-se os parâmetros da caracterização química, física e físico-química obtidos para a polpa de atemoia e para a Formulação 1, observa-se que todos os valores foram diferentes estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Analisando-se a Tabela 11, nota-se que o valor do pH da polpa de atemoia foi inferior ao valor do pH da Formulação 1. Este parâmetro divergiu do observado por GOMES (2009) ao comparar a polpa de buriti integral com a polpa formulada (50% de polpa + 50% de água destilada e 15% de maltodextrina DE-10). O pH encontrado para a polpa de atemoia ($4,59 \pm 0,01$) foi um pouco superior ao valor encontrado por MARCELLINI et al. (2003) que foi de 4,53, também para a atemoia cv. Gefner. De acordo com a classificação apresentada por BARUFFALDI & OLIVEIRA (1998), a polpa de atemoia e a Formulação 1 são consideradas como um produto pouco ácido ($\text{pH} > 4,5$). Segundo os mesmos autores o valor do pH interfere de maneira significativa no desenvolvimento de micro-organismos; os produtos pouco ácidos são susceptíveis ao crescimento de cepas de *Clostridium botulinum* que podem produzir toxinas, requerendo um tratamento térmico de $115,5^\circ\text{C}$, ou maior, para obter um controle dos micro-organismos.



Tabela 11 - Caracterização química, física e físico-química da polpa integral da atemoia e da Formulação 1

| Parâmetro | Polpa de atemoia | Formulação 1 |
|---|------------------|-----------------|
| pH | 4,59±0,01 | 4,83±0,00 |
| Teor de água (% b.u.) | 71,19±0,22 a | 69,97±0,25 b |
| Sólidos totais (%) | 28,81±0,22 b | 30,03±0,25 a |
| Sólidos solúveis totais (°Brix) | 26,41±0,14 b | 30,47±0,14 a |
| Acidez total titulável (% ácido cítrico) | 0,36±0,01 a | 0,17±0,01 b |
| SST/ATT | 72,51±1,35 b | 174,46±5,85 a |
| Ácido ascórbico (mg100 g ⁻¹) | 1,04±0,06 a | 0,62±0,00 b |
| Cinzas (%) | 0,94±0,01 a | 0,41±0,01 b |
| Açúcares redutores (% glicose) | 15,59±0,07 a | 8,16±0,03 b |
| Proteína (%) | 1,36±0,02 a | 0,43±0,04 b |
| Massa específica (kg/m ³) (25 °C) | 1.108,26±1,65 b | 1.128,34±1,77 a |
| Atividade de água (25 °C) | 0,954±0,001 b | 0,969±0,001 a |
| Luminosidade (L*) | 42,29±0,16 b | 62,92±0,05 a |
| Intensidade de vermelho (+a*) | 6,44±0,16 a | 5,32±0,04 b |
| Intensidade de amarelo (+b*) | 13,87±0,28 b | 16,68±0,06 a |

O teor de água da polpa de atemoia foi 1,71% maior que o teor de água da Formulação 1. Este resultado mostra que mesmo com a adição de água destilada, o teor de água da Formulação 1 apresentou valor inferior ao da polpa integral, este comportamento provavelmente ocorreu devido a adição de 25% de maltodextrina, visto que, este agente carreador tem como propriedade aumentar a quantidade de sólidos da formulação o que por consequência reduz o teor de água. OLIVEIRA et al. (2006) obtiveram ao compararem o teor de água da polpa integral de pitanga com a polpa formulada (15% de maltodextrina + 30% de água destilada) resultado semelhante. Observa-se também que o teor de água da polpa de atemoia integral (71,19±0,22% b.u.) foi inferior ao encontrado por MARCELLINI et al. (2003) que foi de 75,55%, para atemoia. Estes autores também determinaram o teor de água da polpa de pinha e verificaram que os dois valores (polpa de atemoia e polpa de pinha) foram estatisticamente iguais, sendo o teor de água da polpa de pinha igual a 77,20%.

Como consequência da redução do teor de água, os sólidos totais aumentaram, apresentando a polpa de atemoiaintegral um valor de sólidos totais 4,23% inferior ao obtido para a Formulação 1. GALDINO (2011) obteve um aumento de 50% no valor dos sólidos totais da polpa integral de figo-da-índia em relação a formulação elaborada com polpa integral de figo-da-índia com adição de 25% de maltodextrina (DE-10). O valor obtido para os sólidos totais da polpa de atemoiaintegral ($28,81 \pm 0,22\%$) foi próximo ao relatado por GOUVEIA et al. (2007) para a polpa de pinha que foi de $29,108 \pm 0,467\%$.

Os sólidos solúveis totais ($^{\circ}$ Brix) da polpa de atemoiaintegral apresentaram um valor 15,37% menor em relação ao valor da Formulação 1. CARVALHO (2008) constatou para formulações elaboradas com 50% de leite de cabra e 50% de polpa de umbu-cajá, adicionadas de diferentes concentrações de maltodextrina (5, 10 e 15% - DE-10), que com o aumento da concentração de maltodextrina ocorreu o aumento dos teores dos sólidos solúveis totais ($^{\circ}$ Brix). O valor experimental dos sólidos solúveis totais obtidos para a polpa de atemoiaintegral ($26,41 \pm 0,14$ $^{\circ}$ Brix) foi superior ao relatado por MEDEIROS et al. (2009) que foi de 23,40 $^{\circ}$ Brix, para o mesmo tipo de material.

A acidez total titulável da polpa de atemoiaintegral foi 111,76% maior que o valor encontrado para a Formulação 1; a adição de água destilada na formulação reduziu a acidez, assim como a incorporação de maltodextrina. MELO (2007) verificou em formulações elaboradas com 80% de leite de cabra e 20% de polpa de umbu-cajá, que com a adição de diferentes concentrações de maltodextrina DE-10 (10 e 15%) ocorre uma diminuição no teor da acidez total titulável. Avaliando-se o valor experimental encontrado para a acidez total titulável da polpa de atemoiaintegral ($0,36 \pm 0,01\%$ ácido cítrico), constata-se ele foi superior ao encontrado por NEVES & YUHARA (2003) que foi de $0,25 \pm 0,01\%$ de ácido cítrico, para a mesma fruta. A atemoia pode ser considerada um fruto de baixa acidez, o que é comprovado quando compara-se o valor obtido com o de frutas ácidas como, por exemplo, o maracujá-amarelo, que contém 5,28% de ácido cítrico (FARIAS et al., 2007).

Para a relação SST/ATT observa-se que a Formulação 1 foi 140,60% maior que a polpa de atemoia. Segundo CASTRO (2005) a relação SST/ATT é utilizada para avaliar o índice de maturação dos frutos, quanto maior a razão, maior o estado de maturação do fruto. A polpa de atemoiaintegral apresentou um valor da relação SST/ATT superior ao obtido por MELO et al. (2002b) ao estudarem a cherimóia, cv. Fino de Jete, os valores obtidos por estes autores para os sólidos solúveis totais ($^{\circ}$ Brix), acidez total titulável e relação SST/ATT foram de 7,8 $^{\circ}$ Brix, 0,21% de ácido cítrico e 37,1, respectivamente.

Com a preparação da formulação, constatou-se que o teor de ácido ascórbico obtido para a Formulação 1 reduziu-se em 40,9%, quando comparado com o teor encontrado para a polpa de atemoia. Resultado este também verificado por OLIVEIRA et al. (2006) ao estudarem a secagem por aspersão da polpa de pitanga com 15% de maltodextrina + 30% de água destilada. A partir desta análise constatou-se também que o teor de ácido ascórbico da polpa de atemoiaintegral ($1,04 \pm 0,06 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$) foi bastante inferior ao relatado por MEDEIROS et al. (2009) de $15,84 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$. Fatores como variabilidade genética, condições climáticas, solo, localização geográfica, fertilização, tratos culturais, estação do ano, estágio de maturação, época de colheita afetam as características químicas dos frutos (HARRIS, 1975; NOGUEIRA et al., 2002; SEMENSATO & PEREIRA, 2000). Quando se compara este valor com os determinados por YAMASHITA et al. (2003), para a polpa de acerola, e por LIMA et al. (2002), para a polpa de goiaba cv. Paluma, que foram de $1.511 \pm 56 \text{ mg } 100^{-1} \text{ g}$ e $89,78 \text{ mg } 100^{-1}$, respectivamente, frutas consideradas excelentes fontes de vitamina C, nota-se que a polpa de atemoiaintegral avaliada contém pequena quantidade deste nutriente, além de que, no Brasil, a ingestão diária recomendada (IDR) de vitamina C para adultos é de 60 mg (BRASIL, 1998).

O conteúdo de cinzas da polpa de atemoiaintegral se apresentou 131,62% maior que o encontrado para a Formulação 1. PEREIRA (2008) verificou que o teor de cinzas da formulação composta por leite de cabra, polpa de umbu-cajá e maltodextrina nas concentrações 10 e 15% (0,52% e 0,54%, respectivamente), foi inferior aos valores obtidos para a polpa integral de umbu-cajá (0,60%) e do leite de cabra (0,79%). Além disso, o valor experimental das cinzas da polpa de atemoia ($0,94 \pm 0,01\%$) foi superior ao apresentado na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2011) para esta fruta que é de 0,7%.

Avaliando-se os resultados encontrados para os açúcares redutores, nota-se que a adição de água destilada e maltodextrina reduziram em 47,66% o valor deste parâmetro. GALDINO (2011) também constatou este comportamento, ao trabalhar com a polpa de figo-da-índia com adição de 25% de maltodextrina (DE-10), com uma redução de 14,97%. O valor obtido para os açúcares redutores da polpa de atemoiafoi inferior ao apresentado por GOUVEIA et al. (2007) para a polpa de pinha que foi de 20,365%. A polpa de atemoia é uma fonte de açúcar redutor, porém apresenta um valor baixo quando comparada com frutas com alto teor de açúcares redutores como a tâmara (*Phoenix dactylifera* L.), de 78,2% (AL FARSI & LEE, 2008).

A Formulação 1 apresentou valores de proteínas 68,38% menor em relação a polpa de atemoia integral. OLIVEIRA et al. (2006) observaram uma redução de 78,6% no teor de proteínas da formulação (15% de maltodextrina + 30% de água destilada) em relação a polpa integral de pitanga. Os teores de proteínas encontrados para a polpa de atemoia ($1,36 \pm 0,02\%$) foi aproximadamente o dobro do relatado por TEIXERA et al. (2006), para a polpa de graviola, que foi de 0,7%, porém quando comparada com frutos ricos em proteínas como o pequi (teor de proteínas entre 3,18-3,89%), apresenta uma diferença percentual de valor de 57,23-65,04% (VERA et al., 2007).

A massa específica da polpa de atemoia foi 1,81% menor do que a da Formulação 1. MELO et al. (2011) observaram estudando a massa específica da polpa de umbu-cajá em diferentes concentrações de maltodextrina (0; 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5 e 15%), para as temperaturas de 10, 20, 30; 40 e 50 °C que com o aumento da concentração de maltodextrina, para todas as temperaturas, houve aumento da massa específica. O valor experimental encontrado para a massa específica da polpa de atemoia ($1.108,26 \pm 1,65 \text{ kg/m}^3$) foi superior ao da massa específica da polpa de banana, na mesma temperatura, com teor de sólidos solúveis totais de 30 °Brix, encontrado por TSEN & KING (2002) que foi de $1.103,17 \text{ kg/m}^3$, e ao obtido por GUEDES et al. (2010), que foi de $1.070,5 \text{ kg/m}^3$, para a polpa de melancia na temperatura de 20°C, com concentração de 17 °Brix.

Observa-se que o valor encontrado para a atividade de água da Formulação 1 foi maior que o valor encontrado para a polpa de atemoia integral, sendo este aumento em termos percentuais igual a 1,57%, este comportamento era esperado devido a adição de 50% de água na polpa. Ao estudar a adição de diferentes concentrações de maltodextrina (25, 30 e 35%) GALDINO (2011) constatou uma tendência de aumento da atividade de água, porém este aumento não foi estatisticamente significativo. A polpa de atemoia apresentou um valor de atividade de água ($0,954 \pm 0,001$) inferior ao obtido por SILVA et al. (2009) para a mesma variedade que foi de 0,998, os mesmos autores obtiveram valor igual (0,954) para o fruto armazenado durante 12 dias sob refrigeração (temperatura de 15°C). Verifica-se que de acordo com AZEREDO (2004) a polpa de atemoia pode ser classificada como um alimento de alta atividade de água ($a_w > 0,85$), sendo assim um produto predisposto a deteriorações microbiológicas em geral.

A luminosidade da Formulação 1 foi 48,78% superior a polpa de atemoia, significando que a Formulação 1 era mais clara que a polpa de atemoia, este comportamento provavelmente ocorreu em razão da adição da maltodextrina que possui cor clara contribuindo para o clareamento da formulação. O valor obtido para a

luminosidade da polpa de atemoia (42,29) foi bastante inferior ao encontrado por SILVA et al. (2009) que foi de 85,3 para a mesmo fruto, também da variedade 'Gefner', oriundo do estado de Sergipe. Esta divergência de valores entre as polpas pode ocorrer devido às condições de plantio e da região na qual foi cultivado o fruto.

Avaliando-se os parâmetros de cor intensidade de vermelho (+a*) e intensidade de amarelo (+b*) verifica-se que houve uma redução de 17,39% no valor da intensidade de vermelho (+a*) e um aumento de 20,26% na intensidade de amarelo (+b*). Nota-se para a polpa de atemoia que houve uma predominância da intensidade de amarelo em relação à intensidade de vermelho. MELO et al. (2008a) e GALDINO (2011) também verificaram este mesmo comportamento para a polpa de melão e figo-da-índia, respectivamente.

Nas Tabelas A.15 a A.18 (Apêndice A) são apresentadas as análises de variância dos valores médios da caracterização química e física da polpa integral da atemoia antes e após o congelamento da polpa, observa-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F para todos parâmetros avaliados.

Conforme relatado no tópico Material e Métodos (item 3.3) a atemoia foi despolpada e congelada em nitrogênio líquido (-196 °C) e armazenada, por um período aproximado de 12 meses, em freezer (-22 °C) até a realização dos experimentos, neste momento a polpa foi descongelada para se iniciar os trabalhos. Na Tabela 12 encontram-se os valores do ácido ascórbico e dos parâmetros de cor (L*, a* e b*) da polpa integral de atemoia (antes do congelamento) e da polpa descongelada para a realização do experimento.

Constata-se que para todos os parâmetros avaliados houve diferença significativa entre os valores obtidos antes e após o congelamento. De acordo com FELLOWS (2006) as principais mudanças que ocorrem nos alimentos congelados durante a estocagem são degradação de pigmentos, perda de vitaminas e atividade enzimática residual. O valor de ácido ascórbico reduziu em 81,40%, após o congelamento. FELLOWS (2006) relatou que a perda de vitamina C em frutas é em média 18%, variando na faixa de 0 a 50%, armazenadas em temperatura de -18 °C, durante um período de estocagem de 12 meses. NEVES & LIMA (2009) ao avaliarem o teor de ácido ascórbico da polpa de acerola antes e após o congelamento a -18 °C, armazenada por um período de 180 dias, verificaram uma redução de 13,09%. SILVA et al. (2008b) encontraram para a polpa de cagaíta armazenada a -18 °C, por quatro meses, uma redução no teor de ácido ascórbico de 33,70%.

Tabela 12 - Caracterização química e física da polpa integral da atemoia antes e após o congelamento da polpa

| Parâmetro | Antes do congelamento | Após o congelamento |
|-------------------------------|-----------------------|---------------------|
| Ácido ascórbico (mg/100 g) | 5,59±0,10 a | 1,04±0,06 b |
| Luminosidade (L*) | 68,34±0,07 a | 42,29±0,16 b |
| Intensidade de vermelho (+a*) | 1,41±0,01 b | 6,44±0,16 a |
| Intensidade de amarelo (+b*) | 17,80±0,13 a | 13,87±0,28 b |

Analisando os parâmetros de cor nota-se uma redução no valor da luminosidade (L*) em 38,12%, um aumento da intensidade de vermelho em 356,74% e uma redução de 22,08% da intensidade de amarelo, o que indica um escurecimento da polpa. FARAONI et al. (2008) relataram uma redução de 2,83% na luminosidade da polpa de manga “Ubá”, congelada a -18°C estocada durante de 180 dias. O escurecimento observado na polpa de atemoia ocorre devido à degradação dos pigmentos como também pela atividade enzimática residual, em razão da presença da atividade da polifenoloxidase (PPO), que é responsável pelo escurecimento enzimático de frutas. Este escurecimento ocorre principalmente após danos causados aos tecidos durante os processos de colheita, transporte, ou quando são expostos ao ar após terem sido cortados, fatiados ou esmagados, para posterior processamento, permitindo o contato entre a enzima e os substratos fenólicos que podem resultar na formação de compostos escuros (MDLULI, 2005). SANTOS (2009) estudou métodos de inativar a PPO da atemoia, relatando que a aplicação de ácido ascórbico na concentração de 0,83 mmol/L acarretou numa inibição de 75,20%.

4.2.1 – Comportamento reológico da polpa de atemoia

Na Tabela A.19 (Apêndice A) se encontram os dados experimentais das viscosidades aparentes (Pa s), tensão de cisalhamento (Pa) e taxa de deformação (s^{-1}) da polpa integral de atemoia na temperatura de 25 °C. Observa-se que com o aumento da velocidade de rotação a viscosidade aparente e a taxa de deformação diminuíram e a tensão de cisalhamento aumentou.

Na Figura 14 têm-se os dados experimentais da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa integral de atemoia na temperatura de 25 °C, em função da taxa de deformação.

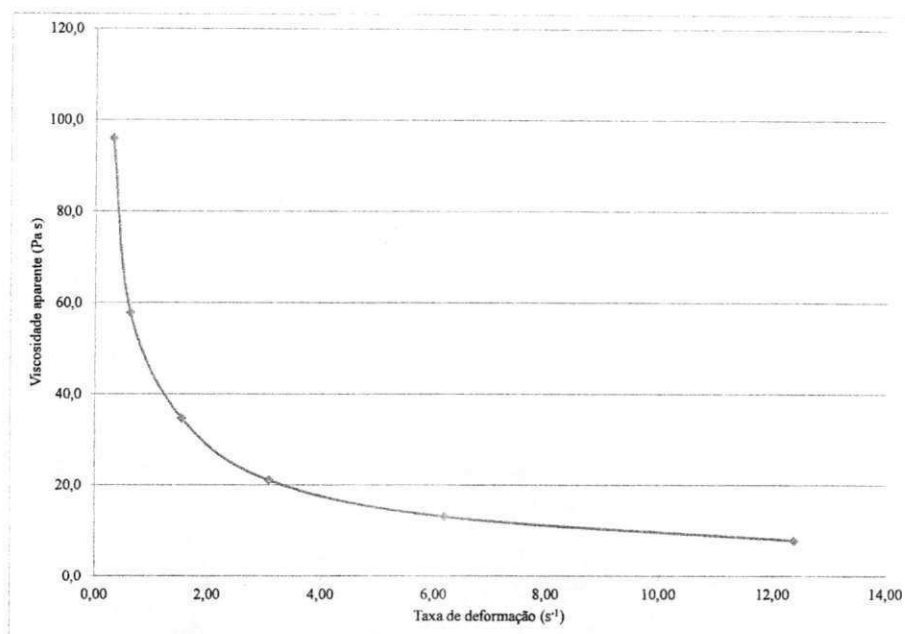


Figura 14 – Viscosidade aparente (Pa.s) da polpa integral de atemoia em função da taxa de deformação a 25 °C

Verifica-se que, com o aumento taxa de deformação, houve um decréscimo na viscosidade aparente, comportamento este semelhante ao obtido por RIGO et al. (2010) ao estudarem o comportamento reológico da polpa de butiá nas temperaturas de 10 a 60 °C. De acordo com estes autores, este comportamento é característico de fluidos pseudoplásticos, além disso, os mesmos relataram que quanto menor a viscosidade de um fluido, menor é a perda de carga durante o escoamento, diminuindo os custos de potência com o bombeamento e, conseqüentemente, os custos energéticos.

A Tabela 13 mostra os valores dos parâmetros reológicos dos modelos de Oswald-de-Waelle (Lei da Potência), Casson, Herschel-Bulkley e Mizrahi-Berk, para a polpa integral de atemoia na temperatura de 25 °C bem como os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios percentuais médios (P).

Nota-se que, para os modelos de Oswald-de-Waelle, Casson, Herschel-Bulkley e Mizrahi-Berk os coeficientes de determinação (R^2) foram superiores a 0,9 e os desvios percentuais médios (P) inferiores a 6%, podendo-se utilizar qualquer um dos modelos para representar o comportamento reológico da polpa integral de atemoia com boa precisão experimental, entretanto, dentre os modelos avaliados o que se ajustou melhor aos dados experimentais foi o de Mizrahi-Berk, em razão de ter apresentado o menor desvio percentual médio (P) e o R^2 ter sido superior a 0,99.

Tabela 13 - Parâmetros dos modelos reológicos, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) da polpa integral de atemoia

| Modelo | Parâmetro | | | R^2 | P (%) |
|--|-------------|---------|--------|--------|-------|
| | K | N | | | |
| Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) | 19,4806 | 0,3129 | | 0,9933 | 3,71 |
| Casson | K_{OC} | K_C | | R^2 | P (%) |
| | 3,3474 | 0,9682 | | 0,9411 | 5,03 |
| Herschel-Bulkley | τ_{OH} | K_H | n_H | R^2 | P (%) |
| | -16,8103 | 36,5374 | 0,1901 | 0,9977 | 2,23 |
| Mizrahi-Berk | K_{OM} | K_M | n_M | R^2 | P (%) |
| | -13,5370 | 17,9672 | 0,0433 | 0,9968 | 1,04 |

GUEDES et al. (2010) verificaram que o modelo de Ostwald-de-Walle (Lei da potência) pode representar o comportamento reológico da polpa de melancia em diferentes temperaturas (10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C) e concentrações (8, 17, 26 e 35 °Brix), todas com $R^2 > 0,97$. HAMINIUK et al. (2006) obtiveram estudando o comportamento reológico da polpa integral de amora preta, para as temperaturas de 10 a 60°C, para o modelo de Herschel-Bulkley coeficientes de determinação (R^2) iguais a 0,99. VIDAL et al. (2000) encontraram para o modelo de Mizrahi-Berk $R^2 = 0,99$, ao trabalharem com polpa de manga integral nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C.

De acordo com LEWIS (1990) para valores de $n < 1$, a viscosidade aparente decresce com o aumento do gradiente de velocidade, caracterizando o fluido como pseudoplástico, para $n > 1$, é caracterizado como fluido dilatante e para $n = 1$ o fluido é classificado como newtoniano. Segundo HAMINIUK et al. (2006) polpas de frutas geralmente apresentam comportamento de fluido não newtoniano, com características pseudoplásticas. Observando-se os valores encontrados para o índice de comportamento do fluido (n , n_H e n_M), o qual é uma grandeza adimensional, verifica-se que foram todos inferiores a 1, sendo assim a polpa integral de atemoia foi classificada como um fluido não-newtoniano de caráter pseudoplástico. Este comportamento se assemelha ao encontrado por BEZERRA et al. (2009) para a polpa integral de morango nas temperaturas de 10 a 60°C, por OLIVEIRA et al. (2009) para a polpa de uva nas temperaturas de 20-

35°C e por BALISCHI et al. (2002) para a polpa integral de acerola na temperatura de 25°C.

Nas Figuras A.1 a A.3 (Apêndice A) tem-se os gráficos da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa integral de atemoia com ajuste pelos modelos de Casson, Ostwald-de-Waelle ou Lei da potência e Herschel-Bulkley.

Na Figura 15, observa-se o comportamento reológico da polpa integral de atemoia, onde se encontra o gráfico dos valores da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação ajustados pelo modelo de Mizrahi-Berk, o qual foi considerado o melhor modelo.

FERREIRA et al. (2008) também constataram que o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais da polpa integral de umbu-cajá foi o modelo de Mizrahi-Berk, com $R^2 > 0,98$ e $P < 3\%$. Verifica-se que a relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação não é constante, confirmando que se trata de um fluido não-newtoniano. Resultado este também encontrado por OLIVEIRA et al. (2011a) ao estudarem o comportamento reológico das polpas integrais de gabioba e goiaba, para as temperaturas de 20 a 35°C.

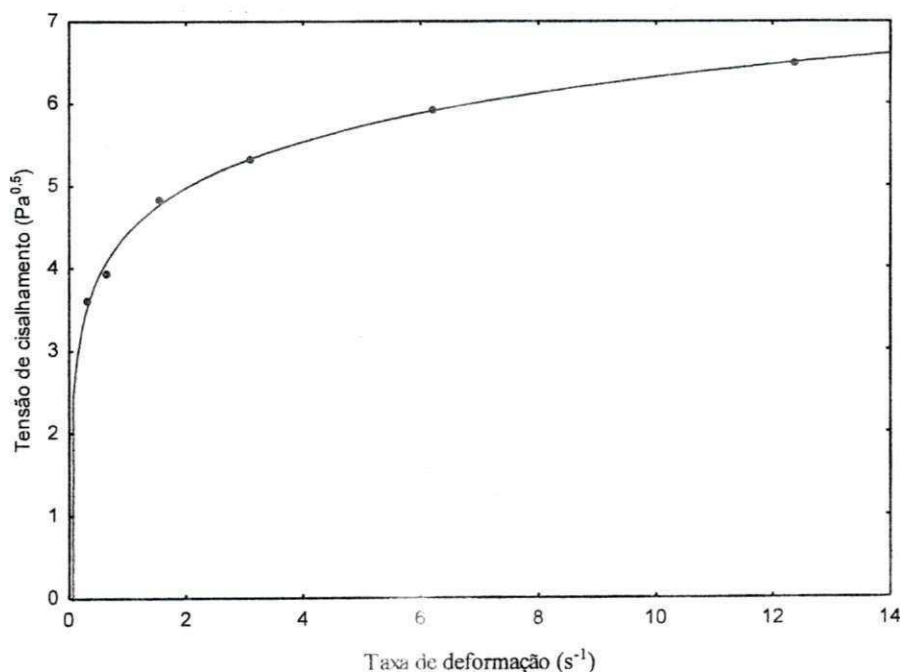


Figura 15 – Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa integral de atemoia com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk

4.3 – Propriedades físico-químicas e físicas das formulações

As nove formulações elaboradas foram avaliadas quanto às propriedades físico-químicas e físicas que influenciam no processo de secagem por aspersão, as propriedades determinadas foram: sólidos solúveis totais, massa específica e viscosidade aparente.

4.3.1 – Sólidos solúveis totais (°Brix)

Na Tabela B.1 (Apêndice B) é apresentada a análise de variância dos valores médios dos sólidos solúveis totais das nove formulações nas diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes. Verifica-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação dextrose equivalente e concentração de maltodextrina, porém a interação entre estes fatores não foi significativa.

Na Tabela 14 são apresentados os valores médios dos sólidos solúveis totais (°Brix) das formulações nas diferentes concentrações de maltodextrina (25, 30 e 35%) e dextroses equivalente (10, 14 e 20).

Tabela 14 – Valores médios dos sólidos solúveis totais (°Brix) das formulações nas diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalente

| Dextrose | Concentração de maltodextrina (%) | | |
|----------|-----------------------------------|----------|-----------|
| | 25 | 30 | 35 |
| 10 | 30,47 aC | 33,47 aB | 35,52 bA |
| 14 | 30,56 aC | 33,64 aB | 35,65 abA |
| 20 | 30,65 aC | 33,73 aB | 35,73 aA |

DMS colunas = 0,26; DMS para linhas = 0,26; CV = 0,38%; MG = 33,26 °Brix

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Verifica-se que com aumento da dextrose equivalente os valores experimentais dos sólidos solúveis totais apresentaram-se estatisticamente iguais, mas com uma pequena tendência de aumento para todas as amostras analisadas. Resultado este também encontrado por GOMES (2009) ao determinarem os sólidos solúveis totais de soluções elaboradas com 50% de polpa de

buriti e 50% de água, com diferentes concentrações de maltodextrina (5, 10 e 15%) e com diferentes dextroses equivalentes (DE-10, DE-14 e DE-20).

Constata-se também que com o aumento da concentração de maltodextrina para todas as amostras os valores do °Brix aumentaram, e foram todos estatisticamente diferentes de acordo com o teste de Tukey. Comportamento semelhante foi obtido por MELO et al. (2008b) ao estudarem a massa específica do leite de cabra com adição de diferentes concentrações de maltodextrina (0 e 2,5%). Em termos percentuais o aumento do °Brix das formulações com concentração de 35% em relação às de 25% foi de 16,57; 16,66 e 16,57%, para a DE-10, DE-14 e DE-20, respectivamente.

Observa-se ainda que o menor valor encontrado para os sólidos solúveis totais foi de 30,47 °Brix para a Formulação 1 (DE-10 e 25% de maltodextrina) e o maior valor encontrado foi de 35,73 °Brix para a Formulação 9 (DE-20 e 35% de maltodextrina). Segundo MASTERS (2002) formulações com altas concentrações de solutos a atomizar apresentam um produto final com teor de água menor, as partículas tem um tamanho maior e conseqüentemente um rendimento maior, e também a temperatura de saída é maior, resultados que ocorrem devido à quantidade de água neste material ser menor do que formulações com concentração de solutos menor.

4.3.2 – Massa específica

Na Tabela B.2 (Apêndice B) é apresentada a análise de variância dos valores médios da massa específica das nove formulações nas diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes. Verifica-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação dextrose equivalente, concentração de maltodextrina e para a interação entre estes fatores.

Na Tabela 15 são apresentados os valores médios da massa específica (kgm^{-3}) das formulações nas diferentes concentrações de maltodextrina (25, 30 e 35%) e dextroses equivalentes (10, 14 e 20). Verifica-se que com o aumento da dextrose equivalente os valores médios da massa específica aumentaram, sendo que para as com concentrações de 25 e 35% todos os valores são estatisticamente diferentes de acordo com o teste Tukey. Para as amostras com 30% de maltodextrina nota-se que o valor na DE-10 foi igual estatisticamente ao da DE-14, e o da DE-14 foi semelhante ao da DE-20. GOMES (2009) ao determinarem a massa específica de formulações elaboradas com 50% de polpa de buriti e 50% de água, com diferentes concentrações de maltodextrina (5, 10 e 15%) e com

Resultados e Discussão

diferentes dextroses equivalentes (DE-10, DE-14 e DE-20) encontrou os menores valores de massa específica para todas as emulsões elaboradas com 5% de maltodextrina e os maiores valores de massa específica para as emulsões elaboradas com 15% de maltodextrina.

Tabela 15 – Valores médios da massa específica (kg m^{-3}) das formulações nas diferentes concentrações de maltodextrina e dextrose equivalente

| Dextrose | Concentração de maltodextrina (%) | | |
|----------|-----------------------------------|-------------|------------|
| | 25 | 30 | 35 |
| 10 | 1128,34 cB | 1144,82 bA | 1146,25 cA |
| 14 | 1141,22 bC | 1145,57 abB | 1153,55 bA |
| 20 | 1143,35 aC | 1147,09 aB | 1161,12 aA |

DMS colunas = 1,9303; DMS para linhas = 1,9303; CV = 0,08% ; MG = $1145,70 \text{ kgm}^{-3}$

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Analisando-se o aumento da concentração de maltodextrina constata-se que houve uma tendência de aumento nos valores da massa específica. MELO et al. (2011) também encontraram este resultado ao determinarem as massas específicas da polpa de umbu-cajá com adição de diferentes concentrações de maltodextrina (0; 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5 e 15%) nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 °C. Além disso, este aumento era esperado devido ao resultado anteriormente obtido para os sólidos solúveis totais que também aumentam. CAVALCANTI MATA et al. (2005c) verificaram este comportamento ao estudarem a massa específica da polpa de cajá em diferentes teores de sólidos solúveis totais (9, 20, 40 e 60 °Brix) e também por TSEN & KING (2002) ao determinarem a massa específica do purê de banana em teores de sólidos solúveis totais de 10 a 80 °Brix. Para as amostras elaboradas com maltodextrina DE-14 e DE-20 os valores da massa específica são todos estatisticamente diferentes de acordo com o teste Tukey. Já para as amostras elaboradas com a maltodextrina DE-10, os valores das concentrações de 30 e 35% são estatisticamente iguais, e as mesmas são estatisticamente diferentes quando comparadas com o valor da massa específica para a amostra com 25% de maltodextrina.

4.3.3 – Viscosidade aparente

Na Tabela B.3 (Apêndice B) encontra-se a análise de variância dos valores médios das viscosidades aparentes das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina (DE-10) em função das velocidades de rotação. Verifica-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação concentração de maltodextrina e velocidade de rotação e para a sua interação, sobre os valores da viscosidade aparente.

Na Tabela 16 têm-se os valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina (DE-10) em função das velocidades de rotação.

Tabela 16 – Valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina (DE-10) em função das velocidades de rotação

| Concentração de maltodextrina (%) | Velocidade de rotação (rpm) | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|----------|----------|---------|---------|---------|
| | 0,5 | 1,0 | 2,5 | 5,0 | 10,0 | 20,0 |
| 25 | 10,67 cA | 8,00 cB | 4,87 cC | 3,68 cD | 2,36 cE | 1,52 cF |
| 30 | 14,50 bA | 13,67 bB | 7,63 bC | 5,02 bD | 2,83 bE | 2,08 bF |
| 35 | 30,83 aA | 25,33 aB | 12,23 aC | 8,68 aD | 4,89 aE | 3,10 aF |

DMS colunas = 0,43; DMS para linhas = 0,53; CV = 3,50% ; MG = 8,99 Pa.s

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Nota-se que para as concentrações de maltodextrina de 25, 30 e 35%, com o aumento da velocidade de rotação ocorreram reduções estatisticamente significativas das viscosidades aparentes; essas reduções em termos percentuais da velocidade de 0,5 rpm para a velocidade de rotação de 20 rpm foram de 85,75; 85,66 e 89,94%, para as concentrações de maltodextrina de 25, 30 e 35%, respectivamente. TORRES et al. (2003) também verificaram comportamento semelhante ao estudarem a viscosidade aparente da polpa de umbu-cajá na temperatura de 10 °C, em diferentes teores de sólidos solúveis totais (9, 13, 15, 18, 21 e 24 °Brix), e velocidades de rotações (0,5; 1,0; 2,5; 5,0; 10,0; 20,0; 50 e 100 rpm).

Resultados e Discussão

Analisando-se cada velocidade de rotação individualmente, constata-se que com o aumento da concentração de maltodextrina, a viscosidade aparente também aumentou, em todas as velocidades. Nota-se também que todos os valores obtidos foram estatisticamente diferentes de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Em termos percentuais os aumentos de viscosidade aparente da menor concentração (25%) para a maior concentração (35%) foram de 188,94; 216,63; 151,13; 135,87; 107,20 e 103,95% para as velocidades de rotação de 0,5; 1,0; 2,5; 5,0; 10,0 e 20,0 rpm, respectivamente. TORALLES et al. (2006) observaram para o purê homogeneizado de pêssego que com o aumento do teor de sólidos solúveis de 12 a 32 °Brix, em todas as temperaturas estudadas (10 a 65°C), a viscosidade aparente também aumentou.

Na Tabela B.4 (Apêndice B) encontra-se a análise de variância dos valores médios das viscosidades aparentes das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina (DE-14) em função das velocidades de rotação. Verifica-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação concentração e velocidade de rotação e para a sua interação sobre os valores da viscosidade aparente.

Na Tabela 17 têm-se os valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina (DE-14) em função das velocidades de rotação.

Tabela 17 – Valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina (DE-14) em função das velocidades de rotação

| Concentração de maltodextrina (%) | Velocidade de rotação (rpm) | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|
| | 0,5 | 1,0 | 2,5 | 5,0 | 10,0 | 20,0 |
| 25 | 6,67 cA | 6,17 cA | 4,63 bB | 3,02 bC | 1,87 bD | 1,18 bE |
| 30 | 20,83 bA | 13,17 bB | 8,17 aC | 5,38 aD | 3,68 aE | 2,25 aF |
| 35 | 25,17 aA | 16,83 aB | 8,43 aC | 5,48 aD | 3,75 aE | 2,44 aF |

DMS colunas = 0,43; DMS para linhas = 0,53; CV = 4,08%; MG = 7,73 Pa.s

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Observa-se que para as concentrações de maltodextrina de 25, 30 e 35%, com o aumento da velocidade de rotação houve uma tendência de redução nos valores da

Resultados e Discussão

viscosidade aparente; para as concentrações de 30 e 35% os valores encontrados foram todos estatisticamente diferentes, assim como para a concentração de 25%, entre as velocidades de rotação de 1,0; 2,5; 5,0; 10,0 e 20,0 rpm; já nas velocidades de rotação de 0,5 rpm e 1,0 rpm as viscosidade foram estatisticamente iguais de acordo como o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Em termos percentuais a redução da viscosidade aparente da velocidade de 0,5 rpm para a velocidade de rotação de 20 rpm foi de 82,31; 89,20 e 90,31%, para as concentrações de maltodextrina de 25, 30 e 35%, respectivamente. GRANGEIRO et al. (2007) também verificaram redução da viscosidade aparente com o aumento da velocidade de rotação, ao estudarem a polpa de figo-da-índia em diferentes concentrações 16, 19, 22, 25 e 28 °Brix, em temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C.

Analisando-se individualmente cada velocidade de rotação, observa-se que com o aumento da concentração de maltodextrina, as viscosidades aparentes aumentaram, em todas as velocidades. Nota-se que para as velocidades de rotação 0,5 e 1,0 rpm os valores médios obtidos foram estatisticamente diferentes de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade; já para as velocidades de rotação de 2,5; 5,0; 10,0 e 20,0 rpm os valores obtidos para as concentrações de maltodextrina de 30 e 35% foram estatisticamente iguais e estes valores diferem estatisticamente do encontrado para a concentração de 25% de maltodextrina. Em termos percentuais o aumento da viscosidade aparente da menor concentração (25%) para a maior concentração (35%) foi de 277,36; 172,77; 82,07; 81,46; 100,53 e 106,78% para as velocidades de rotação de 0,5; 1,0; 2,5; 5,0; 10,0 e 20,0 rpm, respectivamente. SILVA et al. (2005) constataram aumento da viscosidade aparente com o aumento da concentração de sólidos solúveis (4, 7, 10, 13 e 16°Brix), no intervalo de temperatura de 5 a 85°C, para o suco de acerola.

Na Tabela B.5 (Apêndice B) encontram-se a análise de variância dos valores médios das viscosidades aparentes das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina (DE-20) em função das velocidades de rotação. Verifica-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação concentração de maltodextrina e velocidade de rotação e para a sua interação sobre os valores da viscosidade aparente.

Na Tabela 18 tem-se os valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina (DE-20) em função das velocidades de rotação.

Tabela 18 – Valores médios das viscosidades aparentes (Pa.s) das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina (DE-20) em função das velocidades de rotação

| Concentração de maltodextrina (%) | Velocidade de rotação (rpm) | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 0,5 | 1,0 | 2,5 | 5,0 | 10,0 | 20,0 |
| 25 | 5,40 cA | 3,30 cB | 1,59 cC | 0,94 cD | 0,60 cE | 0,39 cE |
| 30 | 9,00 bA | 5,70 bB | 2,76 bC | 1,69 bD | 1,01 bE | 0,63 bF |
| 35 | 13,50 aA | 7,67 aB | 3,80 aC | 2,30 aD | 1,42 aE | 0,93 aF |

DMS colunas = 0,23; DMS para linhas = 0,28; CV = 4,76%; MG = 3,48 Pa.s

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Verifica-se que para as concentrações de maltodextrina de 25, 30 e 35%, que com o aumento da velocidade de rotação houve uma tendência de redução nos valores da viscosidade aparente; para as concentrações de 30 e 35% os valores encontrados foram todos estatisticamente diferentes, e também na concentração de 25% nas velocidades de rotação de 0,5; 1,0; 2,5; 5,0 e 10,0 rpm; já nestas concentrações, entre as velocidades de rotação de 10,0 rpm e 20,0 rpm os valores foram estatisticamente iguais de acordo como o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Em termos percentuais as reduções da velocidade de 0,5 rpm para a velocidade de rotação de 20 rpm foram de 92,78; 93,00 e 93,11%, para as concentrações de maltodextrina de 25, 30 e 35%, respectivamente. OLIVEIRA et al. (2005) determinaram a viscosidade aparente de *sherbet* de mangaba, elaboradas com diferentes concentrações de polpa de mangaba (21,1; 25,8e 28,6%) e estabilizante goma guar (0,2; 0,3; 0,4e 0,5%), além dos demais ingredientes, estes com valores fixos. Estes autores verificaram que com o aumento da concentração do estabilizante houve o aumento da viscosidade aparente.

Analisando cada velocidade de rotação individualmente, nota-se que com o aumento da concentração de maltodextrina, a viscosidade aparente também aumentou, em todas as velocidades. Observa-se também que todos os valores obtidos foram estatisticamente diferentes de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Em termos percentuais os aumentos de viscosidade aparente da menor concentração (25%) para a maior concentração (35%) foram de 150,00; 132,42; 138,99; 144,68; 136,67; e 138,46% para as velocidades de rotação de 0,5; 1,0; 2,5; 5,0; 10,0 e 20,0 rpm,

respectivamente. NASCIMENTO et al. (2008) ao estudarem as viscosidades aparentes da polpa de umbu-cajá integral e da polpa de umbu-cajá com adição de diferentes concentrações de maltodextrina (2,5; 5; 7,5%), também verificaram que o aumento da concentração de maltodextrina resultou no aumento da viscosidade aparente.

Nas Tabelas B.6 a B.14 (Apêndice B) se encontram os dados experimentais das viscosidades aparentes (Pa s), tensão de cisalhamento (Pa) e taxa de deformação (s^{-1}), na temperatura de 25 °C, das diferentes formulações elaboradas com a polpa integral de atemoia para as diferentes concentrações de maltodextrina (25, 30 e 35%) e dextroses equivalentes (DE-10, DE-14 e DE-20). Observa-se em todas as tabelas que com o aumento da velocidade de rotação as viscosidades aparentes diminuíram e as tensões de cisalhamento e taxas de deformação aumentaram.

Na Figura 16 tem-se os dados experimentais da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa integral de atemoia na temperatura de 25 °C, em função da taxa de deformação, para as diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes DE-10 (Figura 16A), DE-14 (Figura 16B) e DE-20 (Figura 16C).

Verifica-se que com o aumento da taxa de deformação, houve um decréscimo na viscosidade aparente, comportamento este semelhante ao verificado por OLIVEIRA et al. (2011a) ao estudarem o comportamento reológico da polpa de gabioba e goiaba nas temperaturas de 20, 25, 30 e 35 °C. Este comportamento é característico de fluidos pseudoplásticos. Além disso, constata-se que para todas as dextroses equivalentes estudadas com o aumento da concentração de maltodextrina houve um aumento na viscosidade aparente das formulações para uma taxa de deformação fixa. NASCIMENTO et al. (2008) também obtiveram os mesmos resultados ao estudarem o comportamento reológico de formulações elaboradas com polpa de umbu-cajá com adição de diferentes concentrações de maltodextrina (2,5; 5; 7,5%).

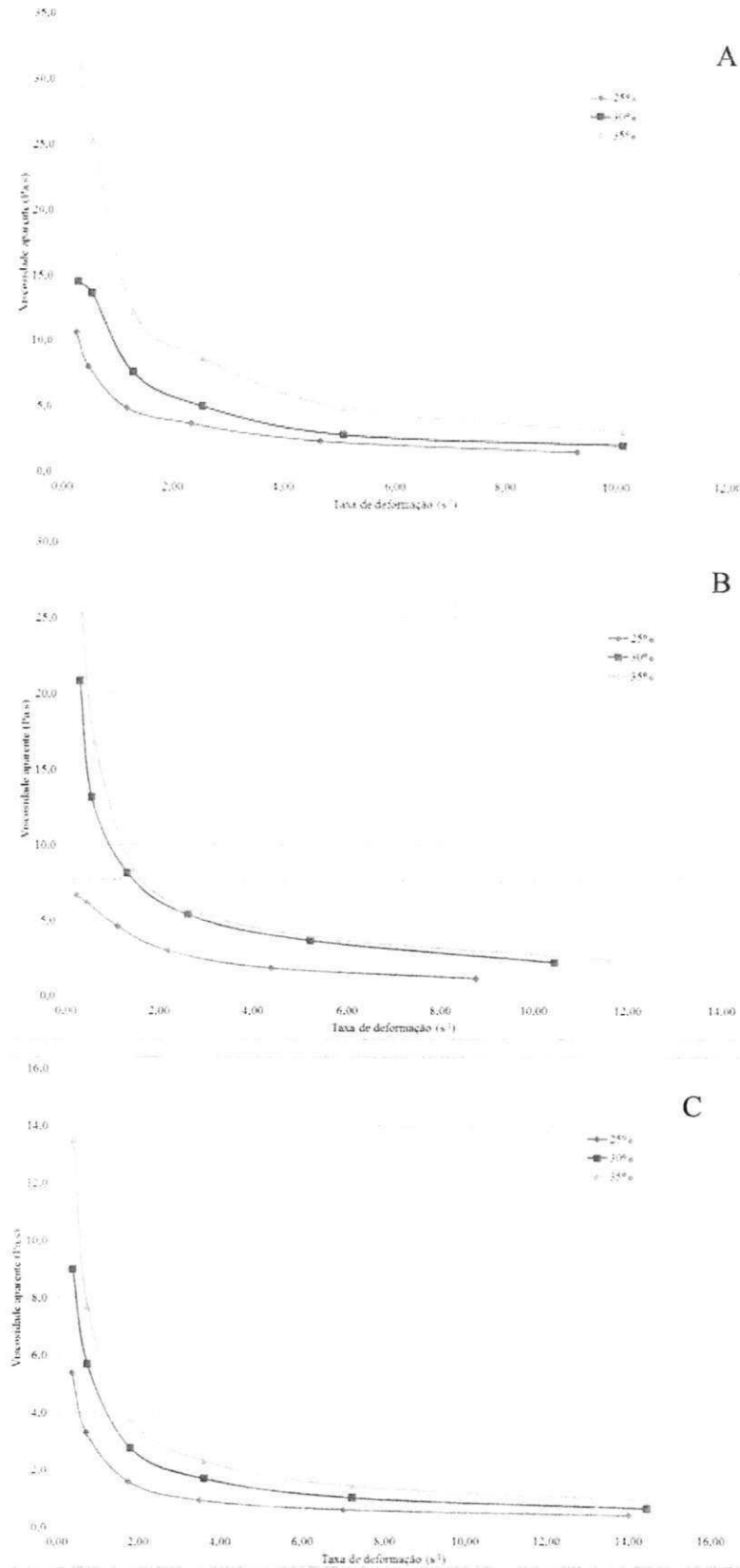


Figura 16 – Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação para as formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes DE-10 (A), DE-14 (B) e DE-20 (C)

Na Figura 17 tem-se os dados experimentais da viscosidade aparente (Pa.s) em função da taxa de deformação, na temperatura de 25 °C, das formulações elaboradas com a polpa integral de atemoiaie com diferentes concentrações de maltodextrina 25% (Figura 17A), 30% (Figura 17B) e 35% (Figura 17C), para as diferentes dextroses equivalentes.

Observa-se que, com o aumento taxa de deformação, houve um decréscimo na viscosidade aparente, comportamento este semelhante ao obtido por BEZERRA et al. (2009) ao estudarem o comportamento reológico da polpa de melancia nas temperaturas de 10 a 60 °C.

Além disso, para as formulações elaboradas com 25 e 35% de maltodextrina nota-se que com o aumento da dextrose equivalente houve um aumento na viscosidade aparente; já para as formulações elaboradas com 30% de maltodextrina, a que apresentou maiores viscosidades aparentes foi a formulação com DE-14, seguida da DE-10 e DE-20. GOMES (2009) ao estudar o comportamento reológico das formulações elaboradas com 50% de polpa de buriti e 50% de água com diferentes concentrações de maltodextrina (5, 10 e 15%) e com diferentes dextroses equivalentes (DE-10 e DE-20), verificou para todas as formulações estudadas que com o aumento das dextroses equivalentes houve o aumento das viscosidades aparentes.

Resultados e Discussão

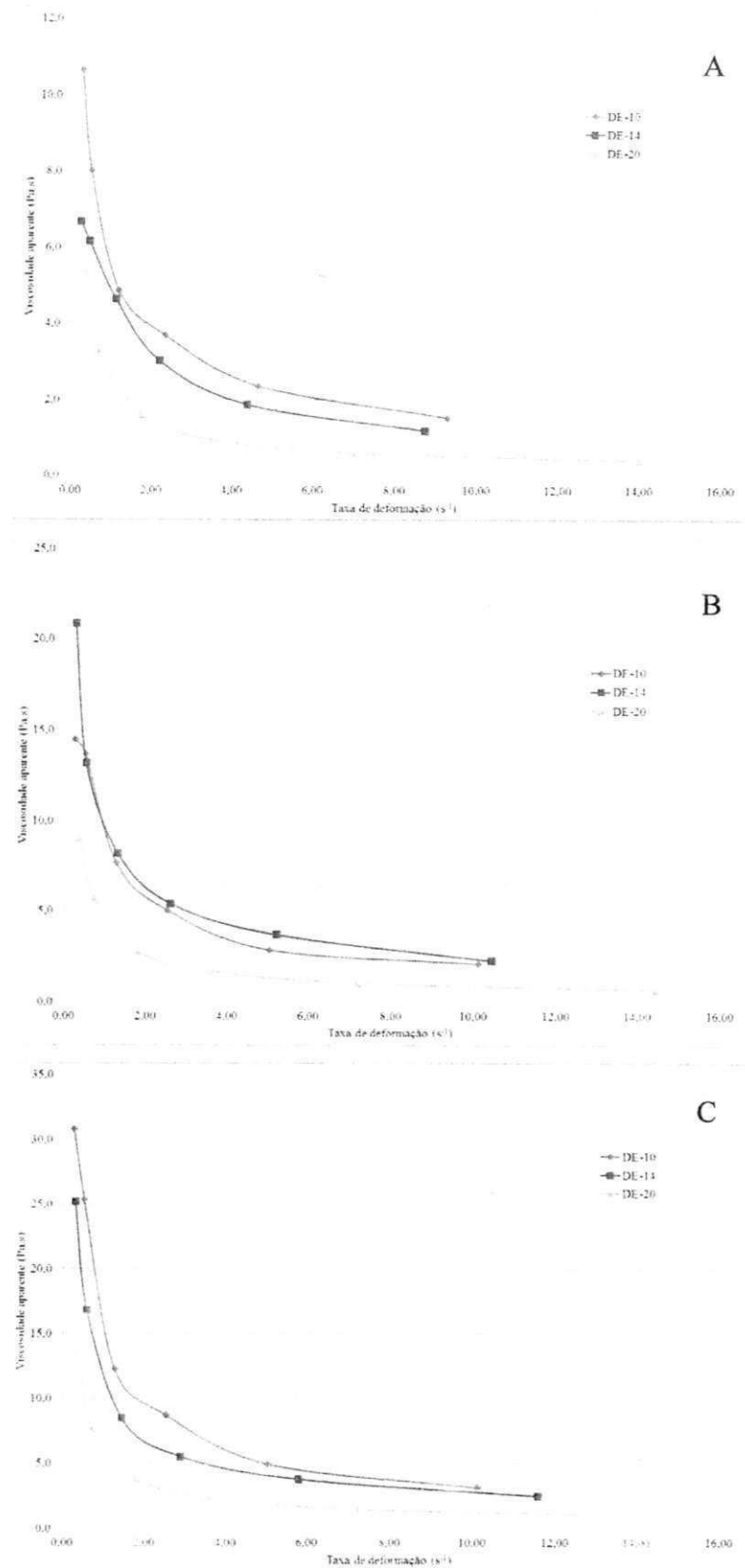


Figura 17 – Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação para as formulações elaboradas com diferentes dextroses equivalentes e concentrações de maltodextrina 25% (A), 30% (B) e 35% (C)

Na Tabela 19 tem-se os valores dos parâmetros reológicos dos modelos de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência), Herschel-Bulkley, Casson e Mizrahi-Berk, para as formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina (DE-10), na temperatura de 25 °C, bem como os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios percentuais médios (P).

Observa-se que, para os modelos de Herschel-Bulkley e Mizrahi-Berk os coeficientes de determinação (R^2) foram superiores a 0,97 e os desvios percentuais médios (P) inferiores a 9%, podendo-se utilizar qualquer um dos modelos para representar o comportamento reológico de todas as formulações com boa precisão experimental. O modelo de Casson não apresentou um bom ajuste quando comparado aos demais modelos estudados ($P < 8\%$ e $R^2 < 0,96$). Dentre os modelos avaliados, o que de forma geral melhor se ajustou aos dados experimentais foi o de Mizrahi-Berk, em razão de ter apresentado $P < 3,5\%$ e $R^2 > 0,97$.

HAMINUIK et al. (2006) ao estudarem o comportamento reológico da polpa integral de amora-preta (*Rubus spp*) na faixa de temperatura de 10 a 60 °C., observaram que o modelo de Herschel-Bulkley foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais. BRANCO & GASPARETTO (2003) ao estudarem o comportamento reológico de mistura ternária de polpa de manga e sucos de laranja e cenoura, na temperatura de 60°C, encontraram para o modelo de Casson, coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,96. PELEGRINE et al. (2000) encontraram para o modelo de Mizrahi-Berk $R^2 > 0,99$ ao trabalharem com polpa de manga cv. Keitt integral e centrifugada na temperatura de 30 °C.

O modelo de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) apresentou desvios percentuais médios (P) inferiores a 11% e coeficientes de determinação superiores a 0,97. TORALLES et al. (2006) ao estudarem o comportamento reológico do purê homogeneizado de pêssego em diferentes teores de sólidos solúveis de 12 a 32 °Brix, nas temperaturas de 10 a 65°C, verificaram que o modelo de Ostwald-de-Waelle foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais. Além disso, nota-se que os valores obtidos para n foram todos inferiores a 1, o que caracteriza todas as formulações estudadas como fluidos pseudoplásticos. Comportamento semelhante foi observado por NASCIMENTO et al. (2008) ao estudarem as viscosidades aparentes da polpa de umbu-cajá integral e da polpa de umbu-cajá com adição de diferentes concentrações de maltodextrina (2,5; 5 e 7,5%).

Tabela 19 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos reológicos das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina (DE-10)

| Modelos | Concentração (%) | Parâmetros | | | R^2 | P (%) |
|------------------------------------|------------------|-------------|----------|--------|--------|-------|
| | | K | n | | | |
| Ostwald-de-Waele (Lei da Potência) | 25 | 3,2850 | 0,4362 | | 0,9914 | 6,33 |
| | 30 | 4,5583 | 0,3957 | | 0,9754 | 10,51 |
| | 35 | 8,1843 | 0,3276 | | 0,9790 | 7,30 |
| | Concentração (%) | τ_{OH} | K_H | n_H | R^2 | P (%) |
| Herschel-Bulkley | 25 | -2,2338 | 5,6053 | 0,2926 | 0,9973 | 2,74 |
| | 30 | -1,8339 | 6,4615 | 0,3048 | 0,9772 | 8,60 |
| | 35 | -10,7132 | 19,1282 | 0,1615 | 0,9863 | 5,54 |
| | Concentração (%) | K_{OC} | K_c | | R^2 | P (%) |
| Casson | 25 | 1,0771 | 0,6507 | | 0,9513 | 6,06 |
| | 30 | 1,3968 | 0,6589 | | 0,9246 | 7,63 |
| | 35 | 2,0481 | 0,7154 | | 0,9154 | 5,96 |
| | Concentração (%) | K_{OM} | K_M | n_M | R^2 | P (%) |
| Mizrahi-Berk | 25 | -3,5487 | 5,3747 | 0,0834 | 0,9975 | 1,05 |
| | 30 | -230,419 | 232,593 | 0,0021 | 0,9775 | 3,05 |
| | 35 | -1593,60 | 1596,490 | 0,0003 | 0,9838 | 2,83 |

Verifica-se também, ainda analisando-se a Tabela 19 que o índice de consistência (K), para o modelo de Ostwald-de-Waele, aumentou com o aumento da concentração de maltodextrina; este comportamento foi semelhante para os valores de K_H , no modelo de Herschel-Bulkley; e dos valores de K_{oc} e K_c , no modelo de Casson. PEREIRA et al. (2003) obtiveram os mesmos resultados ao estudarem o

comportamento reológico da polpa de açaí com diferentes concentrações de sólidos totais (15,2; 12,5 e 9,7%), na temperatura de 30°C.

Nas Figuras B.1 a B.3 (Apêndice B) tem-se os gráficos da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação das formulações elaboradas com polpa integral de atemoiaie diferentes concentrações de maltodextrina (DE-10) com ajuste pelos modelos de Ostwald-de-Waelle ou Lei da potência, Herschel–Bulkley e Casson.

Na Figura 18, observa-se o comportamento reológico das formulações elaboradas com polpa integral de atemoiaie diferentes concentrações de maltodextrina (DE-10), representado pelo gráfico dos valores da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação ajustados pelo modelo de Mizrahi-Berk, o qual foi considerado o melhor modelo.

VIDAL & GASPARETTO (2000) ao estudarem o comportamento reológico da polpa de manga peneirada, na temperatura de 30 °C, verificaram ao ajustarem os modelos de Casson e Mizrahi-Berk que o segundo modelo aplicado apresentou melhores resultados com $R^2 > 0,99$.

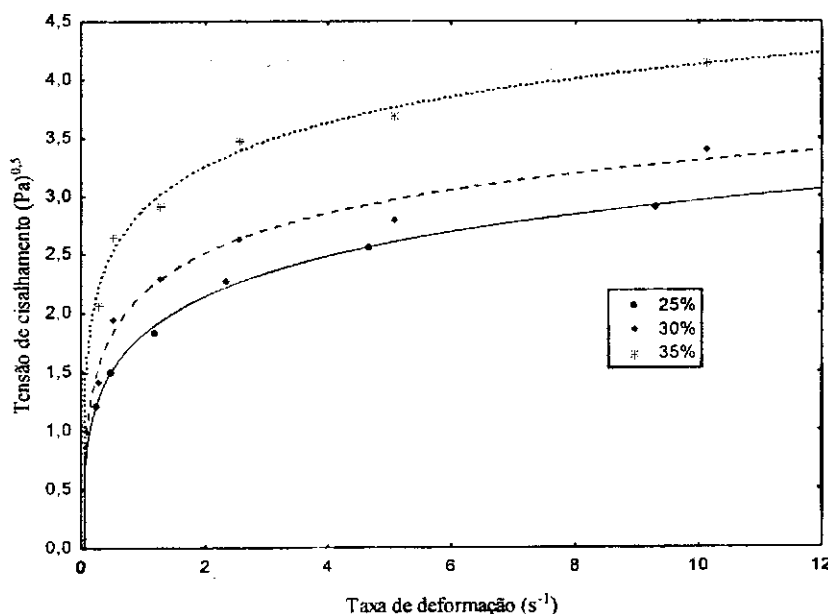


Figura 18 – Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação das formulações elaboradas com polpa integral de atemoiaie diferentes concentrações de maltodextrina (DE-10) com ajustes pelo modelo de Mizrahi-Berk

Resultados e Discussão

Na Tabela 20 tem-se os valores dos parâmetros reológicos dos modelos de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência), Herschel-Bulkley, Casson e Mizrahi-Berk, para as formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina (DE-14) na temperatura de 25 °C, bem como os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios percentuais médios (P).

Tabela 20 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos reológicos das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina (DE-14)

| Modelos | Concentração (%) | Parâmetros | | | R^2 | P (%) |
|--|------------------|-------------|----------|--------|--------|-------|
| | | K | n | | | |
| Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) | 25 | 2,7713 | 0,4149 | | 0,9696 | 16,38 |
| | 30 | 5,1010 | 0,3945 | | 0,9941 | 3,23 |
| | 35 | 5,3419 | 0,3781 | | 0,9951 | 3,77 |
| Herschel-Bulkley | Concentração (%) | τ_{OH} | K_H | n_H | R^2 | P (%) |
| | 25 | -12,7699 | 15,7572 | 0,0935 | 0,9983 | 2,59 |
| | 30 | -2,1186 | 7,2840 | 0,3033 | 0,9965 | 3,19 |
| | 35 | 1,5241 | 3,7777 | 0,4763 | 0,9976 | 2,59 |
| Casson | Concentração (%) | K_{OC} | Kc | | R^2 | P (%) |
| | 25 | 0,9534 | 0,6031 | | 0,8911 | 10,47 |
| | 30 | 1,4975 | 0,6850 | | 0,9596 | 5,16 |
| | 35 | 1,6528 | 0,6226 | | 0,9863 | 2,60 |
| Mizrahi-Berk | Concentração (%) | τ_{OH} | K_H | n_H | R^2 | P (%) |
| | 25 | -3609,91 | 3611,582 | 0,0001 | 0,9920 | 2,62 |
| | 30 | -1,4301 | 3,6920 | 0,1298 | 0,9968 | 1,30 |
| | 35 | 0,9773 | 1,3272 | 0,2932 | 0,9969 | 1,29 |

Verifica-se que, para os modelos de Herschel-Bulkley e Mizrahi-Berk os coeficientes de determinação (R^2) foram superiores a 0,99 e os desvios percentuais médios (P) inferiores a 3,5%, podendo-se utilizar qualquer um destes modelos para representar o comportamento reológico de todas as formulações com boa precisão experimental. O modelo de Casson não apresentou um bom ajuste quando comparado aos demais modelos estudados ($P < 11\%$ e $R^2 > 0,89$). Dentre os modelos avaliados o que de forma geral melhor se ajustou aos dados experimentais foi o de Mizrahi-Berk, em razão de ter apresentado $P < 3\%$ e o $R^2 > 0,99$.

SILVA et al. (2005) ao estudarem o comportamento reológico do suco de acerola com diferentes concentrações de sólidos solúveis totais (4, 7, 10, 13 e 16°Brix), no intervalo de temperatura de 5 a 85°C, verificaram que o modelo de Herschel-Bulkley foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais com $R^2 > 0,99$. VIDAL et al. (2004) encontraram $R^2 > 0,99$, para o modelo de Mizrahi-Berk, ao estudarem o comportamento reológico da polpa de manga cv. Keitt, num intervalo de temperatura de 10 a 60°C. RIGO et al. (2010) ao ajustarem modelo de Casson aos reogramas da polpa de butiá, nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C encontraram valores $\chi^2 > 1$.

O modelo de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) apresentou valores dos desvios percentuais médios (P) inferiores a 17% e coeficientes de determinação superiores a 0,96. SANTOS et al. (2010) obtiveram ao ajustarem o modelo reológico de Ostwald-de-Waelle aos dados experimentais dos polissacarídeos extraídos da polpa de gabioba valores de $R^2 > 0,99$ e $\chi^2 < 0,2$.

Observa-se que os valores obtidos para n foram todos inferiores a 1, o que caracteriza todas as formulações estudadas como fluidos pseudoplásticos. CABRAL et al. (2002) obtiveram resultado semelhante ao estudarem o comportamento da polpa de cupuaçu peneirada nas temperaturas de 10, 15, 20, 25 e 30°C.

Ainda analisando-se a Tabela 20, constata-se que o índice de consistência do fluido (K), para o modelo de Ostwald-de-Waelle, aumentou com o aumento da concentração de maltodextrina; este comportamento foi semelhante para os valores de τ_{OH} , no modelo de Herschel-Bulkley, entretanto os valores de K_H diminuíram com o aumento da concentração de maltodextrina; no modelo de Casson o parâmetro K_{oc} também aumentou com o aumento da concentração de maltodextrina; já para o modelo de Mizrahi-Berk, o parâmetro K_{OM} aumentou enquanto que o K_M reduziu. Todos esses comportamentos também foram

encontrados por GALDINO (2011) ao trabalhar com a polpa de figo-da-índia com adição de diferentes concentrações de maltodextrina DE-10 (25, 30 e 35%).

Nas Figuras B.4 a B.6 (Apêndice B) tem-se os gráficos da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação das formulações elaboradas com a polpa integral de atemoiaie diferentes concentrações de maltodextrina (DE-14) com ajustes pelos modelos de Ostwald-de-Waelle ou Lei da potência, Herschel–Bulkley e Casson.

Na Figura 19, nota-se o comportamento reológico das formulações elaboradas com a polpa integral de atemoiaie diferentes concentrações de maltodextrina (DE-14), onde se encontra o gráfico dos valores da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação ajustados pelo modelo de Mizrahi-Berk, o qual foi considerado o melhor. FERNANDES et al. (2008) encontraram resultado semelhante ao pesquisarem o comportamento reológico da polpa de umbu-cajá integral e da polpa de umbu-cajá com adição de diferentes concentrações de maltodextrina (2,5; 5; e 7,5%), nas temperaturas de 10, 20, 30 40 e 50 °C, estes pesquisadores obtiveram para o modelo de Mizrahi-Berk em todas as formulações estudadas valores de $R^2 > 0,91$ e $P < 3\%$.

Observa-se que as curvas das formulações com 30 e 35% de maltodextrina ficaram muito próximas, indicando que as viscosidades destas amostras foram semelhantes.

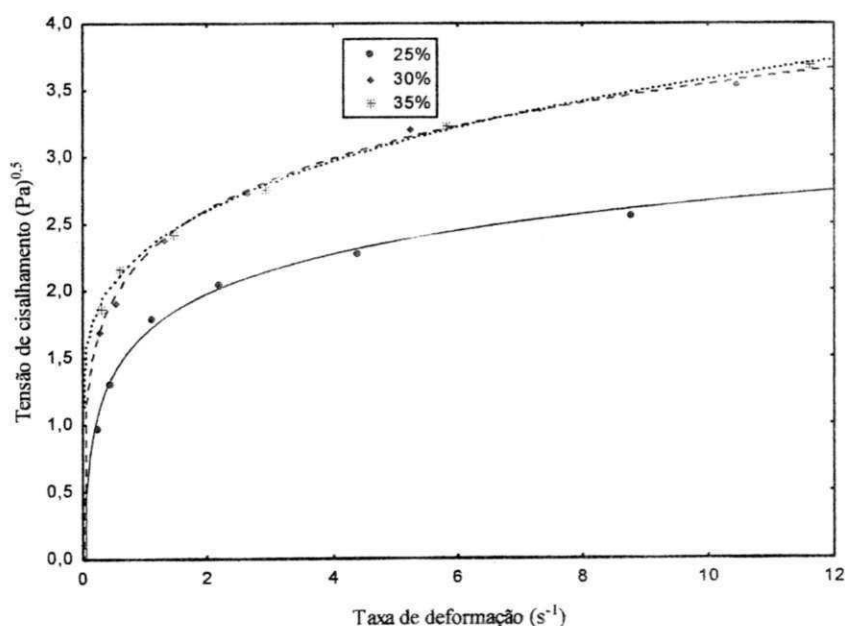


Figura 19 – Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação das formulações elaboradas com a polpa integral de atemoiaie diferentes concentrações de maltodextrina (DE-14) com ajustes pelo modelo de Mizrahi-Berk

Resultados e Discussão

Na Tabela 21 tem-se os valores dos parâmetros reológicos dos modelos de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência), Herschel-Bulkley, Casson e Mizrahi-Berk, para as formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina (DE-20) na temperatura de 25 °C, bem como os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios percentuais médios (P).

Tabela 21 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos reológicos das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina (DE-20)

| Modelos | Concentração (%) | Parâmetros | | | R^2 | P (%) |
|--|------------------|-------------|--------|--------|--------|-------|
| | | K | n | | | |
| Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) | 25 | 1,0224 | 0,2996 | | 0,9842 | 4,80 |
| | 30 | 1,7748 | 0,2770 | | 0,9968 | 1,72 |
| | 35 | 2,2923 | 0,2947 | | 0,9851 | 4,48 |
| Herschel-Bulkley | Concentração (%) | τ_{OH} | K_H | n_H | R^2 | P (%) |
| | 25 | 0,6004 | 0,4160 | 0,5383 | 0,9979 | 1,97 |
| | 30 | 0,4648 | 1,3050 | 0,3459 | 0,9980 | 1,67 |
| | 35 | 1,3714 | 0,9124 | 0,5361 | 0,9994 | 0,72 |
| Casson | Concentração (%) | K_{OC} | K_c | | R^2 | P (%) |
| | 25 | 0,8140 | 0,1936 | | 0,9935 | 1,40 |
| | 30 | 1,0877 | 0,2350 | | 0,9745 | 2,61 |
| | 35 | 1,2298 | 0,2813 | | 0,9963 | 0,99 |
| Mizrahi-Berk | Concentração (%) | K_{OM} | K_M | n_M | R^2 | P (%) |
| | 25 | 0,7026 | 0,3073 | 0,3719 | 0,9973 | 0,90 |
| | 30 | 0,4394 | 0,8922 | 0,1934 | 0,9974 | 0,79 |
| | 35 | 1,0817 | 0,4319 | 0,3814 | 0,9996 | 0,26 |

Constata-se que, para os modelos de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência), Herschel-Bulkley, Casson e Mizrahi-Berk os coeficientes de determinação (R^2) foram superiores a 0,97 e os desvios percentuais médios (P) inferiores a 5%, podendo-se utilizar qualquer um dos modelos para representar o comportamento reológico de todas as formulações com boa precisão experimental. Dentre os modelos avaliados o que de forma geral melhor se ajustou aos dados experimentais foi o de Mizrahi-Berk, em razão de ter apresentado desvio percentual médio $P < 1\%$ e o $R^2 > 0,99$.

OLIVEIRA et al. (2011a) verificou que dentre os modelos utilizados para descrever o comportamento reológico da polpa de gabioba o de Ostwald-de-Waelle foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais. BEZERRA et al. (2009) encontraram ao estudarem o comportamento reológico da polpa de morango na faixa de temperatura de 10 a 60°C, $\chi^2 < 3$ para o modelo de Casson. PEREIRA et al. (2003) ao estudarem o comportamento reológico da polpa de açaí com diferentes concentrações de sólidos totais (15,2; 12,5 e 9,7%), na temperatura de 30°C, obtiveram para o modelo de Herschel-Bulkley coeficientes de determinação (R^2) iguais a 0,98. GALDINO (2011) ao trabalhar com a polpa de figo-da-índia com adição de diferentes concentrações de maltodextrina (25, 30 e 35%) DE-10, verificou que o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais foi o modelo de Mizrahi-Berk, com $R^2 > 0,98$ e $P < 3,5\%$.

Nota-se também que os valores obtidos para n , no modelo de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência), são todos inferiores a 1 o que caracteriza todas as formulações estudadas como fluidos pseudoplásticos. Comportamento este, também observado por HAMILINUIK et al. (2006) ao estudarem o comportamento reológico da polpa integral de amora-preta (*Rubus spp*) na faixa de temperatura de 10 a 60 °C.

Verifica-se ainda, analisando-se a Tabela 21 que o índice de consistência do fluido (K), do modelo de Ostwald-de-Waelle aumentou com o aumento da concentração de maltodextrina. Comportamento semelhante foi verificado por FERNANDES et al. (2008) ao estudarem a polpa de umbu-cajá em diferentes concentrações de maltodextrina (2,5; 5 e 7,5%), na temperatura de 20 °C. Para o modelo da Casson constata-se que os valores da tensão de cisalhamento inicial (K_{oc}) e a viscosidade plástica (K_c) também aumentaram com o aumento da concentração de maltodextrina. PEREIRA et al. (2003) ao estudarem o comportamento reológico da polpa de açaí com diferentes concentrações de sólidos totais (15,2; 12,5 e 9,7%), na temperatura de 30°C, obtiveram resultado semelhante.

Nas Figuras B.7 a B.9 (Apêndice B) tem-se os gráficos da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação das formulações elaboradas com a polpa integral de

Resultados e Discussão

atemoiae diferentes concentrações de maltodextrina (DE-20) com ajuste pelos modelos de Ostwald-de-Waelle ou Lei da potência, Herschel–Bulkley e Casson.

Na Figura 20, nota-se o comportamento reológico da formulação elaborada com a polpa integral de atemoiae diferentes concentrações de maltodextrina (DE-20), onde se tem os valores da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação ajustados pelo modelo de Mizrahi-Berk, o qual foi considerado o melhor modelo. FERNANDES (2010) encontrou, ao estudar o comportamento reológico de formulações elaboradas com a polpa de cajá integral e três diferentes concentrações do emulsificante Emustab (1, 2 e 3%), e uma concentração fixa do aditivo Super Liga Neutra (2%), para o mesmo modelo $R^2 > 0,97$ e $P < 5\%$.

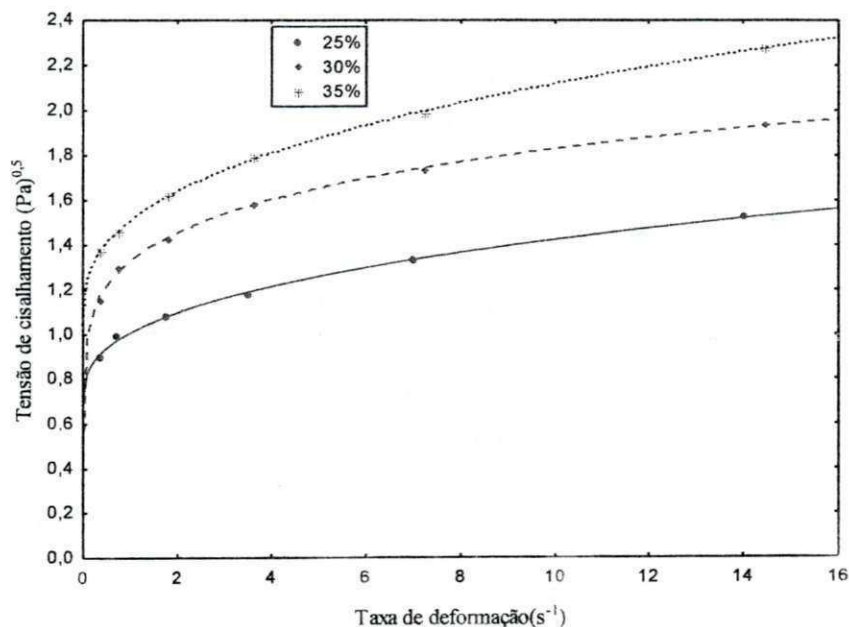


Figura 20 – Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação das formulações elaboradas com a polpa integral de atemoiae diferentes concentrações de maltodextrina (DE-20) com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk

4.4 – Seleção da formulação

Às nove formulações foram desidratadas pelo processo de secagem por aspersão fixando-se: a vazão de alimentação da formulação (0,5 L h⁻¹), vazão do ar comprimido (30 L min⁻¹), temperatura do ar de secagem (170 °C) e bico aspersor (1,2 mm), em seguida as

amostras em pó coletadas na câmara de secagem e no ciclone do secador foram avaliadas quanto aos parâmetros de rendimento, teor de água, atividade de água, cor (L^* , a^* e b^*) e ácido ascórbico.

4.4.1 – Rendimento

Na Tabela C.1 (Apêndice C) encontra-se a análise de variância dos valores médios do rendimento do pó coletado na câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes. Verifica-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para a fonte de variação concentração de maltodextrina, efeito não significativo para a dextrose equivalente e para a interação dos dois fatores sobre os valores do rendimento.

Na Tabela 22 tem-se os valores médios do rendimento (%) do pó coletado na câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes.

Tabela 22 – Valores médios do rendimento (%) do pó coletado na câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes

| Concentração de maltodextrina (%) | Dextrose equivalente | | |
|-----------------------------------|----------------------|---------------|---------------|
| | 10 | 14 | 20 |
| 25 | 16,37±0,02 bA | 15,98±0,25 bA | 15,73±0,06 bA |
| 30 | 18,08±0,53 bA | 17,87±0,04 aA | 17,74±0,32 aA |
| 35 | 20,01±0,84 aA | 19,64±0,64 aA | 19,58±1,57 aA |

DMS colunas = 1,8789; DMS para linhas = 1,8789; CV = 3,76% ; MG = 17,89%

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Analisando-se individualmente cada concentração de maltodextrina, nota-se que o aumento da dextrose equivalente não influenciou no rendimento do produto final. Porém quando se avalia o aumento da concentração de maltodextrina para cada dextrose equivalente estudada, observa-se uma tendência de aumento do rendimento com o aumento da concentração de maltodextrina. MASTERS (2002) afirma que o aumento do rendimento

ocorre devido ao aumento da concentração de solutos a atomizar, isto porque há a formação de partículas maiores o que conduzem a uma maior separação.

TONON (2009) ao estudarem o processo de secagem por aspersão da polpa de açaí observou que não houve diferença estatística entre os valores do rendimento das amostras em pó produzidas com diferentes concentrações de maltodextrina DE-10 (6, 8 e 10%).

Em termos percentuais o aumento do rendimento da menor concentração (25%) para a maior concentração (35%) foi de 22,24, 22,90 e 24,48%, para as dextroses equivalentes DE-10, DE-14 e DE-20, respectivamente. Para a dextrose equivalente DE-10, os valores obtidos para as concentrações de 25 e 30%, foram estatisticamente iguais, sendo os mesmos diferentes estatisticamente de acordo com o teste de Tukey, da concentração de 35%. Já para as dextroses equivalentes DE-14 e DE-20, o rendimento obtido foi estatisticamente igual para as concentrações de maltodextrina de 30 e 35%, sendo os mesmos diferentes estatisticamente de acordo com o teste de Tukey, da concentração de 25%.

Na Tabela C.2 (Apêndice C) encontra-se a análise de variância dos valores médios do rendimento das amostras em pó coletadas no ciclone produzidas a partir de diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes. Verifica-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação concentração de maltodextrina e dextrose equivalente, e efeito significativo a 5% de probabilidade pelo teste F para a interação dos dois fatores sobre os valores do rendimento.

Na Tabela 23 tem-se os valores médios do rendimento (%) do pó do ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente.

Analisando-se individualmente cada concentração de maltodextrina, verifica-se que houve uma tendência de redução no valor do rendimento com o aumento da dextrose equivalente para as amostras com 25 e 35% de maltodextrina, sendo esta redução em termos percentuais da menor dextrose (DE-10) para a maior dextrose (DE-20) de 14,68 e 23,77%, respectivamente. Para a concentração de 25%, nota-se que o rendimento com a maltodextrina DE-10 é estatisticamente igual ao valor com a maltodextrina DE-14, e que o com a maltodextrina DE-14 é estatisticamente igual ao com a maltodextrina DE-20; para a concentração de 30%, todos os valores obtidos foram estatisticamente iguais; e para a concentração de 35%, o rendimento das maltodextrinas DE-14 e DE-20 foram estatisticamente iguais, porém diferem estatisticamente da DE-10.

Tabela 23 – Valores médios do rendimento (%) do pó coletado no ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes

| Concentração de maltodextrina (%) | Dextrose equivalente | | |
|-----------------------------------|----------------------|---------------|--------------|
| | 10 | 14 | 20 |
| 25 | 5,38±0,31 bA | 4,67±0,03 cAB | 4,59±0,08 bB |
| 30 | 5,89±0,01 bA | 5,66±0,28 bA | 5,34±0,32 bA |
| 35 | 9,17±0,64 aA | 7,69±0,06 aB | 6,99±0,10 aB |

DMS colunas = 0,78; DMS para linhas = 0,78; CV = 4,53% ; MG = 6,15%

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

GALDINO (2011) também observou redução do rendimento com o aumento da dextrose equivalente ao desidratar em secador por aspersão a polpa de figo-da-índia com adição de maltodextrina DE-10 e DE-20, nas concentrações 15 e 30%, respectivamente.

Agora avaliando cada dextrose equivalente estudada, constata-se uma tendência de aumento do rendimento com o aumento da concentração de maltodextrina, sendo este aumento em termos percentuais da menor concentração (25%) para a maior concentração (35%) de 70,45, 64,67 e 52,29%, para as dextroses equivalentes DE-10, DE-14 e DE-20, respectivamente. Para as dextroses equivalentes DE-10 e DE-20 os valores do rendimento das concentrações de 25 e 35%, foram estatisticamente iguais, e os mesmos diferem estatisticamente da concentração de 35%; já para a dextrose equivalente DE-14 todos os valores encontrados diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nota-se nas amostras com 25 e 35% de maltodextrina que os maiores rendimentos foram obtidos para a dextrose equivalente DE-10.

4.4.2 – Teor de água

Na Tabela C.3 (Apêndice C) encontra-se a análise de variância dos valores médios de teor de água do pó coletado na câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes. Verifica-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação concentração de

Resultados e Discussão

maltodextrina e dextrose equivalente e efeito não significativo para a sua interação destes fatores sobre os valores de teor de água.

Na Tabela 24 tem-se os valores médios de teor de água (%b.u.) do pó coletado na câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes.

Nota-se que para cada concentração de maltodextrina analisada individualmente o aumento da dextrose equivalente induziu a uma tendência de aumento no valor final do teor de água, sendo este aumento em termos percentuais da menor dextrose (DE-10) para a maior dextrose (DE-20) de 35,97, 71,43 e 106,96%, para as concentrações de 25, 30 e 35%, respectivamente. Para as concentrações de 25 e 30%, observa-se que o teor de água das amostras com maltodextrinas DE-14 e DE-20 são estatisticamente iguais, e estas são diferentes estatisticamente da amostra com maltodextrina DE-10; para a concentração de 35%, todos os valores obtidos diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. TONON (2009) estudou a desidratação da polpa de açaí adicionada de 6% maltodextrina (DE-10 e DE-20) nas seguintes condições de secagem, bico injetor de 1,5 mm de diâmetro, fluxo de ar de 73 m³/h, pressão do ar de 0,6 bar, vazão mássica de alimentação de 15 g/min e temperaturas do ar de entrada e de saída de 140±2 °C e 78±2 °C, sendo verificado que os valores do teor de água aumentaram com o aumento da dextrose equivalente e que os mesmos diferiram estatisticamente entre si.

Tabela 24 –Valores médios de teor de água (%b.u.) do pó coletado na câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes

| Concentração de maltodextrina (%) | Dextrose equivalente | | |
|-----------------------------------|----------------------|--------------|--------------|
| | 10 | 14 | 20 |
| 25 | 2,53±0,05 aB | 3,30±0,08 aA | 3,44±0,22 aA |
| 30 | 1,82±0,04 bB | 2,92±0,11 bA | 3,12±0,33 aA |
| 35 | 1,15±0,15 cC | 1,89±0,09 cB | 2,38±0,16 bA |

DMS colunas = 0,34; DMS para linhas = 0,34; CV = 6,42% ; MG = 2,51%

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Avaliando cada dextrose equivalente verifica-se uma tendência de redução do teor de água com o aumento da concentração de maltodextrina. MASTERS (2002) afirmou que em soluções com alta concentração de solutos a atomizar, o teor de água tende a diminuir, em razão de que há menos água para evaporar. Em termos percentuais esta redução da menor concentração (25%) para a maior concentração (35%) foi de 54,55, 42,73 e 30,81%, para as dextroses equivalentes DE-10, DE-14 e DE-20, respectivamente. Para as dextroses equivalentes DE-10 e DE-14 todos os valores encontrados diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade; e para a dextrose equivalente DE-14, os valores do teor de água com as concentrações de 25 e 35%, foram estatisticamente iguais, e os mesmos diferem estatisticamente da concentração de 35%.

QUEK et al. (2007) observaram para o pó da polpa melancia adicionada de diferentes concentrações de maltodextrina DE-9 (3 e 5%) que o aumento da concentração também reduziu o teor de água do pó. De acordo com estes autores a adição de maltodextrina antes do processo de secagem por aspersão aumenta a quantidade de sólidos totais e reduz a quantidade de água a ser evaporada, assim diminui o teor de água do pó produzido; pós com baixo conteúdo de teor de água podem ser obtidos pelo incremento na porcentagem de maltodextrinas adicionada, entretanto, se esta porção for muito alta, o pó produzido poderá ser de baixa qualidade em função da diluição dos nutrientes inicialmente presentes.

Constata-se ainda que os menores teores de água encontrados foram obtidos para as amostras com dextrose equivalente DE-10.

Na Tabela C.4 (Apêndice C) encontra-se a análise de variância dos valores médios do teor de água do pó coletado no ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes. Verifica-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação concentração de maltodextrina e dextrose equivalente e para a sua interação sobre os valores do teor de água.

Na Tabela 25 tem-se os valores médios do teor de água (%b.u.) do pó coletado no ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes.

Analisando-se individualmente cada concentração de maltodextrina, verifica-se que houve uma tendência de aumento no valor do teor de água com o aumento da dextrose equivalente, sendo esta redução em termos percentuais da menor dextrose (DE-10) para a maior dextrose (DE-20) de 32,78, 114,41 e 66,02%, para as concentrações de 25, 30 e 35%, respectivamente. BARBOSA (2010) observou o mesmo comportamento ao estudar a

Resultados e Discussão

secagem por aspersão de formulação elaborada com 50% de polpa de fruta (cajá, manga e mamão) + 50% de água destilada, adicionada de 12% maltodextrina DE-10 e DE-20, obtendo valores de teor de água de 3,31 e 3,88% b.s., respectivamente. Para a concentração de 25%, observa-se que o teor de água das maltodextrinas com dextroses equivalentes DE-10 DE-14 são estatisticamente iguais, e que estas diferem estatisticamente da maltodextrina DE-20; para a concentração de 30%, todos os valores obtidos diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade; e para a concentração de 35%, o teor de água das maltodextrinas DE-14 e DE-20 são estatisticamente iguais, porém estas diferem estatisticamente da DE-10.

Tabela 25 – Valores médios do teor de água (%b.u.) do pó coletado no ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente

| Concentração de maltodextrina (%) | Dextrose equivalente | | |
|-----------------------------------|----------------------|--------------|--------------|
| | 10 | 14 | 20 |
| 25 | 2,41±0,14 aB | 2,50±0,13 aB | 3,20±0,19 aA |
| 30 | 1,18±0,09 bC | 1,73±0,01 bB | 2,53±0,14 bA |
| 35 | 1,03±0,02 bB | 1,53±0,08 bA | 1,71±0,15 cA |

DMS colunas = 0,25; DMS para linhas = 0,25; CV = 6,10% ; MG = 1,98%

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Ainda na Tabela 25, ao avaliar cada dextrose equivalente constata-se uma tendência de redução no valor experimental obtido do teor de água com o aumento da concentração de maltodextrina, sendo esta redução em termos percentuais da menor concentração (25%) para a maior concentração (35%) de 57,26, 38,80 e 46,56%, para as dextroses equivalentes DE-10, DE-14 e DE-20, respectivamente. ABADIO et al. (2004) encontraram resultado semelhante ao estudarem a polpa de abacaxi com adição de diferentes concentrações de maltodextrina DE-10 (10, 12,5 e 15%), estes autores também atribuem este comportamento a adição de sólidos no alimento a ser desidratado, o que reduz a quantidade de água a ser evaporada.

Para as dextroses equivalentes DE-10 e DE-14 os valores dos teores de água das concentrações de 30 e 35% foram estatisticamente iguais, e os mesmos diferem

estatisticamente da concentração de 25%; já para a dextrose equivalente DE-20 todos os valores encontrados diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Observa-se também que os menores teores de água encontrados foram obtidos para a dextrose equivalente DE-10

4.4.3 - Atividade de água

Na Tabela C.5 (Apêndice C) encontra-se a análise de variância dos valores médios da atividade de água do pó coletado na câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes. Verifica-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação concentração de maltodextrina e dextrose equivalente e para a sua interação sobre os valores da atividade de água.

Na Tabela 26 tem-se os valores médios da atividade de água (a_w) do pó coletado na câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes.

Tabela 26 – Valores médios da atividade de água (a_w) do pó coletado na câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes

| Concentração de maltodextrina (%) | Dextrose equivalente | | |
|-----------------------------------|----------------------|----------------|----------------|
| | 10 | 14 | 20 |
| 25 | 0,260±0,005 aB | 0,375±0,013 aA | 0,395±0,003 aA |
| 30 | 0,212±0,002 bB | 0,335±0,004 bA | 0,351±0,008 bA |
| 35 | 0,202±0,002 bC | 0,254±0,026 cB | 0,292±0,006 cA |

DMS colunas = 0,022; DMS para linhas = 0,022; CV = 3,46% ; MG = 0,297

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Observa-se que todos os valores de atividades de água apresentados na tabela foram inferiores a 0,4, o que de acordo com a classificação de AZEREDO (2004), são alimentos de baixa atividade de água ($a_w < 0,60$) – nos quais não há crescimento de micro-organismos, embora eles possam sobreviver.

Analisando individualmente cada concentração de maltodextrina, nota-se que houve uma tendência de aumento no valor da atividade de água com o aumento da dextrose equivalente. Segundo MURRAY & LUFT (1973) com o aumento da dextrose equivalente ocorre o aumento da higroscopicidade da maltodextrina, ou seja, aumenta a sua capacidade de absorver água. Em termos percentuais o aumento da atividade de água da menor dextrose (DE-10) para a maior dextrose (DE-20) foi de 51,92, 65,57 e 44,55%, para as concentrações de 25, 30 e 35%, respectivamente. Para as concentrações de 25 e 30%, nota-se que a atividade de água das amostras com maltodextrinas DE-14 DE-20 foram estatisticamente iguais, e que estas diferem estatisticamente da maltodextrina DE-10; e para a concentração de 35%, todos os valores obtidos diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

TONON (2009) desidratou em secador por aspersão a polpa de açaí com a adição de 6% de maltodextrina com diferentes dextroses equivalentes (DE-10 e DE-20), como resultado verificou um aumento da atividade de água com o aumento da dextrose equivalente, sendo estes diferentes estatisticamente, os valores obtidos foram de 0,229 e 0,245, para a dextrose DE-10 e DE-20, respectivamente.

Na Tabela 26 pode-se observar ainda, que com o aumento da concentração de maltodextrina houve uma tendência de redução nos valores da atividade de água, para todas as dextroses estudadas. Comportamento semelhante foi encontrado por QUEK et al. (2007) ao estudarem a secagem por aspersão de polpa de melancia adicionada de 3 e 5% de maltodextrina (DE-9). Em termos percentuais esta redução da menor concentração de maltodextrina (25%) para a maior concentração (35%) foi de 22,30, 32,27 e 26,07%, para as dextroses equivalentes DE-10, DE-14 e DE-20, respectivamente; observa-se também que as menores atividades de água encontradas foram obtidas para a dextrose equivalente DE-10.

Na Tabela C.6 (Apêndice C) encontra-se a análise de variância dos valores médios da atividade de água do pó coletado no ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes. Verifica-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação concentração e dextrose equivalente e para a sua interação sobre os valores da atividade de água.

Na Tabela 27 tem-se os valores médios da atividade de água (a_w) do pó do ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes.

Resultados e Discussão

Constata-se que assim como os valores encontrados para a câmara de secagem, que todos os valores de atividades de água apresentados na Tabela 27 são inferiores a 0,4, o que também os classifica segundo AZEREDO (2004) em alimentos de baixa atividade de água ($a_w < 0,60$).

Tabela 27 – Valores médios da atividade de água (a_w) do pó coletado no ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente

| Concentração de maltodextrina (%) | Dextrose equivalente | | |
|-----------------------------------|----------------------|-----------------|----------------|
| | 10 | 14 | 20 |
| 25 | 0,196±0,006 aC | 0,283±0,023 aB | 0,308±0,008 aA |
| 30 | 0,194±0,004 aB | 0,201±0,004 bAB | 0,214±0,004 bA |
| 35 | 0,168±0,004 bB | 0,177±0,004 cAB | 0,195±0,008 bA |

DMS colunas = 0,020; DMS para linhas = 0,020; CV = 4,52% ; MG = 0,215

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Avaliando-se o aumento da dextrose equivalente observa-se que houve uma tendência de aumento no valor da atividade de água. Em termos percentuais o aumento da atividade de água da menor dextrose (DE-10) para a maior dextrose (DE-20) foi de 57,14, 10,31 e 16,07%, para as concentrações de 25, 30 e 35%, respectivamente. Para a concentração de 25% nota-se os valores encontrados para todas as amostras diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade; já para as concentrações de 30 e 35% as atividades de água das amostras preparadas com maltodextrina DE-10 e DE-14, foram estatisticamente iguais, assim como as amostras com maltodextrina DE-14 e DE-20.

Ainda na Tabela 27, observa-se que com o aumento da concentração de maltodextrina houve uma tendência de redução nos valores da atividade de água. Em termos percentuais esta redução da menor concentração (25%) para a maior concentração (35%) foi de 14,29, 37,46 e 36,69%, para as dextroses equivalentes DE-10, DE-14 e DE-20, respectivamente. Para a dextrose equivalente DE-10 os valores das concentrações de 25 e 30% foram estatisticamente iguais, e estas diferem estatisticamente da concentração de 35%; para as amostras com maltodextrina DE-14, todos os valores encontrados diferem

estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade; e para a dextrose equivalente DE-20 os valores das concentrações de 30 e 35% foram estatisticamente iguais, e estas diferem estatisticamente da concentração de 25%.

As menores atividades de água encontradas foram obtidas para a dextrose equivalente DE-10.

4.4.4 – Luminosidade

Na Tabela C.7 (Apêndice C) encontra-se a análise de variância dos valores médios da luminosidade do pó coletado na câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente. Verifica-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação concentração e dextrose equivalente e para a sua interação sobre os valores da luminosidade.

Na Tabela 28 tem-se os valores médios da luminosidade (L^*) das amostras em pó coletadas na câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes.

Tabela 28 – Valores médios da luminosidade (L^*) do pó coletado na câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente

| Concentração de maltodextrina (%) | Dextrose equivalente | | |
|-----------------------------------|----------------------|---------------|---------------|
| | 10 | 14 | 20 |
| 25 | 67,06±0,04 cC | 70,78±0,29 cA | 68,29±0,13 cB |
| 30 | 68,18±0,02 bC | 73,30±0,17 bA | 70,40±0,08 bB |
| 35 | 70,79±0,02 aC | 75,59±0,13 aA | 73,74±0,02 aB |

DMS colunas = 0,27; DMS para linhas = 0,27; CV = 0,18% ; MG = 70,91

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Avaliando-se individualmente cada concentração de maltodextrina, constata-se que os maiores valores encontrados para a luminosidade foram para a maltodextrina DE-14, DE-20 e DE-10, ou seja, como no espaço de CIELab a escala de luminosidade varia entre

zero (preto) e 100 (branco) (LUO, 2006), isto, significa que as amostras mais claras, ou as que tiveram menor influência do escurecimento não enzimático foram as amostras preparadas com a maltodextrina DE-14. O maior valor encontrado foi para a formulação elaborada com 35% de maltodextrina DE-14 (75,59) e o menor valor foi para a formulação elaborada com 25% de maltodextrina DE-10 (67,06), sendo a diferença percentual entre estas duas amostras de 11,28%. Verifica-se ainda que para todas as concentrações estudadas os valores diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

ERSUS & YURDAGEL (2007) ao estudarem o microencapsulamento da antocianina presente na cenoura desidratada pelo processo de secagem por aspersão utilizando como agente carreador maltodextrina com diferentes dextroses equivalentes [Stardri 10 (10DE), Glucodry 210 (20–23DE) e MDX 29 (28–31 DE)], verificaram que com a diminuição da dextrose equivalente o valor da luminosidade aumentou.

Através dos valores encontrados experimentalmente, observa-se que com o aumento da concentração de maltodextrina houve um aumento no valor da luminosidade, ou seja, as amostras ficaram mais claras com o aumento da concentração de maltodextrina. TONON et al. (2009) também encontraram resultado semelhante ao estudarem formulações elaboradas com polpa de açaí com diferentes concentrações de maltodextrina DE-10 (10, 20 e 30%). Além disso, para todas as dextroses equivalentes, os valores da luminosidade das amostras foram diferentes estatisticamente entre si acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Em termos percentuais este aumento da menor concentração (25%) para a maior concentração (35%) foi de 5,56, 6,80 e 7,98%, para as dextroses equivalentes DE-10, DE-14 e DE-20, respectivamente.

Os maiores valores de luminosidade encontrados foram obtidos para a dextrose equivalente DE-14.

Na Tabela C.8 (Apêndice C) encontra-se a análise de variância dos valores médios da luminosidade do pó do ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes. Verifica-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação concentração e dextrose equivalente e para a sua interação sobre os valores da luminosidade.

Na Tabela 29 tem-se os valores médios da luminosidade (L^*) do pó coletado no ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes.

Resultados e Discussão

De acordo com os dados apresentados na tabela e analisando-se de modo individual cada concentração de maltodextrina, constata-se que apenas para a concentração 25% as amostras apresentaram uma tendência de redução nos valores da luminosidade, sendo esta redução em termos percentuais da menor dextrose (DE-10) para a maior dextrose (DE-20) de 2,55%, além disso, os valores da dextrose DE-10 e DE-14 foram estatisticamente iguais, e estes diferiram estatisticamente da dextrose DE-20. Já para as concentrações de 30 e 35%, os maiores valores da luminosidade foram obtidos para a dextrose DE-14, seguido da DE-10 e DE-20, nota-se também que todos os valores diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 29 – Valores médios da luminosidade (L^*) do pó do ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente

| Concentração de maltodextrina (%) | Dextrose equivalente | | |
|-----------------------------------|----------------------|---------------|---------------|
| | 10 | 14 | 20 |
| 25 | 83,21±0,06 cA | 83,10±0,35 cA | 81,09±0,07 cB |
| 30 | 83,90±0,08 bB | 84,88±0,11 bA | 82,15±0,08 bC |
| 35 | 85,59±0,04 aB | 86,38±0,10 aA | 82,82±0,05 aC |

DMS colunas = 0,2886; DMS para linhas = 0,2886; CV = 0,17% ; MG = 83,68

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Ainda na Tabela 29, observa-se que com o aumento da concentração de maltodextrina houve aumento nos valores da luminosidade, ou seja, assim com nos resultados obtidos para a câmara de secagem as amostras ficaram mais claras com o aumento da adição da concentração de maltodextrina. Além disso, para todas as dextroses equivalentes, os valores da luminosidade das amostras foram diferentes estatisticamente entre si acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. FRANCISONI et al. (2002) verificaram o mesmo comportamento ao estudarem o pó do suco de maracujá adicionado de diferentes concentrações de maltodextrina DE-10 (10, 12,5 e 15%). Em termos percentuais este aumento da menor concentração (25%) para a maior concentração (35%) foi de 2,86, 3,95 e 2,13%, para as dextroses equivalentes DE-10, DE-14 e DE-20, respectivamente.

Resultados e Discussão

Os maiores valores de luminosidade encontrados foram obtidos para a dextrose equivalente DE-14.

4.4.5 - Intensidade de vermelho (+a)

Na Tabela C.9 (Apêndice C) encontra-se a análise de variância dos valores médios da intensidade de vermelho (+a) do pó coletado na câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes. Verifica-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação concentração e dextrose equivalente e para a sua interação sobre os valores da intensidade de vermelho.

Na Tabela 30 tem-se os valores médios da intensidade de vermelho (+a) do pó coletado na câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes.

Tabela 30 – Valores médios da intensidade de vermelho (+a) do pó coletado na câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes

| Concentração de maltodextrina (%) | Dextrose equivalente | | |
|-----------------------------------|----------------------|--------------|--------------|
| | 10 | 14 | 20 |
| 25 | 7,80±0,05 aA | 6,44±0,05 aB | 6,22±0,03 aB |
| 30 | 6,31±0,06 bA | 5,74±0,26 bB | 5,57±0,16 bB |
| 35 | 6,04±0,04 cA | 4,27±0,24 cB | 3,61±0,06 cC |

DMS colunas = 0,26; DMS para linhas = 0,26; CV = 2,18% ; MG = 5,78

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

A partir dos resultados apresentados na tabela, verifica-se de forma individual para as concentrações de maltodextrina que com o aumento da dextrose equivalente houve uma tendência de redução nos valores da intensidade de vermelho, com as amostras com maior intensidade de vermelho as preparadas com maltodextrina DE-10. BARBOSA (2010) observou o mesmo comportamento ao estudar a secagem por aspersão de formulação elaborada com 50% de polpa de fruta (cajá, manga e mamão) + 50% de água destilada,

adicionada de 12% maltodextrina DE-10 e DE-20, obtendo valores de intensidade de vermelho de 9,08 e 7,96, respectivamente. Em termos percentuais a redução da intensidade de vermelho da menor dextrose (DE-10) para a maior dextrose (DE-20) foi de 20,26, 11,73 e 40,23%, para as concentrações de 25, 30 e 35%, respectivamente. Para as concentrações de maltodextrina de 25 e 30%, os valores da intensidade de vermelho das amostras com dextrose equivalente DE-14 e DE-20, foram estatisticamente iguais, e estas diferem estatisticamente dos valores da dextrose DE-10; já para a concentração de 35%, todos os valores diferiram estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Analisando cada dextrose, nota-se que com o aumento da concentração de maltodextrina há uma redução nos valores da intensidade de vermelho, além disso, todos os resultados encontrados diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. FRANCISONI et al. (2002) também obtiveram resultado semelhante ao estudarem o comportamento do pó de suco de maracujá adicionado de diferentes concentrações de maltodextrina DE-10 (10, 12,5 e 15%). Em termos percentuais esta redução da menor concentração (25%) para a maior concentração (35%) foi de 22,56, 33,70 e 41,96%, para as dextroses equivalentes DE-10, DE-14 e DE-20, respectivamente.

Os maiores valores da intensidade de vermelho encontrados foram obtidos para a dextrose equivalente DE-10.

Na Tabela C.10 (Apêndice C) encontra-se a análise de variância dos valores médios da intensidade de vermelho do pó do ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente. Verifica-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação concentração e dextrose equivalente e efeito não significativo para a sua interação sobre os valores da intensidade de vermelho.

Na Tabela 31 tem-se os valores médios da intensidade de vermelho (+a) do pó do ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes.

Avaliando-se cada concentração de modo individual, constata-se que com o aumento da dextrose equivalente houve uma tendência de redução nos valores da intensidade de vermelho, resultado este semelhante ao obtido para o pó dacâmara. Em termos percentuais a redução da intensidade de vermelho da menor dextrose (DE-10) para a maior dextrose (DE-20) foi de 23,57, 49,17 e 42,11%, para as concentrações de 25, 30 e 35%, respectivamente. Para as concentrações de 25 e 30%, todos os valores diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a

5% de probabilidade; já para a concentração de 35% os valores da dextrose DE-10 e DE-14 foram estatisticamente iguais, e estes diferem estatisticamente da dextrose DE-20.

Tabela 31 – Valores médios da intensidade de vermelho (+a) do pó do ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente

| Concentração de maltodextrina (%) | Dextrose equivalente | | |
|-----------------------------------|----------------------|--------------|--------------|
| | 10 | 14 | 20 |
| 25 | 2,80±0,17 aA | 2,47±0,38 aB | 2,14±0,05 aC |
| 30 | 2,40±0,09 bA | 1,88±0,00 bB | 1,22±0,03 bC |
| 35 | 2,09±0,03 cA | 1,79±0,07 bA | 1,21±0,05 bB |

DMS colunas = 0,3046; DMS para linhas = 0,3046; CV = 7,31% ; MG = +2,00

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Analisando-se cada dextrose, observa-se que com o aumento da concentração de maltodextrina houve uma redução nos valores da intensidade de vermelho, além disso, todos os resultados encontrados diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Conforme TONON et al. (2009) esta redução na tonalidade de vermelho esta relacionada à diluição da cor, provocada pela adição deste agente carreador. Em termos percentuais esta redução da menor concentração (25%) para a maior concentração (35%) foi de 25,36, 27,53 e 43,46%, para as dextroses equivalentes DE-10, DE-14 e DE-20, respectivamente.

Os menores valores da intensidade de vermelho encontrados foram obtidos para a dextrose equivalente DE-20.

4.4.6 - Intensidade de amarelo (+b)

Na Tabela C.11 (Apêndice C) encontra-se a análise de variância dos valores médios da intensidade de amarelo (+b) do pó coletado na câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente. Verifica-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as

Resultados e Discussão

fontes de variação concentração e dextrose equivalente e para a sua interação sobre os valores da intensidade de amarelo.

Na Tabela 32 tem-se os valores médios da intensidade de amarelo (+b) do pó coletado na câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente.

Tabela 32 – Valores médios da intensidade de amarelo (+b) do pó da câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente

| Concentração de maltodextrina (%) | Dextrose equivalente | | |
|-----------------------------------|----------------------|---------------|---------------|
| | 10 | 14 | 20 |
| 25 | 29,65±0,33 aA | 28,39±0,11 aB | 27,35±0,27 aC |
| 30 | 28,30±0,19 bA | 22,83±0,02 bB | 21,60±0,12 bC |
| 35 | 23,87±0,05 cA | 21,60±0,23 cB | 17,88±0,04 cC |

DMS colunas = 0,51; DMS para linhas = 0,51; CV = 0,99%; MG = 24,61

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Através dos dados experimentais apresentados, observa-se que com o aumento da dextrose equivalente houve uma redução nos valores da intensidade de amarelo, com as amostras com maior intensidade de amarelo as com dextrose DE-10. Além disso, nota-se também que todos os valores obtidos diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Em termos percentuais o aumento da intensidade de amarelo da menor dextrose (DE-10) para a maior dextrose (DE-20) foi de 7,76, 23,43 e 25,09%, para as concentrações de 25, 30 e 35%, respectivamente.

Ainda na Tabela 32, observa-se que com o aumento da concentração de maltodextrina houve uma redução nos valores da intensidade de amarelo, e que todos os valores obtidos diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Resultado semelhante foi encontrado por FRANCISONI et al. (2002) ao estudarem o comportamento do pó de suco de maracujá adicionado de diferentes concentrações de maltodextrina DE-10 (10, 12,5 e 15%). Em termos percentuais esta redução da menor concentração (25%) para a maior concentração (35%) foi de 19,49, 23,92 e 34,63%, para as dextroses equivalentes DE-10, DE-14 e DE-20, respectivamente.

Os maiores valores da intensidade de amarelo encontrados foram obtidos para a dextrose equivalente DE-10.

Na Tabela C.12 (Apêndice C) encontra-se a análise de variância dos valores médios da intensidade de amarelo do pó do ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente. Verifica-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação concentração e dextrose equivalente e para a sua interação sobre os valores da intensidade de amarelo.

Na Tabela 33 tem-se os valores médios da intensidade de amarelo (+b) do pó do ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente.

Tabela 33 – Valores médios da intensidade de amarelo (+b) do pó do ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente

| Concentração de maltodextrina (%) | Dextrose equivalente | | |
|-----------------------------------|----------------------|---------------|--------------|
| | 10 | 14 | 20 |
| 25 | 11,97±0,02 aA | 11,15±0,02 aB | 9,31±0,11 aC |
| 30 | 9,59±0,15 bA | 8,86±0,20 bB | 8,61±0,14 bB |
| 35 | 9,45±0,02 bA | 8,65±0,20 bB | 8,46±0,03 bB |

DMS colunas = 0,3118; DMS para linhas = 0,3118; CV = 1,57% ; MG = +9,56

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Com os resultados encontrados na tabela, nota-se que com o aumento da dextrose equivalente houve uma tendência de redução nos valores da intensidade de amarelo. BARBOSA (2010) observou o mesmo comportamento ao estudar a secagem por aspersão de formulação elaborada com 50% de polpa de fruta (cajá, manga e mamão) + 50% de água destilada, adicionada de 12% maltodextrina DE-10 e DE-20, obtendo valores de intensidade de amarelo de 39,37 e 37,46, respectivamente. Em termos percentuais esta redução nos valores da intensidade de amarelo da menor dextrose (DE-10) para a maior dextrose (DE-20) foi de 22,22, 10,22 e 10,48%, para as concentrações de 25, 30 e 35%, respectivamente. Para a concentração de 25% de maltodextrina, os valores encontrados para a intensidade de amarelo diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de

Tukey a 5% de probabilidade; já para as concentrações de 30 e 35% de maltodextrina os valores da dextrose DE-14 e DE-20 foram estatisticamente iguais e estes diferem estatisticamente da dextrose DE-10.

Ainda na Tabela 33, observa-se que com o aumento da concentração de maltodextrina houve uma tendência de redução nos valores obtidos para a intensidade de amarelo. Em termos percentuais esta redução da menor concentração (25%) para a maior concentração (35%) foi de 21,05, 22,42 e 9,13%, para as dextroses equivalentes DE-10, DE-14 e DE-20, respectivamente. Para todas as dextroses equivalentes estudadas, os valores encontrados nas concentrações de 30 e 35% foram estatisticamente iguais, e estes diferem estatisticamente dos valores da concentração de 25%.

Resultado semelhante foi encontrado por PEREIRA (2008) ao estudar o comportamento da intensidade de amarelo do pó obtido a partir da formulação elaborada com 80% de leite de cabra + 20% de polpa de umbu-cajá, adicionada de 10 e 15% de maltodextrina DE-10, os resultados mostraram que a redução da intensidade de amarelo obtida foi de 26,62%, da amostra com 10% da maltodextrina para a com 15% de maltodextrina.

Os maiores valores da intensidade de amarelo encontrados foram obtidos para a dextrose equivalente DE-10.

4.4.7 – Ácido ascórbico

Na Tabela C.13 (Apêndice C) encontra-se a análise de variância dos valores médios do ácido ascórbico do pó coletado na câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente. Verifica-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação concentração e dextrose equivalente e efeito significativo a 5% de probabilidade para a sua interação sobre os valores do ácido ascórbico.

Na Tabela 34 tem-se os valores médios do ácido ascórbico ($\text{mg}100 \text{ g}^{-1}$) do pó coletado na câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente.

Constata-se que com o aumento da dextrose equivalente houve uma tendência de redução no teor do ácido ascórbico, com exceção da concentração de 30% de maltodextrina. Na concentração de 25% o teor de ácido ascórbico das dextroses DE-14 e DE-20 foram estatisticamente iguais, e estes diferiram estatisticamente da dextrose DE-10.

Resultados e Discussão

Para a concentração de 30% todos os valores encontrados foram estatisticamente iguais; já para a concentração de 35% os valores da dextrose DE-10 e DE-14 foram estatisticamente iguais, assim como, os valores da dextrose DE-14 e DE-20. Nota-se ainda que o maior valor experimental obtido foi para a amostra elaborada com 25% de maltodextrina DE-10, e o menor valor foi para a amostras elaborada com 35% de maltodextrina DE-20, sendo esta redução em termos percentuais no teor de ácido ascórbico igual a 39,03%.

Tabela 34 – Valores médios do ácido ascórbico ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) do pó da câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente

| Concentração de maltodextrina (%) | Dextrose equivalente | | |
|-----------------------------------|----------------------|---------------|---------------|
| | 10 | 14 | 20 |
| 25 | 12,99±0,00 aA | 10,74±0,63 aB | 10,81±0,98 aB |
| 30 | 11,14±0,00 bA | 10,84±0,58 aA | 10,77±0,00 aA |
| 35 | 9,65±0,00 cA | 8,80±0,69 bAB | 7,92±0,77 bB |

DMS colunas = 1,1571; DMS para linhas = 1,1571; CV = 5,33% ; MG = 10,41mg100 g⁻¹

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Nota-se também que com o aumento da concentração de maltodextrina o teor de ácido ascórbico apresentou uma tendência de redução nos seus valores. Para a dextrose equivalente DE-14 nas concentrações de 25 e 30% as médias foram estatisticamente iguais, e estes diferem estatisticamente da concentração de 35%, comportamento este semelhante ao da dextrose DE-20; já na dextrose DE-10 todos os valores diferiram estatisticamente entre si.

DIB TAXI (2001) ao estudar o processo de secagem por aspersão para o suco de camu camu com adição de diferentes concentrações de maltodextrina DE- 10 (5 a 35%), verificou que com o aumento da concentração de maltodextrina houve uma redução nos valores do teor de ácido ascórbico.

Os maiores teores de ácido ascórbico encontrados foram obtidos com a dextrose equivalente DE-10.

Na Tabela C.14 (Apêndice C) encontra-se a análise de variância dos valores médios do ácido ascórbico do pó do ciclone das formulações elaboradas com diferentes

Resultados e Discussão

concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente. Verifica-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação concentração e dextrose equivalente e para a sua interação sobre os valores do ácido ascórbico.

Na Tabela 35 tem-se os valores médios do ácido ascórbico (mg/100 g) do pó do ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente:

Tabela 35 – Valores médios do ácido ascórbico (mg 100 g⁻¹) do pó do ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente

| Concentração de maltodextrina (%) | Dextrose equivalente | | |
|-----------------------------------|----------------------|--------------|--------------|
| | 10 | 14 | 20 |
| 25 | 3,99±0,01 aB | 5,20±0,00 aA | 4,36±0,48 aB |
| 30 | 3,34±0,00 bB | 4,29±0,20 bA | 3,58±0,00 bB |
| 35 | 4,29±0,00 aA | 3,16±0,19 cB | 4,45±0,00 aA |

DMS colunas = 0,38; DMS para linhas = 0,38; CV = 4,49% ; MG = 4,08mg 100 g⁻¹

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Analisando a influência da dextrose equivalente em cada concentração de maltodextrina, observa-se que não houve tendência de comportamento em nenhuma das concentrações estudadas. Para as concentrações de 25 e 30% o maior valor encontrado foi para a dextrose DE-14, e que este valor difere estatisticamente dos obtidos para as dextroses DE-10 e DE-20, sendo estes estatisticamente iguais; já para a concentração de 35% o maior valor de ácido ascórbico foi encontrado nas dextrose DE-10 e DE-20, além disso, para esta concentração todos os valores diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Constata-se que o maior valor encontrado para o teor de ácido ascórbico na Tabela 35 foi para a formulação elaborada com 25% de maltodextrina DE-14 e o menor valor foi para a formulação elaborada com 30% de maltodextrina DE-10, sendo em termos percentuais uma redução de 39,23%.

Avaliando-se a influência do aumento da concentração de maltodextrina para cada dextrose equivalente observa-se que apenas na dextrose DE-14 houve uma redução em

seus valores, sendo estes diferentes estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade, em termos percentuais esta redução como relatado anteriormente foi de 39,23%. Para as dextroses DE-10 e DE-20 os valores das concentrações de 25 e 35% foram estatisticamente iguais, e estes valores diferem estatisticamente do resultado obtido para a concentração de 30%.

PEREIRA (2008) ao estudar o comportamento do pó obtido a partir da formulação elaborada com 80% de leite de cabra + 20% de polpa de umbu-cajá, adicionada de 10 e 15% de maltodextrina DE-10, verificaram redução no teor de ácido ascórbico com o aumento da concentração de maltodextrina, sendo esta redução em termos percentuais de 8,22%.

4.4.8 - Formulação selecionada

A partir dos resultados obtidos nesta etapa da pesquisa para o pó coletado na câmara de secagem durante o processo de secagem por aspersão, elaboraram-se nove formulações com diferentes concentrações de maltodextrina (25, 30 e 35%) e dextroses equivalentes (DE-10, DE-14 e DE-20), e se analisaram os parâmetros de rendimento, teor de água, atividade de água, luminosidade, intensidade de vermelho, intensidade de amarelo e teor de ácido ascórbico que, observando-se que para os parâmetros avaliados rendimento, teor de água, atividade de água, intensidade de amarelo e ácido ascórbico os melhores resultados foram encontrados para a dextrose DE-10, já para a luminosidade foi a maltodextrina com dextrose equivalente DE-14 e para a intensidade de vermelho foi maltodextrina com dextrose equivalente a DE-20, sendo assim a dextrose equivalente selecionada foi a DE-10, e dentre as concentrações de maltodextrina como todas as avaliadas apresentaram resultados satisfatórios, selecionou-se a formulação com menor quantidade de aditivo (25%), que corresponde a Formulação 1 (50% de polpa de atemoia + 50% de água destilada + 25% de maltodextrina DE-10).

4.5 – Planejamento experimental fatorial (seleção da condição de secagem)

A formulação pré-selecionada (Formulação 1) elaborada com 50% de água + 50 de polpa de atemoia + 25% de maltodextrina (DE-10) foi desidratada pelo processo de secagem por aspersão de acordo com um delineamento fatorial 2^2 , com 4 combinações dos níveis +1 e -1 e 3 experimentos no ponto central, totalizando 7 ensaios. A finalidade deste planejamento experimental fatorial foi avaliar a influência das variáveis de entrada

Resultados e Discussão

(independentes): temperatura do ar de entrada ($^{\circ}\text{C}$) e vazão da bomba (L min^{-1}), sobre as variáveis de resposta (dependentes): rendimento (%); teor de água (% b.u.); atividade de água; luminosidade; intensidade de vermelho; intensidade de amarelo e ácido ascórbico ($\text{mg}/100 \text{ g}$), para os dois produtos finais (pós) obtidos no processo de secagem por aspersão: câmara de secagem e ciclone. Os resultados médios experimentais das variáveis de resposta para os 7 ensaios, com as respectivas temperaturas de saída para os pós da câmara de secagem e do ciclone estão apresentados nas Tabelas D.1 e D.2 (Apêndice D), respectivamente.

Para a análise estatística avaliaram-se os efeitos das variáveis independentes sobre as respostas estudadas, bem como determinados os erros padrão, os coeficientes t e a significância estatística (p).

Os valores dos efeitos estimados indicam quanto cada fator influencia na resposta estudada. Quanto maior é o seu valor, maior é a sua influência, e um efeito positivo indica que ao passar de um valor mínimo a um valor máximo da variável, a resposta aumenta. Um efeito negativo indica o contrário, ou seja, ao passar de um valor mínimo para o valor máximo a resposta diminui. O valor de t indica o quão grande é a variável em relação ao seu desvio; então, quanto maior o valor de t maior a probabilidade de a variável ser estatisticamente significativa. O valor do coeficiente p está relacionado ao nível de significância da variável independente sobre a resposta em estudo; normalmente, é escolhido como intervalo de confiança o valor de 95%. Sendo assim, pode-se afirmar que para valores de p inferiores a 5%, a variável é considerada estatisticamente significativa; caso contrário, é tida não significativa (TONON, 2009).

4.5.1 – Rendimento

Na Figura D.1 (Apêndice D) encontra-se o gráfico dos valores observados versus os valores preditos para o rendimento (%) do pó coletado na câmara de secagem.

Na Tabela 36 tem-se os efeitos significativos e os não significativos, os erros padrão, os coeficientes t e grau de significância estatística da temperatura de entrada e vazão da bomba sobre o rendimento (%) do pó coletado na câmara de secagem durante o processo de secagem por aspersão da Formulação 1. Constata-se que os efeitos dos parâmetros avaliados e sua interação não foram significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$). Este comportamento pode ser melhor observado na Figura 21, na qual se apresenta o diagrama de Pareto, o qual indica que nenhum dos parâmetros foi significativo.

Tabela 36 -Efeito estimado, erro, coeficiente t e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real do rendimento (%) do pó coletado na câmara de secagem

| Fatores | Efeito Estimado | Erro Padrão | t (3) | Significância Estatística (p) |
|-----------------------------|-----------------|-------------|----------|-------------------------------|
| Temperatura de entrada (TE) | 2,34823 | 0,770029 | 3,04953 | 0,055448 |
| Vazão da bomba (VB) | -0,25177 | 0,770029 | -0,32696 | 0,765181 |
| Temperatura x Vazão | 0,78177 | 0,770029 | 1,01525 | 0,384745 |

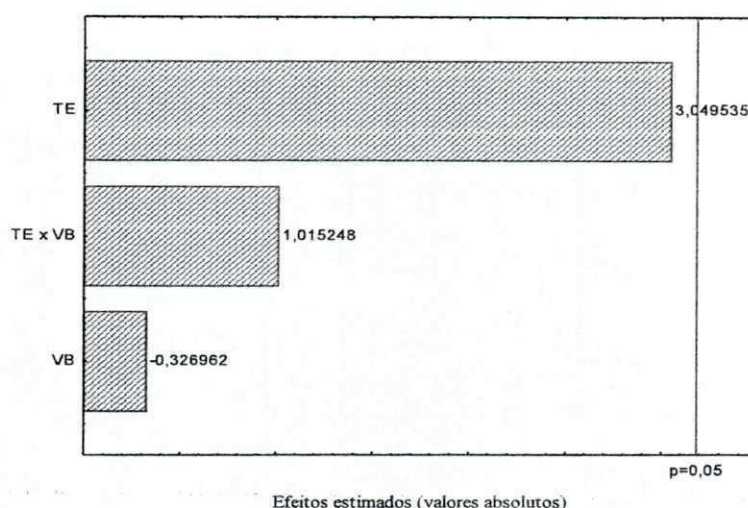


Figura 21 – Diagrama de Pareto do rendimento (%) do pó coletado na câmara de secagem

Na Tabela 37 encontra-se a análise de variância do rendimento (%) do pó coletado na câmara de secagem. Nota-se que o valor de $F_{\text{calculado}}$ foi inferior ao F_{tabelado} , confirmando que os parâmetros estudados não foram significativos. O coeficiente de determinação ($R^2 = 77,67\%$) indica precisão razoável.

Tabela 37 -Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para o rendimento (%) do pó coletado na câmara de secagem

| | SQ | GL | MQ | $F_{\text{calculado}}$ | F_{tabelado}^* |
|-----------------|--------|----|--------|------------------------|-------------------------|
| Regressão | 6,1887 | 3 | 2,0629 | 3,4785 | 9,28 |
| Resíduo | 1,7789 | 3 | 0,5930 | | |
| Falta de ajuste | 1,6661 | 1 | 1,6661 | 29,5408 | 18,51 |
| Erro puro | 0,1128 | 2 | 0,0564 | | |
| Total | 7,9676 | 6 | | | |

$R^2 = 77,67\%$; *Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$; SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

Resultados e Discussão

Na Figura D.2 (Apêndice D) encontra-se o gráfico dos valores observados versus os valores preditos para o rendimento (%) do pó do ciclone.

Na Tabela 38 tem-se os efeitos significativos e os não significativos, os erros padrão, os coeficientes t e grau de significância estatística da temperatura de entrada e vazão da bomba sobre o rendimento (%) do pó do ciclone durante o processo de secagem por aspersão da Formulação 1. Observa-se que os efeitos dos parâmetros avaliados e sua interação não foram significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$). Tem-se na Figura 22 o diagrama de Pareto, que também demonstra que nenhum dos parâmetros foi significativo.

Tabela 38 -Efeito estimado, erro, coeficiente t e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real do rendimento (%) do pó do ciclone

| Fatores | Efeito Estimado | Erro Padrão | t (3) | Significância Estatística (p) |
|-----------------------------|-----------------|-------------|----------|-------------------------------|
| Temperatura de entrada (TE) | -0,132906 | 0,862553 | -0,15408 | 0,887325 |
| Vazão da bomba (VB) | -0,242906 | 0,862553 | -0,28161 | 0,796548 |
| Temperatura x Vazão | -0,227094 | 0,862553 | -0,26328 | 0,809381 |

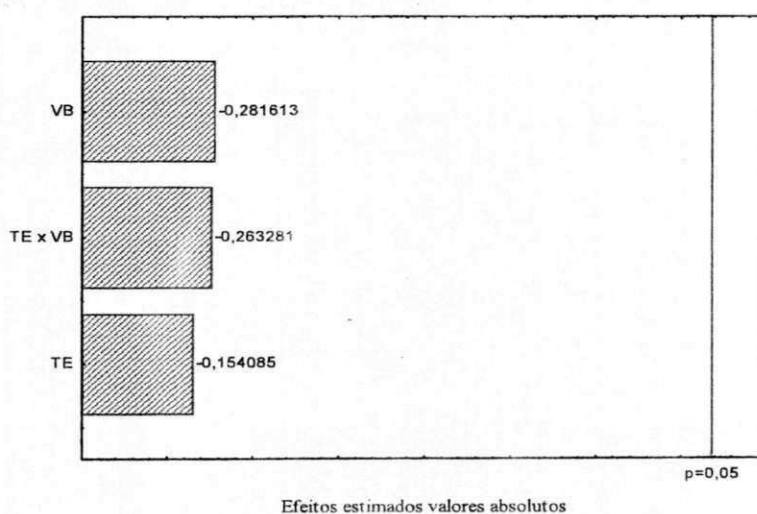


Figura 22 – Diagrama de Pareto do rendimento (%) do pó do ciclone

Na Tabela 39 encontra-se a análise de variância do rendimento (%) do pó do ciclone, nota-se que o valor de $F_{\text{calculado}}$ foi inferior ao F_{tabelado} , confirmando que os parâmetros estudados não foram significativos. O coeficiente de determinação ($R^2 = 5,43\%$) encontrado foi muito baixo, indicando pouca precisão.

Tabela 39 -Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para o rendimento (%) do pó do ciclone

| | SQ | GL | MQ | F _{calculado} | F _{tabelado*} |
|-----------------|--------|----|--------|------------------------|------------------------|
| Regressão | 0,1282 | 3 | 0,0427 | | |
| Resíduo | 2,2320 | 3 | 0,7440 | 0,0574 | 9,28 |
| Falta de ajuste | 1,3216 | 1 | 1,3216 | | |
| Erro puro | 0,9104 | 2 | 0,4552 | 2,9033 | 18,51 |
| Total | 2,3602 | 6 | | | |

R² = 5,43%; *Valores tabelados de F a p ≤ 0,05; SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

Analisando-se os dados experimentais obtidos para o parâmetro rendimento do pó coletado na câmara de secagem e no ciclone, verifica-se que as variáveis de entrada estudadas: temperatura de entrada e vazão da bomba, não influenciaram nos resultados, além disso, a partir das Tabelas D.1 e D.2, nota-se que os maiores valores encontrados para o rendimento do pó coletado na câmara de secagem e no ciclone foram 16,81% e 5,51%, respectivamente. TONON et al. (2008) ao estudarem o processo de secagem por aspersão para polpa de açaí utilizando um planejamento fatorial com três variáveis de entrada: temperatura de entrada (138-202 °C), vazão da bomba (5-25 g min⁻¹) e concentração de maltodextrina DE-10 (10-30%), obtiveram os seguintes resultados para o pó obtido: temperaturas de entrada mais altas resultaram em processos com maior rendimento; o aumento da vazão mássica e da concentração de maltodextrina resultou em valores de rendimento menores; e o maior valor de rendimento encontrado por estes autores foi de 55,66%.

4.5.2 – Teor de água

Na Figura D.3 (Apêndice D) encontra-se o gráfico dos valores observados versus os valores preditos para o teor de água (% b.u.) do pó coletado na câmara de secagem.

Na Tabela 40 tem-se os efeitos significativos e os não significativos, os erros padrão, os coeficientes t e grau de significância estatística da temperatura de entrada e vazão da bomba sobre o teor de água (% b.u.) do pó coletado na câmara de secagem durante o processo de secagem por aspersão da Formulação 1. Nota-se que o efeito da temperatura de entrada do ar de secagem e da interação não foram significativos a 95% de confiança (p ≤ 0,05). Já para o efeito da vazão da bomba, em negrito, foi significativo a 95% de confiança (p ≤ 0,05); observa-se também que como o valor do efeito é positivo, quando o

Resultados e Discussão

valor da vazão da bomba passa do mínimo ($0,3 \text{ L h}^{-1}$) para o máximo ($0,7 \text{ L h}^{-1}$) o teor de água aumenta, ou seja, os menores valores de teores de água encontrados foram para a menor vazão da bomba ($0,3 \text{ L h}^{-1}$). O aumento da vazão mássica no spray dryer faz com que o tempo de contato entre o produto e o ar seja menor, tornando o processo de transferência de calor menos eficiente e resultando, assim, em uma menor evaporação de água do produto (TONON & HUBINGER, 2007).

Tabela 40 -Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real do teor de água (% b.u.) do pó coletado na câmara de secagem

| Fatores | Efeito Estimado | Erro Padrão | t (3) | Significância Estatística (p) |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|----------------|-------------------------------|
| Temperatura de entrada (TE) | -0,585000 | 0,302220 | -1,93568 | 0,148339 |
| Vazão da bomba (VB) | 1,455000 | 0,302220 | 4,81437 | 0,017069 |
| Temperatura x Vazão | -0,485000 | 0,302220 | -1,60479 | 0,206882 |

Na Figura 22 encontra-se o diagrama de Pareto do teor de água (% b.u.) do pó coletado na câmara de secagem, onde se verifica que o parâmetro da vazão da bomba influenciou no resultado final do produto obtido. Observa-se também que as interações não foram significativas.

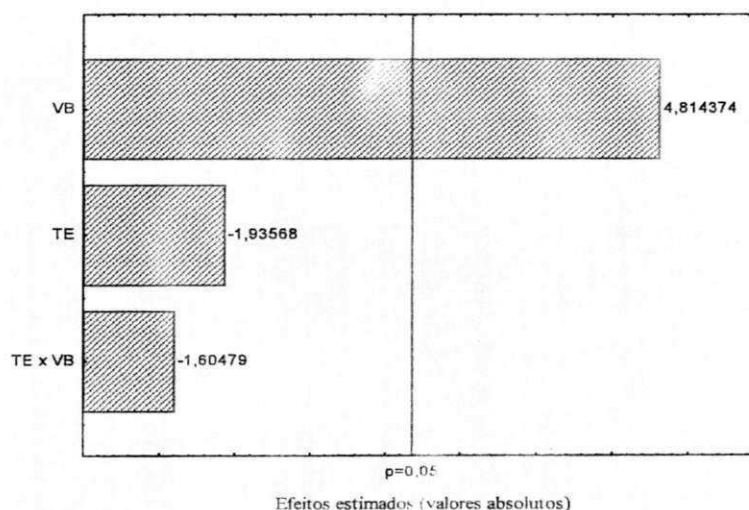


Figura 22 – Diagrama de Pareto do teor de água (% b.u.) do pó coletado na câmara de secagem

Resultados e Discussão

O modelo de primeira ordem proposto para representar o teor de água (% b.u.) do pó coletado na câmara de secagem, dentro dos limites de temperatura de entrada e vazão da bomba, é descrito pela Equação (35), tendo como efeito significativo a 95% de confiança apenas a vazão da bomba.

$$TA = 2,32 + 0,73VB \quad (35)$$

em que:

TA – teor de água (% b.u.)

VB – vazão da bomba ($L h^{-1}$)

Na Tabela 41 encontra-se a análise de variância do teor de água (% b.u.) do pó coletado na câmara de secagem, retirando-se os parâmetros não significativos. Analisando a tabela, verifica-se que o valor de $F_{\text{calculado}}$ é maior que o F_{tabelado} , sendo assim o modelo é estatisticamente significativo, porém, a razão entre $F_{\text{calculado}}$ e F_{tabelado} é igual 1,88. De acordo com BOX & WETZ (1973) para que uma regressão seja não apenas significativa, mas também preditiva, os valores da razão entre o $F_{\text{calculado}}$ e o F_{tabelado} , devem ser no mínimo maiores que 4, o que não foi o caso do modelo descrito; sendo assim, o modelo de primeira ordem do teor de água do pó coletado na câmara de secagem foi estatisticamente significativo mas não preditivo. O coeficiente de determinação (R^2) para o modelo ajustado foi de 77,32%, indicando que o modelo apresentou uma razoável precisão.

Tabela 41 -Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para o teor de água (% b.u.) do pó coletado na câmara de secagem

| | SQ | GL | MQ | $F_{\text{calculado}}$ | F_{tabelado}^* |
|-----------------|--------|----|---------|------------------------|-------------------------|
| Regressão | 2,1170 | 1 | 2,1170 | 12,4310 | 6,61 |
| Resíduo | 0,8515 | 5 | 0,1703 | | |
| Falta de ajuste | 0,8506 | 3 | 0,2835 | 630 | 19,16 |
| Erro puro | 0,0009 | 2 | 0,00045 | | |
| Total | 2,9685 | 6 | | | |

$R^2 = 77,32\%$; *Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$; SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

Na Tabela D.1, encontram-se os valores médios do teor de água (% b.u.) das amostras do pó coletado na câmara de secagem desidratadas em diferentes temperaturas de entrada do ar de secagem e vazão mássica da bomba utilizando-se planejamento fatorial. O

Resultados e Discussão

teor de água dos pós variaram entre um máximo de 3,41% b.u. e um mínimo de 1,37% b.u. FIGUEIRÊDO et al. (2001) determinaram para uma formulação elaborada 82,5% de suco de acerola+15% de maltodextrina + 2,5% de goma arábica um teor de água de 3,13% b.s.

Na Figura D.4 (Apêndice D) encontra-se o gráfico dos valores observados versus os valores preditos para o teor de água (% b.u.) do pó do ciclone.

Na Tabela 42 encontram-se os efeitos significativos e os não significativos, os erros padrão, os coeficientes *t* e grau de significância estatística da temperatura de entrada e vazão da bomba sobre o teor de água do pó do ciclone durante o processo de secagem por aspersão da Formulação 1. Os efeitos dos parâmetros avaliados e sua interação não foram significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$), o que pode ser também observado no diagrama de Pareto, Figura 23.

Tabela 42 -Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real do teor de água (% b.u.) do pó do ciclone

| Fatores | Efeito Estimado | Erro Padrão | t (3) | Significância Estatística (p) |
|-----------------------------|-----------------|-------------|-----------|-------------------------------|
| Temperatura de entrada (TE) | -0,535000 | 0,935605 | -0,571823 | 0,607479 |
| Vazão da bomba (VB) | 0,585000 | 0,935605 | 0,625264 | 0,576130 |
| Temperatura x Vazão | 0,285000 | 0,935605 | 0,304616 | 0,780568 |

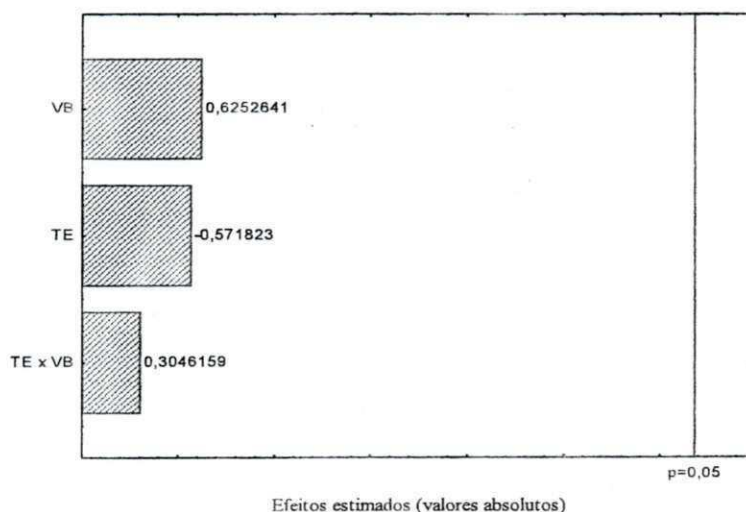


Figura 23 – Diagrama de Pareto do teor de água (%) do pó do ciclone

Resultados e Discussão

Na Tabela 43 encontra-se a análise de variância do teor de água (% b.u.) do pó do ciclone. Analisando a tabela, verifica-se que o valor de $F_{\text{calculado}}$ foi inferior ao F_{tabelado} , confirmando que os parâmetros estudados não foram significativos. O coeficiente de determinação ($R^2 = 21,27\%$) encontrado foi muito baixo, indicando pouca precisão.

Tabela 43 -Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para o teor de água (% b.u.) do pó do ciclone

| | SQ | GL | MQ | $F_{\text{calculado}}$ | F_{tabelado}^* |
|-----------------|--------|----|--------|------------------------|-------------------------|
| Regressão | 0,7096 | 3 | 0,2365 | 0,2702 | 9,28 |
| Resíduo | 2,6261 | 3 | 0,8754 | | |
| Falta de ajuste | 2,6253 | 1 | 2,6253 | 6563,25 | 18,51 |
| Erro puro | 0,0008 | 2 | 0,0004 | | |
| Total | 3,3357 | 6 | | | |

$R^2 = 21,27\%$; *Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$; SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

Na Tabela D.2, encontram-se os valores médios do teor de água (% b.u.) das amostras do pó do ciclone desidratadas em diferentes temperaturas de entrada do ar de secagem e vazão mássica da bomba utilizando-se planejamento fatorial. O teor de água dos pós variaram entre um máximo de 2,45% b.u. e um mínimo de 0,49% b.u. CHEGINI & GHOBADIAN (2007) obtiveram valores de teores de água variando de 2,10% a 2,50%, para o suco concentrado de laranja adicionado de maltodextrina, desidratado em diferentes condições de secagem: temperatura de entrada do ar (130-150 °C) e vazão da bomba (15-30 mL min⁻¹).

4.5.3 - Atividade de água

Na Figura D.5 (Apêndice D) encontra-se o gráfico dos valores observados versus os valores preditos para a atividade de água do pó coletado na câmara de secagem.

Na Tabela 44 têm-se os efeitos significativos e os não significativos, os erros padrão, os coeficientes t e grau de significância estatística da temperatura de entrada e vazão da bomba sobre a atividade de água do pó coletado na câmara de secagem durante o processo de secagem por aspersão da Formulação 1. Verifica-se que o efeito da temperatura de entrada do ar de secagem e a vazão da bomba foram significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$), e a interação dos dois parâmetros não foi significativa a 95% de confiança ($p \leq 0,05$). A partir dos sinais do efeito

Resultados e Discussão

estimado constata-se que: para a temperatura de entrada quando o valor passa do mínimo (160 °C) para o valor máximo (180 °C) a atividade de água diminui; já para a vazão da bomba, como o valor do efeito é positivo, significa que quando o valor passa do mínimo (0,3 L h⁻¹) para o máximo (0,7 L h⁻¹) a atividade de água aumenta, ou seja, como a finalidade é obter um produto com baixa atividade de água, este será obtido para a maior temperatura de entrada (180 °C) e menor vazão da bomba (0,3 L h⁻¹).

Tabela 44 -Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real da atividade de água do pó coletado na câmara de secagem

| Fatores | Efeito | Erro | t (3) | Significância |
|-----------------------------|-----------|----------|----------|-----------------|
| | Estimado | Padrão | | Estatística (p) |
| Temperatura de entrada (TE) | -0,064500 | 0,009800 | -6,58178 | 0,007136 |
| Vazão da bomba (VB) | 0,050500 | 0,009800 | 5,15318 | 0,014168 |
| Temperatura x Vazão | -0,029500 | 0,009800 | -3,01027 | 0,057199 |

Na Figura 24 encontra-se o diagrama de Pareto da atividade de água do pó coletado na câmara de secagem. Através do gráfico constata-se que os efeitos significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$) foram à temperatura de entrada e a vazão de entrada; avaliando-se o valor absoluto de *t*, nota-se que a temperatura de entrada teve maior influência sobre a atividade de água (6,5817) seguida da vazão da bomba (5,153176).

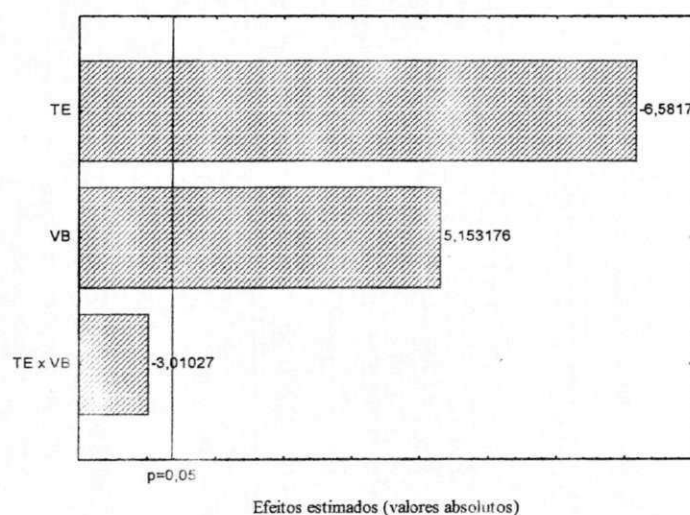


Figura 24 – Diagrama de Pareto da atividade de água do pó coletado na câmara de secagem

O modelo de primeira ordem proposto para representar a atividade de água do pó coletado na câmara de secagem, dentro dos limites de temperatura de entrada e vazão da bomba, é descrito pela Equação (36).

$$a_w = 0,257 - 0,032TE + 0,025VB \quad (36)$$

em que:

a_w – atividade de água

TE – temperatura de entrada (°C)

VB – vazão da bomba (L h⁻¹)

Na Tabela 45 encontra-se a análise de variância da atividade de água do pó coletado na câmara de secagem, retirando-se os parâmetros não significativos. Observa-se que o valor de $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$, e o valor da razão entre $F_{\text{calculado}}$ e F_{tabelado} é igual 1,63, portanto menor que 4, ou seja, o modelo de primeira ordem da atividade de água é estatisticamente significativo mas não preditivo. O coeficiente de determinação (R^2) para o modelo ajustado foi de 85,27%, indicando que o modelo apresentou uma boa precisão.

Tabela 45 -Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a atividade de água do pó coletado na câmara de secagem

| | SQ | GL | MQ | $F_{\text{calculado}}$ | F_{tabelado}^* |
|-----------------|----------|----|---------|------------------------|-------------------------|
| Regressão | 0,006710 | 2 | 0,0034 | 11,33 | 6,94 |
| Resíduo | 0,001159 | 4 | 0,0003 | | |
| Falta de ajuste | 0,001114 | 2 | 0,0006 | 30 | 19,00 |
| Erro puro | 0,000045 | 2 | 0,00002 | | |
| Total | 0,007869 | 6 | | | |

$R^2 = 85,27\%$; *Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$; SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

Na Figura D.6 (Apêndice D) encontra-se o gráfico dos valores observados versus os valores preditos para a atividade de água do pó do ciclone.

Na Tabela 46 se encontram-se os efeitos significativos e os não significativos, os erros padrão, os coeficientes t e grau de significância estatística da temperatura de entrada e vazão da bomba sobre a atividade de água do pó do ciclone durante o processo de secagem por aspersão da Formulação 1. Os efeitos dos parâmetros avaliados e sua

interação não foram significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$), comportamento que pode também ser observado na Figura 25, no diagrama de Pareto da atividade de água.

Tabela 46 -Efeito estimado, erro, coeficiente t e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real da atividade de água do pó do ciclone

| Fatores | Efeito Estimado | Erro Padrão | t (3) | Significância Estatística (p) |
|-----------------------------|-----------------|-------------|----------|-------------------------------|
| Temperatura de entrada (TE) | -0,034500 | 0,012017 | -2,87085 | 0,064006 |
| Vazão da bomba (VB) | 0,025500 | 0,012017 | 2,12193 | 0,123955 |
| Temperatura x Vazão | -0,017500 | 0,012017 | -1,45623 | 0,241357 |

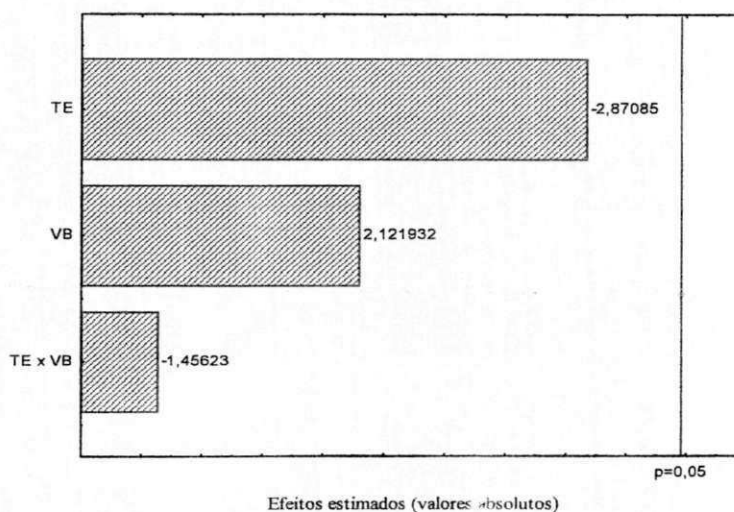


Figura 25 – Diagrama de Pareto da atividade de água do pó do ciclone

Na Tabela 47 encontra-se a análise de variância da atividade de água do pó do ciclone. Nota-se que o valor de $F_{\text{calculado}}$ foi inferior ao F_{tabelado} , confirmando que os parâmetros estudados não foram significativos. O coeficiente de determinação ($R^2 = 83,22\%$) encontrado indica boa precisão.

Tabela 47 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a atividade de água do pó do ciclone

| | SQ | GL | MQ | F _{calculado} | F _{tabelado*} |
|-----------------|----------|----|----------|------------------------|------------------------|
| Regressão | 0,002147 | 3 | 0,000715 | | |
| Resíduo | 0,000433 | 3 | 0,000144 | 4,97 | 9,28 |
| Falta de ajuste | 0,000425 | 1 | 0,000425 | | |
| Erro puro | 0,000008 | 2 | 0,000004 | 106,25 | 18,51 |
| Total | 0,002580 | 6 | | | |

R² = 83,22%; *Valores tabelados de F a p ≤ 0,05; SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

Nas Tabelas D.1 e D.2 têm-se os valores médios da atividade de água obtido para os sete ensaios do planejamento fatorial para o pó coletado na câmara de secagem e ciclone, estes variaram em valores máximos de 0,324 e 0,217 e valores mínimos de 0,209 e 0,157, respectivamente. Observa-se que todos os valores de atividades de água apresentados foram inferiores a 0,4, o que de acordo com a classificação de AZEREDO (2004), são alimentos de baixa atividade de água ($a_w < 0,60$) – nos quais não há crescimento de micro-organismos, embora eles possam sobreviver. QUEK et al. (2007) ao estudarem a secagem por aspersão da polpa de melancia em pó com a adição de 3 e 5% de maltodextrina DE-9, para diferentes condições de secagem obtiveram valores que variaram de 0,20 a 0,29.

4.5.4 – Luminosidade

Na Figura D.7 (Apêndice D) encontra-se o gráfico dos valores observados versus os valores preditos para a luminosidade do pó coletado na câmara de secagem.

Na Tabela 48 tem-se os efeitos significativos e os não significativos, os erros padrão, os coeficientes t e grau de significância estatística da temperatura de entrada e vazão da bomba sobre a luminosidade do pó coletado na câmara de secagem durante o processo de secagem por aspersão da Formulação 1. Nota-se que o efeito da temperatura de entrada foi significativo a 95% de confiança ($p \leq 0,05$), enquanto que a vazão da bomba e a interação dos dois parâmetros não foram significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$). Como dito anteriormente, avaliando-se o sinal do efeito verifica-se que com o aumento da temperatura ocorre uma redução no valor luminosidade, ou seja, a amostra final apresenta-se mais escura. Este comportamento se assemelha ao encontrado por TONON et al. (2009)

Resultados e Discussão

ao estudarem a secagem por aspersão de açaí adicionado de 20% de maltodextrina DE-10. Estes autores relacionam este resultado ao fato da maior retirada de água (menor teor de água), que resulta em produtos um pouco mais concentrados e, conseqüentemente, mais escuros. Além disso, FELLOWS (2006) afirma que o processo de secagem modifica as características da superfície de um alimento, alterando assim sua refletividade e cor, e no caso de frutas e hortaliças as alterações químicas dos pigmentos são causados pelo calor e pela oxidação durante a secagem. Há ainda outra hipótese, de que este escurecimento estaria relacionado à presença de açúcar no produto.

Tabela 48 -Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real da luminosidade do pó coletado na câmara de secagem

| Fatores | Efeito Estimado | Erro Padrão | t (3) | Significância Estatística (p) |
|-----------------------------|-----------------|-------------|----------|-------------------------------|
| Temperatura de entrada (TE) | -9,16292 | 2,683209 | -3,41491 | 0,041999 |
| Vazão da bomba (VB) | 3,54708 | 2,683209 | 1,32196 | 0,277944 |
| Temperatura x Vazão | 2,60292 | 2,683209 | 0,97008 | 0,403562 |

Na Figura 26 encontra-se o diagrama de Pareto da luminosidade do pó coletado na câmara de secagem. Neste diagrama as colunas dos parâmetros que ficam a direita da linha vermelha apresentam efeitos significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$), demonstrando o resultado comentado de que apenas a temperatura de entrada indica efeitos significativos.

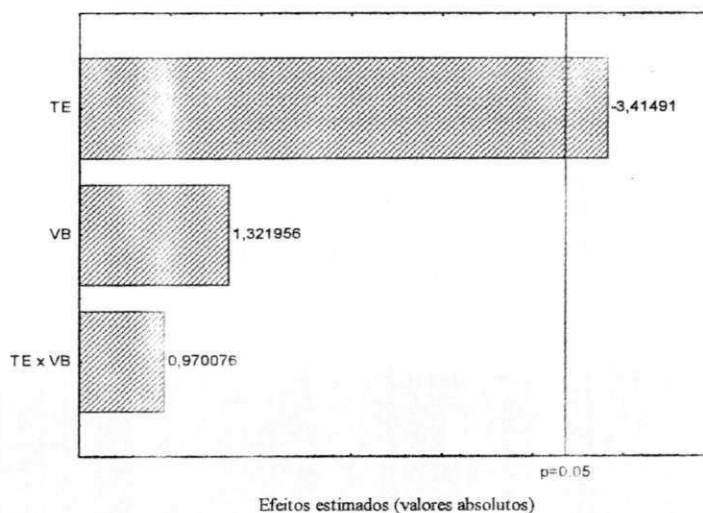


Figura 26 – Diagrama de Pareto da luminosidade do pó coletado na câmara de secagem

Resultados e Discussão

O modelo de primeira ordem proposto para representar a luminosidade do pó coletado na câmara de secagem, dentro dos limites de temperatura de entrada e vazão da bomba, é descrito pela Equação (37), tendo apenas a temperatura de entrada apresentado efeito significativo a 95% de confiança ($p \leq 0,05$).

$$L = 66,48 - 4,58TE \quad (37)$$

em que:

L – luminosidade

TE – temperatura de entrada ($^{\circ}\text{C}$)

Na Tabela 49 encontra-se a análise de variância da luminosidade do pó coletado na câmara de secagem, retirando-se os parâmetros não significativos. Verifica-se que o valor de $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$, e o valor da razão entre $F_{\text{calculado}}$ e F_{tabelado} é igual 1,56, sendo assim, o modelo de primeira ordem da luminosidade é estatisticamente significativo, porém não preditivo. O coeficiente de determinação (R^2) para o modelo ajustado foi de 67,21%, indicando que o modelo apresentou uma razoável precisão.

Tabela 49 -Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a luminosidade do pó coletado na câmara de secagem

| | SQ | GL | MQ | $F_{\text{calculado}}$ | F_{tabelado}^* |
|-----------------|----------|----|---------|------------------------|-------------------------|
| Regressão | 83,9591 | 1 | 83,9591 | 10,29 | 6,61 |
| Resíduo | 40,9558 | 5 | 8,1612 | | |
| Falta de ajuste | 37,8773 | 3 | 12,6258 | 8,20 | 19,16 |
| Erro puro | 3,0785 | 2 | 1,5393 | | |
| Total | 124,9149 | 6 | | | |

$R^2 = 67,21\%$; *Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$; SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

Na Figura D.8 (Apêndice D) encontra-se o gráfico dos valores observados versus os valores preditos para a luminosidade do pó do ciclone.

Na Tabela 50 encontra-se os efeitos significativos e os não significativos, os erros padrão, os coeficientes t e grau de significância estatística da temperatura de entrada e vazão da bomba sobre a luminosidade do pó do ciclone durante o processo de secagem por aspersão da Formulação 1. Os efeitos da temperatura de entrada e sua interação foram significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$), o que não ocorreu com a vazão da bomba. De

Resultados e Discussão

acordo com o sinal do efeito, quanto maior a temperatura menor será o valor da luminosidade, ou seja, mais escura fica a amostra. SOUSA et al. (2008) ao estudarem diferentes condições de secagem (temperatura de entrada -200 a 220 °C; vazão da bomba – 127 a 276 g min⁻¹ e velocidade de atomização – 25000 a 35000 rpm) aplicada a polpa de tomate adicionada de 10% de maltodextrina DE-10 e 1% de dióxido de silício (SiO₂), encontraram efeito significativo para todos os parâmetros estudados e também verificaram que o aumento dos mesmos tornava as amostras em pó mais escuras.

Tabela 50 -Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real da luminosidade do pó do ciclone

| Fatores | Efeito Estimado | Erro Padrão | t (3) | Significância Estatística (p) |
|-----------------------------|-----------------|-------------|---------|-------------------------------|
| Temperatura de entrada (TE) | -1,54833 | 0,154346 | -10,032 | 0,002109 |
| Vazão da bomba (VB) | -0,36833 | 0,154346 | -2,386 | 0,097054 |
| Temperatura x Vazão | 0,89833 | 0,154346 | 5,820 | 0,010100 |

Na Figura 27 encontra-se o diagrama de Pareto da luminosidade do pó do ciclone, onde se confirmam os efeitos significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$), para a temperatura de entrada e para a interação temperatura de entrada x vazão da bomba, sendo a temperatura o fator que mais influencia na luminosidade do pó do ciclone.

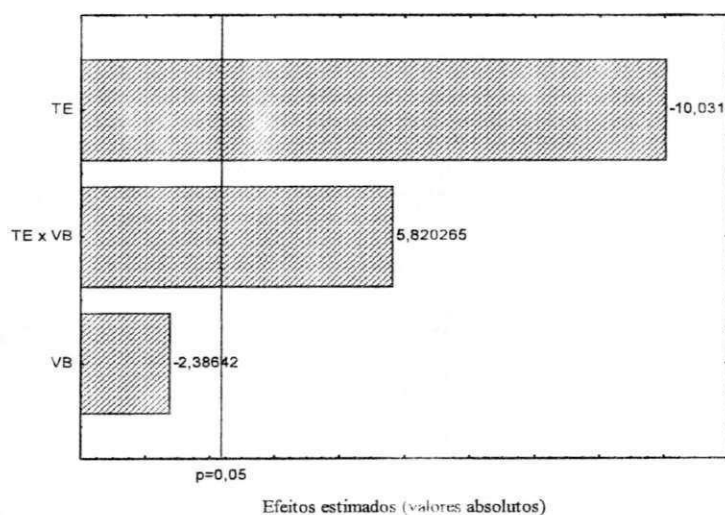


Figura 27 – Diagrama de Pareto da luminosidade do pó do ciclone

Resultados e Discussão

O modelo de primeira ordem proposto para representar a luminosidade do pó do ciclone, dentro dos limites de temperatura de entrada e vazão da bomba, é descrito pela Equação (38).

$$L = 83,02 - 0,77TE + 0,45TE.VB \quad (38)$$

em que:

L – luminosidade

TE – temperatura de entrada (°C)

VB – vazão da bomba (L h⁻¹)

Na Tabela 51 encontra-se a análise de variância da luminosidade do pó do ciclone. Observa-se que o valor de $F_{\text{calculado}}$ foi maior que o F_{tabelado} , e a razão entre o $F_{\text{calculado}}$ e o F_{tabelado} é igual a 4,55, ou seja, o modelo de primeira ordem da luminosidade do pó do ciclone é estatisticamente significativo e preditivo, além disso, o coeficiente de determinação ($R^2 = 93,93\%$) encontrado indica boa precisão.

Tabela 51 -Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a luminosidade do pó do ciclone

| | SQ | GL | MQ | $F_{\text{calculado}}$ | F_{tabelado}^* |
|-----------------|--------|----|--------|------------------------|-------------------------|
| Regressão | 3,2039 | 2 | 1,6020 | 31,60 | 6,94 |
| Resíduo | 0,2027 | 4 | 0,0507 | | |
| Falta de ajuste | 0,1543 | 2 | 0,0772 | 2,92 | 19,00 |
| Erro puro | 0,0529 | 2 | 0,0264 | | |
| Total | 3,4111 | 6 | | | |

$R^2 = 93,93\%$; *Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$; SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

A Figura 28 apresenta a superfície de resposta e a curva de contorno para a resposta luminosidade do pó do ciclone em função da temperatura de entrada e vazão da bomba, gerada por meio do modelo proposto.

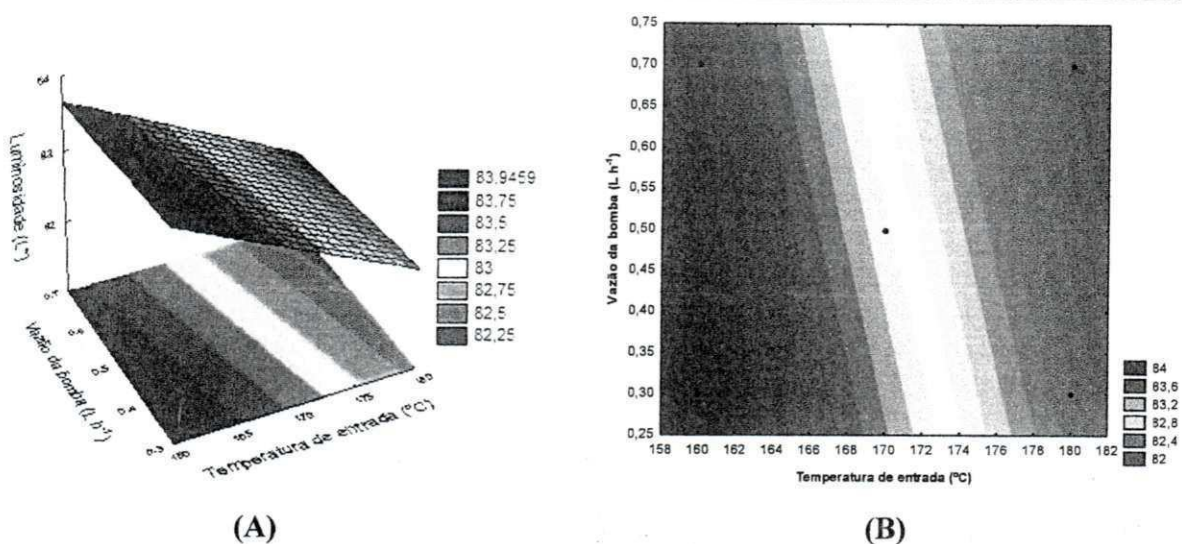


Figura 28 – Superfície de resposta (A) e curva de contorno (B) para a resposta luminosa do pó do ciclone em função temperatura de entrada e vazão da bomba

Nas Tabelas D.1 e D.2 têm-se os valores médios da luminosidade obtido para os sete ensaios do planejamento fatorial para o pó coletado na câmara de secagem e ciclone, estes variaram em valores máximos de 70,13 e 84,39 e valores mínimos de 57,42 e 81,94, respectivamente. ERUS & YURDAGEL (2007) encontram valores de luminosidade de 55,91-56,82 para os extratos etanólicos de cenoura desidratada em secador por aspersão com adição de diferentes concentrações de maltodextrina (Stardri 10 (10DE), Glucodry 210 (20–23DE) e MDX 29 (28–31 DE)).

4.5.5 - Intensidade de vermelho (+a)

Na Figura D.9 (Apêndice D) encontra-se o gráfico dos valores observados versus os valores preditos para a intensidade de vermelho (+a) do pó coletado na câmara de secagem.

Na Tabela 52 tem-se os efeitos significativos e os não significativos, os erros padrão, os coeficientes t e grau de significância estatística da temperatura de entrada e vazão da bomba sobre a intensidade de vermelho coletado na câmara de secagem durante o processo de secagem por aspersão da Formulação 1. Observa-se que o efeito da temperatura de entrada do ar de secagem foi significativo a 95% de confiança ($p \leq 0,05$), e os efeitos da vazão da bomba e da interação dos dois parâmetros não foram significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$). Avaliando-

se a tabela, nota-se que o sinal do efeito da temperatura de entrada é positivo, ou seja, com o aumento da temperatura há o aumento da intensidade de vermelho.

Tabela 52 -Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real da intensidade de vermelho (+a) do pó coletado na câmara de secagem

| Fatores | Efeito Estimado | Erro Padrão | t (3) | Significância Estatística (p) |
|------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|-------------------------------|
| Temperatura de entrada (TE) | 3,32958 | 0,507827 | 6,55653 | 0,007215 |
| Vazão da bomba (VB) | -1,12042 | 0,507827 | -2,20630 | 0,114497 |
| Temperatura x Vazão | -0,86958 | 0,507827 | -1,71236 | 0,185350 |

Na Figura 29 encontra-se o diagrama de Pareto da intensidade de vermelho (+a) do pó coletado na câmara de secagem, e confirma-se o resultado do efeito significativo a 95% de confiança ($p \leq 0,05$) da temperatura sobre o parâmetro estudado.

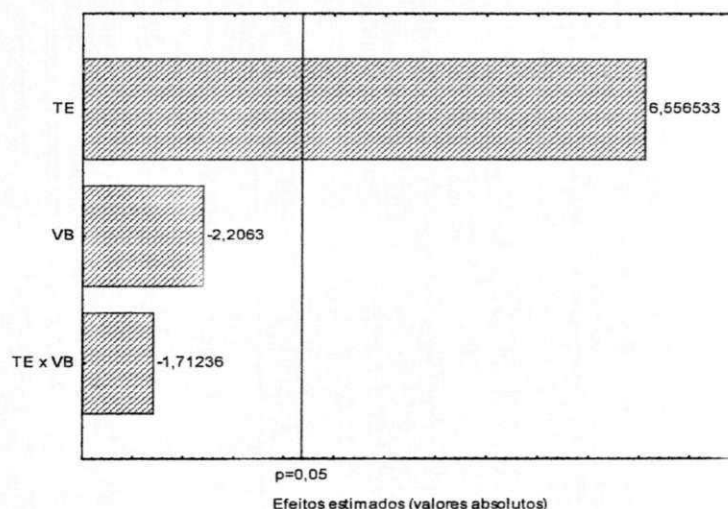


Figura 29 – Diagrama de Pareto da intensidade de vermelho (+a) do pó coletado na câmara de secagem

A partir dos dados experimentais obtidos pelo planejamento experimental fatorial da intensidade de vermelho (+a) das amostras em pó, realizou-se a regressão linear, obtendo-se o modelo de primeira ordem (Equação 39), onde são marcados em negrito os parâmetros que apresentaram efeitos significativos a 95% de confiança.

$$a = 7,65 + 1,66TE \quad (39)$$

em que:

a – intensidade de vermelho (+a)

TE – temperatura de entrada (°C)

Na Tabela 53 encontra-se a análise de variância da intensidade de vermelho do pó coletado na câmara de secagem, retirando-se os parâmetros não significativos. Constata-se que o valor de $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$, e a da razão entre $F_{\text{calculado}}$ e F_{tabelado} foi igual 3,01. A partir destes resultados verifica-se que o modelo de primeira ordem da intensidade de vermelho (+a) foi estatisticamente significativo, mas não preditivo. O coeficiente de determinação (R^2) para o modelo ajustado foi de 79,92%, indicando que o modelo apresentou uma razoável precisão.

Tabela 53 -Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a intensidade de vermelho (+a) do pó coletado na câmara de secagem

| | SQ | GL | MQ | $F_{\text{calculado}}$ | F_{tabelado}^* |
|-----------------|---------|----|---------|------------------------|-------------------------|
| Regressão | 11,0861 | 1 | 11,0861 | 19,90 | 6,61 |
| Resíduo | 2,7852 | 5 | 0,5570 | | |
| Falta de ajuste | 2,3590 | 3 | 0,7863 | 3,69 | 19,16 |
| Erro puro | 0,4262 | 2 | 0,2131 | | |
| Total | 13,8713 | 6 | | | |

$R^2 = 79,92\%$; *Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$; SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

Na Figura D.10 (Apêndice D) encontra-se o gráfico dos valores observados versus os valores preditos para a intensidade de vermelho (+a) do pó do ciclone.

Na Tabela 54 encontram-se os efeitos significativos e os não significativos, os erros padrão, os coeficientes t e grau de significância estatística da temperatura de entrada e vazão da bomba sobre a intensidade de vermelho (+a) do pó do ciclone durante o processo de secagem por aspersão da Formulação 1. Os efeitos dos parâmetros avaliados e sua interação não foram significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$), comportamento que pode também ser observado na Figura 30, no diagrama de Pareto da intensidade de vermelho.

Tabela 54 -Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real da intensidade de vermelho (+a) do pó do ciclone

| Fatores | Efeito Estimado | Erro Padrão | t (3) | Significância Estatística (p) |
|-----------------------------|-----------------|-------------|-----------|-------------------------------|
| Temperatura de entrada (TE) | 0,355000 | 0,928800 | 0,382213 | 0,727772 |
| Vazão da bomba (VB) | 0,195000 | 0,928800 | 0,209948 | 0,847158 |
| Temperatura x Vazão | -0,335000 | 0,928800 | -0,360680 | 0,742240 |

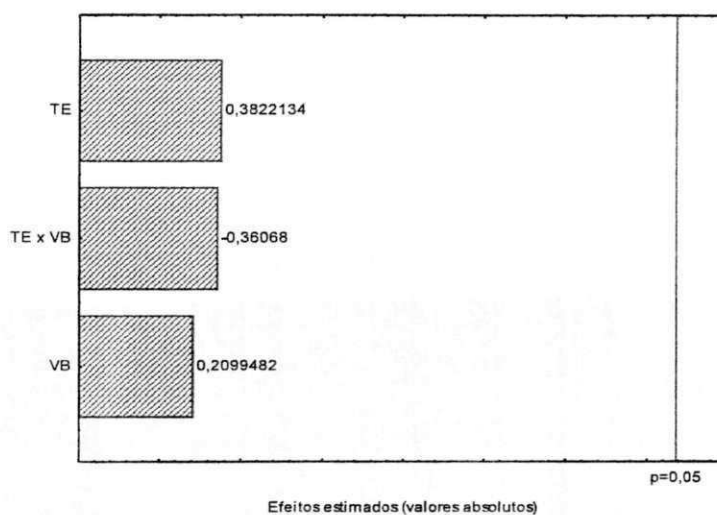


Figura 30– Diagrama de Pareto da intensidade de vermelho (+a) do pó do ciclone

Na Tabela 55 encontra-se a análise de variância da intensidade de vermelho (+a) do pó do ciclone. Observa-se que o valor de $F_{\text{calculado}}$ foi inferior ao F_{tabelado} , confirmando que os parâmetros estudados não foram significativos. O coeficiente de determinação ($R^2 = 9,64\%$) encontrado indica pouca precisão.

Tabela 55 -Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a intensidade de vermelho (+a) do pó do ciclone

| | SQ | GL | MQ | F _{calculado} | F _{tabelado*} |
|-----------------|--------|----|--------|------------------------|------------------------|
| Regressão | 0,2763 | 3 | 0,0921 | 0,11 | 9,28 |
| Resíduo | 2,5880 | 3 | 0,8627 | | |
| Falta de ajuste | 2,5830 | 1 | 2,5830 | 1033,2 | 18,51 |
| Erro puro | 0,0050 | 2 | 0,0025 | | |
| Total | 2,8643 | 6 | | | |

R² = 9,64%; *Valores tabelados de F a p ≤ 0,05; SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

Nas Tabelas D.1 e D.2 têm-se os valores médios da intensidade de vermelho obtido para os sete ensaios do planejamento fatorial para o pó coletado na câmara de secagem e ciclone, estes variaram em valores máximos de 10,50 e 2,90 e valores mínimos de 6,05 e 1,18, respectivamente. GALDINO (2011) encontrou ao estudar a intensidade de vermelho do pó obtido pela secagem por aspersão da polpa de figo-da-índia adicionada de diferentes concentrações de maltodextrina DE-10 (25, 30 e 35%), coletados na câmara de secagem e no ciclone, valores variando de máximos 8,28 e 10,74 de e valores mínimos 3,46 e 0,82 de, respectivamente.

4.5.6 - Intensidade de amarelo

Na Figura D.11 (Apêndice D) encontra-se o gráfico dos valores observados versus os valores preditos para a intensidade de amarelo (+b) do pó coletado na câmara de secagem.

Na Tabela 56 tem-se os efeitos significativos e os não significativos, os erros padrão, os coeficientes t e grau de significância estatística da temperatura de entrada e vazão da bomba sobre a intensidade de amarelo (+b) do pó coletado na câmara de secagem durante o processo de secagem por aspersão da Formulação 1. Observa-se que o efeito da temperatura de entrada do ar de secagem e a vazão da bomba foram significativos a 95% de confiança (p ≤ 0,05), e a interação dos dois parâmetros não foi significativa a 95% de confiança (p ≤ 0,05). A partir dos sinais do efeito estimado constata-se que: para a temperatura de entrada quando o valor passa do mínimo (160 °C) para o valor máximo (180 °C) intensidade de amarelo aumenta; já para a vazão da bomba, como o valor do

Resultados e Discussão

efeito é negativo, significa que quando o valor passa do mínimo ($0,3 \text{ L h}^{-1}$) para o máximo ($0,7 \text{ L h}^{-1}$) a intensidade de amarelo diminui.

Segundo MASKAN (2002), o desenvolvimento de alterações na cor durante o processamento térmico de alimentos é resultado principalmente de reações não-enzimáticas (Maillard) e destruição dos pigmentos presentes (oxidação).

Tabela 56 -Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real da intensidade de amarelo (+b) do pó coletado na câmara de secagem

| Fatores | Efeito Estimado | Erro Padrão | t (3) | Significância Estatística (p) |
|-----------------------------|-----------------|-------------|----------|-------------------------------|
| Temperatura de entrada (TE) | 5,88750 | 0,886627 | 6,64033 | 0,006959 |
| Vazão da bomba (VB) | -4,91250 | 0,886627 | -5,54066 | 0,011590 |
| Temperatura x Vazão | 0,39250 | 0,886627 | 0,44269 | 0,687965 |

Na Figura 31 encontra-se o diagrama de Pareto da intensidade de amarelo do pó coletado na câmara de secagem. Observa-se que os efeitos significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$), foram a temperatura de entrada e a vazão de entrada, sendo o primeiro parâmetro (TE) o que mais influenciou, fato este evidenciado pelo valor absoluto de *t* (6,640332), seguido do segundo parâmetro (VB) com valor absoluto de *t* igual a 5,54066.

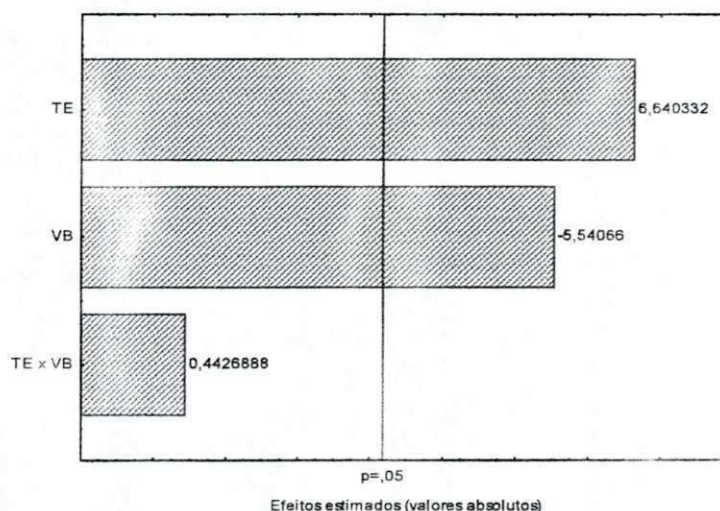


Figura 31 – Diagrama de Pareto da intensidade de amarelo (+b) do pó coletado na câmara de secagem

Com dados do planejamento experimental, realizou-se uma regressão, obtendo um modelo de primeira ordem (Equação 40) para a intensidade de amarelo (+a), em função da temperatura de entrada e vazão da bomba, parâmetros estes significativos a 95% de confiança.

$$b = 28,27 + 2,94TE - 2,46VB \quad (40)$$

em que:

b – intensidade de amarelo (+b)

TE – temperatura de entrada (°C)

VB – vazão da bomba (L h⁻¹)

Na Tabela 57 encontra-se a análise de variância da intensidade de amarelo (+b) do coletado na câmara de secagem, retirando-se os parâmetros não significativos. A partir dos resultados obtidos na tabela, verifica-se que o valor de $F_{\text{calculado}}$ foi superior ao F_{tabelado} , indicando que o modelo foi estatisticamente significativo, além disso, a razão entre $F_{\text{calculado}}$ e F_{tabelado} foi igual a 6,74; como já referenciado anteriormente, quando este valor é superior a 4 o modelo é significativo e também preditivo. O coeficiente de determinação (R^2) para o modelo ajustado foi de 95,90%, indicando que o modelo apresentou uma excelente precisão.

Tabela 57 -Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a intensidade de amarelo (+b) do pó coletado na câmara de secagem

| | SQ | GL | MQ | $F_{\text{calculado}}$ | F_{tabelado}^* |
|-----------------|---------|----|---------|------------------------|-------------------------|
| Regressão | 58,7953 | 2 | 29,3976 | 46,80 | 6,94 |
| Resíduo | 2,5124 | 4 | 0,6281 | | |
| Falta de ajuste | 0,4289 | 2 | 0,2144 | 0,21 | 19,00 |
| Erro puro | 2,0835 | 2 | 1,0418 | | |
| Total | 61,3077 | 6 | | | |

$R^2 = 95,90\%$; *Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$; SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

Na Tabela D.1 tem-se os valores experimentais da intensidade de amarelo obtidos para os sete ensaios do planejamento fatorial, observa-se que estes variam de $22,50 < +b < 33,30$. ENDO et al. (2007) ao estudarem o processo de secagem por aspersão em suco de maracujá obteve um valor de intensidade de amarelo de 32,80.

Na Figura D.12 (Apêndice D) encontra-se o gráfico dos valores observados versus os valores preditos para a intensidade de amarelo (+b) do pó do ciclone.

Na Tabela 58 tem-se os efeitos significativos e os não significativos, os erros padrão, os coeficientes *t* e grau de significância estatística da temperatura de entrada e vazão da bomba sobre a intensidade de amarelo (+b) do pó do ciclone durante o processo de secagem por aspersão da Formulação 1. Nota-se que o efeito da temperatura de entrada do ar de secagem e a vazão da bomba foram significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$), e a interação dos dois parâmetros não foram significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$). Analisando os resultados da tabela, verifica-se que: para a temperatura de entrada quando o valor passa do mínimo (160 °C) para o valor máximo (180 °C) intensidade de amarelo aumenta; já para a vazão da bomba, como o valor do efeito é negativo, significa que quando o valor passa do mínimo (0,3 L h⁻¹) para o máximo (0,7 L h⁻¹) a intensidade de amarelo diminui.

Tabela 58 -Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real da intensidade de amarelo (+b) do pó do ciclone

| Fatores | Efeito Estimado | Erro Padrão | t (3) | Significância Estatística (p) |
|-----------------------------|-----------------|-------------|----------|-------------------------------|
| Temperatura de entrada (TE) | 2,51750 | 0,435784 | 5,77694 | 0,010314 |
| Vazão da bomba (VB) | -1,82250 | 0,435784 | -4,18211 | 0,024912 |
| Temperatura x Vazão | -1,02750 | 0,435784 | -2,35782 | 0,099597 |

Na Figura 32 encontra-se o diagrama de Pareto da intensidade de amarelo do pó do ciclone. Observa-se que o efeito que mais influenciou na intensidade de amarelo da amostra em pó foi a temperatura de entrada (5,776939), seguida da vazão da bomba (4,18211).

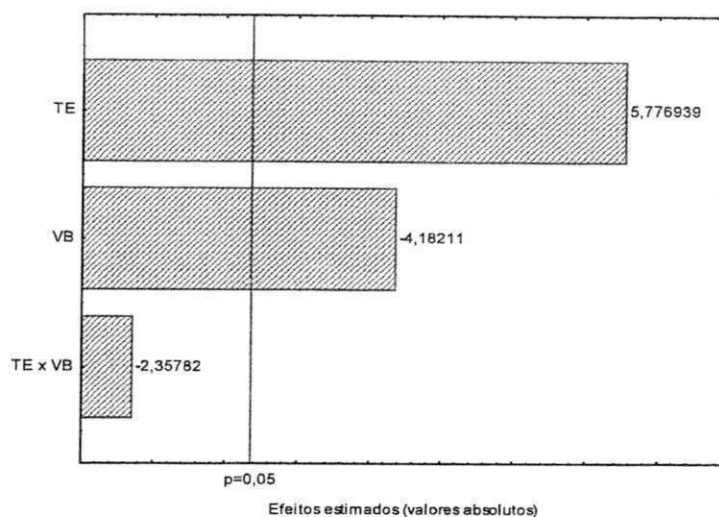


Figura 32 – Diagrama de Pareto da intensidade de amarelo (+b) do pó do ciclone

A partir dos dados da intensidade amarelo (+a) em função da temperatura de entrada e vazão da bomba, parâmetros estes significativos a 95% de confiança, obteve-se o modelo de primeira ordem representado pela Equação 41.

$$b = 11,43 + 1,26TE - 0,91VB \quad (41)$$

em que:

b – intensidade de amarelo (+b)

TE – temperatura de entrada (°C)

VB – vazão da bomba (L h⁻¹)

Na Tabela 59 encontra-se a análise de variância da intensidade de amarelo (+b) do pó do ciclone. Verifica-se que o valor $F_{\text{calculado}}$ foi superior ao F_{tabelado} , e o valor da razão foi de aproximadamente 1,71, ou seja, de acordo com o teste F, o modelo de primeira ordem é estatisticamente significativo, porém não preditivo. O coeficiente de determinação ($R^2 = 85,60\%$) encontrado indica boa precisão.

Tabela 59 -Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a intensidade de amarelo (+b) do pó do ciclone

| | SQ | GL | MQ | F _{calculado} | F _{tabelado*} |
|-----------------|---------|----|--------|------------------------|------------------------|
| Regressão | 9,6594 | 2 | 4,8297 | 11,88 | 6,94 |
| Resíduo | 1,6255 | 4 | 0,4064 | | |
| Falta de ajuste | 1,3126 | 2 | 0,6563 | 4,20 | 19,00 |
| Erro puro | 0,3129 | 2 | 0,1564 | | |
| Total | 11,2849 | 6 | | | |

R² = 85,60%; *Valores tabelados de F a p ≤ 0,05; SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

Nas Tabelas D.1 e D.2 têm-se os valores médios da intensidade de amarelo obtido para os sete ensaios do planejamento fatorial para o pó coletado na câmara de secagem e ciclone, estes variaram em valores máximos de 33,30 e 13,95 e valores mínimos de 22,50 e 9,61, respectivamente. FIGUEIRÊDO et al. (2005) encontraram uma intensidade de amarelo média de 12,06, para o pó de acerola obtido pelo método de secagem por aspersão, utilizando 15% de maltodextrina e 5% de goma arábica.

4.5.7 – Ácido ascórbico

Na Figura D.13 (Apêndice D) encontra-se o gráfico dos valores observados versus os valores preditos para o ácido ascórbico (mg 100g⁻¹) do pó coletado na câmara de secagem.

Na Tabela 60 têm-se os efeitos significativos e os não significativos, os erros padrão, os coeficientes t e grau de significância estatística da temperatura de entrada e vazão da bomba sobre o ácido ascórbico (mg 100g⁻¹) do pó coletado na câmara de secagem durante o processo de secagem por aspersão da Formulação 1. Observa-se que o único efeito significativo a 95% de confiança (p ≤ 0,05) foi à temperatura de entrada do ar de secagem. Ainda analisando a tabela, constata-se que com o aumento da temperatura de entrada, o teor de ácido ascórbico também aumenta.

A superioridade dos valores de ácido ascórbico na maior temperatura em relação à menor temperatura de secagem se deve provavelmente a menor degradação do ácido ascórbico provocado pelo menor tempo de secagem a 180 °C. Este comportamento se baseia que nas altas temperaturas pode ocorrer a inativação de enzimas oxidativas, favorecendo a retenção da vitamina C (GURJÃO, 2006). Segundo SINGH & LUND

(1984) entre os fatores que influenciam a degradação da vitamina C, encontram-se a temperatura, atividade de água ou teor de água, pH, presença de oxigênio e de íons metálicos. Sabe-se ainda que a estabilidade do ácido ascórbico decresce com o aumento da atividade de água (UDDIN et al., 2001).

As taxas de degradação de vitamina C aumentam em atividades de água mais altas, supostamente devido ao fato da reação de oxidação ocorrer mais facilmente quando a fase aquosa do produto é menos viscosa (LEE & LABUZA, 1975). Isto porque, segundo estes mesmos autores, o aumento da taxa de degradação pode ser resultado da diluição da fase aquosa, o que provoca um decréscimo da viscosidade, e assim aumenta a mobilidade dos reagentes.

Tabela 60 -Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real do ácido ascórbico (mg/100 g) do pó coletado na câmara de secagem

| Fatores | Efeito Estimado | Erro Padrão | t (3) | Significância Estatística (p) |
|-----------------------------|-----------------|-------------|----------|-------------------------------|
| Temperatura de entrada (TE) | 9,93369 | 1,467474 | 6,76925 | 0,006588 |
| Vazão da bomba (VB) | -4,40351 | 1,467474 | -3,00074 | 0,057635 |
| Temperatura x Vazão | -0,47469 | 1,467474 | -0,32348 | 0,767573 |

Na Figura 33 encontra-se o diagrama de Pareto do ácido ascórbico (mg/100 g) do pó coletado na câmara de secagem. Por meio do gráfico é possível visualizar melhor que o parâmetro temperatura de entrada foi estatisticamente significativo a 95% de confiança, devido ao mesmo ter ultrapassado a linha vermelha de $p=0,05$.

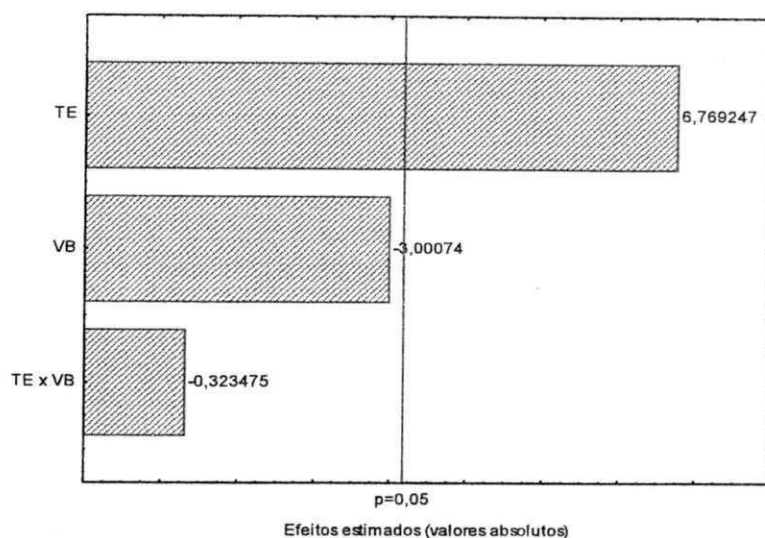


Figura 33 – Diagrama de Pareto do ácido ascórbico (mg/100 g) do pó coletado na câmara de secagem

O modelo de primeira ordem proposto para representar o ácido ascórbico ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$) do pó da câmara, dentro dos limites de temperatura de entrada e vazão da bomba, é descrito pela Equação (42).

$$aa = 13,91 + 4,97TE \quad (42)$$

em que:

aa – ácido ascórbico ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$)

TE – temperatura de entrada ($^{\circ}\text{C}$)

Na Tabela 61 encontra-se a análise de variância do ácido ascórbico ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$) do pó coletado na câmara de secagem, retirando-se os parâmetros não significativos. Avaliando-se os dados observa-se que o valor de $F_{\text{calculado}}$ foi superior ao F_{tabelado} , e o valor da razão foi igual a 2,86, logo o modelo de primeira ordem do ácido ascórbico ($\text{mg}/100 \text{ g}$) foi estatisticamente significativo mas não preditivo. O coeficiente de determinação (R^2) para o modelo ajustado foi de 79,10%, indicando que o modelo apresentou uma razoável precisão.

Resultados e Discussão

Tabela 61 -Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para do ácido ascórbico (mg 100g⁻¹) do pó coletado na câmara de secagem

| | SQ | GL | MQ | F _{calculado} | F _{tabelado*} |
|-----------------|----------|----|---------|------------------------|------------------------|
| Regressão | 98,6782 | 1 | 98,6782 | 18,92 | 6,61 |
| Resíduo | 26,0767 | 5 | 5,2153 | | |
| Falta de ajuste | 26,0242 | 3 | 8,6747 | 331,10 | 19,16 |
| Erro puro | 0,0525 | 2 | 0,0262 | | |
| Total | 124,7549 | 6 | | | |

R² = 79,10%; *Valores tabelados de F a p ≤ 0,05; SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

Na Figura D.14 (Apêndice D) encontra-se o gráfico dos valores observados versus os valores preditos para o ácido ascórbico (mg 100g⁻¹) do pó do ciclone.

Na Tabela 62 encontram-se os efeitos significativos e os não significativos, os erros padrão, os coeficientes t e grau de significância estatística da temperatura de entrada e vazão da bomba sobre o ácido ascórbico (mg 100g⁻¹) do pó do ciclone durante o processo de secagem por aspersão da Formulação 1. Os efeitos dos parâmetros avaliados e sua interação foram significativos a 95% de confiança (p ≤ 0,05). Nota-se também que devido ao sinal do valor do efeito ser positivo, o aumento da temperatura de entrada e vazão da bomba o teor de acarreta aumento no teor de ácido ascórbico.

Tabela 62 -Efeito estimado, erro, coeficiente t e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real do ácido ascórbico (mg 100g⁻¹) do pó do ciclone

| Fatores | Efeito Estimado | Erro Padrão | t (3) | Significância Estatística (p) |
|-----------------------------|-----------------|-------------|----------|-------------------------------|
| Temperatura de entrada (TE) | 3,670678 | 0,118449 | 30,98955 | 0,000074 |
| Vazão da bomba (VB) | 1,711678 | 0,118449 | 14,45078 | 0,000718 |
| Temperatura x Vazão | 1,713422 | 0,118449 | 14,46549 | 0,000716 |

Na Figura 34, no qual se encontra o diagrama de Pareto para a avaliação do teor de ácido ascórbico (mg 100g⁻¹), é possível observar os parâmetros estatisticamente significativos a 95% de confiança (p = 0,05). Dentre estes parâmetros a temperatura de entrada foi o fator que mais influenciou, seguida da interação temperatura de entrada x vazão da bomba e posteriormente a vazão de entrada (30,98955 > 14,46549 > 14,45078).

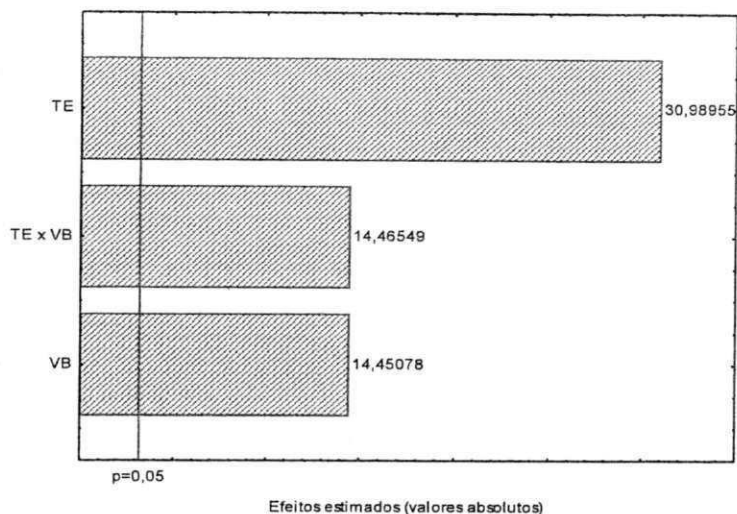


Figura 34 – Diagrama de Pareto do ácido ascórbico ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$) do pó do ciclone

A partir dos dados obtidos pelo planejamento fatorial do ácido ascórbico ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$) das amostras em pó do ciclone (Formulação 1) fez-se a regressão linear desses dados experimentais, em função da temperatura de entrada, da vazão de entrada e da interação temperatura de entrada x vazão da bomba, os quais foram significativos a 95% de confiança obtendo-se o modelo empírico da Equação 4.9.

$$aa = 3,86 + 1,84TE + 0,86VB + 0,86TE.VB \quad (43)$$

em que:

aa – ácido ascórbico ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$)

TE – temperatura de entrada ($^{\circ}\text{C}$)

VB – vazão da bomba (L h^{-1})

Na Tabela 63 encontra-se a análise de variância do ácido ascórbico ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$) do pó do ciclone. Nota-se que o valor de $F_{\text{calculado}}$ foi superior ao F_{tabelado} , e a razão apresentou valor aproximado de 49,62, sendo assim, o modelo de primeira ordem do teor de ácido ascórbico foi estatisticamente significativo e preditivo, além disso, o coeficiente de determinação ($R^2 = 99,78\%$) encontrado indica excelente precisão.

Tabela 63 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para o ácido ascórbico (mg/100 g) do pó do ciclone

| | SQ | GL | MQ | F _{calculado} | F _{tabelado*} |
|-----------------|---------|----|--------|------------------------|------------------------|
| Regressão | 19,3395 | 3 | 6,4465 | 460,46 | 9,28 |
| Resíduo | 0,0421 | 3 | 0,0140 | | |
| Falta de ajuste | 0,0379 | 1 | 0,0379 | 18,05 | 18,51 |
| Erro puro | 0,0042 | 2 | 0,0021 | | |
| Total | 19,3816 | 6 | | | |

R² = 99,78%; *Valores tabelados de F a p ≤ 0,05; SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

Na Figura 35 tem-se a superfície de resposta e a curva de contorno para a resposta ácido ascórbico do pó do ciclone em função temperatura de entrada e vazão da bomba, geradas através do modelo proposto.

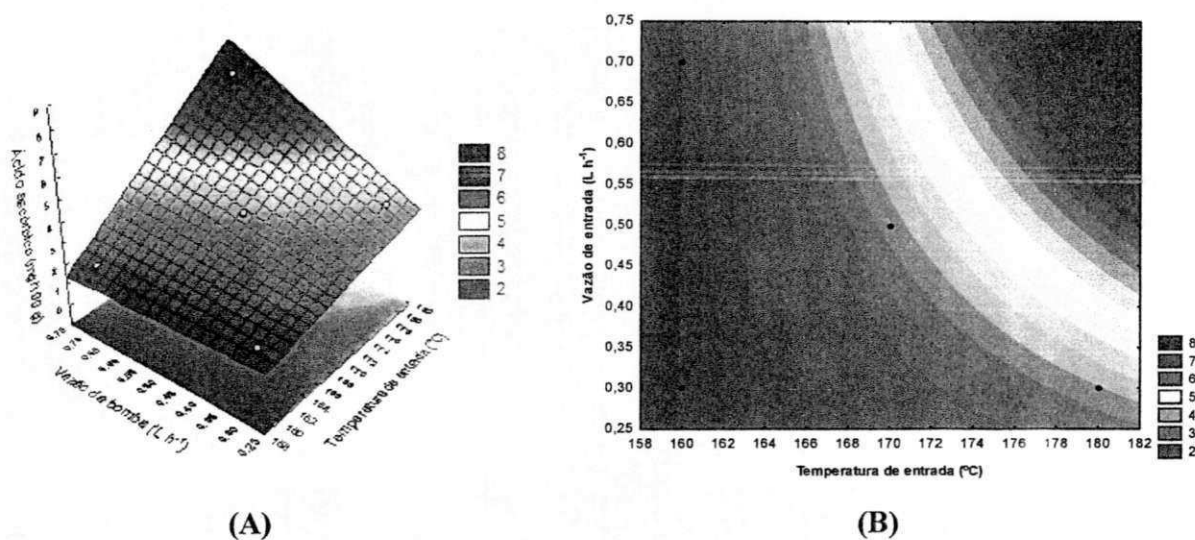


Figura 35 – Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) para a resposta ácido ascórbico do pó do ciclone em função temperatura de entrada e vazão da bomba

Nas Tabelas D.1 e D.2 têm-se os valores médios do teor de ácido ascórbico (aa) obtidos para o pó coletado na câmara de secagem e no ciclone. Observa-se que estes valores variam de $7,81 < aa < 22,15 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ e $1,96 < aa < 7,34 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$, para a câmara de secagem e ciclone, respectivamente. ANGEL et al. (2009) encontraram uma variação de $56,89 < aa < 39,73\%$ para o pó atomizado do suco de maracujá elaborado com diferentes

blends de lactose-maltodextrina DE-10 (8:5, 10:5 e 12:5%), e diferentes condições de processo: temperatura de entrada do ar (180-190 °C) e pressão do ar (0,10 e 0,20 MPa).

4.5.8 – Condições de secagem selecionada

Analisando os resultados do planejamento experimental fatorial aplicado, recomenda-se que o planejamento seja expandido axialmente para os níveis $+\alpha$ e $-\alpha$, em razão de todos os parâmetros avaliados não apontarem uma única amostra como sendo a melhor; avaliando-se, então, as amostras em pó dos diferentes experimentos coletados na câmara de secagem, obtidos pela secagem por aspersão utilizando-se planejamento experimental fatorial, pode-se definir a partir dos dados experimentais dos parâmetros estudados rendimento, teor de água, atividade de água, luminosidade (L^*), intensidade de vermelho ($+a^*$), intensidade de amarelo ($+b^*$) e teor de ácido ascórbico, pode-se definir como sendo a melhor condição de secagem a temperatura de entrada de 180 °C e vazão da bomba de 0,3 L h⁻¹, visto que se encontrou, nessas condições, o menor teor de teor de água (1,37% b.s.) e atividade de água (0,209), o que promove um maior tempo de vida de prateleira; e maiores teores de ácido ascórbico (22,15 mg 100g⁻¹), indicando uma maior retenção desta vitamina, e intensidade de amarelo (+33,30), cor característica do pó obtido.

4.6 – Caracterização das amostras em pó

4.6.1 - Caracterização química, física e físico-química

Nas Tabelas E.1 a E.17 (Apêndice E) encontra-se a análise de variância dos valores médios da caracterização química e física do pó da Formulação 1 coletado na câmara de secagem e no ciclone. Verifica-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste de Tukey para quase todos os parâmetros avaliados, com exceção dos sólidos solúveis totais, da densidade absoluta e da porosidade que apresentaram efeito significativo a 5% de probabilidade, e os parâmetros acidez total titulável e relação SST/ATT que não apresentaram efeito significativo.

Na Tabela 64 são apresentados os valores médios e os desvios padrão da caracterização química, física e físico-química do pó da Formulação 1 coletado na câmara de secagem e no ciclone.



Tabela 64 - Caracterização química e física do pó da Formulação 1 coletado na câmara de secagem e no ciclone

| Parâmetro | Câmara | Ciclone |
|--|------------------|------------------|
| pH | 4,94±0,01 | 4,85±0,01 |
| Teor de água (% b.u.) | 1,37±0,04 a | 0,49±0,01 b |
| Sólidos totais (%) | 98,63±0,04 b | 99,51±0,04 a |
| Sólidos solúveis totais (°Brix) | 44,69±2,89 b | 49,63±0,00 a |
| Acidez total titulável (% ácido cítrico) | 0,52±0,03 a | 0,57±0,03 a |
| SST/ATT | 86,85±5,28 a | 87,45±4,82 a |
| Ácido ascórbico (mg100g ⁻¹) | 22,15±1,10 a | 3,91±0,00 b |
| Cinzas (%) | 0,97±0,01 a | 0,74±0,00 b |
| Açúcares redutores (% glicose) | 25,83±0,21 a | 23,25±0,27 b |
| Proteína (%) | 2,24±0,01 a | 1,44±0,01 b |
| Atividade de água (25 °C) | 0,157±0,013 b | 0,209±0,015 a |
| Luminosidade (L*) | 57,42±0,09 b | 81,94±0,06 a |
| Intensidade de vermelho (+a*) | 10,50±0,10 a | 1,87±0,01 b |
| Intensidade de amarelo (+b*) | 33,30±0,31 a | 13,95±0,20 b |
| Densidade absoluta (kg m ⁻³) (25 °C) | 1.262,15±30,83 b | 1.419,72±69,19 a |
| Densidade aparente (kg m ⁻³) (25 °C) | 458,15±6,16 b | 560,99±9,14 a |
| Porosidade (%) | 63,69±0,58 a | 60,45±1,25 b |
| Solubilidade (min) | 2,01±0,07 b | 2,38±0,05 a |

Verifica-se na Tabela 64 que o pH das duas amostras estudadas (câmara de secagem e ciclone) foram superiores a 4,5, o que de acordo com a classificação apresentada por BARUFFALDI & OLIVEIRA (1998), estas amostras são consideradas como um produto pouco ácido, ou seja, estas são susceptíveis ao crescimento de cepas de *Clostridium botulinum* que podem produzir toxinas. SANCHEZ et al. (2011) encontraram valores de pH de 5,7; 5,7 e 5,4 para amostras em pó de suco de melancia com adição de 0,5% de maltodextrina DE-10, 0,5% de goma arábica e 0,5% de maltodextrina DE-10 e goma arábica (1:1), respectivamente.

O teor de água do pó coletado no ciclone foi 64,23% menor do que o teor de água do pó da câmara de secagem, além disso, observa-se que os seus valores diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. DOMINGUES

Resultados e Discussão

et al. (2002) encontraram valores de teor de água para o pó de abacaxi, em diferentes condições de secagem (concentração de maltodextrina – 10; 12,5 e 15% e velocidade de atomização 25000, 30000 e 35000) variando de 0,91 a 1,68%. Já para o teor de sólidos totais o maior valor encontrado foi para o pó do ciclone, com diferença percentual de 0,89%, quando comparada com o teor de sólidos totais do pó coletado na câmara de secagem. Observa-se também que assim como o teor água os resultados dos sólidos totais das duas amostras diferiram estatisticamente entre si.

Verifica-se que os dados experimentais dos sólidos solúveis totais diferiram estatisticamente entre si, tendo o pó do ciclone apresentado um teor de sólidos solúveis totais 11,05% maior do que o obtido para o pó coletado na câmara de secagem. Além disso, o valor encontrado para as duas amostras foi de 44,69 e 49,63 °Brix para o pó coletado na câmara de secagem e no ciclone, respectivamente. SOARES et al. (2001) encontraram um teor médio de sólidos solúveis totais de 62,30 °Brix, para a polpa de acerola adicionado de pectina citrina, emustab e super liga neutra, desidratada nas temperaturas de 60 e 70 °C, pelo processo de secagem em camada de espuma.

Os valores encontrados para a acidez total titulável não diferiram estatisticamente, resultado também observado por OLIVEIRA et al. (2006) ao estudarem amostras em pó elaboradas com polpa de pitanga adicionada de 15% de maltodextrina e 30% de água destilada. Constata-se também que os valores da relação SST/ATT não diferiram estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados dos teores de ácido ascórbico mostraram que o pó coletado no ciclone apresentou um valor 82,35% menor que o pó coletado na câmara, nota-se também que os valores das duas amostras diferem estatisticamente entre si. RAJKUMAR et al. (2007) ao desidratarem polpa de manga com a adição de 10% de albumina e 0,5% de metilcelulose, pelo método de secagem em camada de espuma, a 60°C, encontraram para esta amostra um teor de ácido ascórbico de 23,11 mg 100g⁻¹, sendo este valor um pouco superior ao encontrado para o pó coletado na câmara de secagem que foi de 22,15mg 100g⁻¹.

Observa-se que o conteúdo de minerais (cinzas) encontrado para as duas amostras diferem estatisticamente entre si, e que o pó coletado na câmara de secagem em termos percentuais apresenta um valor 23,71% superior em relação ao encontrado para o pó do ciclone. GALDINO (2011) também encontrou os maiores valores do teor de cinzas para o pó coletado no ciclone, sendo este obtido a partir da secagem por aspersão da polpa de figo-da-índia adicionada de diferentes concentrações de maltodextrina DE-10 (25, 30 e 35%).

Os teores de açúcares redutores apresentados na tabela mostram que o pó coletado na câmara de secagem foi de 9,99% superior ao valor dos açúcares redutores do ciclone, além disso, as duas amostras diferem estatisticamente entre si. MELO (2007) não verificou diferença estatística entre os valores encontrados para os pós da câmara de secagem e do ciclone, obtendo valores de 27,52 e 27,47% de glicose, respectivamente, sendo o pó obtido a partir da secagem por aspersão da formulação elaborada com 80% de leite de cabra + 20% de polpa de umbu-cajá, a esta se adicionou 15% de maltodextrina DE-10.

Nota-se para a proteína que os valores encontrados diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade, e que o pó coletado na câmara de secagem apresenta em termos percentuais 55,56% mais proteína que o pó do ciclone. O valor médio encontrado para a proteína do pó coletado na câmara de secagem foi de $2,24 \pm 0,01\%$, este valor é próximo ao relatado por OLIVEIRA (2006) que foi de 2,17% e 2,18%, para a câmara de secagem e o ciclone, respectivamente, ao estudar o pó da polpa de pitanga adicionada de 15% de maltodextrina e 30% de água destilada.

Para a atividade de água verifica-se que o pó da câmara de secagem tem um valor 33,12% inferior ao encontrado para o ciclone. Observa-se os que valores diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade, além disso, todos os valores de atividade de água encontrados para as duas amostras foram inferiores a 0,3, o que segundo a classificação de AZEREDO (2004), são alimentos de baixa atividade de água. RIGHETO (2003) encontraram atividades de água com variação de $0,199 < a_w < 0,254$, para as amostras em pó de suco de acerola verde adicionado de 50% de maltodextrina DE-20; 37,5% de maltodextrina DE-20 + 12,5% de goma arábica; 25% de maltodextrina DE-20 + 25% de goma arábica; 37,5% de goma arábica + 12,5% de maltodextrina DE-20 e 50% de goma arábica. LISBÔA et al. (2012) ao estudarem a secagem em camada de espuma da polpa de figo-da-índia adicionada de 0,5% de Super Liga Neutra, 2% de Emustab e 5% de extrato de soja, na temperatura de 90 °C, obtiveram atividade de água igual a 0,311.

Avaliando-se os resultados obtidos para os parâmetros de cor (L^* , a^* e b^*), observa-se que todos os valores diferiram estatisticamente entre si. Comparando-se os resultados do pó coletado na câmara de secagem em relação ao pó do ciclone, constata-se que a intensidade de vermelho e a intensidade de amarelo reduziram em 82,19% e 58,11%, respectivamente; já o valor da luminosidade do pó ciclone foi 42,70% maior que o pó coletado na câmara de secagem, indicando que o pó do ciclone é mais claro, ou seja, mais próximo do branco. CARVALHO (2008) verificou o mesmo comportamento ao estudar a

Resultados e Discussão

cor do pó coletado na câmara de secagem e no ciclone, obtido a partir da formulação elaborada com 50% de polpa de umbu-cajá + 50% de leite de cabra, adicionada de 5, 10 e 15% de maltodextrina DE-10.

Constata-se que os valores médios da densidade absoluta das duas amostras do pó da Formulação 1, diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, apresentando o pó do ciclone densidade absoluta 12,48% maior que a da câmara de secagem. Este comportamento é semelhante ao relatado por OLIVEIRA et al. (2006) ao estudarem amostras em pó elaboradas com polpa de pitanga adicionada de 15% de maltodextrina e 30% de água destilada, estes autores obtiveram valores de densidade absoluta para os pós coletados na câmara de secagem e ciclone de 1.192,3 e 1.380,6 kg m⁻³, respectivamente.

Para os valores experimentais da densidade aparente, constata-se que o pó ciclone apresenta uma densidade aparente 47,75% maior do que a encontrada para o pó coletado na câmara de secagem, além disso, estes valores diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. As densidades aparentes obtidas foram de 458,15±6,16 e 560,99±9,14 kg m⁻³, para a câmara de secagem e ciclone, respectivamente. CHEGINI & GHOBADIAN (2007) encontraram valores para a densidade absoluta do pó do suco de laranja adicionado de maltodextrina variando de 500 a 210 kg m⁻³, de acordo com as condições de secagem estudada: temperatura do ar de entrada (130-150 °C) e vazão da bomba (15-30 mL min⁻¹).

Analisando os dados obtidos para a porosidade das duas amostras em pó estudadas (câmara de secagem e ciclone) verifica-se que os valores diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, e que a câmara de secagem apresenta uma maior porosidade (5,36% a mais que a porosidade do ciclone), indicando que nesta amostra existem mais espaços vazios. SOUZA et al. (2009) encontraram valores de porosidade num intervalo de 50 a 59%, dependendo da condição de secagem (temperatura de entrada -200 a 220 °C; vazão da bomba – 127 a 276 g min⁻¹ e velocidade de atomização – 25000 a 35000 rpm) aplicada a polpa de tomate adicionada de 10% de maltodextrina DE-10 e 1% de dióxido de silício (SiO₂).

Os resultados encontrados para a solubilidade das amostras em pó estudadas apresentam valores que diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, sendo o pó coletado na câmara de secagem mais solúvel que o pó do ciclone, devido a esta amostra apresentar um menor tempo de solubilidade. GOULA & ADAMOPOULOS (2005) ao estudarem a solubilidade de polpa de tomate em pó desidrata

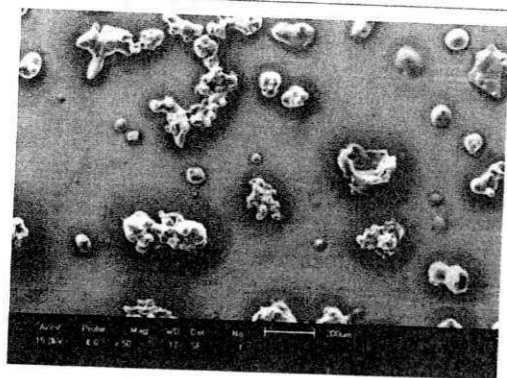
pelo processo de secagem por aspersão em diferentes condições de secagem obtiveram valores que variaram entre 2,02 e 4,08 min.

4.6.2 – Morfologia

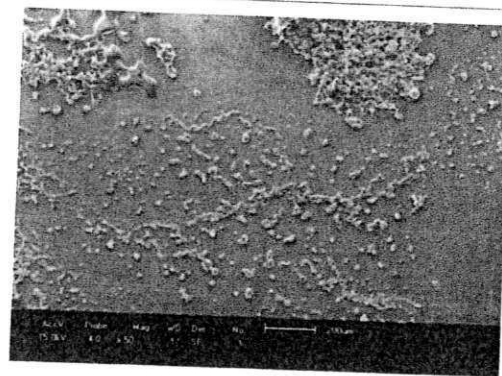
Realizou-se a análise de morfologia para as partículas elaboradas através da Formulação 1, coletadas na câmara de secagem e no ciclone. As imagens apresentadas na Figura 37 correspondem às partículas produzidas com temperatura de entrada de 180 °C e vazão da bomba de 0,3 L h⁻¹.

De acordo com as imagens da Figura 36 verifica-se que as partículas do pó coletado na câmara de secagem foram maiores que as do pó do ciclone, observa-se também que as partículas das duas amostras não apresentaram formato esférico, que é característico de pós produzidos pelo processo de secagem por atomização.

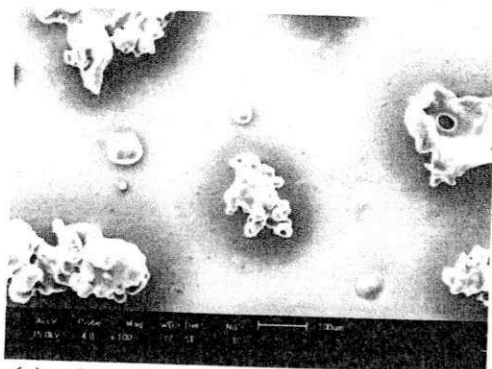
Constata-se que as duas amostras em análise formam agregados pegajosos; comportamento semelhante foi relatado por BERNA (2009) ao desidratar em secador por aspersão a polpa de *Opuntia stricta* com adição de maltodextrina Glucidex 6DE, em diferentes relações agente carreador/suco (0,45; 0,9 e 1,8), o autor relatou que com a utilização deste agente carreador só foi possível identificar partículas esféricas quando a relação foi superior a 0,9, ou seja, houve neste caso o aumento da concentração de maltodextrina. Estes resultados também foram relatado por VAREDO (2009) ao estudar a secagem por aspersão da polpa de romã com adição de nutriosa (fibras dietéticas solúveis obtidas do trigo e do milho), em diferentes relações agente carreador/suco (0,7; 1,0; 1,25 e 1,5), o autor afirma que com o aumento da concentração nutriosa houve a redução da higroscopicidade das partículas.



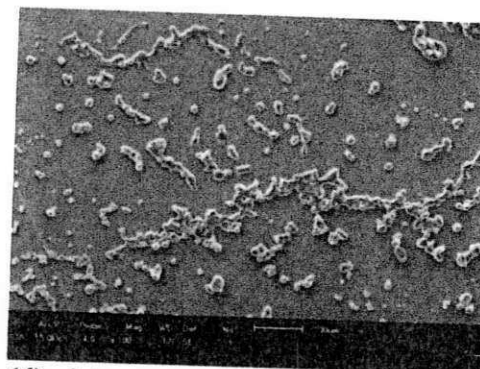
(a) câmara, aumento de 50 vezes



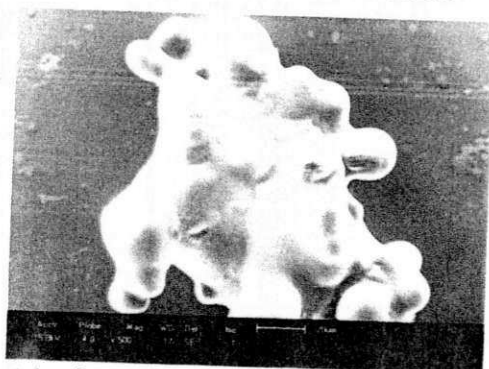
(b) ciclone, aumento de 50 vezes



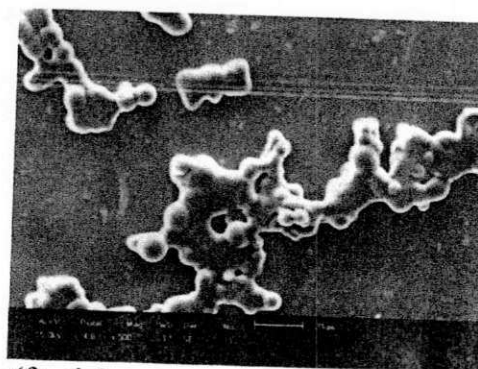
(c) câmara, aumento de 100 vezes



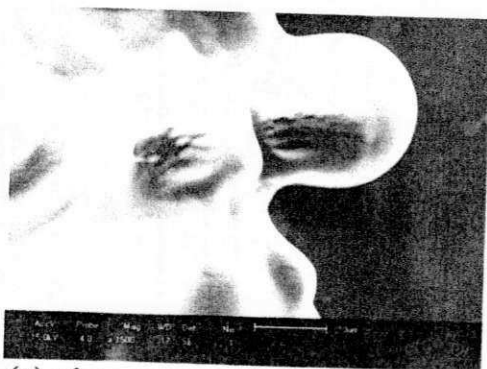
(d) ciclone, aumento de 100 vezes



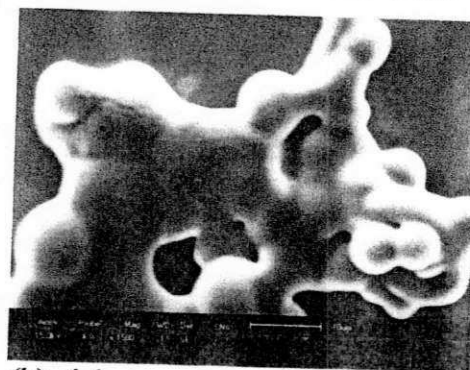
(e) câmara, aumento de 500 vezes



(f) ciclone, aumento de 500 vezes



(g) câmara, aumento de 1500 vezes



(h) ciclone, aumento de 1500 vezes

Figura 36 - Imagens das partículas resultantes da secagem da Formulação 1 coletadas na câmara de secagem e no ciclone

4.7 – Isotermas de adsorção de água

Na Tabela F.1 (Apêndice F) tem-se os valores médios do teor de água de equilíbrio em função da atividade de água das amostras em pó produzidas a partir da Formulação 1 coletadas na câmara de secagem para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C. Verifica-se para todas as amostras que o teor de água de equilíbrio aumentou com o aumento da atividade de água, este resultado foi observado também por GABAS et al. (2007) ao estudarem o comportamento higroscópico, nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C, da polpa de abacaxi adicionada de 18% de maltodextrina DE-20.

Segundo DITCHFIELD (2000), as isotermas de sorção são ferramentas muito importantes na caracterização dos alimentos e na previsão de comportamento de um alimento antes, durante e depois do seu processamento. Sendo assim, não se deve trabalhar com um alimento sem levantar suas isotermas de sorção. RODRIGUES (2003) mencionou que estudos sobre isotermas de adsorção de água são de grande importância, pois através destas curvas pode-se estudar o tipo de embalagem mais adequado à capacidade de adsorção de água pelo alimento, e estimar o grau de desidratação do alimento perante as mudanças de temperatura que podem ocorrer durante o armazenamento.

Na Tabela 65 apresentam-se os parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água das amostras em pó produzidas a partir da Formulação 1 coletadas na câmara de secagem, para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C.

Observa-se que o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água das amostras em pó produzidas foi de o Peleg, apresentando os maiores coeficientes de determinação ($R^2 > 0,99$) e os menores desvios percentuais médios ($P < 9\%$), pois quanto menor P e maior o R^2 maior a precisão do modelo. Este desempenho também foi verificado por ALEXANDRE et al. (2007) para as isotermas de adsorção de água de pitanga em pó, nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C, com $R^2 > 0,98$ e $P < 4\%$ para o modelo de Peleg. Observa-se, ainda, que com o aumento da temperatura, o parâmetro k_1 do modelo de Peleg aumentou. Constata-se também para o modelo de Peleg que todos os valores de n_1 foram superiores a 1, resultado semelhante foi relatado por GURJÃO (2006) ao estudar as isotermas de adsorção de água do pó de tamarindo, nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C.

O modelo de GAB apresentou $R^2 > 0,99$ e $P < 11\%$, podendo-se utilizá-lo para estimar essas isotermas. Para este mesmo modelo SHRESTHA et al. (2007) encontraram

Resultados e Discussão

para a temperatura de 24 °C, coeficiente de determinação igual a 0,98 e desvio percentual médio igual a 1,14%, para o leite em pó desnatado com lactose hidrolisada. A teor de água na monocamada molecular (X_m) do modelo de GAB reduziu com o aumento da temperatura e seus valores foram abaixo de 11% b.s. SYAMALADEVI et al. (2009), encontraram valores próximos de X_m ao ajustarem o modelo de GAB às isotermas de adsorção de água, na temperatura de 25 °C, do mirtilo ($X_m = 11,3\%$) e da framboesa ($X_m = 10,9\%$) liofilizados.

Tabela 65 – Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água, a 20, 30 e 40 °C, das amostras em pó produzidas a partir da Formulação 1 coletadas na câmara de secagem

| Modelo | Temperatura (°C) | Parâmetro | | | R^2 | P (%) | |
|--------|---------------------|-----------|---------|---------|---------|--------|-------|
| | | X_m | C | K | | | |
| GAB | 20 | 10,576 | 0,4763 | 0,9323 | 0,9982 | 9,14 | |
| | 30 | 8,2063 | 0,7355 | 0,9574 | 0,9973 | 10,21 | |
| | 40 | 6,2403 | 1,7272 | 0,9674 | 0,9986 | 9,30 | |
| Oswin | Temperatura (°C) | a | b | R^2 | P (%) | | |
| | | | | | | | |
| Oswin | 20 | 7,2233 | 0,8367 | 0,9934 | 21,61 | | |
| | 30 | 7,1132 | 0,8738 | 0,9955 | 17,97 | | |
| | 40 | 7,7922 | 0,7875 | 0,9983 | 11,87 | | |
| Peleg | Temperatura (°C) | k_1 | n_1 | k_2 | n_2 | R^2 | P (%) |
| | | | | | | | |
| Peleg | 20 | 47,9185 | 3,2988 | 93,8050 | 19,2531 | 0,9991 | 7,00 |
| | 30 | 47,9306 | 3,1263 | 6040,22 | 60,9751 | 0,9992 | 8,79 |
| | 40 | 87,4348 | 13,5138 | 28,7387 | 1,86795 | 0,9999 | 1,42 |

Constata-se também que os parâmetros C e K do modelo de GAB aumentaram com o aumento da temperatura. Segundo ALEXANDRE et al. (2007), o parâmetro K representa o fator de correção das propriedades das moléculas na multicamada com relação ao volume líquido, enquanto a constante de sorção C é função das interações entre os sítios ativos do produto e as moléculas de água.

Por sua vez, as isotermas de adsorção de água do pó coletado na câmara de secagem, para todas as temperaturas estudadas, foram do Tipo III ($0 < K \leq 1$ e $0 \leq C \leq 2$) de acordo com BLAHOVEC (2004). De acordo com BLAHOVEC & YANNIOTIS (2009) as isotermas do Tipo III são típicas de produtos em que a teor de água aumenta com o aumento da atividade de água de tal maneira que a primeira derivada da teor de água também aumenta com o aumento da a_w , característica de produtos que tem sólidos solúveis em água, como, por exemplo, os açúcares.

Para o modelo de Oswin verifica-se que as amostras produzidas apresentaram coeficiente de determinação todos superiores a 0,99 e desvios percentuais médios inferiores a 22%. SILVA et al. (2008a) ao estudarem as isotermas de adsorção de água de cupuaçu em pó, nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C, obtiveram para o modelo de Oswin $R^2 > 0,99$ e $P < 9\%$.

No Apêndice F (Figuras F.1 e F.2) têm-se as isotermas de adsorção de água da Formulação 1 coletadas na câmara de secagem para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C ajustadas pelo modelo de GAB e Oswin.

Na Figura 37 tem-se a representação gráfica das isotermas de adsorção de água nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, do pó coletado na câmara de secagem, com ajuste pelo modelo de Peleg considerado o melhor modelo.

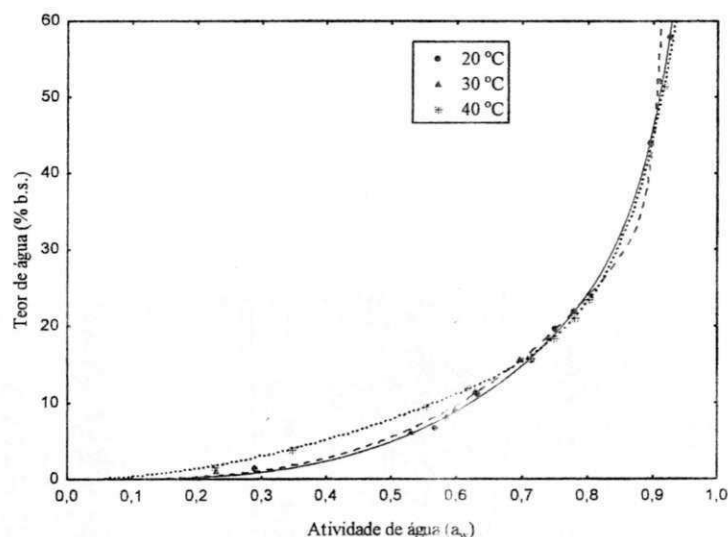


Figura 37 - Isotermas de adsorção de água das amostras em pó produzidas a partir da Formulação 1 coletadas na câmara de secagem, com ajustes pelo modelo de Peleg

GOULA & ADAMOPOULOS (2005) relataram comportamento semelhante ao ajustarem o modelo de Peleg às isotermas de adsorção de água, na temperatura de 20 °C, da polpa de tomate em pó, desidratada pelo processo de secagem por aspersão.

Na Tabela F.2 (Apêndice F) têm-se os valores médios do teor de água de equilíbrio em função da atividade de água das amostras em pó produzidas a partir da Formulação 1 coletadas no ciclone para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C. Nota-se para todas as amostras que teor de água de equilíbrio aumentou com o aumento da atividade de água, comportamento semelhante foi relatado por SILVA et al. (2008a) ao estudarem o comportamento higroscópico do pó de açaí e cupuaçu, nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C.

Na Tabela 66 apresenta-se os parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água das amostras em pó produzidas a partir da Formulação 1 coletadas no ciclone, para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C.

Verifica-se que o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água do pó do ciclone, para as temperaturas de 30 e 40 °C foi o modelo de Peleg, com $R^2 > 0,99$ e $P < 5\%$, já para a temperatura de 20 °C foi o modelo de GAB com $R^2 > 0,99$ e $P < 3\%$, o modelo de Peleg para esta mesma temperatura obteve $R^2 > 0,99$ e $P < 5\%$, ou seja, de forma geral pode-se utilizar o modelo de Peleg para representar as isotermas de adsorção de água do pó do ciclone em todas as temperaturas. OLIVEIRA et al. (2006) encontraram para as isotermas de adsorção de água da pitanga em pó obtida por secagem por aspersão ajustadas pelo modelo de Peleg, nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C, $R^2 > 0,98$ e $P < 7\%$. Ainda para o modelo de Peleg nota-se que os parâmetros k_1 e n_1 reduziram com aumento da temperatura. Observa-se também para o modelo de Peleg que todos os valores de n_1 foram superiores a 1, resultado semelhante foi encontrado por GALDINO (2011) ao estudar a isoterma de adsorção de água, na temperatura de 25 °C, do pó da polpa de figo-da-índia adicionado de 35% de maltodextrina DE-10, desidratado em secador por aspersão.

O modelo de GAB apresentou $R^2 > 0,99$ e $P < 9\%$, podendo ser utilizado com boa precisão para estimar estas isotermas de adsorção de água. LAHSASNI et al. (2004) ao determinarem as isotermas de adsorção de água nas temperaturas de 30, 40 e 50 °C, do figo-da-índia desidratado a 50 °C obtiveram para o modelo de GAB $R^2 > 0,99$ e $P < 6\%$. Observa-se também que a teor de água na monocamada molecular (X_m) do modelo de GAB reduziu com o aumento da temperatura e seus valores foram abaixo de 7% b.s. OLIVEIRA et al. (2011b) encontraram para o pó de sapoti liofilizado valor de $X_m =$

0,08345, para a isoterma de adsorção de água na temperatura de 23 °C ajustada pelo modelo de GAB.

Tabela 66 – Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água, a 20, 30 e 40 °C, das amostras em pó produzidas a partir da Formulação 1 coletadas no ciclone

| Modelo | Temperatura (°C) | Parâmetro | | | R^2 | P (%) | |
|--------|---------------------|-----------|---------|---------|---------|--------|-------|
| | | X_m | C | K | | | |
| GAB | 20 | 6,5378 | 1,8592 | 0,9818 | 0,9999 | 2,03 | |
| | 30 | 4,8851 | 4,5326 | 1,0115 | 0,9973 | 8,03 | |
| | 40 | 4,5922 | 7,4799 | 0,9983 | 0,9967 | 7,32 | |
| Oswin | Temperatura (°C) | a | b | R^2 | P (%) | | |
| | | | | | | | |
| Oswin | 20 | 8,2971 | 0,8384 | 0,9999 | 2,42 | | |
| | 30 | 6,8315 | 0,9319 | 0,9935 | 6,81 | | |
| | 40 | 7,1974 | 0,8291 | 0,9928 | 7,72 | | |
| Peleg | Temperatura (°C) | k_1 | n_1 | k_2 | n_2 | R^2 | P (%) |
| | | | | | | | |
| Peleg | 20 | 123,021 | 14,0278 | 29,6426 | 1,76573 | 0,9998 | 4,06 |
| | 30 | 24,9882 | 1,42895 | 145,207 | 14,3272 | 0,9996 | 2,95 |
| | 40 | 21,2867 | 1,23180 | 106,353 | 13,2047 | 0,9991 | 4,16 |

Além disso, o parâmetro C do modelo de GAB aumentou com o aumento da temperatura, comportamento semelhante ao encontrado para o pó coletado na câmara de secagem. Nota-se também que de modo geral as isotermas de adsorção de água do pó do ciclone, para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C baseado nas informações de BLAHOVEC (2004), se classificam como sendo do Tipo II ($0 < K \leq 1$ e $C > 2$).

O modelo de Oswin apresentou valores de $R^2 > 0,99$ e $P > 8\%$, podendo representar com boa precisão as isotermas de adsorção de água do pó do ciclone. PENA et al. (2010) ao determinarem a isoterma de adsorção de água para o açaí em pó obtido pela secagem por aspersão, na temperatura de 30 °C, encontraram para o mesmo modelo R^2 igual a 0,996.

Na Figura 38 têm-se a representação gráfica das isotermas de adsorção de água, para as temperaturas de 20, 30 e 40°C, das amostras em pó produzidas a partir da Formulação 1 coletadas no ciclone com ajustes pelo modelo de Peleg, considerado de forma geral o melhor modelo. GURJÃO (2006) ao estudar as isotermas de adsorção de água do pó de tamarindo, nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C encontrou para este mesmo modelo coeficientes de determinação superiores a 0,99 e desvios percentuais médios inferiores a 7%.

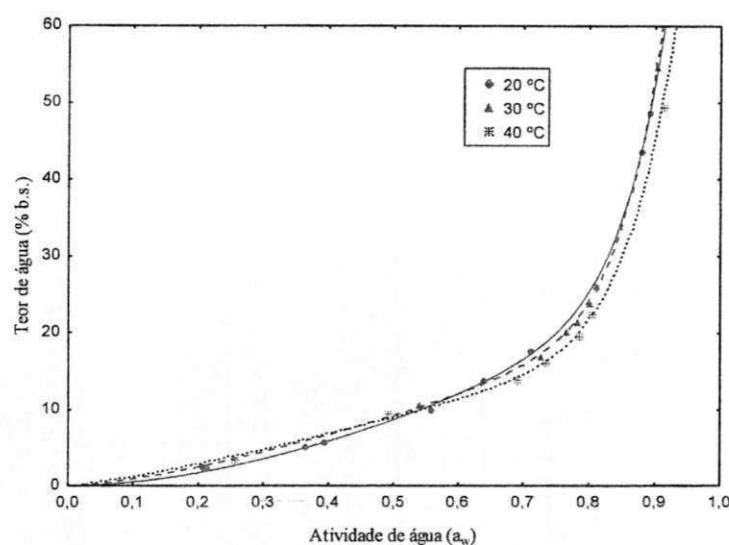


Figura 38 -Isotermas de adsorção de água das amostras em pó produzidas a partir da Formulação 1 coletadas no ciclone, com ajustes pelo modelo de Peleg

Segundo COSTA et al. (2003), as isotermas de adsorção de água são normalmente divididas em três partes diferentes. Na primeira parte que corresponde a uma a_w compreendida entre 0 e 0,3, observa-se um aumento importante da teor de água de equilíbrio com o aumento da a_w . Na segunda parte das isotermas, a a_w varia entre 0,3 e 0,6, têm-se um pequeno aumento do teor de água e uma forte modificação da a_w . Na terceira parte das isotermas, a a_w varia de 0,6 a menor 1, e se constata um forte aumento do teor de água, a água presente nesta fase está ligada por forças de natureza capilar ou osmótica e se mantém disponível para as reações bioquímicas.

4.8 – Cinética de degradação

Na Tabela G.1 (Apêndice G) encontram-se os valores médios de ácido ascórbico ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) para as amostras em pó da Formulação 1 coletadas na câmara de secagem, armazenadas por um período de 15 dias, nas temperaturas de 20, 30 e 40°C. Observa-se que o teor de ácido ascórbico diminuiu com o aumento do tempo de armazenamento, para todas as temperaturas estudadas. O teor de ácido ascórbico (aa) variou de 26,81 a 15,83 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$; 26,63 a 11,46 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ e 27,33 a 8,77 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$, para as temperaturas de 20, 30 e 40°C, respectivamente. Constata-se uma redução do teor de ácido ascórbico em termos percentuais dos valores iniciais em relação aos valores finais de 40,95; 56,97 e 67,91%, ainda pode-se afirmar que, as taxas de redução foram de aproximadamente 0,73 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$; 1,01 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ e 1,24 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, para as temperaturas de 20, 30 e 40°C, respectivamente. YAMASHITA & BENASSI (2000) encontraram uma degradação de ácido ascórbico para a goiaba armazenada por 49 dias, a 8°C com teor de água relativa entre 85-95%, de 50% do valor inicial em relação ao valor final.

Na Figura 39 têm-se a cinética de degradação do ácido ascórbico para as amostras em pó da Formulação 1 coletada na câmara de secagem. Verifica-se que as maiores degradações ocorrem nas maiores temperaturas. A degradação do ácido ascórbico depende de vários fatores como o pH alcalino, temperatura, presença de oxigênio, metais, presença de luz e teor de água elevado (ALDRIGUE et al., 2002). No processo de desidratação, a perda de ácido ascórbico é afetada principalmente pela aplicação de altas temperaturas (GABAS et al., 2003).

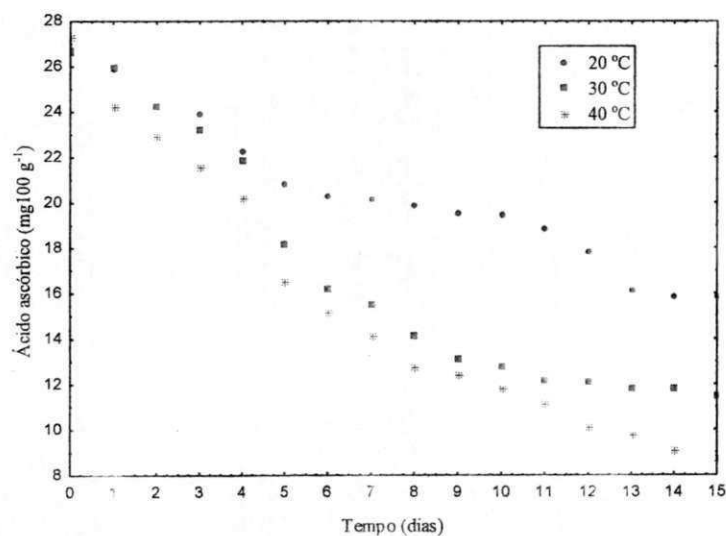


Figura 39 – Cinética de degradação do ácido ascórbico para as amostras em pó da Formulação 1 coletada na câmara de secagem

Na Tabela 67 encontram-se os parâmetros cinéticos da degradação do ácido ascórbico, temperaturas de 20, 30 e 40 °C, para o pó coletado na câmara de secagem. Constatam-se que os maiores valores obtidos para o coeficiente de determinação (R^2) foram para a reação de primeira ordem ($R^2 > 0,93$). De acordo com TAOUKIS & LABUZA (1996) podem ser aplicadas a um modelo de primeira ordem, perda de vitaminas, oxidação de pigmentos e crescimento microbiano. TORALLES et al. (2008) ao estudarem a degradação do ácido ascórbico em purê de pêsego, na faixa de temperatura de 70 a 90 °C, encontraram valores de $R^2 > 0,98$ para as reações de ordem zero e primeira ordem.

O tempo de meia vida $\Theta_{(1/2)}$ foi calculado a partir da constante da velocidade (k) da reação de primeira ordem, através dos resultados observa-se que com o aumento da temperatura há uma redução do tempo de meia vida, ou seja, o ácido ascórbico presente na amostra estudada se degradada mais rapidamente a altas temperaturas.

Tabela 67 – Parâmetros cinéticos da degradação do ácido ascórbico em três diferentes temperaturas para o pó coletado na câmara de secagem

| Temperatura (°C) | Ordem zero | | Primeira ordem | | $\Theta_{(1/2)}$ ** (dia) |
|------------------|------------------------|----------------|------------------------|----------------|------------------------------|
| | k (dia ⁻¹) | R ² | k (dia ⁻¹) | R ² | |
| 20 | 0,6932 | 0,9489 | 0,0365 | 0,9514 | 18,99 |
| 30 | 1,1103 | 0,8995 | 0,0657 | 0,9329 | 10,55 |
| 40 | 1,2056 | 0,9303 | 0,0824 | 0,9741 | 8,41 |

*tempo de meia vida, calculado com o valor de k da reação de primeira ordem

Na Figura 40 tem-se o modelo cinético de primeira ordem da variação do teor de ácido ascórbico em função de tempo, para as amostras em pó da Formulação 1 coletadas na câmara de secagem. Observa-se que com o aumento da temperatura ocasionou uma perda mais acentuada de vitamina C. Comportamento semelhante foi relatado por GABAS et al. (2003) ao estudarem a cinética de degradação do ácido ascórbico, nas temperaturas de 40 a 80 °C, em ameixas liofilizadas.

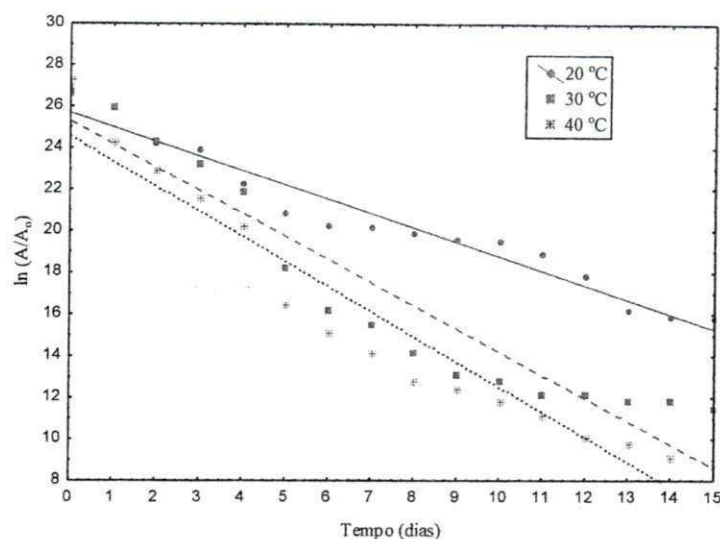


Figura 40 – Modelo cinético de primeira ordem da variação do teor de ácido ascórbico em amostras em pó da Formulação 1 coletadas na câmara de secagem

Na Figura G.1 encontra-se a representação gráfica de Arrhenius da constante cinética de primeira ordem para a degradação do ácido ascórbico do pó coletado na câmara de secagem. Com os valores da inclinação da reta $-E_a/R$ calculou-se a energia de ativação de $31,16 \text{ kJ.mol}^{-1}$, com R^2 igual $0,9467$, para o pó em análise. TORALLES et al. (2008) ao estudarem o efeito da temperatura em purê de pêssego da cultivar Jade na faixa de temperatura de 70 a $90 \text{ }^\circ\text{C}$, para concentrações de 12 , 22 e $32 \text{ }^\circ\text{Brix}$, verificaram que a energia de ativação para degradação do ácido ascórbico foi da ordem de 45 kJ.mol^{-1} .

Na Tabela 68 têm-se os parâmetros de Arrhenius e coeficiente de reação (Q_{10}) para degradação de ácido ascórbico para o pó coletado na câmara de secagem.

Tabela 68 - Parâmetros de Arrhenius e coeficiente de reação (Q_{10}) para degradação de ácido ascórbico para o pó coletado na câmara de secagem

| Intervalo ($^\circ\text{C}$) | Parâmetros de Arrhenius | | | Coeficiente de temperatura (Q_{10}) | |
|-----------------------------------|-------------------------|------------------------------------|--------|---|---|
| | $\ln A$ | $E_A \text{ (kJ.mol}^{-1}\text{)}$ | R^2 | ($20\text{-}30 \text{ }^\circ\text{C}$) | ($30\text{-}40 \text{ }^\circ\text{C}$) |
| 20-40 | 9,53 | 31,16 | 0,9467 | 1,80 | 1,25 |

Observa-se que houve o aumento da velocidade de reação com o aumento da temperatura (Tabela 67), comportamento que pode ser verificado no cálculo do fator Q_{10} (Tabela 68), onde estes apresentaram valores maiores que 1 , confirmando o aumento na degradação para uma temperatura 10°C maior. TONON (2009) também relatou estes

Resultados e Discussão

resultados ao estudar a degradação de antocianinas em suco de açaí em pó, armazenado nas temperaturas de 25 e 35°C, teor de água relativa de 53,5%, por um período de 120 dias. O valor de Q_{10} foi maior entre 20 e 30 °C.

5 - CONCLUSÕES

Com base no conjunto de dados experimentais obtidos nesta pesquisa e para as condições em que o mesmo foi desenvolvido, verifica-se que:

Propriedades físicas da atemoia

- A fruta apresenta peso médio maior que o relatado na literatura.

Caracterização da polpa de atemoia e da formulação selecionada

- A polpa de atemoia e a Formulação 1 são produtos pouco ácidos e predispostos a deteriorações microbiológicas.
- A acidez total titulável, a relação SST/AAT e as cinzas, foram os parâmetros que apresentaram maior diferença de valores entre as duas amostras.
- Os parâmetros ácido ascórbico e cor (L^* , a^* e b^*) sofreram alterações durante o período de armazenamento da polpa de atemoia congelada.

Comportamento reológico da polpa de atemoia

- A polpa de atemoia comportou-se como fluido não-newtoniano de caráter pseudoplástico; dentre os modelos avaliados, o que melhor se ajustou aos dados experimentais foi o de Mizrahi-Berk, apresentando P igual a 2,23% e R^2 igual a 0,99.

Propriedades físico-químicas e físicas das formulações

- Os sólidos solúveis totais aumentaram com o aumento da concentração de maltodextrina e não sofreram alterações com a variação da dextrose equivalente.
- A massa específica das formulações aumentou com o aumento da concentração de maltodextrina e da dextrose equivalente.
- A viscosidade aparente reduziu com o aumento da velocidade de rotação e aumentou com o aumento da viscosidade aparente em todas as dextroses equivalentes estudadas.

Conclusões

- Com o aumento da taxa de deformação, ocorreu decréscimo na viscosidade aparente, para todas as formulações; para as formulações elaboradas com 25 e 35% de concentração de maltodextrina com o aumento das dextroses equivalente, houve aumento na viscosidade aparente; já para as formulações elaboradas com 30% de maltodextrina a que apresentou maiores viscosidades aparentes foi a maltodextrina DE-14, seguida das DE-10 e DE-20.
- Às nove formulações apresentaram comportamento de fluido não-newtoniano de caráter pseudoplástico; dentre os modelos avaliados o que de forma geral melhor se ajustou aos dados experimentais foi o de Mizrahi-Berk apresentando $P < 4$ e $R^2 > 0,97$, para as dextroses equivalentes DE-10, DE-14 e DE-20.

Seleção da formulação

- A formulação selecionada foi a elaborada com 25% de maltodextrina DE-10, em razão dos parâmetros avaliados rendimento, teor de água, atividade de água, intensidade de amarelo e ácido ascórbico, terem apresentado os melhores resultados para a dextrose DE-10 e utilizando a menor quantidade de aditivo (25%).

Planejamento experimental fatorial (seleção da condição de secagem)

- O planejamento experimental fatorial deve ser expandido axialmente para os níveis $+\alpha$ e $-\alpha$, em razão de todos os parâmetros avaliados não apontarem uma única amostra como sendo a melhor.
- A partir dos resultados encontrados para o pó coletado na câmara de secagem, a melhor condição de secagem definida foi para a temperatura de entrada de $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ e vazão da bomba de $0,3\text{ L h}^{-1}$, isto porque, nestas condições encontrou-se o menor teor de água (1,37% b.s.) e atividade de água (0,209), e maiores valores de teor de ácido ascórbico (22,1460 mg/100 g), e intensidade de amarelo (+33,30).

Caracterização das amostras em pó

- Os parâmetros acidez total titulável e relação SST/ATT apresentaram efeito não significativo.

Conclusões

- O teor de água do pó coletado na câmara de secagem é 179,59% maior que a teor de água do pó do ciclone; as duas amostras apresentam pH pouco ácido; os teores de ácido ascórbico do pó coletado na câmara de secagem apresentaram um valor 465,74% em relação ao pó do ciclone.
- O pó coletado na câmara de secagem é mais solúvel e apresenta uma quantidade maior de espaços vazios que o pó do ciclone.
- As partículas do pó coletado na câmara de secagem são maiores que as do pó do ciclone.
- As partículas das duas amostras não apresentaram formato esférico, mas formaram agregados pegajosos.

Isotermas de adsorção de água

- Nas amostras em pó o teor de água de equilíbrio aumentou com o aumento da atividade de água.
- De forma geral, o modelo de Peleg proporcionou os melhores ajustes aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água, com $R^2 > 0,99$ e $P < 9\%$ e $R^2 > 0,99$ e $P < 5\%$, para o pó coletado da câmara de secagem e ciclone, respectivamente.
- As isotermas de adsorção de água do pó coletado na câmara de secagem foram classificadas como Tipo III, e de forma geral as amostras em pó do ciclone foram classificadas como Tipo II.

Cinética de degradação

- As maiores degradações do ácido ascórbico ocorrem nas maiores temperaturas. As taxas de redução foram de aproximadamente $0,73 \text{ mg } 100\text{g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$; $1,01 \text{ mg } 100\text{g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ e $1,24 \text{ mg } 100\text{g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, para as temperaturas de 20, 30 e 40°C, respectivamente.
- Os maiores valores obtidos para o coeficiente de determinação (R^2) foram para a reação de primeira ordem ($R^2 > 0,93$).
- O tempo de meia vida diminuiu com o aumento da temperatura; a energia de ativação do pó coletado na câmara de secagem é de $31,16 \text{ kJ.mol}^{-1}$.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABADIO, F. D. B.; DOMINGUES, A. M.; BORGES, S. V.; OLIVEIRA, V. M. Physical properties of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice effect of malt dextrin concentration and atomization speed. **Journal of Food Engineering**, London, v. 64, n.3, p. 285–287, 2004.
- AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C. Comparação de modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 349-353, 1999.
- AGUIRRE, J. M.; GASPARINO FILHO, J. **Desidratação de frutas e hortaliças**. Campinas: ITAL, 2002. 205 p. (Manual Técnico).
- ALDRIGUE, M.L.; MADRUGA, M.S.; FIOREZE, R.; LIMA, A.W.O.; SOUSA, C.P. **Aspectos da ciência e tecnologia de alimentos**. v.1. João Pessoa:Editora UFPB/Idéia, 2002. 198p.
- ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Isotermas de adsorção de teor de água da pitanga em pó. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 11-20, 2007.
- AL FARSI, M. A.; LEE, C. Y. Nutritional and functional properties of dates: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Cleveland, v. 48, n. 10, p.877–887, 2008.
- ALMEIDA, F. A. C.; GOUVEIA, J. P. G.; SILVA, J. E.; VILLAMIL, J. M. P.; SILVA, M. M. Secagem natural e artificial de vagens de algaroba. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.27, n.1, p.48-57, 2002.
- ALVARADO, J. D.; ROMERO, C. H. Physical properties of fruits: I-II Density and viscosity of juices as functions of soluble solids and content and temperature. **Latin American Applied Research**, La Plata, v. 19, n. 15, p. 15-21, 1989.
- ÁLVARES, V. S. **Manejo pós-colheita de frutas**. 2009. Disponível em: www.agrosoft.org.br/agropa_/212700.htm. Acesso: 20 set. 2010.

Referências Bibliográficas

- ALVES, V. F. **Cinética da degradação do ácido ascórbico em suco de laranja concentrado**. 2004. 108 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Estadual Paulista, Araraquara.
- AMMU, K. et al. Storage behaviour of freeze dried fruit juice powders. **Journal of Food Technology**, Oxford, v.12, n.5, p.541-554, 1977.
- ANGEL, R. C. M.; ESPINOSA-MUÑOZ, L. C.; AVILES-AVILES, C.; GONZÁLEZ-GARCÍA, R.; MOSCOSA-SANTILLÁN, M.; GRAJALES-LAGUNES, A.; ABUD-ARCHILA, M. Spray-Drying of Passion Fruit Juice Using Lactose-Maltodextrin Blends as the Support Material. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v.52, n.4, p. 1011-1018, 2009.
- ANGUELOVA, T.; WARTHESEN, J. Lycopene stability in tomato powders. **Journal of Food Science**, Oxford, v.65, n.1, p.67-70, 2000.
- ANSELMO, G. C.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; ARRUDA, P. C.; SOUSA M. C. Determinação da higroscopicidade do cajá em pó por meio da secagem por atomização. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v.6, n.2, p. 58-65, 2006.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2008. 136 p.
- AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis**, Williams, S. (Ed) 14.ed. Arlington, 1997. 1141p.
- ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos: teoria e prática**. Viçosa: Editora UFV, 5 ed., 2011. 596 p.
- ARAÚJO, L. F.; OLIVEIRA, L. S. C.; PERAZZO NETO, A.; ALSINA, O. L. S.; SILVA, F. L. H. Equilíbrio higroscópico da palma forrageira: relação com a teor de água ótima para fermentação sólida. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 3, p. 379-384, 2005.
- 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 dos Alimentos**, Campinas, v.19, n.3, p.367-373, 1999.

- ATIVIDADE DA ÁGUA. Disponível em: <http://bioquimica.ufcspa.edu.br/pg2/pgs/tecnologia/atividadedagua.pdf>. Acesso: 15 nov. 2009.
- AZEREDO, H. M. C.; FARIA, J. A. F.; BRITO, E. S. Fundamentos de cinética de degradação e estimativa de vida de prateleira. In: AZEREDO, H. M. C. **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. Fortaleza: Editora Técnica, 2004. p. 77-95.
- BALISCHI, L.; PEREIRA, N.; LIMA, O.; BARROS, S.; DAMASCENO, J.; MENDES, E. Influência do tratamento enzimático sobre as características reológicas e microscópicas da polpa de acerola. *Acta Scientiarum Technology*, Maringá, v.24, n.6, p. 1649-1658, 2002.
- BARBOSA, S. J. **Qualidade de suco em pó de mistura de frutas obtido por spray drying**. 2010. 107f. Dissertação (Mestrado em Produção vegetal do Semiarido). Universidade Estadual de Montes Claros – Unimontes. 2010.
- BARROS NETO, B.; SCARMÍNIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e otimização de experimentos**. Campinas: UNICAMP, 1995. 299p.
- BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M.N. **Fundamentos de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1998. 317p.
- BE MILLER, J. N.; WHISTLER, R. L. Carbohydrates. In: FENNEMA, O.R. **Food Chemistry**. 3ed. 1996. Cap. 4, p.157 - 224.
- BEHRING, J. L.; LUCAS, M.; BARCELLOS, I. O. Adaptação no método do peso da gota para determinação da tensão superficial: um método simplificado para a quantificação da CMC de surfactantes no ensino da química. *Química Nova*, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 492-495, 2004.
- BENASSI, M. T.; ANTUNES, A. J. A. Comparison of meta-phosphoric and oxalic acids as extractant solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, v. 31, n. 4, p. 507-513, 1988.
- BERNA, M. L. **Obtención de microencapsulados funcionales de zumo de *Opuntia stricta* mediante secado por atomización**. 2009. 69f. Trabalho de final de curso (Ingeniería Técnica Industrial) - Universidad Politécnica de Cartagena - Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial, Cartagena. Disponível em:

Referências Bibliográficas

- <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/954/1/pfc3022.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2012.
- BEZERRA, J. R. M. V.; QUEIROZ, A. J. M.; GASPARETTO, C. A. Reologia de polpa de manga e ajuste dos parâmetros reológicos em função da temperatura. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 37-42, 2001.
- BEZERRA, J.R.M.V.; RIGO, M.; DEMCZUK JUNIOR, B.; CÓRDOVA K.R.V. Estudo do efeito da temperatura nas propriedades reológicas da polpa de morango (*Fragaria ananassa*). **Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, Guarapuara, v. 5, n. 1, p.37-47, 2009.
- BLAHOVEC, J. Sorption isotherms in materials of biological origin mathematical and physical approach. **Journal of Food Engineering**, London, v. 65, n. 4, p. 489-495, 2004.
- BLAHOVEC, J.; YANNIOTIS, S. Modified classification of sorption isotherms. **Journal of Food Engineering**, London, v. 91, n. 1, p. 72-77, 2009.
- BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Manual de laboratório de química de alimentos**. São Paulo: Varela, 1995. 129p.
- BORGES, S. V.; CAL-VIDAL, C. J. Kinetics of water vapour sorption by drum-dried banana. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v.29, n.1, p.83-90, 1994.
- BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G.; HUNTER, J. S. **Statistics for experimenters: an introduction designs, data analysis and model building**. Nova York: Wiley, 1978.
- BOX, G. E. P.; WETZ, J. **Criteria for judging adequacy of estimation by an approximate response function**. University of Wisconsin Technical Report, 1973.
- BRANCO, I.G.; GASPARETTO, C.A. Aplicação da metodologia de superfície de resposta para o estudo do efeito da temperatura sobre o comportamento reológico de misturas ternárias de polpa de manga e sucos de laranja e cenoura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.23; n. 10, p.166-171, 2003.
- BRAS SPRAY (2005) **Secagem por atomização - Spray dryer**. Disponível em: www.brasspray.com.br. Acesso em: 05 jan. 2010.

Referências Bibliográficas

- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Métodos químicos e físico-químicos para análises de alimentos**. Brasília: Ministério da Saúde, 2005. 1017 p.
- BRASIL. Portaria SVS/MS n.33, de 13 de janeiro de 1998. **Tabelas de ingestão diária recomendada (IDR)**. Diário Oficial da União de 16 de janeiro de 1998.
- BRUNAUER, S.; EMMETT, P. H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. **Journal of the American Chemists' Society**, Champaign, v.60, p.309-319, 1938.
- CABRAL, M. F. P.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Comportamento reológico da polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.) peneirada. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 37-40, 2002.
- CAPRISTE, G. H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorptional equilibrium data for starch-containing foodstuffs. **Journal of Food Science**, Chicago, v.47, n. 5, p. 1501-1507, 1982.
- CARDELLO, H. M. A. B.; CARDELLO, L. Teor de vitamina C, atividade de ascorbato oxidase e perfil sensorial de manga (*mangifera indica* L.) var. Haden, durante o amadurecimento. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v. 18, n.2, p. 211-217, 1998.
- CARMO, A.J. Atemoia e pinha vão bem no noroeste de SP. **Estado de São Paulo**, São Paulo, 10 de maio de 2000. Suplemento Agrícola, n.2322, p.10-11.
- CARVALHO, C. M. **Secagem e armazenamento do leite de cabra com polpa de umbu- cajá**. 2008. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- CASSON, N. A flow equation for pigment-oil suspensions of the printingink type. In: Mill, C. **C. Rheology of disperse suspensions**. New York: Pergamon Press, 1959. 84 p.
- CASTRO, M. R. S. **Cinética de degradação do ácido ascórbico em polpas de frutas congeladas in natura**. 2005. 89 f. Dissertação (Mestrado em Nutrição) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- CAVALCANTI, A. S. R. R. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; OLIVEIRA, C. C. A.; GUEDES, M. A. Isotermas de equilíbrio higroscópico de cajá em pó microencapsulado com 20% de maltodextrina. In: CONGRESSO DE

- INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, 3., 2006, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: UFCG, 2006. CD.
- CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; MEDEIROS, S. S. A.; DUARTE, M. E. M. Microencapsulamento do umbu em pó com diferentes formulações de maltodextrina: estudo do tamanho das partículas por microscopia eletrônica. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.7, n.1, p.59-70, 2005a.
- CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; ZANINI, H. L. H. T. Calor específico e densidade da polpa de cajá (*Spondias lutea* L.) Com diferentes concentrações de sólidos solúveis sob baixas temperaturas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.2, p.488-498, 2005b.
- CAVALCANTI, A. S. R. R. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; MEDEIROS, S. S. A. Isotermas de equilíbrio higroscópico de umbu em pó: parâmetro para escolha do tipo de embalagem. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, 2., 2005, Campina Grande – UFCG. **Anais...** CD-ROM.
- CHEGINI, G. R.; GHOBADIAN, B. Spray Dryer Parameters for Fruit Juice Drying. **World Journal of Agricultural Sciences**, Cambridge, v. 3, n. 2; p. 230-236, 2007.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. rev. ampl. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.
- CHRISTENSEN, C. M.; KAUFMANN, H. H. Microflora. In: CHRISTENSEN, C. M. **Storage of cereal grain and their products**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1974. p.158-192.
- COSTA, J. M. C.; MEDEIROS, M. F. D.; MATA, A. L. M. L. Isotermas de adsorção de pós de beterraba (*Beta vulgaris* L.), abóbora (*Cucurbita moschata*) e cenoura (*Daucus carota*) obtidos pelo processo de secagem em leito de jorro: estudo comparativo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 34, n. 1, p. 5-9, 2003.
- CUNNINGHAM, F. E. Practical applications of food dehydration: a review. **Journal of Food Protection**, Urbandale, v. 45, n. 5, p. 479-483, 1982.
- DAIÚTO, E. R.; CEREDA, M. P. **Amido como suporte na desidratação por atomização e em microencapsulamento**. In: CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F. **Tecnologias, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo:

Referências Bibliográficas

- Fundação Cargill, 2003. v.3. cap.16, p.449-474. (Série: Culturas de tuberosas amiláceas Latino Americanas).
- DIB TAXI, C. M. A. Suco de camu-camu (*Myrciaria dubia*) microencapsulado obtido através de secagem por atomização. 2001.172f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2001.
- DITCHFIELD, A. D. The comparative phylogeography of Neotropical Mammals: patterns of intraespecific mitochondrial DNA variation among bats contrasted to non-volant small mammals. *Molecular Ecology*, Colúmbia Britânica, v. 9, n. 2, p. 1307-1318, 2000.
- DOMINGUES, A. de M.; ABADIO, F. D. B.; OLIVEIRA, V. M. de; BORGES, S. V.; GAY, J. Caracterização das propriedades físicas do suco de abacaxi (*Ananas comosus*.) em pó desidratado por spray dryer otimizado através da análise de superfície de resposta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS DE ALIMENTOS, 18., 2002, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: SBCTA. CD.
- DURAN, L. Controle de qualidade de alimentos. In: FERREIRA, V. L. P.; CAMPOS, S. D. *S. Controle de qualidade na indústria de alimentos*. Campinas: ITAL, 1991. p. 1-13.
- EBDA PESQUISARÁ CULTIVO DA ATEMOIA. Disponível em: <http://www.seagri.ba.gov.br/ebda/nov01mat-2.htm>. Acesso em: 23 abr. 2010.
- ENDO, É.; BORGES, S. V.; DAIUTO, É. R.; CEREDA, M. P.; AMORIM, E. Avaliação da vida de prateleira do suco de maracujá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) desidratado. *Ciência e Tecnologia dos Alimentos*, Campinas, v.27, n.2, p. 382-386. 2007.
- ERSUS, S.; YURDAGEL, U. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota* L.) by spray drier. *Journal of Food Engineering*. London, v.80, n.3, p.805-812, 2007.
- FARIAS, J. F. de; SILVA, L. J. B. da; ARAÚJO NETO, S. E. de; MENDONÇA, VANDER. Qualidade do maracujá-amarelo comercializado em Rio Branco, Acre. *Caatinga*, Mossoró, v.20, n.3, p. 196-202, 2007.
- FARAONI, A. S.; RAMOS, A. M.; STRINGHETA, P. C.; LAURLANO, J. Efeito dos métodos de conservação, tipos de embalagem e tempo de estocagem na coloração de

Referências Bibliográficas

- polpa de manga “Ubá” produzida em sistema orgânico. **Revista Ceres**, Viçosa, v.55, n.6, p.504-511, 2008.
- FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602 p.
- FERNANDES, T. K. S. **Secagem em camada de espuma da polpa de cajá**. 2010. 197 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- FERNANDES T.K.S.; FIGUEIRÊDO, R.M.F; QUEIROZ, A.J.M; MELO, K.S.; BEZERRA, M.C.T. Estudo do comportamento reológico da polpa de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 171-180, 2008.
- FIGUEIRÊDO, R. M. F. de; GRANDIN, A.; MARTUCCI, E. T. Armazenamento do suco de acerola microencapsulado. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.3, n.1, p.1-6, 2001.
- FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M; MARTUCCI, E. T. Alterações de cor da acerola em pó sob condições controladas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.7, n.1, p.49-57, 2005.
- FIGUEIREDO, R. M. F. **Princípios de secagem de produtos biológicos**. João Pessoa: Editora Universitária, 2004. 229p.
- FRANCISONI, A. D.; CAMPOS, F. R.; PEREIRA, D. B.; OLIVEIRA, V. M. de; BORGES, S. V.; GAY, J. Influência da concentração de maltodextrina e velocidade de atomização sobre as propriedades físicas do suco de maracujá desidratado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 18.. 2002, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SBCTA. CD.
- GABAS, A. L. **Secagem de uva Itália em leito fixo**. 1998. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) UNICAMP, Campinas.
- GABAS, A. L.; TELIS-ROMERO, J.; MENEGALLI, F. C. Cinética de degradação do ácido ascórbico em ameixas liofilizadas. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v.23, n. supl., p.66-70, 2003.

Referências Bibliográficas

- GALDINO, P. O. **Secagem por aspersão da polpa do figo-da-índia**. 2011. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- GOMES, W. C. **Secagem por aspersão d polpa de buriti**. 2010. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. The effect on powder properties. **Journal of Food Engineering**, London, v. 66, n.1, p. 35–42, 2005.
- GOUVEIA, D. S.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; QUEIROZ, A. J. de M.; UGULINO, S. M. P. Avaliação físico-química e aceitação sensorial do suco de pinha e do blend pinha-leite. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.9, n.1, p.29-36, 2007.
- GOUVEIA, J. P. G.; MOURA, R. S. F.; ALMEIDA, F. A. C.; OLIVEIRA, A. M. V.; SILVA, M. M. Avaliação da cinética de secagem de caju mediante um planejamento experimental. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.471-474, 2002.
- GRANGEIRO, A.A.; QUEIROZ, A.J.M.; FIGUEIRÊDO, R.M.F., CAVALCANTE MATA, M.E.R.M. Viscosidades de polpas concentradas de figo-da-índia. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.13, n.2, p.219-224, 2007.
- GUEDES, D.B.; RAMOS, A.M.; DINIZ, M.D.M.S. Efeito da temperatura e da concentração nas propriedades físicas da polpa de melancia. **Brazilian Journal Food Technology**, Campinas, v.13, n.4, p.279-285, 2010.
- GURJÃO, K. C. O. **Desenvolvimento, armazenamento e secagem de tamarindo (*Tamarindus indica* L.)**. 2006. 165 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia.
- HAMINIUK C.W.I.; SIERAKOWSKI M.R.; IZIDORO, D.R.; MASSON, M.L. Caracterização reológica da polpa de amora-preta. **Brazilian Journal Food Technology**, Campinas, v.9, n.4, p.291-296, 2006.

Referências Bibliográficas

- HARRIS, R. S. Effects of agricultural practices on foods of plant origin. In: HARRIS, R. S.; KARMAS, E. **Nutritional evaluation of food processing**. Connecticut: The AVI Publication, 1975. 670 p.
- HIMMELBLAU, D. M. **Engenharia química: princípios e cálculos**. 6 ed. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil, 1998. 592 p.
- KAJIYAMA, T.; PARK, K. J. Influência da teor de água inicial da alimentação no tempo de secagem em secador atomizador. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.10, n.1, p.1-8, 2008.
- KENYON, M. M.; ANDERSON, R. J. *Maltodextrins and low-dextrose-equivalence with syrup solids*. In: **Flavor encapsulation**(RISCH & REINECCIUS), cap. 2, 7-11, ACS Symposium series vº 370, American Chemical Society, 1988.
- LABMAQ DO BRASIL Ltda. (2003) **Manual de Operações do Mini-Spray Dryer MSD 0.5**. Depto de Engenharia.
- LABMAQ DO BRASIL Ltda. Disponível em: <<http://www.labmaqdobrasil.com.br>>. Acesso: 02 set. 2010.
- LABUZA, T. P. **Shelf-life dating of foods**. Westport: Food & Nutrition Press, 1982. 500 p. LABUZA, T.P.; SCHMIDL, M.K. Accelerated shelf-life testing of foods. **Food Technology**, Oxford, v.39, n.9, p.57-65, 1985.
- LACERDA, M. A. D.; LACERDA, R. D.; ASSIS, P. C. O. A participação da fruticultura no agronegócio. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v.5, n.1, p.1-9, 2004.
- LANGRISH, T. A. G.; FLETCHER, D. F. Spray drying of food ingredients and applications of CFD in spray drying. **Chemical Engineering and Processing**, Lausanne, v.40, n.4, p.345-354, 2001.
- LANNES, S. C. S.; MEDEIROS, M. L. Processamento de achocolatado de cupuaçu por spray-dryer. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, São Paulo, v.39, n.1, p.115-123, 2003.
- LEE, S. H.; LABUZA, T. P. Destruction of ascorbic acid as a function of water activity. **Journal of Food Science**, Oxford, v. 40, n. 2, p. 370-373, 1975.

- LEWIS, M. J. **Physical properties of foods and food processing systems**. England: Ellis Horwood Limited, 1990. 480 p.
- LIMA, M. A. C.; ASSIS, J. S.; GONZAGA NETO, L. Caracterização dos frutos de goiabeira e seleção de cultivares na região do sub-médio São Francisco. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 273-276, 2002.
- LISBÔA, C. G. C. de; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de; QUEIROZ, A. J. de M. Armazenamento de figo-da-índia em pó. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.2, p.216-221, 2012.
- LUO, M. R. Applyng colour science in colour desing. **Optics & Laser Technology**, Oxford, v. 38, n.4-6, p.392-398, 2006.
- MA, C. Y., HARWALKAR, V.R., MAURICE, T.J. Instrumentation and techniques of thermal analysis in food research. In: HARWALKAR, V. R.; MA, C.Y. **Thermal analysis of foods**. 1. ed. New York: Elsevier Applied Science, 1990. p.1-15.
- MALHEIROS, G. C. **Estudo da alteração da cor e degradação da clorofila durante armazenagem de erva-mate tipo chimarrão**. 2007. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- MARCELLINI, P. S.; CORDEIRO, C. E.; FARAONI, A. S.; BATISTA, R.A.; RAMOS, A. L. D.; LIMA, A. S. Comparação físico-química e sensorial da atemoia com a pinha e a graviola produzidas e comercializadas no estado de Sergipe. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.14, n.2, p.187-189, 2003.
- MASKAN, M. Effect of processing on hydration kinetics of three wheat products of the same variety. **Journal of Food Engineering**, London, v. 52, n. 4, p. 337-341, 2002.
- MASKAN; M. Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and micro-wave drying. **Journal of Food Engineering**, London, v. 48, n.2, p. 169-175, 2001.
- MASTERS, K. **Spray Drying in practice**. Ed. SprayDryConsult International ApS, Charlottenlund, Denmark. 2002. 464p.
- MATA, M. E. R. M. C.; DUARTE, M. E. M. Porosidade intergranular de produtos agrícolas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande. v. 4, n.1, p.79-93, 2002.

Referências Bibliográficas

- MDLULI, K. M. Partial purification and characterization of polyphenol oxidase and peroxidase from marula fruit (*Sclerocarya birrea* subsp. Caffra). **Food Chemistry**, Barking, v.92, n. 2, p.311-323, 2005.
- MEDEIROS, P. V. Q.; MENDONÇA, V.; MARACAJÁ, P. B.; AROUCHA, E. M. M.; PEREIRA, R. G. Physical-chemical characterization of atemoia fruit in different maturation stages. **Caatinga**, Mossoró, v.22, n.2, p.87-90, 2009.
- MELO, K. S.; FIGUERÊDO, R. M. F. de; QUEIROZ, A. J. de M., FERNANDES, Tâmila K. da S. Efeito da temperatura e da concentração de maltodextrina na massa específica da polpa de umbu-cajá. In: SEMANA ACADÊMICA DA ENGENHARIA DE ALIMENTOS DE POMBAL. 1., 2011. Pombal – UFCG. **Anais...**, CD-ROM.
- MELO, K. S.; FERNANDES, T. K. S.; BEZERRA, M. C. T.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Colour of melon pulp during the drying process. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING, 2008, Foz do Iguaçu, **Anais...**, Foz do Iguaçu – PR, 2008a. CD-Rom.
- MELO, K. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; FERNANDES, T. K. S.; BEZERRA, M. C. T. Densidade de emulsão composta por leite de cabra e maltodextrina em função temperatura. In: JORNADA NACIONAL DA AGROINDÚSTRIA. 3., 2008, Bananeiras. **Anais...** Bananeiras, 2008b. CD-Rom.
- MELO, J. C. S. de. **Secagem e armazenamento de formulação de leite de cabra e polpa de umbu-cajá**. 2007. 189 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande.
- MELO, K. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; FREITAS, J. C. O. Efeito da temperatura e concentração de maltodextrina na densidade do leite de cabra. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, 3., 2005, Campina Grande. **Anais**, 2005, CD.
- MELO, M. R.; POMMER, C. V.; KAVATI, R. Polinização artificial da atemoia com diversas fontes de pólen comparada com a natural. **Bragantia**. Campinas, v.61, n.3, p.231-236, 2002a.
- MELO, M. R.; CASTRO, J. V.; CARVALHO, C. R. L.; POMMER, C. V.; Conservação refrigerada de cherimóia embalada em filme plástico com zeolite. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 1, p.71-76, 2002b.

Referências Bibliográficas

- MELO, M. R. **Respostas da cherimóia e da atemoia à polinização natural e artificial no estado de São Paulo**. 2001. 59f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônômica) - Instituto Agronômico, Campinas, 2001.
- MHIMID, A.; BENNASRALLAH, S. Theoretical study of heat and mass transfers during drying of granular products. In: TUNER, L. **Mathematical modeling and numerical techniques in drying technology**. New York: Marcel Dekker, 1997. cap 3, p.381-413.
- MIGUEL, A. C. A.; ALBERTINI, S.; SPOTO, M. H. F. Cinética da degradação de gelejada de morango. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v.29, n.1, p.142-147, 2009.
- MIZRAHI, S.; BERK, Z. Flow behavior of concentrated orange juice. **Journal of Texture Studies**, v. 1, n. 3, p. 342-355, 1970.
- MOHSENIN, N. N. **Thermal properties of food and agricultural materials**. New York: Gordon and Breach Sci. Publishers, 1980. 407 p.
- MOSCA, J. L.; ALVES, R. E.; LIMA, G. P. P. Atividade Respiratória de Ateemoia (*Annona cherimoia* Mill. x *Annona squamosa* L.) cv. Gefner, Durante o Amadurecimento. **Proceedings of the Interamerican Society Tropical Horticultural**, Miami, v.47, p.109-110, 2003.
- MOSCA, J. L.; LIMA, G. P. P. **Armazenamento de atemoia (*Annona cherimola* mill. x *Annona squamosa* l.) cv. Gefner**. Disponível em: <http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br/arquivos/artigo_1577.pdf> Acesso: 14 jul. 2010.
- MURRAY, D.G.; LUFT. L.R. Low-DE corn starches hydrolysates. Multi-functional carbohydrates aid in food formulation. **Food Technology**, Oxford, v.27, n.3, p.32-40, 1973.
- NASCIMENTO, A. L.; FERNANDES, T. K. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ A. J. M.; MELO, K. S. Viscosidades aparentes de soluções com polpa de umbu-cajá e maltodextrina. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, 5., 2008, Campina Grande. **Anais**, 2008, CD.
- NEVES, M. V. M. das; LIMA, V. L. A. G. de. Efeito do congelamento sobre a estabilidade da polpa de acerola adicionada de extrato comercial de própolis. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.20, n.1, p. 87-94, 2009.

Referências Bibliográficas

- NEVES, C. S. V. J.; YUHARA, E. N. Caracterização dos frutos de cultivares de atemoia produzidos no norte do Paraná. **Semina**, Londrina, v.24, n.2, p.311-314, 2003.
- NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. Efeito do estágio de maturação dos frutos nas características físico-químicas de acerola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.4, p.463-470, 2002.
- O'HAGAN, P.; HASAPIDIS, K.; CODER, A.; HELSING, H.; POKRAJAC, G. Particle size analysis of food powders. In: ONWULATA, C. **Encapsulated and powdered foods**. Boca Raton, Taylor & Francis, 2005, p.215-245.
- OLIVEIRA, R.C.; ROSSI, R.M.; BARROS, S.T.D. Estudo do efeito da temperatura sobre o comportamento reológico das polpas de gabioba e goiaba. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v.33, n.1, p.31-37, 2011a.
- OLIVEIRA, V. S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Caracterização físico-química e comportamento higroscópico de sapoti liofilizado. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 2, p. 342-348, 2011b.
- OLIVEIRA, M. C.; FERREIRA, G.; GUIMARAES, V. F.; DIAS, G. B. Germinação de sementes de atemoia (*Annona Cherimola* Mill. x *A. squamosa* L.) cv 'Gefner' submetidas a tratamentos com ácido Giberélico (GA₃) e ethephon. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 2, p. 544-554, 2010.
- OLIVEIRA, R.C.; BARROS, S.T.D.; ROSSI, R.M. Aplicação da metodologia bayesiana para o estudo reológico da polpa de uva. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.11, n.1, p.73-80, 2009.
- OLIVEIRA, A. R. G.; BORGES, S. V.; FARIAS, R. K.; ENDO, E.; GREGÓRIO, S. R. Influência das condições de secagem por atomização sobre as características sensoriais de sucos maracujá (*passiflora edullis*) e abacaxi (*ananas comosus*) desidratados. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.38, n.3, p.251-256, 2007.
- OLIVEIRA, F. M. N.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Análise comparativa de polpas de pitanga integral, formulada e em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina grande, v.8, n.1, p.25-33, 2006.
- OLIVEIRA, A. L.; SILVA, M. G. F.; SOBRAL, P. J. A.; OLIVEIRA, C. A. F.; HABITANTE, A. M. Q. B. Propriedades físicas de misturas para sherbet de mangaba. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.6, p.581-586, 2005.

Referências Bibliográficas

- PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. B. Seleção de processos e equipamentos de secagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBEA, 2006. CD.
- PARK, K. J.; TUBONI, C. T.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. B. Estudo da secagem de caqui giombo com encolhimento e sem encolhimento. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.6, n.1, p.71-86, 2004.
- PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (*Pyrus sp.*) com e sem desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 73-77, 2001.
- PELEGRINE, D. H.; VIDAL, J. R. M. B.; GASPARETTO, C. A. Estudo da viscosidade aparente das polpas de manga (Keitt) e abacaxi (Pérola). **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v. 20, n.1, p. 128-130, 2000.
- PEÑA, J. E. Insectos polinizadores de frutales tropicales: no solo la abejas llevan la miel al panal. **Manejo Integrado de Plagas e Agroecologia**, n.69, p.6-20, 2003.
- PENA, R. da S.; MENDONÇA, N. B.; ALMEIDA, M. D. C. de. Comportamento higroscópico do açaí em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.12, n.2, p.153-161, 2010.
- PENA, R. S; RIBEIRO, C. C.; GRANDI, J. G. Aplicação de modelos matemático bi e tri-paramétricos na predição das isotermas de adsorção de teor de água de guaraná (*Paullinia cupuna*) em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 1, p. 8-11, 2000.
- PENTEADO, M. V. C. **Vitaminas: aspectos nutricionais, bioquímicos, clínicos e analíticos**. São Paulo: Manole, 2003. 612p.
- PEREDA, J. A. O.; RODRÍGUEZ, M. I. C.; ÁLVAREZ, L. F.; SANZ, M. L. G.; MINGUILLÓN, G. D. G. F.; PERALES, L. H.; CORTECERO, M. D. S. **Tecnología dos alimentos: componentes dos alimentos processados**. Porto Alegre: Artmed, 2005. v. 1, 294p.
- PEREIRA, T. B. B. **Desidratação em secador por aspersão da mistura de leite de cabra com polpa de umbu-cajá**. 2008, 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

Referências Bibliográficas

- PEREIRA, E. A.; QUEIROZ, A. J. de M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de. Propriedades reológicas da polpa de açaí (*Euterpe oleracea*, Mart.): Efeito da concentração. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 606-612, 2003.
- PINTO, A. C. Q.; CORDIERO, M. C. R.; ANDRADE, S. R. M.; FERRIERA, F. R.; FILGUIERAS, H. A. C.; ALVES, R. E.; KINPARA, D. I. **Annona species**. Southampton, UK, University of Southampton, International Centre for Underutilised Crops. 2005. 284p.
- QUEK, S. Y.; CHOK, N. K.; SWEDLUND, P. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. **Chemical Engineering and Processing**, Lausanne, v.46, n.5, p.386–392, 2007.
- QUINÁIA, S. P.; FERREIRA, M. Determinação de Ácido Ascórbico em Fármacos e Sucos de Frutas por Titulação Espectrofotométrica. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v. 9, n. 1, p.41-50, 2007.
- RAJKUMAR, P.; KAILAPPAN, R.; VISWANATHAN, R.; RAGHAVAN, G.S.V. Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer. **Journal of Food Engineering**, London, v. 79, n. 4, p. 1452–1459, 2007.
- RAMOS, A. M.; IBARZ, A. Density of juice and fruit puree as a function of soluble solids content and temperature. **Journal of Food Engineering**, London, v. 35, n. 1, p. 57-63, 1998.
- RÉ, M. I.; HIGA, M. Influência das propriedades físicas de uma solução nas propriedades do produto seco obtido em “Spray drying”. In: ENEMP, 23. Maringá. **Anais... Maringá**, v.1. p. 413-420. 1995.
- RÉ, M. I. Microencapsulation by spray drying. **Drying Technology**, New York, v.16, n.6, p.1195-1236, 1998.
- REINECCIUS, G. A. Carbohydrates for flavor encapsulation. **Food Technology**. Oxford, v.45, n.3, p.144-146, 1991.
- REINECCIUS, G. A. Flavor encapsulation. **Food Review International**, London, v.5, n.2, p.146-176, 1989.
- RHODES, M. J. **Principles of powder technology**. New York: Wiley, 1990. 439p.

Referências Bibliográficas

- RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. São Paulo: Blucher, 2007.184 p.
- RIGHETTO, A. M. **Caracterização físico-química e estabilidade de suco de acerola verde microencapsulado por atomização e liofilização**. 2003. 200f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- RIGO, M.; BEZERRA, J.R.M.V.; CÓRDOVA, K.R.V. Estudo do efeito da temperatura nas propriedades reológicas da polpa de butiá (*Butia eriospatha*). **Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, Guarapuara, v. 6, n. 1, p.25-36, 2010.
- RODRIGUES, E.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; ANSELMO, G. C. S.; DUARTE, M. E. M; SILVA, Y. C. Isotermas de equilíbrio higroscópico do cajá em pó obtido por meio da secagem por atomização. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, 2., 2005, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: UFCG, 2005. CD.
- RODRIGUES, I. A água. In: CASTRO, A. G. **A química e a reologia no processamento dos alimentos**. Lisboa: Instituto Piaget, 2003. p.15-36.
- RODRIGUES, M. E. A.; ALMEIDA, F. A. C.; GOUVEIA, J. P. G.; SILVA, M. M. Avaliação da temperatura e velocidade do ar na secagem de goiaba. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4. n.2, p.141-147, 2002.
- RODRIGUES, M. I.; KALIL, S. J.; MAUGERI, F. Planejamento fatorial e screening design como ferramenta para otimização de processos bioquímicos. In: Simpósio Nacional de Fermentação, 12, 1998, **Anais...** Uberlândia, 1998.
- SÁNCHEZ, H. M. G.; PALOMARES, S. G.; REYES, T. R. Caracterización de compuestos volátiles durante el secado por aspersión de jugo de sandía (*Citrullus lanatus* Thunb.). **Investigación y Ciencia**, Aguascalientes, n.51, p.10-15, 2011.
- SÁNCHEZ, C. E. V. **Modelagem e predição de atividade de água em fluidos alimentícios**. 1999. 132 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- SANTOS, M.S.; PETKOWICZ, C.L.O., HAMINIUK, C.W.I.; CANDIDO, L.M.B. Estudo das propriedades químicas e reológicas dos polissacarídeos extraídos da gabioba

Referências Bibliográficas

- (*Campomanesia xanthocarpa* Berg). *Revista Iberoamericana de Polímeros*, Madrid, v. 11, n.6, p.359-373, 2010.
- SANTOS, C. R.; HAJI, F. N. P.; MELO NETO, M. L.; NOGUEIRA, P. S. **Produção de atemoia no Submédio São Francisco**. Instrução técnica. Embrapa Semi-árido, Petrolina – PE, 2001.
- SANTOS, I. R. C. dos. **Escurecimento enzimático em frutos: polifenoloxidase de atemoia (*Annona cherimola* Mill. X *Annona squamosa* L.)**. 2009. 119 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Araraquara.
- SEMENSATO, L. R.; PEREIRA, A. S. Características de frutos de genótipos de aceroleira cultivados sob elevada altitude. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.35, n. 12, p.2529-2536, 2000.
- SHAHIDI, F.; HAN, X. Q. Encapsulation of food ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Cleveland, v.33, n.6, p.501-547, 1993.
- SHRESTHAA, A. K.; HOWESB, T.; ADHIKARIA, B. P.; BHANDARI, B. R. Water sorption and glass transition properties of spray dried lactose hydrolysed skim milk powder. *Food Science and Technology*, Oxford, v.40, n.9, p.1593–1600, 2007.
- SHIGEMATSU, E.; EIK, N. M.; KIMURA, M.; MAURO, M. A. Influência de pré-tratamentos sobre a desidratação osmótica de carambolas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 25, n. 3, p. 536-545, 2005.
- SILVA, A. V. C.; ANDRADE, D. G.; YAGUIU, P.; CARNELOSSI, M. A. G.; MUNIZ, E. N.; NARAIN, N. Uso de embalagens e refrigeração na conservação de atemoia. *Ciência e Tecnologia dos Alimentos*, Campinas, v.29, n.2, p.300-304, 2009.
- SILVA, A. S.; GURJÃO, K. C. O.; ALMEIDA, F. A. C.; BRUNO, R. L. A.; PEREIRA, W. E. Desidratação da polpa de tamarindo pelo método de camada de espuma. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1899-1905, 2008a.
- SILVA, M. R.; SANTOS JÚNIOR, R. T. de O.; FERREIRA, C. C. da C. Estabilidade da vitamina c em cagaita in natura e durante a estocagem da polpa e refresco. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 38, n. 1, p. 53-58, 2008b.

Referências Bibliográficas

- SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. A New Version of the assistat-statistical assistance software. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 4., Orlando. **Anais...** Orlando: American Society of Agricultural Engineers, 2006. p. 393-396.
- SILVA, T. G. F. **Zoneamento agroclimático do estado da Bahia para a cultura da atemoia (*Annona cherimola* Millx *Annona squamosa* L.)**. 2006. 113f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- SILVA, F. C.; GUIMARÃES, D. H. P.; GASPARETTO, C. A. Reologia do suco de acerola: efeitos da concentração e temperatura. **Ciência e Tecnologia Alimentos**, Campinas, v.25, n.1, p.121-126, 2005.
- SILVA, D. J. **Produção de maltodextrina com baixo teor de glicose**. 1998. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- SINGH, R. K.; LUND, D. B. Kinetics of ascorbic acid degradation in stored intermediate moisture apples. In: MACKENNA, B. M. **Proceedings of the 3rd Congress on Engineering Sciences in the Food Industry**. Amsterdam: Elsevier, 1984. v. 1.
- SINGH, R.P. Scientific principles of shelf life evaluation. In: MAN, C.M.D.; JONES, A.A. **Shelf life evaluation of foods**. Glasgow: Blackie Academic & Professional, 1994. p.3-24.
- SIQUEIRA, S. T. **Atemoia: fruta-do-conde ou pinha**. Disponível em <www.viveirobona.neomarkets.com.br> Acesso em: 15 jun. 2010.
- 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.) pelo processo "Foam-mat". **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 164-170, 2001.
- SOUSA, A. S.; BORGES, S. V.; MAGALHÃES, N. F.; RICARDO, H. V.; AZEVEDO, A. D. Spray-dried tomato powder: reconstitution properties and colour. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v.51 n.4, p.807-814, 2008.
- SOUZA, A. S.; BORGES, S. V.; MAGALHÃES, N. F.; RICARDO, H. V.; CEREDA, M. P.; DAIUTO, E. R. Influence of spray drying conditions on the physical properties of dried pulp tomato. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 2, p. 291-294, 2009.

- STRAATSMA, J.; VAN HOUWELINGEN, G.; STEENBERGEN, A. E.; DE JONG, P. Spray drying of food products: 1. Simulation model. **Journal of Food Engineering**, London, v.42, n. 2, p.67-72, 1999.
- SYAMALADEVI, R. M.; SABLANI, S. S.; TANG, J.; POWERS, J.; SWANSON, B. G. State diagram and water adsorption isotherm of raspberry (*Rubus idaeus*). **Journal of Food Engineering**, London, v.91, n.3, p. 460-467, 2009.
- TACO - **Tabela brasileira de composição de alimentos** / NEPA-UNICAMP.- Versão II. -- 4. ed. -- Campinas, SP: NEPA-UNICAMP, 2011. 164p.
- TAOUKIS, P. S.; LABUZA, T. P. Time-temperature indicators. **Food Technology**, Oxford, v. 45, n. 10, p.70-82, 1996.
- TSEN, J.-H.; KING V.A.-E. Density of banana puree as a function of soluble solids concentration and temperature. **Journal of Food Engineering**, London, v.55, n.4, p.305-308, 2002.
- TEUNOW, E.; FITZPATRICK, J. J.; & SYNNOT, E. C. Characterization of food powder flowability. **Journal of Food Engineering**, London, v. 39, n. 1, p. 31-37, 1999.
- TONON, R. V. **Secagem por atomização do suco de açaí: influência das variáveis de processo, qualidade e estabilidade do produto**. 2009. 242f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.29, n.2, p.444-450, 2009.
- TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açaí (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**, London, v.88, n.3, p. 411-418, 2008.
- TONON, R. V.; HUBINGER, M. D. Influência das condições de processo sobre as características físicas e morfológicas do suco de açaí microencapsulado por spray drying. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 33., 2007, Aracaju. **Anais...** Aracaju, 2007, CD.
- TORALLES, R. P.; VENDRUSCOLO, J. L.; VENDRUSCOLO, C. T. Reologia de purê homogêneo de pêssego: efeito da temperatura e concentração. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2006.



Referências Bibliográficas

- TORALLES, R. P.; VENDRUSCOLO, J. L.; VENDRUSCOLO, C. T.; DEL PINO, F. A. B.; ANTUNES, P. L. Determinação das constantes cinéticas de degradação do ácido ascórbico em purê de pêsego: efeito da temperatura e concentração. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v. 28, n.1, p.18-23, 2008.
- TORRES, L. B. V.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Viscosidade aparente da polpa de umbu-cajá concentrada a 10°C. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 161-168, 2003.
- UDDIN, M. S.; HAWLADER, M.N. A.; ZHOU, L. Kinetics of ascorbic acid degradation in dried kiwifruits during storage. **Drying Technology**, New York, v. 19, n. 2, p. 437-446, 2001.
- VALDUGA, E.; LIMA, L.; PRADO, R.; PADILHA, F. F.; TREICHEL, H. Extração, secagem por atomização e microencapsulamento de antocianinas do bagaço da uva isabel (*Vitis labrusca*). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, n.5, p.1568-1574, 2008.
- VALERO, G. M. M. **Secado por Atomización de zumo de granada**. 2009. 150f. Trabalho de final de curso (Ingeniería Técnica Industrial) - Universidad Politécnica de Cartagena - Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial, Cartagena. Disponível em:<http://repositorio.bib.upct.es/dspace/handle/10317/1807>. Acesso em: 08 jan. 2012.
- VERA, R.; SOUZA, E. R. B. de; FERNANDES, E. P.; NAVES, R. V.; SOARES JÚNIOR, M. S.; CALIARI, M.; XIMENES, P. A. Caracterização física e química de frutos do pequi (*Caryocar brasiliense Camb.*) oriundos de duas regiões no estado de Goiás, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.37, n.2, p.93-99, 2007.
- VIDAL, J. R. M. B.; PELEGRINE, D. H.; GASPARETTO, C. A. Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga (*Mangifera indica L.*). **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 1, p. 39-42, 2004.
- VIDAL, J. R. M. B.; GASPARETTO, C. A. Comportamento reológico da polpa de manga (*Mangifera indica L.*) - efeito dos sólidos insolúveis. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 172-175, 2000.

Referências Bibliográficas

- VIDAL, J. R. M. B.; GASPARETTO, C. A.; GRANDIN, A. Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v. 1, n. 2, p. 69-76, 2000.
- VIDAL, J. R. M. B. **Estudo reológico do suco de manga: efeito dos sólidos insolúveis**. 1997. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas.
- VIEIRA, J. A. G. **Propriedades termofísicas e convecção laminar em tubos de suco de laranja**. 1995. 87 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas.
- WENDEL, S.; CELIK, M. Uma visão geral sobre o uso da tecnologia de spray-drying. **Pharmaceutical Technology**, São Paulo, v.2, n.2, p.129-134, 1998.
- YAMASHITA, F.; BENASSI, M. T. Influência da embalagem de atmosfera modificada e do tratamento com cálcio na cinética de degradação de ácido ascórbico e perda de massa em goiabas (*Psidium guajava* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.20, n. 1, p.27-31, 2000.
- ZHANG, X. W.; LIU, X.; GU, D. X.; ZHOU, W.; WANG, R. L.; LIU, P. Desorption isotherms of some vegetables. **Journal of the Science of Food Agriculture**, Oxford, v. 70, n. 3, p. 303-306, 1996.

APÊNDICE A

Apêndice

Tabela A.1 -Análise de variância dos valores médios do teor de água

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|---------|---------|------------|
| Tratamentos | 1 | 2,24482 | 2,24482 | 40,9887 ** |
| Resíduo | 4 | 0,21907 | 0,05477 | |
| Total | 5 | 2,46388 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela A.2 -Análise de variância dos valores médios dos sólidos totais

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|---------|---------|------------|
| Tratamentos | 1 | 2,24482 | 2,24482 | 40,9887 ** |
| Resíduo | 4 | 0,21907 | 0,05477 | |
| Total | 5 | 2,46388 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela A.3 -Análise de variância dos valores médios dos sólidos solúveis totais

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|----------|----------|--------------|
| Tratamentos | 1 | 24,80667 | 24,80667 | 1190,7200 ** |
| Resíduo | 4 | 0,08333 | 0,02083 | |
| Total | 5 | 24,89000 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela A.4 -Análise de variância dos valores médios da acidez total titulável

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|---------|---------|--------------|
| Tratamentos | 1 | 0,05381 | 0,05381 | 1545,6302 ** |
| Resíduo | 4 | 0,00014 | 0,00003 | |
| Total | 5 | 0,05395 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Apêndice

Tabela A.5 -Análise de variância dos valores médios do SST/ATT

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|-------------|-------------|-------------|
| Tratamentos | 1 | 15590,70375 | 15590,70375 | 865,5283 ** |
| Resíduo | 4 | 72,05173 | 18,01293 | |
| Total | 5 | 15662,75548 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela A.6 -Análise de variância dos valores médios do ácido ascórbico

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|---------|---------|-------------|
| Tratamentos | 1 | 0,27294 | 0,27294 | 163,9073 ** |
| Resíduo | 4 | 0,00666 | 0,00167 | |
| Total | 5 | 0,27960 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela A.7 -Análise de variância dos valores médios das cinzas

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|---------|---------|--------------|
| Tratamentos | 1 | 0,43127 | 0,43127 | 2118,1660 ** |
| Resíduo | 4 | 0,00081 | 0,00020 | |
| Total | 5 | 0,43208 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela A.8 -Análise de variância dos valores médios dos açúcares redutores

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|----------|----------|---------------|
| Tratamentos | 1 | 82,80735 | 82,80735 | 27602,4500 ** |
| Resíduo | 4 | 0,01200 | 0,00300 | |
| Total | 5 | 82,81935 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Apêndice

Tabela A.9 -Análise de variância dos valores médios das proteínas

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|---------|---------|--------------|
| Tratamentos | 1 | 1,30667 | 1,30667 | 1600,0000 ** |
| Resíduo | 4 | 0,00327 | 0,00082 | |
| Total | 5 | 1,30993 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela A.10 -Análise de variância dos valores médios da massa específica

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|-----------|-----------|-------------|
| Tratamentos | 1 | 604,20735 | 604,20735 | 206,7622 ** |
| Resíduo | 4 | 11,68893 | 2,92223 | |
| Total | 5 | 615,89628 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela A.11 -Análise de variância dos valores médios da atividade de água

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|---------|---------|-------------|
| Tratamentos | 1 | 0,00032 | 0,00032 | 484,0000 ** |
| Resíduo | 4 | 0,00000 | 0,00000 | |
| Total | 5 | 0,00033 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela A.12 -Análise de variância dos valores médios da luminosidade

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|-----------|-----------|---------------|
| Tratamentos | 1 | 638,39535 | 638,39535 | 43926,2856 ** |
| Resíduo | 4 | 0,05813 | 0,01453 | |
| Total | 5 | 638,45348 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Apêndice

Tabela A.13 -Análise de variância dos valores médios da intensidade de vermelho

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|----------|----------|-------------|
| Tratamentos | 1 | 11,81607 | 11,81607 | 287,7289 ** |
| Resíduo | 4 | 0,16427 | 0,16427 | |
| Total | 5 | 11,98033 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela A.14 -Análise de variância dos valores médios da intensidade de amarelo

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|---------|---------|-------------|
| Tratamentos | 1 | 1,87042 | 1,87042 | 143,6940 ** |
| Resíduo | 4 | 0,05207 | 0,01302 | |
| Total | 5 | 1,92248 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela A.15 -Análise de variância dos valores médios do ácido ascórbico

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|----------|----------|--------------|
| Tratamentos | 1 | 31,06012 | 31,06012 | 4824.3697 ** |
| Resíduo | 4 | 0,02575 | 0,00644 | |
| Total | 5 | 31,08587 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela A.16 -Análise de variância dos valores médios da luminosidade

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|------------|------------|---------------|
| Tratamentos | 1 | 1018,16427 | 1018,16427 | 64782,4560 ** |
| Resíduo | 4 | 0,06287 | 0,01572 | |
| Total | 5 | 1018,22713 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Apêndice

Tabela A.17 -Análise de variância dos valores médios da intensidade de vermelho

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|----------|----------|--------------|
| Tratamentos | 1 | 37,90107 | 37,90107 | 2057,9765 ** |
| Resíduo | 4 | 0,07367 | 0,01842 | |
| Total | 5 | 37,97473 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela A.18 -Análise de variância dos valores médios da intensidade de amarelo

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|----------|----------|-------------|
| Tratamentos | 1 | 23.16735 | 23.16735 | 484.6726 ** |
| Resíduo | 4 | 0.19120 | 0.04780 | |
| Total | 5 | 23.35855 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela A.19 - Valores médios da viscosidade aparente (Pa.s), tensão de cisalhamento (Pa) e taxa de deformação (s^{-1}) para a polpa integral de atemoia na temperatura de 25 °C, em diferentes velocidades de rotação (rpm)

| Velocidade de rotação (rpm) | Viscosidade aparente (Pa.s) | Tensão de cisalhamento (Pa) | Taxa de deformação (s^{-1}) |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| 0,5 | 96,0 | 12,9 | 0,31 |
| 1,0 | 57,8 | 15,6 | 0,62 |
| 2,5 | 34,7 | 23,4 | 1,55 |
| 5,0 | 21,1 | 28,4 | 3,10 |
| 10,0 | 13,0 | 35,1 | 6,19 |
| 20,0 | 7,8 | 42,0 | 12,38 |

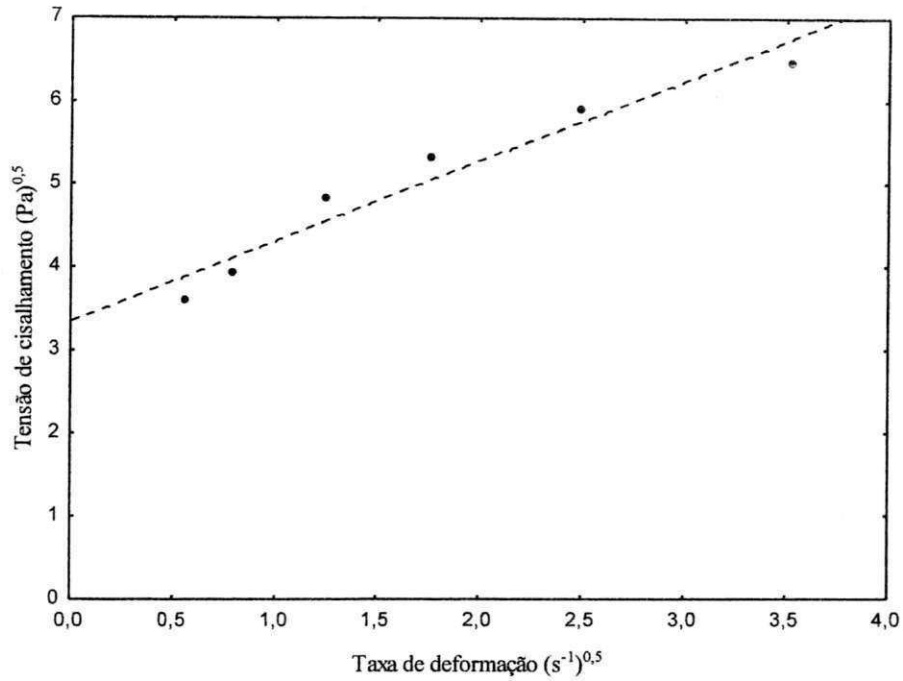


Figura A.1 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa integral de atemoia com ajuste pelo modelo de Casson

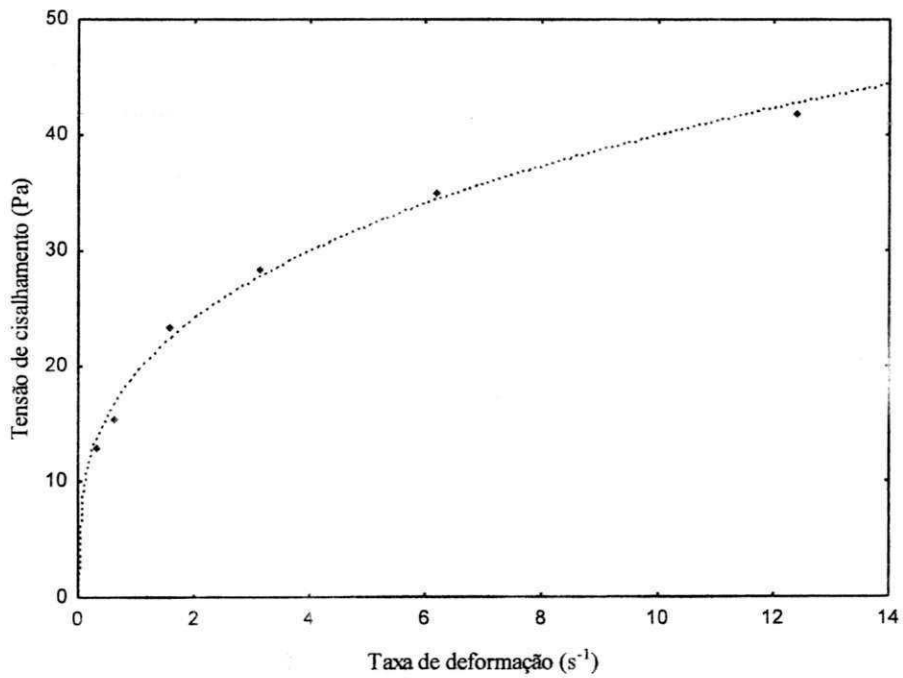


Figura A.2 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa integral de atemoia com ajuste pelo modelo da Lei da Potência

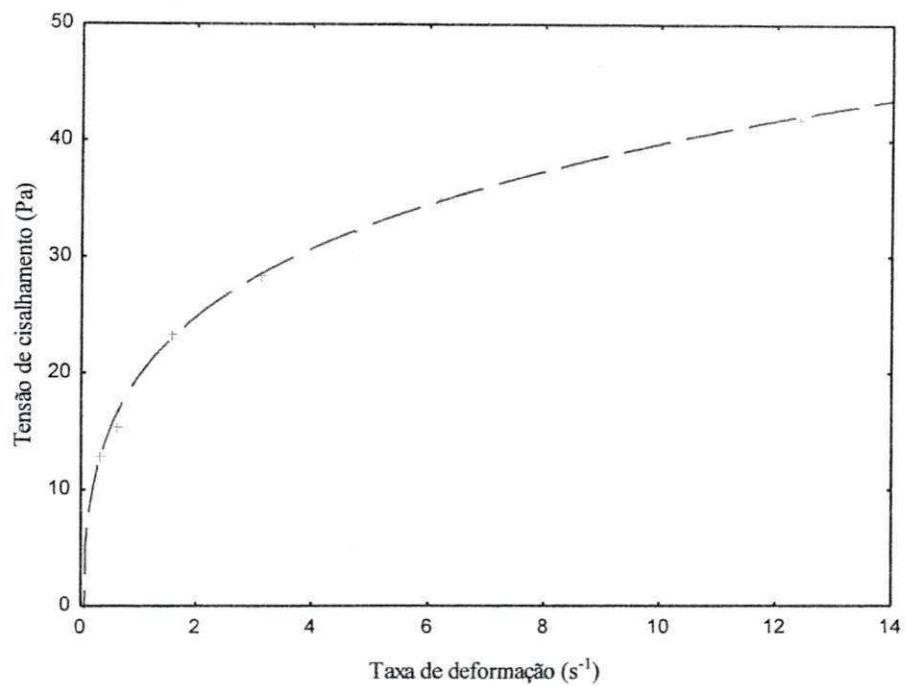


Figura A.3 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa integral de atemoia com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley

APÊNDICE B

Apêndice

Tabela B.1 -Análise de variância dos valores médios dos sólidos solúveis totais das formulações nas diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|---------------------|------|-----------|----------|--------------|
| Dextrose (F1) | 2 | 0,26463 | 0,13231 | 8,1657 ** |
| Concentração (F2) | 2 | 116,16156 | 58,08078 | 3584,4139 ** |
| Interação (F1 x F2) | 4 | 0,01404 | 0,00351 | 0,2166 ns |
| Tratamentos | 8 | 116,44023 | 14,55503 | 898,2532 ** |
| Resíduo | 18 | 0,29167 | 0,01620 | |
| Total | 26 | 116,73190 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela B.2 -Análise de variância dos valores médios da massa específica das formulações nas diferentes concentrações de maltodextrina e dextroses equivalentes

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|---------------------|------|------------|-----------|-------------|
| Dextrose (F1) | 2 | 532,31096 | 266,15548 | 310,2822 ** |
| Concentração (F2) | 2 | 1153,33309 | 576,66654 | 672,2738 ** |
| Interação (F1 x F2) | 4 | 202,98502 | 50,74626 | 59,1596 ** |
| Tratamentos | 8 | 1888,62907 | 236,07863 | 275,2188 ** |
| Resíduo | 18 | 15,44013 | 0,85779 | |
| Total | 26 | 1904,06920 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Apêndice

Tabela B.3 -Análise de variância dos valores médios das viscosidades aparentes das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina (DE-10) em função das velocidades de rotação

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|----------------------------|------|------------|-----------|--------------|
| Concentração (F1) | 2 | 1558,33198 | 779,16599 | 7874,5984 ** |
| Velocidade de rotação (F2) | 5 | 4073,76000 | 814,75200 | 8234,2464 ** |
| Interação (F1 x F2) | 10 | 1031,34823 | 103,13482 | 1042,3264 ** |
| Tratamentos | 17 | 6663,44021 | 391,96707 | 3961,3937 ** |
| Resíduo | 90 | 8,90521 | 0,09895 | |
| Total | 107 | 6672,34542 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela B.4 -Análise de variância dos valores médios das viscosidades aparentes das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina (DE-14) em função das velocidades de rotação

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|----------------------------|------|------------|-----------|--------------|
| Concentração (F1) | 2 | 819,89087 | 409,94543 | 4137,8869 ** |
| Velocidade de rotação (F2) | 5 | 3241,36500 | 648,27300 | 6543,5058 ** |
| Interação (F1 x F2) | 10 | 752,61996 | 75,26200 | 759,6758 ** |
| Tratamentos | 17 | 4813,87584 | 283,16917 | 2858,2389 ** |
| Resíduo | 90 | 8,91641 | 0,09907 | |
| Total | 107 | 4822,79224 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Apêndice

Tabela B.5 -Análise de variância dos valores médios das viscosidades aparentes das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina (DE - 20) em função das velocidades de rotação

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|----------------------------|------|------------|-----------|--------------|
| Concentração (F1) | 2 | 151,41901 | 75,70950 | 2758,5900 ** |
| Velocidade de rotação (F2) | 5 | 1012,35069 | 202,47014 | 7377,3051 ** |
| Interação (F1 x F2) | 10 | 126,79398 | 12,67940 | 461,9930 ** |
| Tratamentos | 17 | 1290,56368 | 75,91551 | 2766,0962 ** |
| Resíduo | 90 | 2,47005 | 0,02745 | |
| Total | 107 | 1293,03373 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela B.6 - Valores médios da viscosidade aparente (Pa.s), tensão de cisalhamento (Pa) e taxa de deformação (s^{-1}) para a Formulação 01 na temperatura de 25 °C, em diferentes velocidades de rotação (rpm)

| Velocidade de rotação (rpm) | Viscosidade aparente (Pa.s) | Tensão de cisalhamento (Pa) | Taxa de deformação (s^{-1}) |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| 0,5 | 10,7 | 1,5 | 0,23 |
| 1,0 | 8,0 | 2,2 | 0,47 |
| 2,5 | 4,9 | 3,4 | 1,16 |
| 5,0 | 3,7 | 5,1 | 2,33 |
| 10,0 | 2,4 | 6,6 | 4,65 |
| 20,0 | 1,5 | 8,5 | 9,30 |

Tabela B.7 - Valores médios da viscosidade aparente (Pa.s), tensão de cisalhamento (Pa) e taxa de deformação (s^{-1}) para a Formulação 02 na temperatura de 25 °C, em diferentes velocidades de rotação (rpm)

| Velocidade de rotação (rpm) | Viscosidade aparente (Pa.s) | Tensão de cisalhamento (Pa) | Taxa de deformação (s^{-1}) |
|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---|
| 0,5 | 14,5 | 2,0 | 0,25 |
| 1,0 | 13,7 | 3,8 | 0,51 |
| 2,5 | 7,6 | 5,3 | 1,27 |
| 5,0 | 5,0 | 7,0 | 2,53 |
| 10,0 | 2,8 | 7,9 | 5,06 |
| 20,0 | 2,1 | 11,6 | 10,12 |

Tabela B.8 - Valores médios da viscosidade aparente (Pa.s), tensão de cisalhamento (Pa) e taxa de deformação (s^{-1}) para a Formulação 03 na temperatura de 25 °C, em diferentes velocidades de rotação (rpm)

| Velocidade de rotação (rpm) | Viscosidade aparente (Pa.s) | Tensão de cisalhamento (Pa) | Taxa de deformação (s^{-1}) |
|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---|
| 0,5 | 30,8 | 4,3 | 0,5 |
| 1,0 | 25,3 | 7,1 | 1,0 |
| 2,5 | 12,2 | 8,5 | 2,5 |
| 5,0 | 8,7 | 12,1 | 5,0 |
| 10,0 | 4,9 | 13,6 | 10,0 |
| 20,0 | 3,1 | 17,3 | 20,0 |

Apêndice

Tabela B.9 - Valores médios da viscosidade aparente (Pa.s), tensão de cisalhamento (Pa) e taxa de deformação (s^{-1}) para a Formulação 04 na temperatura de 25 °C, em diferentes velocidades de rotação (rpm)

| Velocidade de rotação (rpm) | Viscosidade aparente (Pa.s) | Tensão de cisalhamento (Pa) | Taxa de deformação (s^{-1}) |
|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---|
| 0,5 | 6,7 | 0,9 | 0,22 |
| 1,0 | 6,2 | 1,7 | 0,44 |
| 2,5 | 4,6 | 3,2 | 1,10 |
| 5,0 | 3,0 | 4,2 | 2,19 |
| 10,0 | 1,9 | 5,2 | 4,38 |
| 20,0 | 1,2 | 6,6 | 8,76 |

Tabela B.10 - Valores médios da viscosidade aparente (Pa.s), tensão de cisalhamento (Pa) e taxa de deformação (s^{-1}) para a Formulação 05 na temperatura de 25 °C, em diferentes velocidades de rotação (rpm)

| Velocidade de rotação (rpm) | Viscosidade aparente (Pa.s) | Tensão de cisalhamento (Pa) | Taxa de deformação (s^{-1}) |
|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---|
| 0,5 | 20,8 | 2,9 | 0,26 |
| 1,0 | 13,2 | 3,7 | 0,52 |
| 2,5 | 8,2 | 5,7 | 1,31 |
| 5,0 | 5,4 | 7,5 | 2,61 |
| 10,0 | 3,7 | 10,3 | 5,22 |
| 20,0 | 2,3 | 12,6 | 10,44 |

Apêndice

Tabela B.11 - Valores médios da viscosidade aparente (Pa.s), tensão de cisalhamento (Pa) e taxa de deformação (s^{-1}) para a Formulação 06 na temperatura de 25 °C, em diferentes velocidades de rotação (rpm)

| Velocidade de rotação (rpm) | Viscosidade aparente (Pa.s) | Tensão de cisalhamento (Pa) | Taxa de deformação (s^{-1}) |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| 0,5 | 25,2 | 3,5 | 0,29 |
| 1,0 | 16,8 | 4,7 | 0,58 |
| 2,5 | 8,4 | 5,9 | 1,45 |
| 5,0 | 5,5 | 7,6 | 2,90 |
| 10,0 | 3,8 | 10,5 | 5,80 |
| 20,0 | 2,4 | 13,6 | 11,60 |

Tabela B.12 - Valores médios da viscosidade aparente (Pa.s), tensão de cisalhamento (Pa) e taxa de deformação (s^{-1}) para a Formulação 07 na temperatura de 25 °C, em diferentes velocidades de rotação (rpm)

| Velocidade de rotação (rpm) | Viscosidade aparente (Pa.s) | Tensão de cisalhamento (Pa) | Taxa de deformação (s^{-1}) |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| 0,5 | 5,4 | 0,8 | 0,35 |
| 1,0 | 3,3 | 1,0 | 0,70 |
| 2,5 | 1,6 | 1,2 | 1,75 |
| 5,0 | 0,9 | 1,4 | 3,50 |
| 10,0 | 0,6 | 1,8 | 7,00 |
| 20,0 | 0,4 | 2,3 | 14,00 |



Apêndice

Tabela B.13 - Valores médios da viscosidade aparente (Pa.s), tensão de cisalhamento (Pa) e taxa de deformação (s^{-1}) para a Formulação 08 na temperatura de 25 °C, em diferentes velocidades de rotação (rpm)

| Velocidade de rotação (rpm) | Viscosidade aparente (Pa.s) | Tensão de cisalhamento (Pa) | Taxa de deformação (s^{-1}) |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| 0,5 | 9,0 | 1,3 | 0,36 |
| 1,0 | 5,7 | 1,7 | 0,72 |
| 2,5 | 2,8 | 2,1 | 1,81 |
| 5,0 | 1,7 | 2,5 | 3,61 |
| 10,0 | 1,0 | 3,0 | 7,22 |
| 20,0 | 0,6 | 3,8 | 14,44 |

Tabela B.14 - Valores médios da viscosidade aparente (Pa.s), tensão de cisalhamento (Pa) e taxa de deformação (s^{-1}) para a Formulação 09 na temperatura de 25 °C, em diferentes velocidades de rotação (rpm)

| Velocidade de rotação (rpm) | Viscosidade aparente (Pa.s) | Tensão de cisalhamento (Pa) | Taxa de deformação (s^{-1}) |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| 0,5 | 13,5 | 1,9 | 0,36 |
| 1,0 | 7,7 | 2,1 | 0,72 |
| 2,5 | 3,8 | 2,7 | 1,81 |
| 5,0 | 2,3 | 3,2 | 3,61 |
| 10,0 | 1,4 | 4,0 | 7,22 |
| 20,0 | 0,9 | 5,2 | 14,44 |

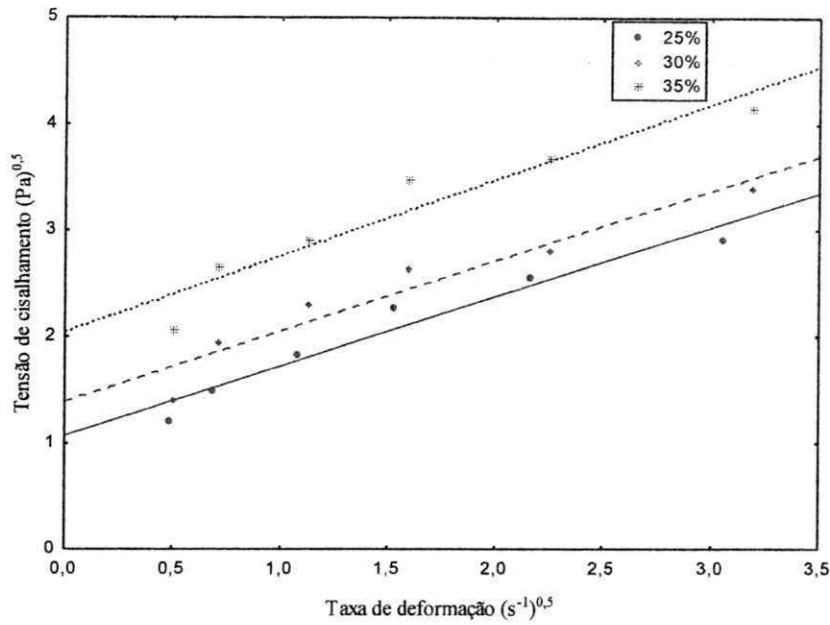


Figura B.1 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa integral de atemoia nas diferentes concentrações de maltodextrina (DE-10) com ajuste pelo modelo de Casson

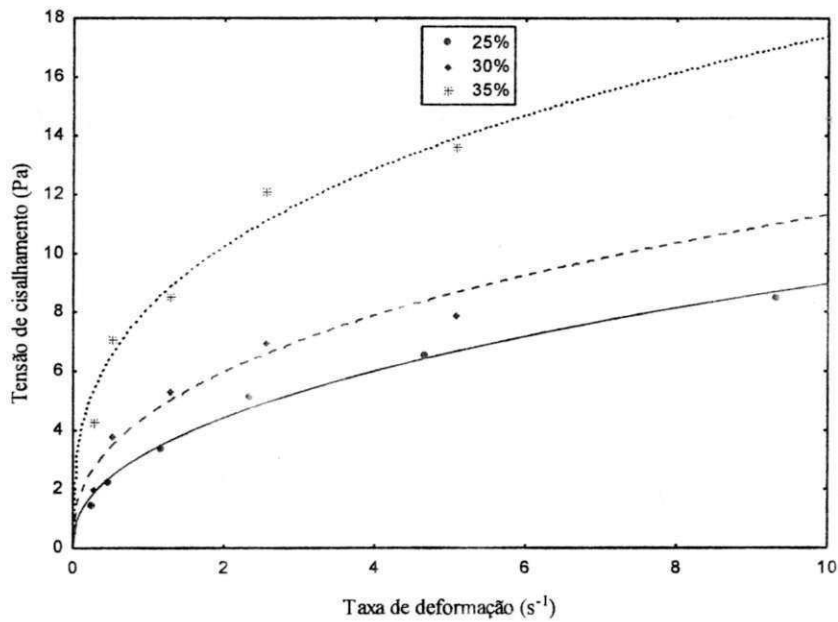


Figura B.2 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa integral de atemoia nas diferentes concentrações de maltodextrina (DE-10) com ajuste pelo modelo da Lei da Potência

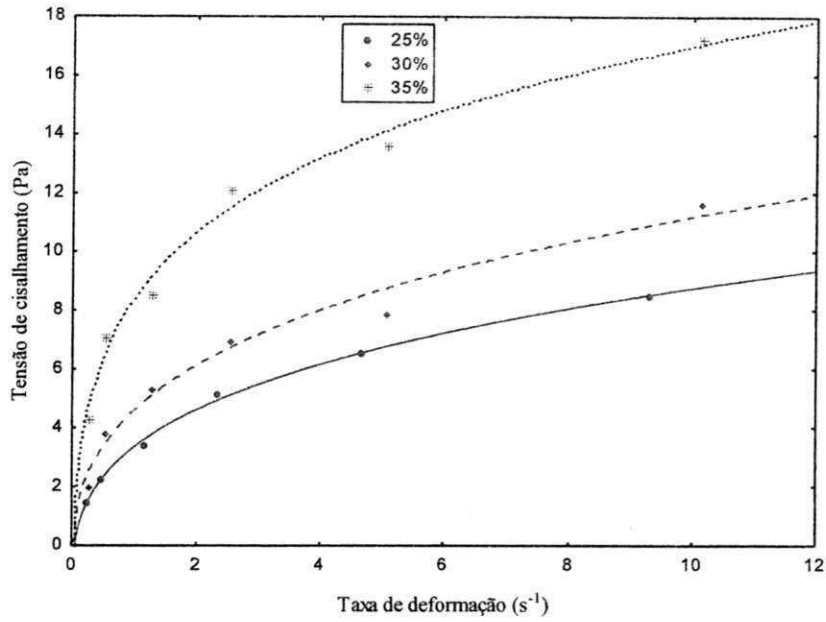


Figura B.3 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa integral de atemoia nas diferentes concentrações de maltodextrina (DE-10) com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley

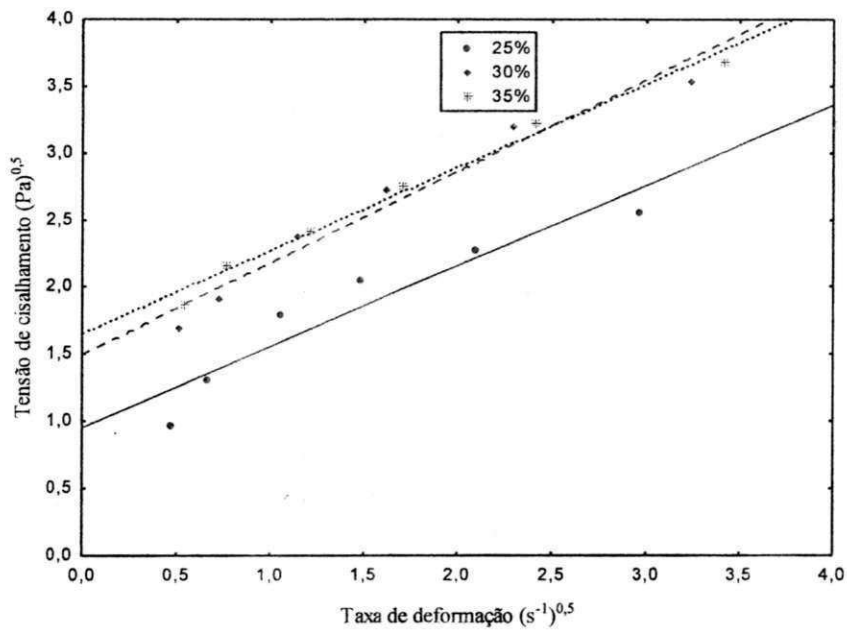


Figura B.4 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa integral de atemoia nas diferentes concentrações de maltodextrina (DE-14) com ajuste pelo modelo de Casson

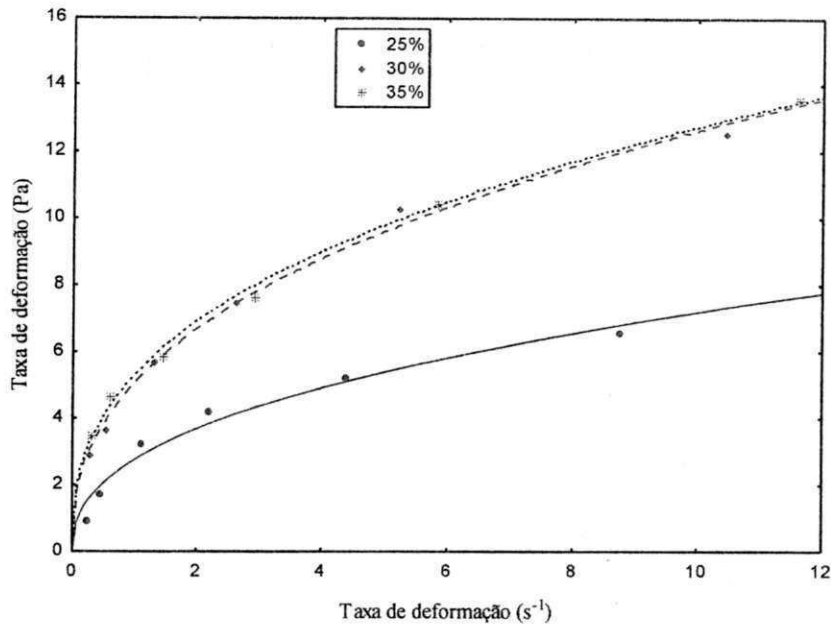


Figura B.5 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa integral de atemoia nas diferentes concentrações de maltodextrina (DE-14) com ajuste pelo modelo da Lei da Potência

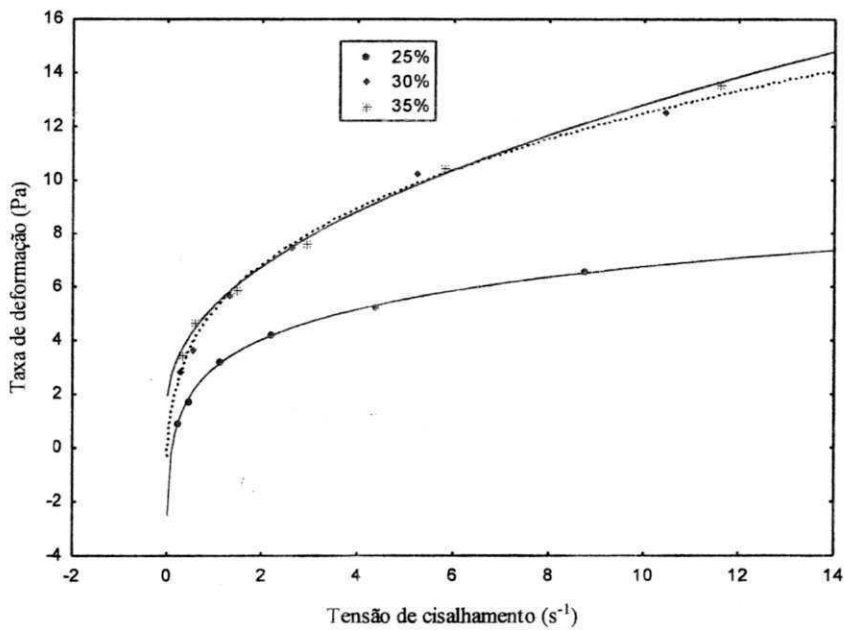


Figura B.6 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa integral de atemoia nas diferentes concentrações de maltodextrina (DE-14) com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley

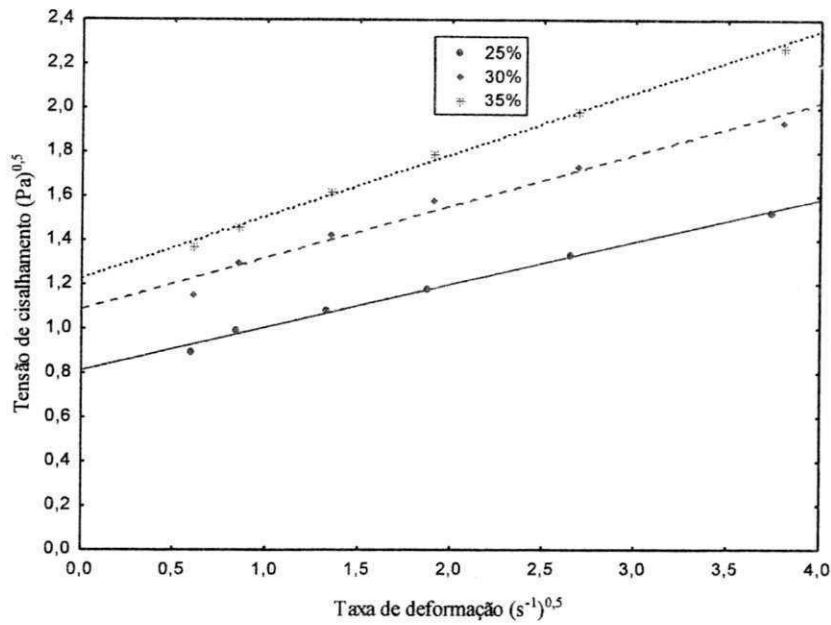


Figura B.7 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa integral de atemoia nas diferentes concentrações de maltodextrina (DE-20) com ajuste pelo modelo de Casson

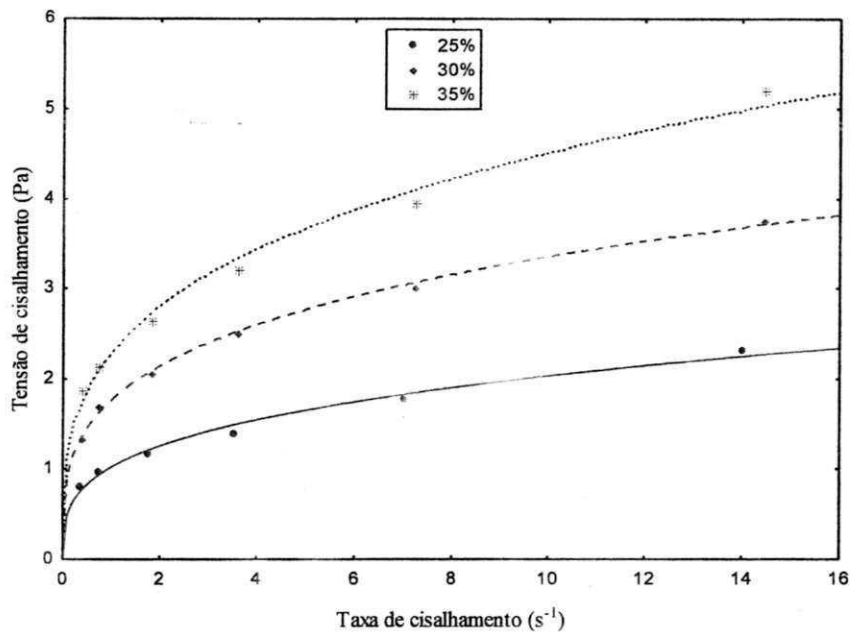


Figura B.8 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa integral de atemoia nas diferentes concentrações de maltodextrina (DE-20) com ajuste pelo modelo da Lei da Potência

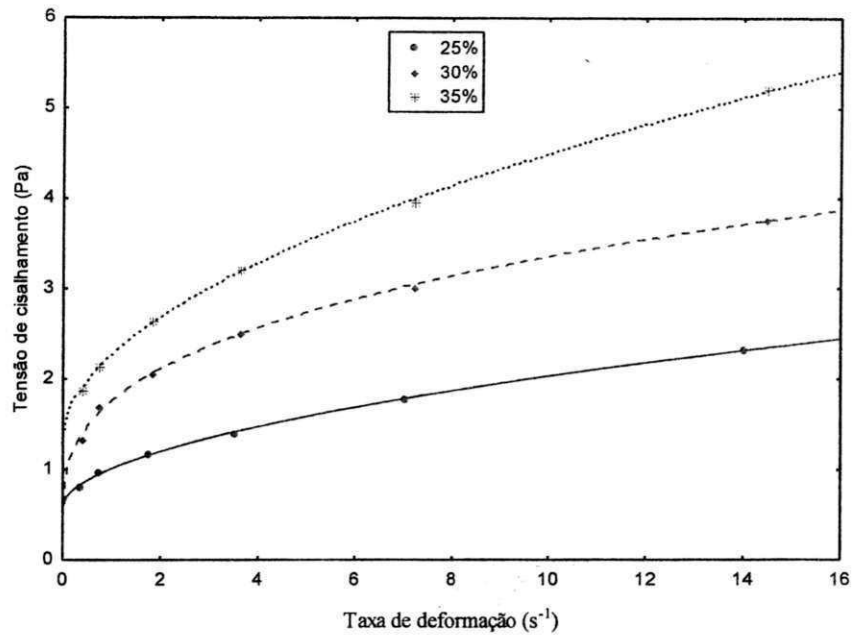


Figura B.9 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa integral de atemoia nas diferentes concentrações de maltodextrina (DE-20) com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley

APÊNDICE C

Tabela C.1 -Análise de variância dos valores médios do rendimento do pó da câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|---------------------------|------|----------|----------|------------|
| Concentração (F1) | 2 | 41.51909 | 20.75955 | 45.8753 ** |
| Dextrose equivalente (F2) | 2 | 0.69154 | 0.34577 | 0.7641 ns |
| Interação (F1 x F2) | 4 | 0.05290 | 0.01322 | 0.0292 ns |
| Tratamentos | 8 | 42.26353 | 5.28294 | 11.6745 ** |
| Resíduo | 9 | 4.07269 | 0.45252 | |
| Total | 17 | 46.33622 | | |

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ns – não significativo ($p \geq 0,05$); G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela C.2 -Análise de variância dos valores médios do rendimento do pó do ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|---------------------------|------|----------|----------|-------------|
| Concentração (F1) | 2 | 30,75008 | 15,37504 | 197,8345 ** |
| Dextrose equivalente (F2) | 2 | 4,31054 | 2,15527 | 27,7324 ** |
| Interação (F1 x F2) | 4 | 1,70609 | 0,42652 | 5,4882 * |
| Tratamentos | 8 | 36,76671 | 4,59584 | 59,1358 ** |
| Resíduo | 9 | 0,69945 | 0,07772 | |
| Total | 17 | 37,46616 | | |

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela C.3 -Análise de variância dos valores médios do teor de água do pó da câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|---------------------------|------|----------|---------|-------------|
| Concentração (F1) | 2 | 7,56242 | 3,78121 | 145,7010 ** |
| Dextrose equivalente (F2) | 2 | 6,46229 | 3,23114 | 124,5054 ** |
| Interação (F1 x F2) | 4 | 0,23142 | 0,05786 | 2,2293 ns |
| Tratamentos | 8 | 14,25613 | 1,78202 | 68,6663 ** |
| Resíduo | 18 | 0,46713 | 0,02595 | |
| Total | 26 | 14,72327 | | |

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ns – não significativo ($p \geq 0,05$); G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela C.4 -Análise de variância dos valores médios do teor de água do pó do ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|---------------------------|------|----------|---------|-------------|
| Concentração (F1) | 2 | 7,72222 | 3,86111 | 265,0648 ** |
| Dextrose equivalente (F2) | 2 | 4,01362 | 2,00681 | 137,7674 ** |
| Interação (F1 x F2) | 4 | 0,60002 | 0,15001 | 10,2979 ** |
| Tratamentos | 8 | 12,33587 | 1,54198 | 105,8570 ** |
| Resíduo | 18 | 0,26220 | 0,01457 | |
| Total | 26 | 12,59807 | | |

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela C.5 -Análise de variância dos valores médios da atividade de água do pó da câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|---------------------------|------|---------|---------|-------------|
| Concentração (F1) | 2 | 0,03972 | 0,01986 | 187,4432 ** |
| Dextrose equivalente (F2) | 2 | 0,07436 | 0,03718 | 350,8923 ** |
| Interação (F1 x F2) | 4 | 0,00473 | 0,00118 | 11,1573 ** |
| Tratamentos | 8 | 0,11882 | 0,01485 | 140,1625 ** |
| Resíduo | 18 | 0,00191 | 0,00011 | |
| Total | 26 | 0,12072 | | |

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela C.6 -Análise de variância dos valores médios da atividade de água do pó do ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|---------------------------|------|---------|---------|-------------|
| Concentração (F1) | 2 | 0,03230 | 0,01615 | 171,1299 ** |
| Dextrose equivalente (F2) | 2 | 0,01314 | 0,00657 | 69,6327 ** |
| Interação (F1 x F2) | 4 | 0,00956 | 0,00239 | 25,3244 ** |
| Tratamentos | 8 | 0,05500 | 0,00688 | 72,8528 ** |
| Resíduo | 18 | 0,00170 | 0,00009 | |
| Total | 26 | 0,05670 | | |

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela C.7 -Análise de variância dos valores médios da luminosidade (L*) do pó da câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|---------------------------|------|-----------|----------|--------------|
| Concentração (F1) | 2 | 98,06261 | 49,03130 | 2841,4793 ** |
| Dextrose equivalente (F2) | 2 | 93,15272 | 46,57636 | 2699,2095 ** |
| Interação (F1 x F2) | 4 | 3,03041 | 0,75760 | 43,9049 ** |
| Tratamentos | 8 | 194,24574 | 24,28072 | 1407,1247 ** |
| Resíduo | 18 | 0,31060 | 0,01726 | |
| Total | 26 | 194,55634 | | |

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela C.8 -Análise de variância dos valores médios da luminosidade (L*) do pó do ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|---------------------------|------|----------|----------|--------------|
| Concentração (F1) | 2 | 27,34847 | 13,67424 | 713,3006 ** |
| Dextrose equivalente (F2) | 2 | 38,55627 | 19,27814 | 1005,6215 ** |
| Interação (F1 x F2) | 4 | 2,40717 | 0,60179 | 31,3918 ** |
| Tratamentos | 8 | 68,31192 | 8,53899 | 445,4264 ** |
| Resíduo | 18 | 0,34507 | 0,01917 | |
| Total | 26 | 68,65699 | | |

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Apêndice

Tabela C.9 -Análise de variância dos valores médios da intensidade de vermelho (+a) do pó da câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|---------------------------|------|----------|----------|-------------|
| Concentração (F1) | 2 | 21,46741 | 10,73370 | 678,2354 ** |
| Dextrose equivalente (F2) | 2 | 12,37559 | 6,18779 | 390,9909 ** |
| Interação (F1 x F2) | 4 | 2,30775 | 0,57694 | 36,4552 ** |
| Tratamentos | 8 | 36,15074 | 4,51884 | 285,5342 ** |
| Resíduo | 18 | 0,28487 | 0,01583 | |
| Total | 26 | 36,43561 | | |

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela C.10 -Análise de variância dos valores médios da intensidade de vermelho (+a) do pó do ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|---------------------------|------|---------|---------|------------|
| Concentração (F1) | 2 | 3,08447 | 1,54223 | 72,2170 ** |
| Dextrose equivalente (F2) | 2 | 3,72587 | 1,86293 | 87,2341 ** |
| Interação (F1 x F2) | 4 | 0,22847 | 0,05712 | 2,6746 ns |
| Tratamentos | 8 | 7,03880 | 0,87985 | 41,2001 ** |
| Resíduo | 18 | 0,38440 | 0,02136 | |
| Total | 26 | 7,42320 | | |

ns - não significativo ($p \geq 0,05$); **significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Apêndice

Tabela C.11 -Análise de variância dos valores médios da intensidade de amarelo (+b) do pó da câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|---------------------------|------|-----------|-----------|--------------|
| Concentração (F1) | 2 | 244,52469 | 122,26234 | 2078,6369 ** |
| Dextrose equivalente (F2) | 2 | 113,58060 | 56,79030 | 965,5173 ** |
| Interação (F1 x F2) | 4 | 25,20918 | 6,30229 | 107,1481 ** |
| Tratamentos | 8 | 383,31447 | 47,91431 | 814,6126 ** |
| Resíduo | 18 | 1,05873 | 0,05882 | |
| Total | 26 | 384,37320 | | |

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela C.12 -Análise de variância dos valores médios da intensidade de amarelo (+b) do pó do ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|---------------------------|------|----------|----------|-------------|
| Concentração (F1) | 2 | 20,94632 | 10,47316 | 467,9386 ** |
| Dextrose equivalente (F2) | 2 | 10,67516 | 5,33758 | 238,4820 ** |
| Interação (F1 x F2) | 4 | 3,57081 | 0,89270 | 39,8858 ** |
| Tratamentos | 8 | 35,19230 | 4,39904 | 196,5481 ** |
| Resíduo | 18 | 0,40287 | 0,02238 | |
| Total | 26 | 35,59516 | | |

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Apêndice

Tabela C.13 -Análise de variância dos valores médios do ácido ascórbico ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$) do pó da câmara de secagem das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|---------------------------|------|----------|----------|------------|
| Concentração (F1) | 2 | 36,89570 | 18,44785 | 59,8582 ** |
| Dextrose equivalente (F2) | 2 | 10,24290 | 5,12145 | 16,6177 ** |
| Interação (F1 x F2) | 4 | 4,33330 | 1,08333 | 3,5151 * |
| Tratamentos | 8 | 51,47190 | 6,43399 | 20,8765 ** |
| Resíduo | 18 | 5,54747 | 0,30819 | |
| Total | 26 | 57,01937 | | |

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela C.14 -Análise de variância dos valores médios do ácido ascórbico ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$) do pó do ciclone das formulações elaboradas com diferentes concentrações de maltodextrina em função da dextrose equivalente

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|---------------------------|------|----------|---------|------------|
| Concentração (F1) | 2 | 2,91142 | 1,45571 | 43,4463 ** |
| Dextrose equivalente (F2) | 2 | 0,57371 | 0,28685 | 8,5612 ** |
| Interação (F1 x F2) | 4 | 6,18352 | 1,54588 | 46,1374 ** |
| Tratamentos | 8 | 9,66864 | 1,20858 | 36,0706 ** |
| Resíduo | 18 | 0,60311 | 0,03351 | |
| Total | 26 | 10,27175 | | |

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

APÊNDICE D

Apêndice

Tabela D.1 -Valores das respostas do pó da câmara de secagem e temperatura de saída do produto

| Ensaio | Rend. (%) | TA (%b.u.) | a_w | L^* | +a | +b | AA (mg 100g ⁻¹) | T _{saída} (°C) |
|--------|-----------|---------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------------|----------------------------|
| 1 | 14,89 | 1,47 | 0,244 | 69,19 | 6,30 | 27,81 | 11,74 | 74 |
| 2 | 16,46 | 1,37 | 0,209 | 57,42 | 10,50 | 33,30 | 22,15 | 82 |
| 3 | 13,86 | 3,41 | 0,324 | 70,13 | 6,05 | 22,50 | 7,81 | 74 |
| 4 | 16,99 | 2,34 | 0,230 | 63,57 | 8,51 | 28,78 | 17,27 | 78 |
| 5 | 16,43 | 2,54 | 0,269 | 69,53 | 6,89 | 27,71 | 12,71 | 78 |
| 6 | 16,81 | 2,57 | 0,262 | 68,50 | 7,48 | 28,13 | 12,72 | 78 |
| 7 | 16,37 | 2,53 | 0,260 | 67,06 | 7,80 | 29,65 | 12,99 | 80 |

Rend. – rendimento (%); TA – teor de água (% b.u.); a_w – atividade de água; L^* - luminosidade; +a – intensidade de vermelho; +b – intensidade de amarelo; AA – ácido ascórbico (mg/100 g) e T_{saída} – temperatura de saída (°C)

Tabela D.2 -Valores das respostas do pó do ciclone e temperatura de saída do produto

| Ensaio | Rend. (%) | TA (%b.u.) | a_w | L^* | +a | +b | AA (mg100 g ⁻¹) | T _{saída} (°C) |
|--------|-----------|---------------|-------|-------|------|-------|--------------------------------|----------------------------|
| 1 | 5,42 | 1,31 | 0,174 | 84,39 | 1,18 | 10,41 | 1,96 | 74 |
| 2 | 5,51 | 0,49 | 0,157 | 81,94 | 1,87 | 13,95 | 3,91 | 82 |
| 3 | 5,40 | 1,61 | 0,217 | 83,12 | 1,71 | 9,61 | 1,96 | 74 |
| 4 | 5,04 | 1,36 | 0,165 | 82,47 | 1,73 | 11,10 | 7,34 | 78 |
| 5 | 4,13 | 2,45 | 0,194 | 82,90 | 2,85 | 11,78 | 3,92 | 78 |
| 6 | 4,02 | 2,43 | 0,192 | 83,14 | 2,90 | 11,21 | 3,91 | 78 |
| 7 | 5,24 | 2,41 | 0,196 | 83,21 | 2,80 | 11,97 | 3,99 | 80 |

Rend. – rendimento (%); TA – teor de água (% b.u.); a_w – atividade de água; L^* - luminosidade; +a – intensidade de vermelho; +b – intensidade de amarelo; AA – ácido ascórbico (mg/100 g) e T_{saída} – temperatura de saída (°C)

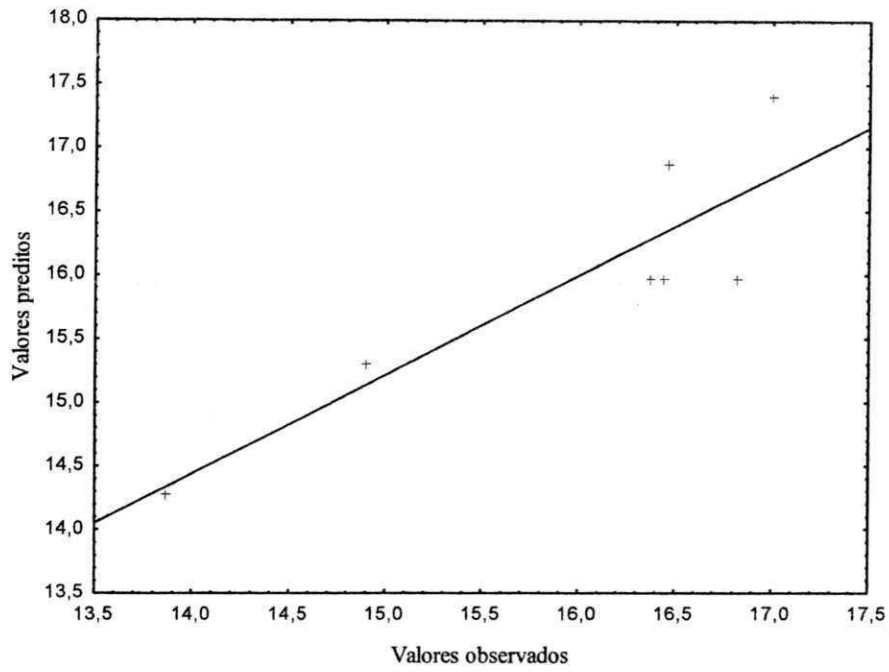


Figura D.1 – Valores observados versus valores preditos para o rendimento (%) do pó da câmara de secagem

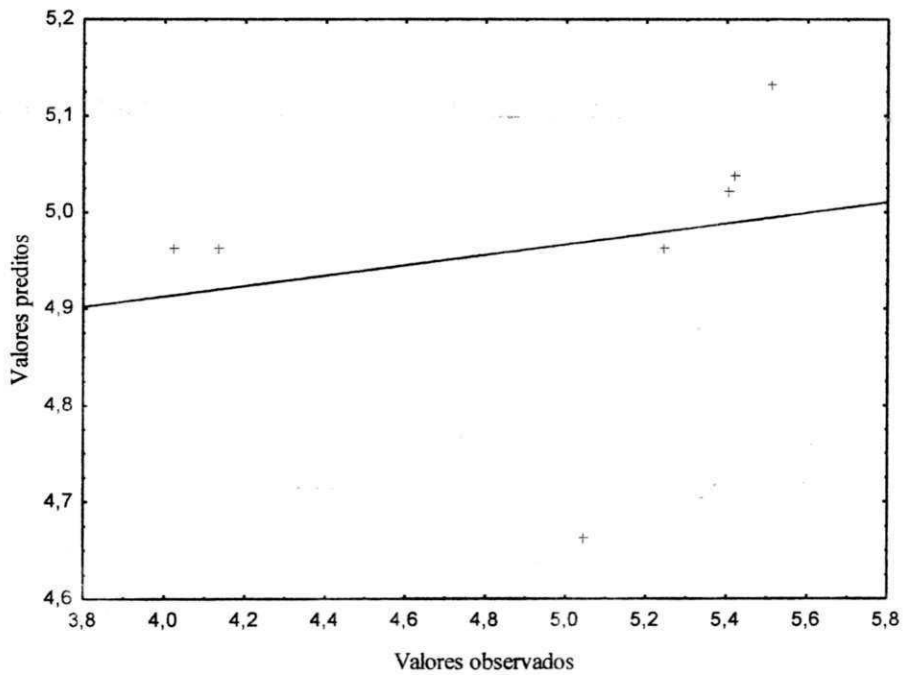


Figura D.2 – Valores observados versus valores preditos para o rendimento (%) do pó do ciclone

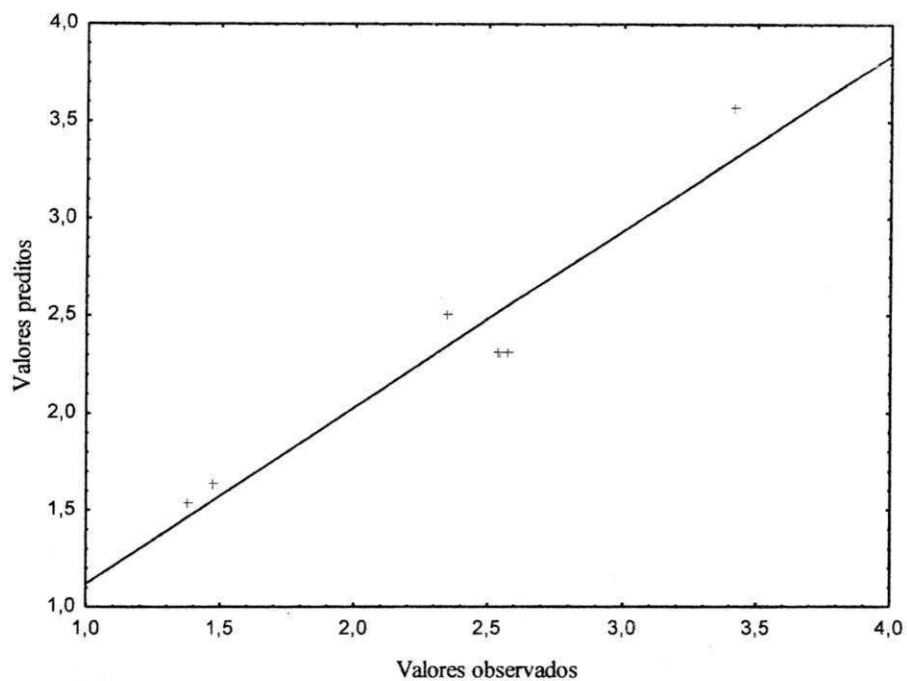


Figura D.3 – Valores observados versus valores preditos para o teor de água (% b.u.) do pó da câmara de secagem

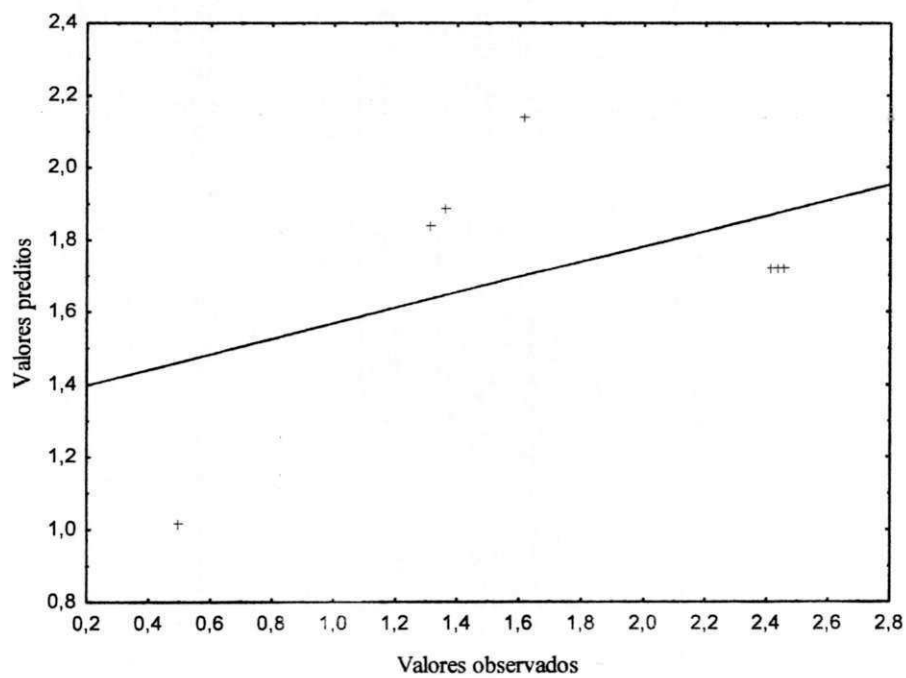


Figura D.4 – Valores observados versus valores preditos para o teor de água (% b.u.) do pó do ciclone

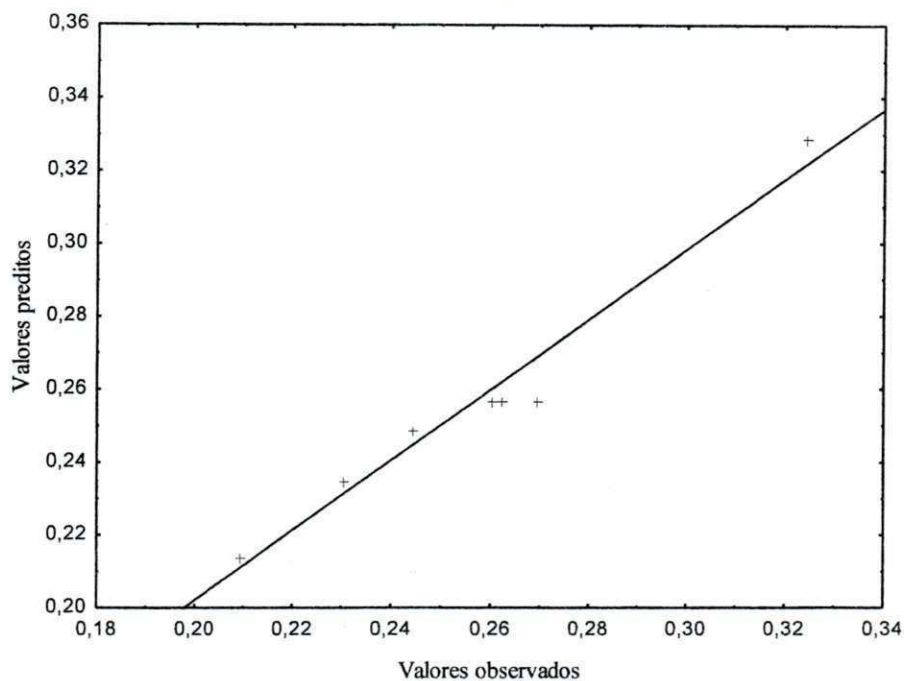


Figura D.5 – Valores observados versus valores preditos para a atividade de água do pó da câmara de secagem

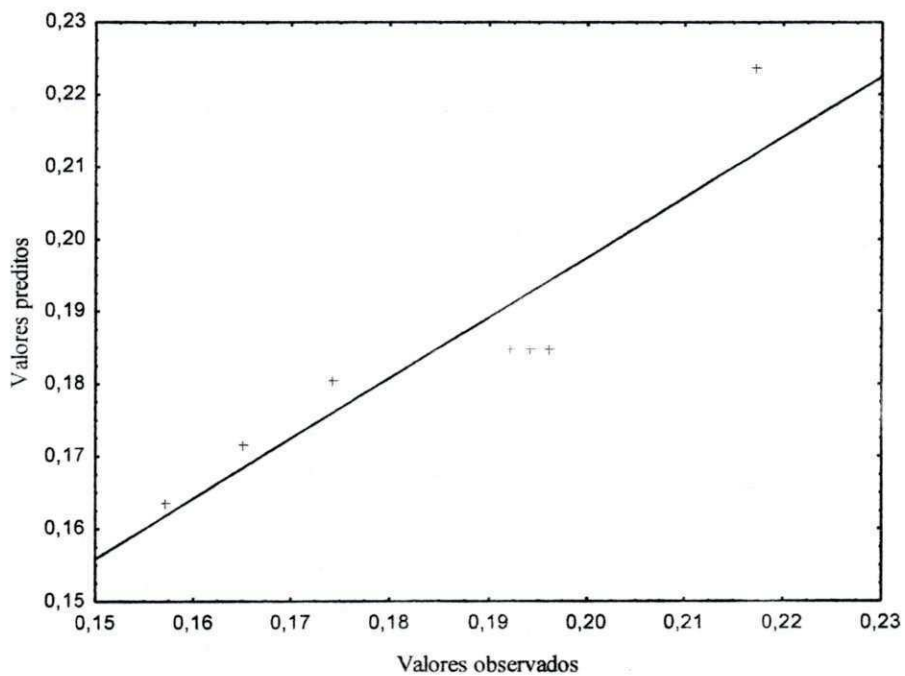


Figura D.6 – Valores observados versus valores preditos para a atividade de água do pó do ciclone



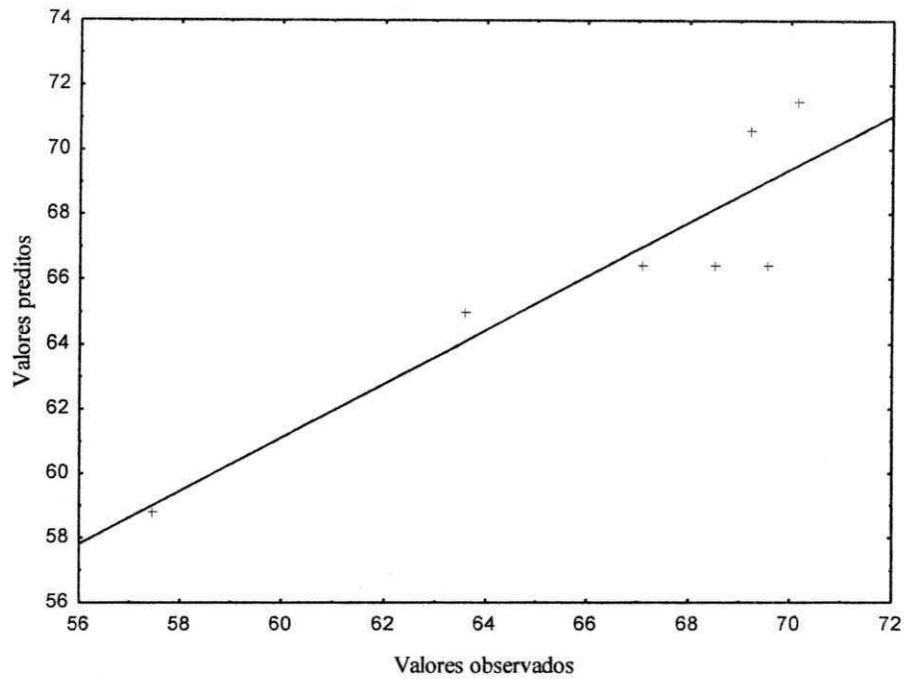


Figura D.7 – Valores observados versus valores preditos para a luminosidade do pó da câmara de secagem

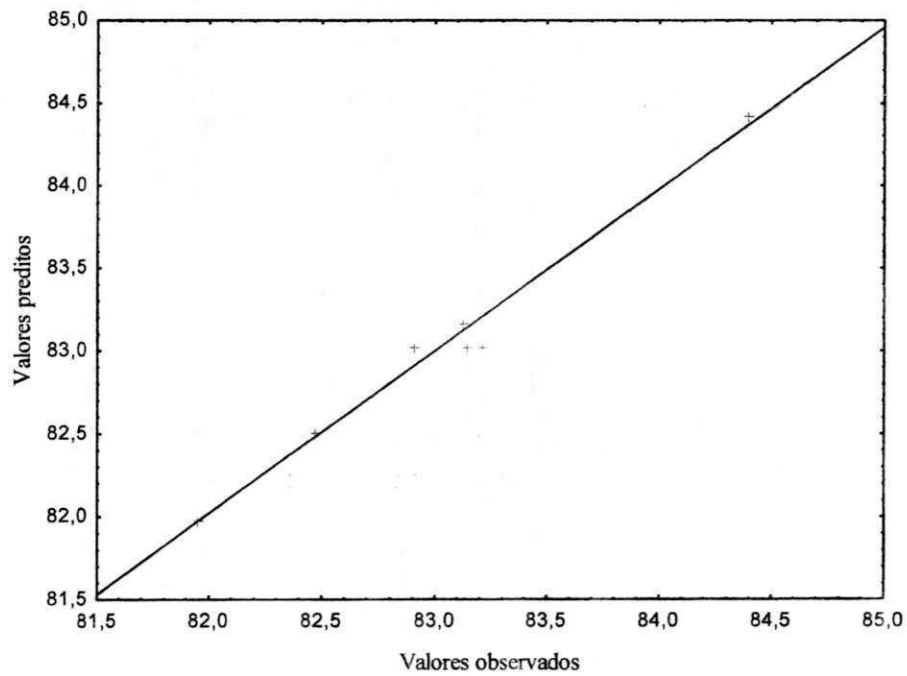


Figura D.8 – Valores observados versus valores preditos para a luminosidade do pó do ciclone

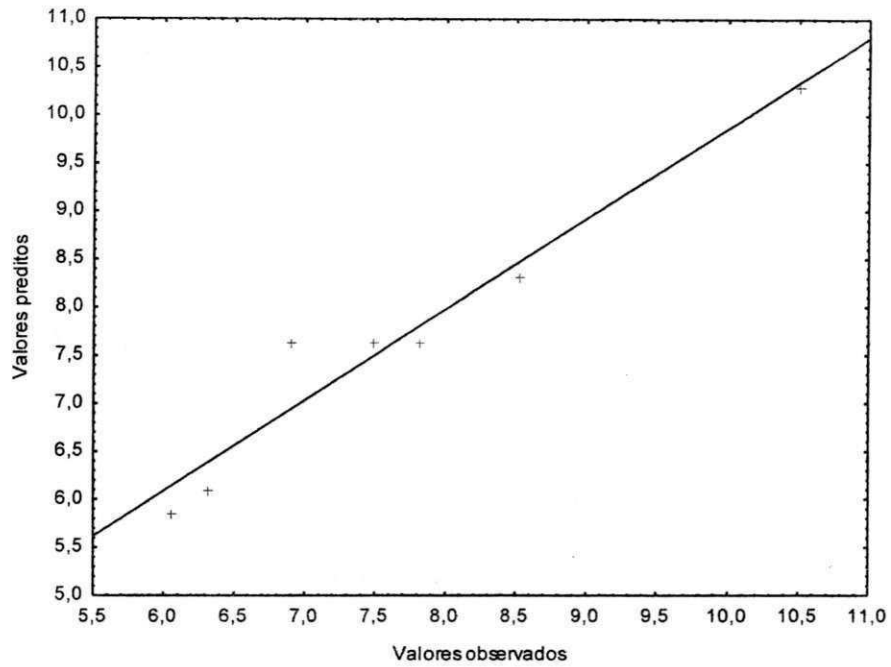


Figura D.9 – Valores observados versus valores preditos para a intensidade de vermelho (+a) do pó da câmara de secagem

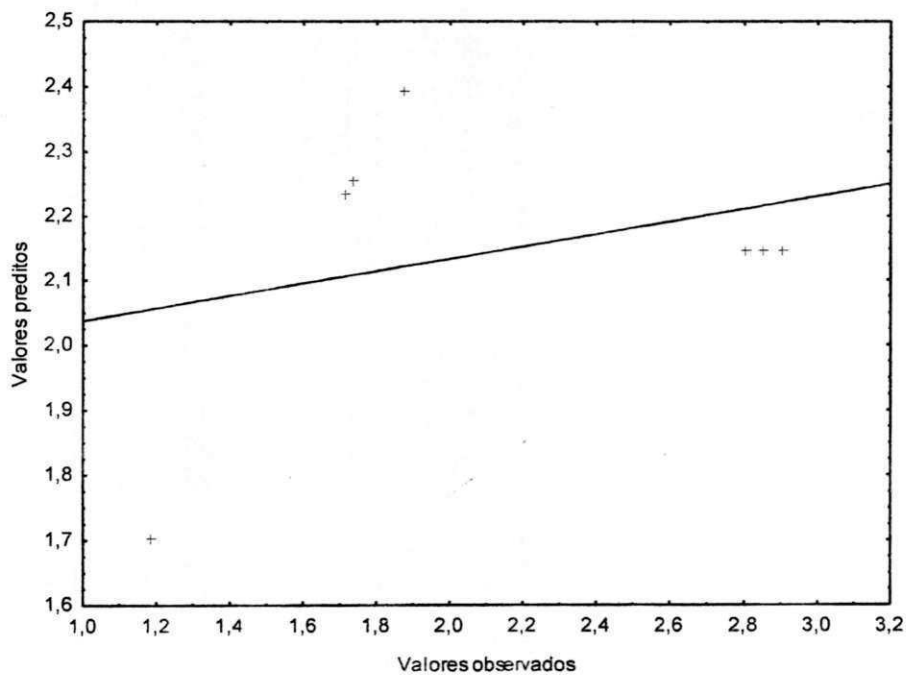


Figura D.10 – Valores observados versus valores preditos para a intensidade de vermelho (+a) do pó do ciclone

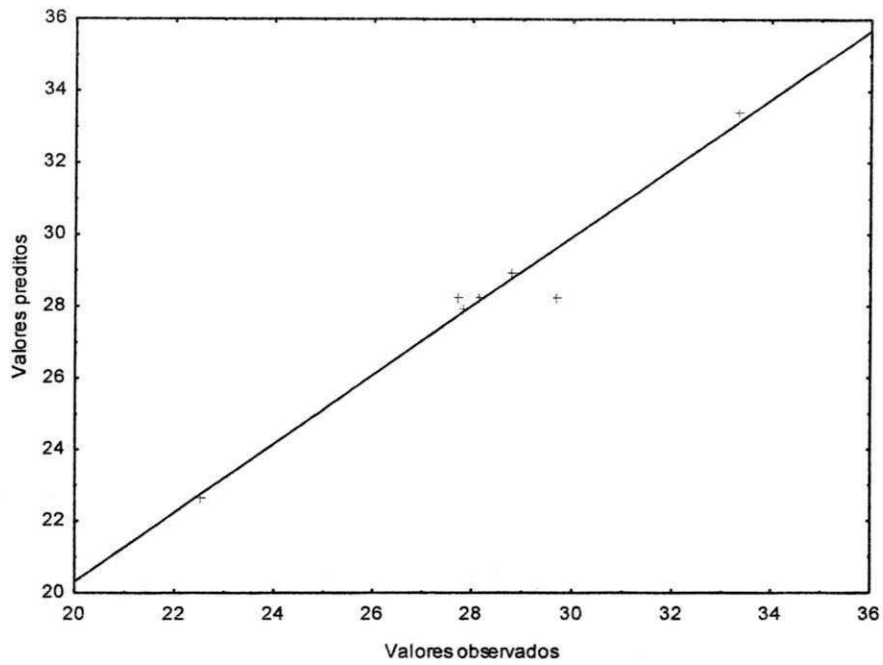


Figura D.11 – Valores observados versus valores preditos para a intensidade de amarelo (+b) do pó da câmara de secagem

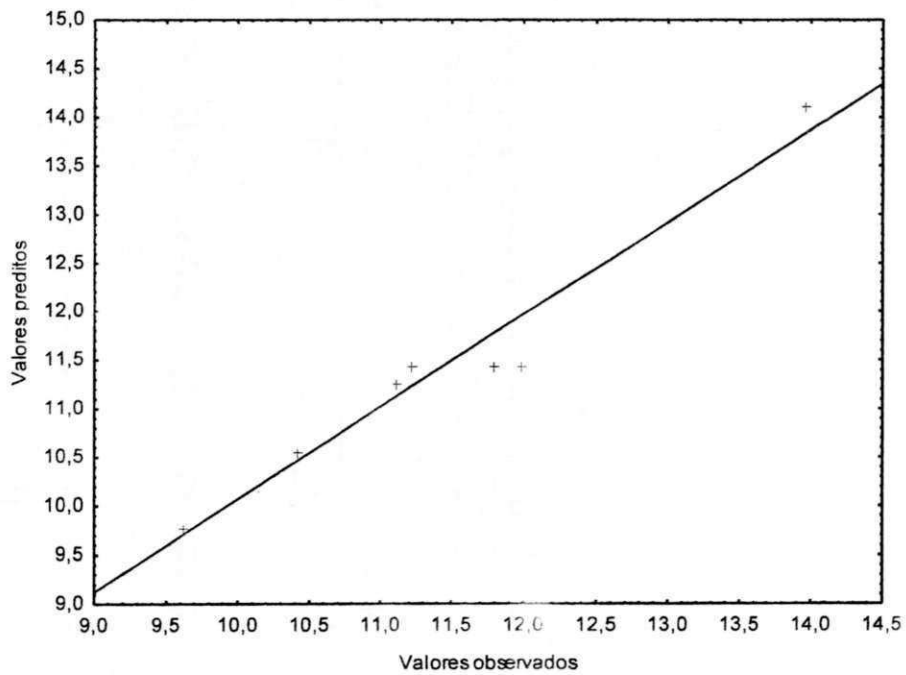


Figura D.12 – Valores observados versus valores preditos para a intensidade de amarelo (+b) do pó do ciclone

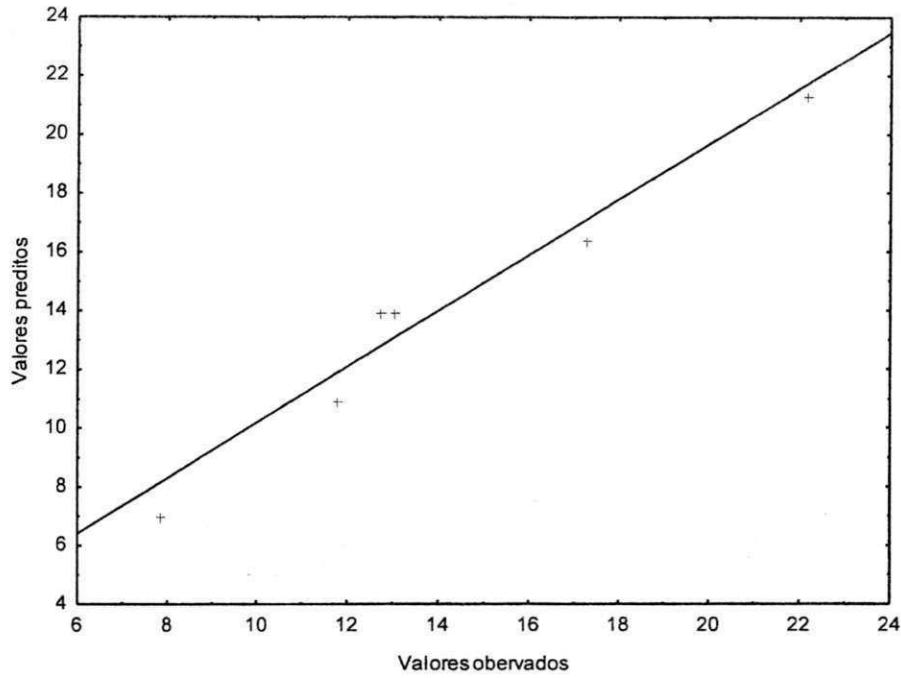


Figura D.13 – Valores observados versus valores preditos para o ácido ascórbico (mg 100g⁻¹) do pó da câmara de secagem

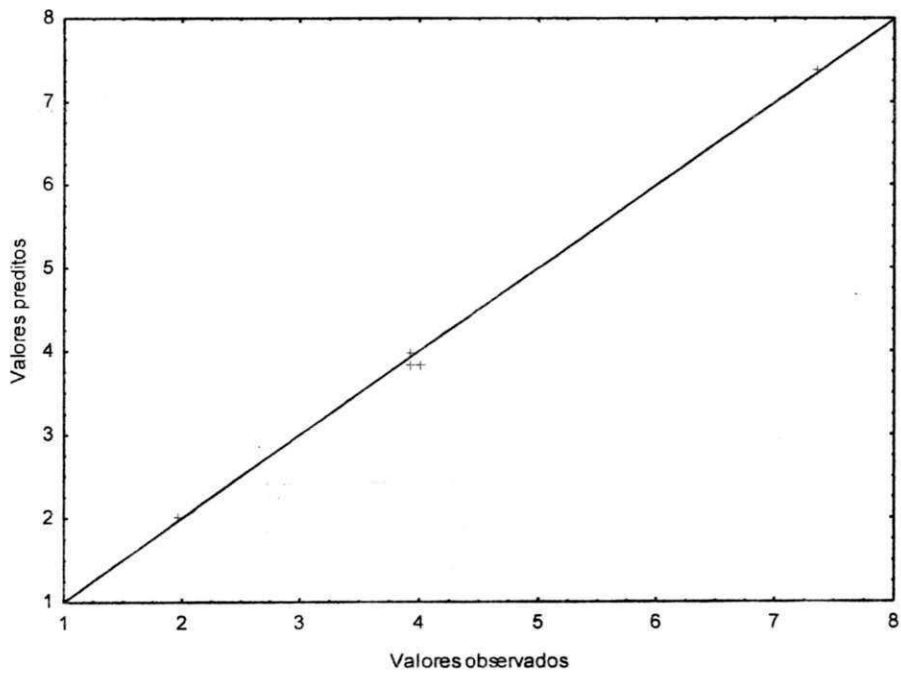


Figura D.14 – Valores observados versus valores preditos para o ácido ascórbico (mg 100g⁻¹) do pó do ciclone

APÊNDICE E

Apêndice

Tabela E.1 -Análise de variância dos valores médios do teor de água das amostras em pó

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|---------|---------|--------------|
| Tratamentos | 1 | 1,16160 | 1,16160 | 1584,0000 ** |
| Resíduo | 4 | 0,00293 | 0,00073 | |
| Total | 5 | 1,16453 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela E.2 -Análise de variância dos valores médios dos sólidos totais das amostras em pó

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|---------|---------|--------------|
| Tratamentos | 1 | 1,16160 | 1,16160 | 1584,0000 ** |
| Resíduo | 4 | 0,00293 | 0,00073 | |
| Total | 5 | 1,16453 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela E.3 -Análise de variância dos valores médios dos sólidos solúveis totais das amostras em pó

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|----------|----------|----------|
| Tratamentos | 1 | 36,50667 | 36,50667 | 8,7616 * |
| Resíduo | 4 | 16,66667 | 4,16667 | |
| Total | 5 | 53,17333 | | |

* significativo ao nível de 5% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela E.4 -Análise de variância dos valores médios da acidez total titulável das amostras em pó

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|---------|---------|-----------|
| Tratamentos | 1 | 0,00429 | 0,00429 | 4,6183 ns |
| Resíduo | 4 | 0,00371 | 0,00093 | |
| Total | 5 | 0,00800 | | |

ns - não significativo ($p \geq 0,05$); G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Apêndice

Tabela E.5 -Análise de variância dos valores médios do SST/ATT das amostras em pó

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|-----------|----------|-----------|
| Tratamentos | 1 | 0,54000 | 0,54000 | 0,0211 ns |
| Resíduo | 4 | 102,28600 | 25,57150 | |
| Total | 5 | 102,82600 | | |

ns – não significativo ($p \geq 0,05$); G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela E.6 -Análise de variância dos valores médios do ácido ascórbico das amostras em pó

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|-----------|-----------|-------------|
| Tratamentos | 1 | 498,57774 | 498,57774 | 830,8928 ** |
| Resíduo | 4 | 2,40020 | 0,60005 | |
| Total | 5 | 500,97794 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela E.7 -Análise de variância dos valores médios das cinzas das amostras em pó

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|---------|---------|-------------|
| Tratamentos | 1 | 0,08340 | 0,08340 | 680,5401 ** |
| Resíduo | 4 | 0,00049 | 0,00012 | |
| Total | 5 | 0,08389 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela E.8 -Análise de variância dos valores médios dos açúcares redutores das amostras em pó

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|----------|---------|-------------|
| Tratamentos | 1 | 9,93307 | 9,93307 | 171,0141 ** |
| Resíduo | 4 | 0,23233 | 0,05808 | |
| Total | 5 | 10,16540 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Apêndice

Tabela E.9 -Análise de variância dos valores médios das proteínas das amostras em pó

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|---------|---------|---------------|
| Tratamentos | 1 | 0,96802 | 0,96802 | 14520,2500 ** |
| Resíduo | 4 | 0,00027 | 0,00007 | |
| Total | 5 | 0,96828 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela E.10 -Análise de variância dos valores médios da atividade de água das amostras em pó

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|---------|---------|-----------|
| Tratamentos | 1 | 0,00406 | 0,00406 | 21,0337 * |
| Resíduo | 4 | 0,00077 | 0,00019 | |
| Total | 5 | 0,00483 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela E.11 -Análise de variância dos valores médios da luminosidade das amostras em pó

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|-----------|-----------|--------------|
| Tratamentos | 1 | 901,35527 | 901,35527 | 172233,49 ** |
| Resíduo | 4 | 0,02093 | 0,00523 | |
| Total | 5 | 901,37620 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela E.12 -Análise de variância dos valores médios da intensidade de vermelho das amostras em pó

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|-----------|-----------|---------------|
| Tratamentos | 1 | 111,62907 | 111,62907 | 22032,0526 ** |
| Resíduo | 4 | 0,02027 | 0,00507 | |
| Total | 5 | 111,64933 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Apêndice

Tabela E.13 -Análise de variância dos valores médios da intensidade de amarelo das amostras em pó

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|-----------|-----------|--------------|
| Tratamentos | 1 | 561,82727 | 561,82727 | 8408,4899 ** |
| Resíduo | 4 | 0,26727 | 0,06682 | |
| Total | 5 | 562,09453 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela E.14 -Análise de variância dos valores médios da densidade absoluta das amostras em pó

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|----------|----------|--------|
| Tratamentos | 1 | 37240,88 | 37240,88 | 12,98* |
| Resíduo | 4 | 11474,32 | 2868,58 | |
| Total | 5 | 48715,20 | | |

* significativo ao nível de 5% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela E.15 -Análise de variância dos valores médios da densidade aparente das amostras em pó

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|-------------|-------------|-------------|
| Tratamentos | 1 | 15863,07002 | 15863,07002 | 261,0512 ** |
| Resíduo | 4 | 243,06453 | 60,76613 | |
| Total | 5 | 16106,13455 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela E.16 -Análise de variância dos valores médios da porosidade das amostras em pó

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|--------|--------|---------|
| Tratamentos | 1 | 15,84 | 15,84 | 54,28 * |
| Resíduo | 4 | 3,7825 | 0,9456 | |
| Total | 5 | 19,63 | | |

* significativo ao nível de 5% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

Tabela E.17 -Análise de variância dos valores médios da solubilidade das amostras em pó

| Fonte de variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|---------|---------|------------|
| Tratamentos | 1 | 0,20535 | 0,20535 | 54,2775 ** |
| Resíduo | 4 | 0,01513 | 0,00378 | |
| Total | 5 | 0,22048 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M.

- Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F

APÊNDICE F

Apêndice

Tabela F.1 – Valores médios da teor de água de equilíbrio em função da atividade de água das amostras em pó produzidas a partir da Formulação 1 coletada na câmara, para as temperaturas estudadas.

| Temperatura (°C) | | | | | |
|------------------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|
| 20 | | 30 | | 40 | |
| aw | Ueq (%b.s.) | aw | Ueq (%b.s.) | aw | Ueq (%b.s.) |
| 0,289 | 1,403 | 0,228 | 1,199 | 0,227 | 1,698 |
| 0,567 | 6,613 | 0,528 | 5,994 | 0,346 | 3,896 |
| 0,599 | 8,918 | 0,585 | 8,392 | 0,553 | 9,590 |
| 0,633 | 11,122 | 0,628 | 11,588 | 0,616 | 11,988 |
| 0,715 | 15,531 | 0,694 | 15,784 | 0,712 | 15,884 |
| 0,75 | 19,739 | 0,741 | 18,581 | 0,748 | 18,382 |
| 0,78 | 21,944 | 0,776 | 21,578 | 0,78 | 21,079 |
| 0,802 | 23,948 | 0,802 | 24,076 | 0,801 | 23,477 |
| 0,894 | 44,088 | 0,908 | 52,248 | 0,917 | 51,548 |
| 0,925 | 57,916 | - | - | - | - |

Tabela F.2 – Valores médios da teor de água de equilíbrio em função da atividade de água das amostras em pó produzidas a partir da Formulação 1 coletada no ciclone, para as temperaturas estudadas.

| Temperatura (°C) | | | | | |
|------------------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|
| 20 | | 30 | | 40 | |
| aw | Ueq (%b.s.) | aw | Ueq (%b.s.) | aw | Ueq (%b.s.) |
| 0,206 | 2,439 | 0,213 | 2,412 | 0,256 | 3,459 |
| 0,365 | 5,016 | 0,538 | 10,754 | 0,491 | 9,606 |
| 0,395 | 5,660 | 0,727 | 16,985 | 0,69 | 13,953 |
| 0,557 | 9,986 | 0,765 | 20,302 | 0,733 | 16,178 |
| 0,64 | 13,852 | 0,781 | 21,608 | 0,783 | 19,616 |
| 0,712 | 17,625 | 0,801 | 24,020 | 0,803 | 22,548 |
| 0,879 | 43,580 | 0,811 | 26,131 | 0,91 | 49,542 |
| 0,891 | 48,642 | 0,902 | 54,673 | - | - |
| 0,916 | 61,344 | - | - | - | - |

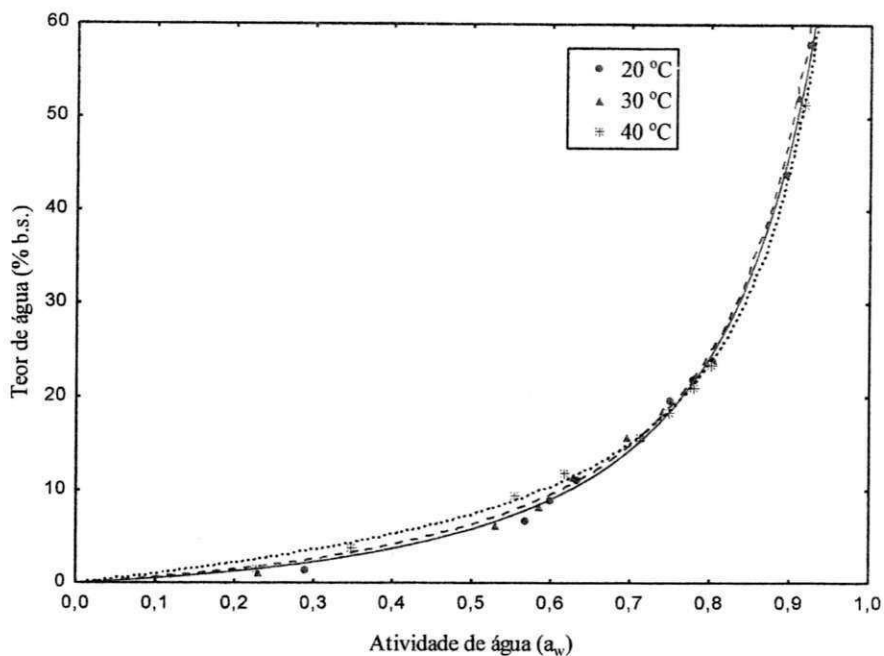


Figura F.1 - Isothermas de adsorção de água das amostras em pó produzidas a partir da Formulação 1 coletadas na câmara de secagem, com ajustes pelo modelo de GAB

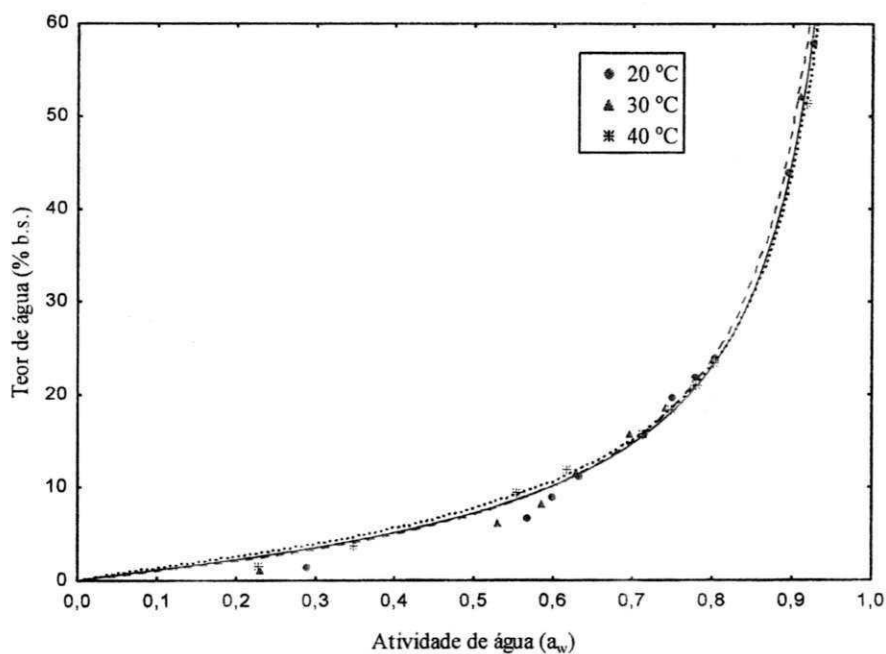


Figura F.2 - Isothermas de adsorção de água das amostras em pó produzidas a partir da Formulação 1 coletadas na câmara de secagem, com ajustes pelo modelo de Oswin

APÊNDICE G

Apêndice

Tabela G.1 – Valores médios do ácido ascórbico ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$) para as amostras em pó da Formulação 1 coletada na câmara de secagem

| Tempo (dias) | Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) | | |
|-----------------|------------------------------------|-------|-------|
| | 20 | 30 | 40 |
| 0 | 26,81 | 26,63 | 27,33 |
| 1 | 25,92 | 25,99 | 24,27 |
| 2 | 24,24 | 24,28 | 22,93 |
| 3 | 23,89 | 23,25 | 21,58 |
| 4 | 22,25 | 21,89 | 20,24 |
| 5 | 20,81 | 18,21 | 16,51 |
| 6 | 20,26 | 16,19 | 15,17 |
| 7 | 20,18 | 15,50 | 14,17 |
| 8 | 19,85 | 14,15 | 12,79 |
| 9 | 19,53 | 13,13 | 12,47 |
| 10 | 19,50 | 12,81 | 11,80 |
| 11 | 18,89 | 12,14 | 11,14 |
| 12 | 17,86 | 12,13 | 10,11 |
| 13 | 16,16 | 11,81 | 9,79 |
| 14 | 15,86 | 11,80 | 9,11 |
| 15 | 15,83 | 11,46 | 8,77 |

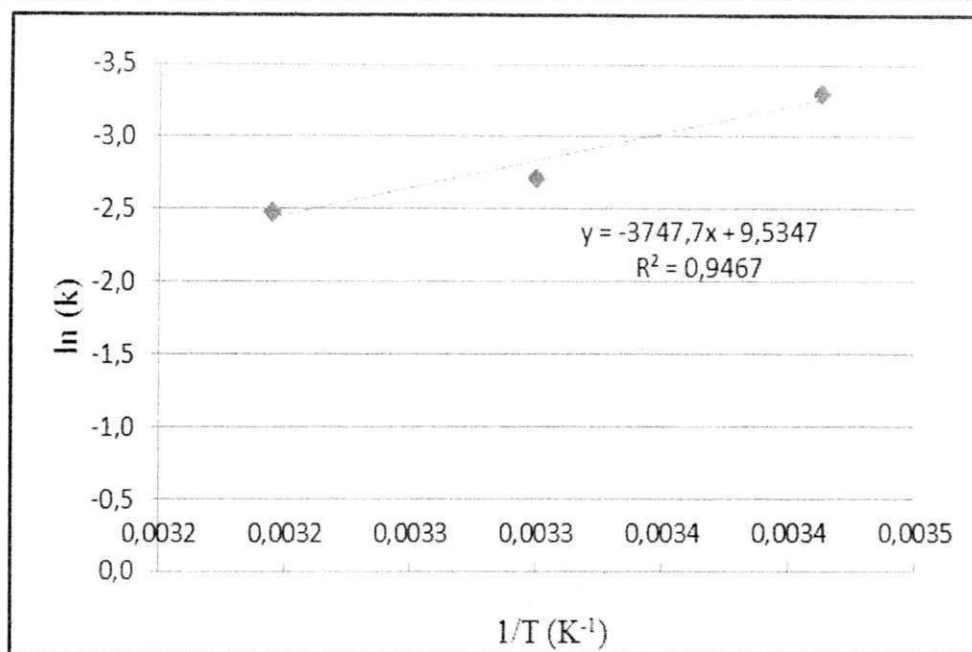


Figura G.1 - Representação gráfica de Arrhenius da constante cinética de primeira ordem para a degradação do ácido ascórbico do pó coletado na câmara de secagem