



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

Dissertação de Mestrado

SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA
DA POLPA DE CAJÁ

TÂMILA KASSIMURA DA SILVA FERNANDES

Biblioteca UFCC
SMBC_CDSA
CAMPUS DE SUMÉ
Reg. 10292/12

Campina Grande
Paraíba



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



DISSERTAÇÃO

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM PROCESSAMENTO E
ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS**

SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DA POLPA DE CAJÁ

TÂMILA KASSIMURA DA SILVA FERNANDES

**Campina Grande - Paraíba
DEZEMBRO - 2010**

SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DA POLPA DE CAJÁ

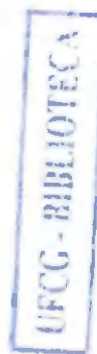
TÂMILA KASSIMURA DA SILVA FERNANDES

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

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas

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

**Campina Grande - Paraíba
DEZEMBRO – 2010**



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

F363s Fernandes, Tânila Kassimura da Silva.

Secagem em camada de espuma da polpa de cajá / Tânila Kassimura da Silva Fernandes. — Campina Grande, 2010.

172 f.: il. color.

Dissertação (Mestrado 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. Cajá – *Spondias lutea* L. 2. Processamento. 3. Reologia. 4. Planejamento Experimental. 1. Título.

CDU – 631.563.2(043)



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

CTRN

PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DA MESTRANDA

TÂMILA KASSIMURA DA SILVA FERNANDES

SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DA POLPA DE CAJÁ

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo
Dra. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo – Orientadora

Aprovado com distinção

Alexandre José de Meio Queiroz
Dr. Alexandre José de Meio Queiroz – Orientador

Aprovado com distinção

Osvaido Soares da Silva
Dr. Osvaido Soares da Silva - Examinador

Aprovado com distinção

Josivanda Paimeira Gomes
Dra. Josivanda Paimeira Gomes – Examinadora

Aprovado com Distinção

DEZEMBRO - 2010



DEDICÁTORIA

Ao meu Deus, por ser o meu refúgio e fortaleza, meu socorro bem presente nas horas das aflições, sempre estando comigo e suprimindo as minhas necessidades. A meus amados pais, Nisauro e Selma, que lutaram para que, hoje eu, simplesmente existisse e que, com paciência, me conduziram nos caminhos certos. A eles, todo o meu amor e profunda admiração. A meu esposo e grande amigo, Erysson, pelo apoio e encorajamento. Esta vitória é nossa.

Amo todos vocês!!

Amém!!

AGRADECIMENTOS

A Deus, razão da minha existência, por me ter dado força e coragem para vencer esta fase de minha vida; a Ele toda honra e toda a glória.

A meus pais, Nisauro e Selma, que lutaram para que eu chegasse a onde estou hoje, sempre perto em todos os momentos de minha vida.

A minha avó e avô (*in memoriam*), meu irmão, tios, primos, por acompanharem meu crescimento.

A meu esposo Erysson, grande companheiro em todos os momentos, que me ajudou sempre que precisei.

A todos os professores que me ajudaram a crescer direta ou indiretamente, em especial à Prof^a. Rossana, ao Prof. Alexandre e à Prof^a. Josivanda, com os quais aprendi muito e com paciência me ajudaram a crescer nesta profissão que escolhi.

Aos meus amigos que sempre estiveram à disposição para me ajudar ou dar forças para conseguir chegar ao fim desta jornada.

A minhas amigas: Conceição, Plúvia, Mônica e Elizabelly, que acrescentaram muito em minha vida, sou eternamente grata a vocês; que Deus possa abençoá-las abundantemente. A meus companheiros de curso: Flávio, Taciano, Patrícia, Débora, Vanessa, Denise e Pablícia; obrigada por tudo.

A minha amiga Karla, à qual sou grata eternamente por todo o companheirismo, a paciência em ensinar e amizade verdadeira.

A todos que, de forma direta ou indireta, participaram de minha formação; amo todos vocês.

Obrigada a todos!!!

SUMÁRIO

| | |
|--|--------------|
| LISTA DE FIGURAS | iv |
| LISTA DE TABELAS | x |
| RESUMO | xvi |
| ABSTRACT | xviii |
| I- INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1- Objetivo geral | 2 |
| 1.1.1- Objetivos específicos | 2 |
| 2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 3 |
| 2.1 – Cajá | 3 |
| 2.2 – Secagem | 6 |
| 2.2.1 – Secagem em camada de espuma (<i>foam-mat drying</i>) | 7 |
| 2.2.2 – Cinética de secagem | 9 |
| 2.3 – Aditivos | 11 |
| 2.4 – Massa específica | 13 |
| 2.5 – Viscosidade | 14 |
| 2.6 – Isotermas de adsorção de água | 19 |
| 2.7 - Planejamento experimental fatorial | 23 |
| 3- MATERIAL E MÉTODOS | 27 |
| 3.1- Matérias-primas | 27 |
| 3.2 – Processamento do cajá | 27 |
| 3.3 – Caracterização da polpa de cajá | 28 |
| 3.3.1- pH | 29 |
| 3.3.2- Sólidos solúveis totais (°Brix) | 29 |
| 3.3.3- Teor de água e sólidos totais | 29 |
| 3.3.4- Acidez total titulável | 29 |
| 3.3.5 – Açúcares totais, redutores e não-redutores | 29 |
| 3.3.6 – Ácido ascórbico | 30 |
| 3.3.7 – Cinzas (Resíduo mineral fixo) | 30 |
| 3.3.8 – Atividade de água | 30 |
| 3.3.9 – Cor | 30 |
| 3.3.10 – Massa específica | 30 |

| | |
|---|-----------|
| 3.3.11 – Comportamento reológico | 31 |
| 3.4 – Elaboração das formulações | 33 |
| 3.4.1 – Massa específica da espuma | 34 |
| 3.4.2 – Expansão volumétrica | 34 |
| 3.4.3 – Estabilidade da espuma | 35 |
| 3.4.4 – Análise estatística | 35 |
| 3.5 – Caracterização química, física e fisico-química das espumas | 35 |
| 3.6 – Planejamento experimental fatorial para a secagem em camada de espuma | 36 |
| 3.7 – Secagem em camada de espuma | 37 |
| 3.8 – Cinética de secagem | 38 |
| 3.9 – Caracterização química, física e fisico-química das amostras do pó | 39 |
| 3.10 – Análise dos dados | 39 |
| 3.11 - Isoterma de adsorção de água | 40 |
| 4- RESULTADOS E DISCUSSÃO | 41 |
| 4.1 – Caracterização química, fisico-química e física da polpa de cajá integral | 41 |
| 4.2 – Comportamento reológico da polpa de cajá integral | 44 |
| 4.3 – Análise das formulações de espumas | 47 |
| 4.3.1 – Massa específica das espumas | 47 |
| 4.3.2 – Expansão volumétrica das espumas | 49 |
| 4.3.3 – Estabilidade da espuma | 50 |
| 4.4 – Caracterização fisico-química das espumas | 51 |
| 4.5 – Viscosidade aparente das espumas | 55 |
| 4.6 – Secagem em camada de espuma | 60 |
| 4.6.1 – Influência da temperatura e espessura da camada | 60 |
| 4.6.2 – Modelos matemáticos | 63 |
| 4.7 – Planejamento experimental fatorial..... | 78 |
| 4.7.1 – Teor de água | 79 |
| 4.7.2 – Sólidos solúveis totais (°Brix) | 83 |
| 4.7.3 – pH | 85 |
| 4.7.4 – Acidez total titulável | 87 |
| 4.7.5 – Açúcares redutores | 91 |
| 4.7.6 – Açúcares totais | 94 |

| | |
|--|------------|
| 4.7.7 – Açúcares não-redutores | 97 |
| 4.7.8 – Ácido ascórbico | 101 |
| 4.7.9 – Cinzas | 105 |
| 4.7.10 – Laminosidade (L*) | 106 |
| 4.7.11 – Intensidade de vermelho (+a*) | 109 |
| 4.7.12 – Intensidade de amarelo (+b*) | 111 |
| 4.7.13 – Atividade de água | 114 |
| 4.7.14 – Rendimento | 115 |
| 4.7.15 – Seleção do pó | 118 |
| 4.7.16 – Isoterma de adsorção de água | 119 |
| 5 – CONCLUSÕES | 121 |
| 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 123 |
| APÊNDICE A | 144 |
| APÊNDICE B | 147 |
| APÊNDICE C | 157 |
| APÊNDICE D | 168 |
| APÊNDICE E | 170 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|----------------------|--|----|
| Figura 2.1 - | Cajazeira (<i>Spondias lútea L.</i>) | 3 |
| Figura 2.2 - | Classificação do comportamento reológico | 16 |
| Figura 3.1 - | Cajás <i>in natura</i> | 27 |
| Figura 3.2 - | Fluxograma das etapas realizadas para obtenção da polpa de cajá integral | 28 |
| Figura 4.1 - | Viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de cajá integral, em função da velocidade de rotação (rpm) a 25 °C | 44 |
| Figura 4.2 - | Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de cajá integral, com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley | 46 |
| Figura 4.3 - | Volume da espuma (cm ³) em função do tempo de batimento (min) para as Formulações 1, 2 e 3 | 49 |
| Figura 4.4 - | Volume coletado de líquido (mL) em função do tempo de drenagem (min) para as diferentes espumas (formulações): (a) Formulação 1; (b) Formulação 2 e (c) Formulação 3 | 51 |
| Figura 4.5 - | Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação das diferentes formulações, na temperatura de 25 °C, com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk | 60 |
| Figura 4.6 - | Cinéticas de secagem da Formulação 1 nas diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma | 62 |
| Figura 4.7 - | Cinéticas de secagem da Formulação 2 nas diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma | 62 |
| Figura 4.8 - | Cinéticas de secagem da Formulação 3 nas diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma | 63 |
| Figura 4.9 - | Cinética de secagem da Formulação 1 com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Cavalcanti Mata | 67 |
| Figura 4.10 - | Cinética de secagem da Formulação 1 com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Cavalcanti Mata | 67 |

| | | |
|----------------------|---|----|
| Figura 4.11 - | Cinética de secagem da Formulação 1 com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Cavalcanti Mata | 68 |
| Figura 4.12 - | Cinética de secagem da Formulação 2 com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Cavalcanti Mata | 72 |
| Figura 4.13 - | Cinética de secagem da Formulação 2 com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Cavalcanti Mata | 72 |
| Figura 4.14 - | Cinética de secagem da Formulação 2 com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Cavalcanti Mata | 73 |
| Figura 4.15 - | Cinética de secagem da Formulação 3 com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Cavalcanti Mata | 77 |
| Figura 4.16 - | Cinética de secagem da Formulação 3 com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Cavalcanti Mata | 77 |
| Figura 4.17 - | Cinética de secagem da Formulação 3 com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Cavalcanti Mata | 78 |
| Figura 4.18 - | Diagrama de Pareto do teor de água | 80 |
| Figura 4.19 - | Superfícies de resposta pura teor de água, relacionando-se: (a) concentração × espessura, para a temperatura de secagem de 70°C; (b) concentração × temperatura, para a espessura da camada de espuma de 1,0 cm | 83 |
| Figura 4.20 - | Diagrama de Pareto dos sólidos solúveis totais (°Brix) | 84 |
| Figura 4.21 - | Diagrama de Pareto do pH | 86 |
| Figura 4.22 - | Diagrama de Pareto da acidez total titulável | 88 |
| Figura 4.23 - | Superfície de resposta para acidez total titulável, relacionando-se: espessura x temperatura, para o ponto central que corresponde a uma concentração de 2% de Emustab (Formulação 2) | 90 |

| | |
|--|-----|
| Figura 4.24 - Diagrama de Pareto dos açúcares redutores | 92 |
| Figura 4.25 - Superfícies de resposta para açúcares redutores, relacionando-se: (a) concentração × temperatura, para a espessura da camada de espuma de 1,0 cm (ponto central); (b) espessura x temperatura, para uma concentração de 2% de Emustab (ponto central = Formulação 2) | 94 |
| Figura 4.26 - Diagrama de Pareto dos açúcares totais | 95 |
| Figura 4.27 - Superfície de resposta para açúcares totais, relacionando espessura x temperatura, para uma concentração de 2% de Emustab (ponto central – Formulação 2) | 97 |
| Figura 4.28 - Diagrama de Pareto dos açúcares não-redutores | 98 |
| Figura 4.29 - Superfícies de resposta para açúcares não-redutores, relacionando: (a) concentração × espessura, para temperatura de secagem de 70°C (ponto central); (b) concentração × temperatura, para a espessura da camada de espuma de 1,0cm (ponto central); (c) espessura x temperatura, para uma concentração de 2% de Emustab (ponto central) | 100 |
| Figura 4.30 - Diagrama de Pareto do ácido ascórbico | 102 |
| Figura 4.31 - Superfícies de resposta para ácido ascórbico, relacionando: (a) concentração × espessura, para a temperatura de secagem de 70°C (ponto central); (b) concentração × temperatura, para a espessura da camada de espuma de 1,0cm (ponto central); (c) espessura x temperatura, para uma concentração de 2% de Emustab (ponto central) | 104 |
| Figura 4.32 - Diagrama de Pareto das cinzas | 105 |
| Figura 4.33 - Diagrama de Pareto da luminosidade | 107 |
| Figura 4.34 - Diagrama de Pareto da intensidade de vermelho (+a*) | 110 |
| Figura 4.35 - Diagrama de Pareto da intensidade de amarelo (+b*) | 112 |
| Figura 4.36 - Superfícies de resposta para intensidade de amarelo (+b*), relacionando, concentração x espessura, para a temperatura de secagem de 70°C | 113 |
| Figura 4.37 - Diagrama de Pareto da atividade de água | 114 |
| Figura 4.38 - Diagrama de Pareto do rendimento | 116 |

| | | |
|----------------------|--|-----|
| Figura 4.39 - | Superfícies de resposta para rendimento, relacionando: (a) Concentração × espessura, para a temperatura de secagem de 70°C (ponto central); (b) concentração × temperatura, para a espessura da camada de espuma de 1,0mm (ponto central); (c) espessura x temperatura, para uma concentração de 2% de Emustab (ponto central) | 118 |
| Figura 4.40 - | Isoterma de adsorção de água a 25 °C, da amostra em pó produzida de acordo com o Experimento nº 2, com ajuste pelo modelo de Oswin | 120 |
| Figura A.1 - | Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de cajá integral com ajuste pelo Modelo de Ostwald-de-Waelle | 145 |
| Figura A.2 - | Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de cajá integral com ajuste pelo Modelo de Mizrahi-Berk | 146 |
| Figura A.3 - | Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de cajá integral com ajuste pelo Modelo de Casson | 146 |
| Figura B.1 - | Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação das formulações da polpa cajá com adição de 2% de Super Liga Neutra e diferentes concentrações de Emustab, na temperatura de 25 °C, pelo modelo de Ostwald-de-Waelle | 155 |
| Figura B.2 - | Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação das formulações da polpa cajá com adição de 2% de Super Liga Neutra e diferentes concentrações de Emustab, na temperatura de 25 °C, pelo modelo de Herschel-Bulkley | 156 |
| Figura B.3 - | Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação das formulações da polpa cajá com adição de % de Super Liga Neutra e diferentes concentrações de Emustab, na temperatura de 25 °C, pelo modelo de Casson | 156 |
| Figura C.1 - | Cinética de secagem da Formulação 1, com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Page | 158 |
| Figura C.2 - | Cinética de secagem da Formulação 1, com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Henderson & Pabis | 159 |

| | | |
|----------------------|--|-----|
| Figura C.3 - | Cinética de secagem da Formulação 1, com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Page | 159 |
| Figura C.4 - | Cinética de secagem da Formulação 1, com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Henderson & Pabis | 160 |
| Figura C.5 - | Cinética de secagem da Formulação 1, com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Page | 160 |
| Figura C.6 - | Cinética de secagem da Formulação 1, com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Henderson & Pabis | 161 |
| Figura C.7 - | Cinética de secagem da Formulação 2, com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Page | 161 |
| Figura C.8 - | Cinética de secagem da Formulação 2, com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Henderson & Pabis | 162 |
| Figura C.9 - | Cinética de secagem da Formulação 2, com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Page | 162 |
| Figura C.10- | Cinética de secagem da Formulação 2, com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Henderson & Pabis | 163 |
| Figura C.11- | Cinética de secagem da Formulação 2, com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Page | 163 |
| Figura C.12 - | Cinética de secagem da Formulação 2, com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Henderson & Pabis | 164 |
| Figura C.13 - | Cinética de secagem da Formulação 3, com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Page | 164 |

| | | |
|----------------------|--|-----|
| Figura C.14 - | Cinética de secagem da Formulação 3, com espessura da camada de espuma de 0,5 em, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Henderson & Pabis | 165 |
| Figura C.15 - | Cinética de secagem da Formulação 3, com espessura da camada de espuma de 1,0 em, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Page | 165 |
| Figura C.16- | Cinética de seeagem da Formulação 3, com espessura da camada de espama de 1,0 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Henderson & Pabis | 166 |
| Figura C.17 - | Cinética de secagem da Formulação 3, com espessura da camada de espuma de 1,5 em, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Page | 166 |
| Figura C.18 - | Cinética de secagem da Formulação 3, com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Henderson & Pabis | 167 |
| Figura E.1 - | Isoterma de adsorção de água a 25 °C, do Experimento 2, com ajuste pelo modelo de GAB | 172 |
| Figura E.2 - | Isoterma de adsorção de água a 25 °C, do Experimento 2, com ajuste pelo modelo de Peleg..... | 172 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 2.1 – Características físicas e químicas do cajá, de acordo com a literatura | 5 |
| Tabela 3.1 – Concentrações dos aditivos Emustab e Super Liga Neutra utilizadas nas formulações para obtenção da espuma, para secagem em camada de espuma da polpa de cajá | 34 |
| Tabela 3.2 – Formulações e massa específica das espumas selecionadas | 34 |
| Tabela 3.3 – Níveis das variáveis independentes reais e codificadas empregadas na secagem das Formulações | 36 |
| Tabela 3.4 – Matriz de planejamento fatorial $2^3 + 3$ experimentos no ponto central para a secagem das formulações | 37 |
| Tabela 3.5 – Modelos para estimar as isotermas de adsorção de água | 40 |
| Tabela 4.1 – Valores médios e desvios padrão dos parâmetros avaliados na polpa de cajá integral..... | 41 |
| Tabela 4.2 - Parâmetros dos modelos reológicos ajustados ao reograma da polpa de cajá integral a 25 °C, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) | 45 |
| Tabela 4.3 – Valores médios da massa específica das espumas (g/cm^3) das Formulações 1, 2 e 3 | 47 |
| Tabela 4.4 – Caracterização, química, físico-química e física das Formulações 1, 2 e 3 | 52 |
| Tabela 4.5 – Valores médios da viscosidade aparente das espumas (Pa s), na temperatura de 25 °C, das Formulações 1, 2 e 3, em função da velocidade de rotação | 56 |
| Tabela 4.6 - Equações de regressão propostas para o cálculo das viscosidades aparentes na temperatura de 25 °C, das Formulações 1, 2 e 3 | 57 |
| Tabela 4.7 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (%) dos modelos reológicos ajustados aos reogramas a 25 °C das Formulações 1, 2 e 3 | 59 |
| Tabela 4.8 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da Formulação 1, com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, para as diferentes temperaturas avaliadas | 64 |

| | |
|---|----|
| Tabela 4.9 – Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da Formulação 1, com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, para as diferentes temperaturas avaliadas | 65 |
| Tabela 4.10 – Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da Formulação 1, com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, para as diferentes temperaturas avaliadas | 66 |
| Tabela 4.11 – Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da Formulação 2, com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, para as diferentes temperaturas avaliadas | 69 |
| Tabela 4.12 – Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da Formulação 2, com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, para as diferentes temperaturas avaliadas | 70 |
| Tabela 4.13 – Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da Formulação 2, com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, para as diferentes temperaturas avaliadas | 71 |
| Tabela 4.14 – Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da Formulação 3, com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, para as diferentes temperaturas avaliadas | 74 |
| Tabela 4.15 – Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da Formulação 3, com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, para as diferentes temperaturas avaliadas | 75 |
| Tabela 4.16 – Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da Formulação 3, com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, para as diferentes temperaturas avaliadas | 76 |
| Tabela 4.17 – Efeito estimado, erro, coeficiente t e grau de significância | 79 |

| | | |
|----------------------|--|-----|
| | estatística, para cada fator no modelo real do teor de água | |
| Tabela 4.18 - | Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para teor de água | 82 |
| Tabela 4.19 - | Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para sólidos solúveis totais | 84 |
| Tabela 4.20 - | Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para sólidos solúveis totais | 85 |
| Tabela 4.21 - | Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para o pH | 85 |
| Tabela 4.22 - | Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para pH | 87 |
| Tabela 4.23 - | Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para acidez total titulável. | 88 |
| Tabela 4.24 - | Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para acidez total titulável | 89 |
| Tabela 4.25 - | Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para açúcares redutores | 91 |
| Tabela 4.26 - | Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para açúcares redutores | 93 |
| Tabela 4.27 - | Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para açúcares totais | 95 |
| Tabela 4.28 - | Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para açúcares totais | 96 |
| Tabela 4.29 - | Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para açúcares não-redutores | 98 |
| Tabela 4.30 - | Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para açúcares não-redutores | 99 |
| Tabela 4.31 - | Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para ácido ascórbico | 101 |
| Tabela 4.32 - | Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para ácido ascórbico | 103 |
| Tabela 4.33 - | Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para cinzas | 105 |
| Tabela 4.34 - | Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para cinzas | 106 |
| Tabela 4.35 - | Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância | 107 |

| | | |
|----------------------|--|-----|
| | estatística, para cada fator no modelo codificado para luminosidade (L*) | |
| Tabela 4.36 - | Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para luminosidade (L*) | 108 |
| Tabela 4.37 - | Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para intensidade de vermelho (+a*) | 109 |
| Tabela 4.38 - | Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para intensidade de vermelho (+a*) | 110 |
| Tabela 4.39 - | Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para intensidade de amarelo (+b*) | 111 |
| Tabela 4.40 - | Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a intensidade de amarelo (+b*) | 113 |
| Tabela 4.41 - | Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para atividade de água ... | 114 |
| Tabela 4.42 - | Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para atividade de água | 115 |
| Tabela 4.43 - | Efeito estimado, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para rendimento | 116 |
| Tabela 4.44 - | Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para rendimento | 117 |
| Tabela 4.45 - | Parâmetros, coeficientes de determinação (R ²) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados a isoterma de adsorção de água, a 25 °C da Formulação 3 (Experimento nº 2) | 120 |
| Tabela A.1 - | Valores médios de viscosidade aparente, tensão de cisalhamento (mPa) e taxa de deformação (s ⁻¹) para a polpa do fruto do cajá na temperatura de 25 °C, em diferentes velocidades de rotação (rpm) | 145 |
| Tabela B.1 - | Análise de variância dos valores médios da massa específica das espumas em função da concentração de Emustab para diferentes tempos de batimento na temperatura de 25 °C | 148 |
| Tabela B.2 - | Análise de variância dos valores médios do teor de água da formulação em função da concentração de Emustab na temperatura | 148 |

| | | |
|----------------------|--|-----|
| | de 25 °C | |
| Tabela B.3 - | Análise de variância dos valores médios dos sólidos totais da formulação em função da concentração de Emustab na temperatura de 25 °C | 148 |
| Tabela B.4 - | Análise de variância dos valores médios dos sólidos solúveis totais (°BRix) da formulação em função da concentração de Emustab na temperatura de 25 °C | 149 |
| Tabela B.5 - | Análise de variância dos valores médios do pH da formulação em função da concentração de Emustab na temperatura de 25 °C | 149 |
| Tabela B.6 - | Análise de variância dos valores médios da acidez total titulável da formulação em função da concentração de Emustab na temperatura de 25 °C | 149 |
| Tabela B.7 - | Análise de variância dos valores médios de ácido ascórbico da formulação em função da concentração de Emustab na temperatura de 25 °C | 150 |
| Tabela B.8 - | Análise de variância dos valores médios dos açúcares redutores da formulação em função da concentração de Emustab na temperatura de 25 °C | 150 |
| Tabela B.9 - | Análise de variância dos valores médios dos açúcares totais da formulação em função da concentração de Emustab na temperatura de 25 °C | 150 |
| Tabela B.10 - | Análise de variância dos valores médios dos açúcares não-redutores da formulação em função da concentração de Emustab na temperatura de 25 °C | 151 |
| Tabela B.11 - | Análise de variância dos valores médios das cinzas da formulação em função da concentração de Emustab na temperatura de 25 °C .. | 151 |
| Tabela B.12 - | Análise de variância dos valores médios de atividade de água da formulação em função da concentração de Emustab na temperatura de 25 °C | 151 |
| Tabela B.13 - | Análise de variância dos valores médios de luminosidade (L) da formulação em função da concentração de Emustab na temperatura de 25°C | 152 |
| Tabela B.14 - | Análise de variância dos valores médios da intensidade de | 152 |

| | | |
|----------------------|---|-----|
| | vermelho (+a*) da formulação em função da concentração de Emustab na temperatura de 25°C | |
| Tabela B.15 - | Análise de variância dos valores médios da intensidade de amarelo (+b*) da formulação em função da concentração de Emustab na temperatura de 25°C | 152 |
| Tabela B.16 - | Análise de variância dos valores médios da massa específica da formulação em função da concentração de Emustab na temperatura de 25°C | 153 |
| Tabela B.17 - | Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente da formulação em função da concentração de Emustab na temperatura de 25°C | 153 |
| Tabela B.18 - | Análise de variância dos valores médios das viscosidades aparentes, a 25 °C, da Formulação 1 em função da velocidade de rotação | 154 |
| Tabela B.19 - | Análise de variância dos valores médios das viscosidades aparentes, a 25 °C, da Formulação 2 em função da velocidade de rotação | 154 |
| Tabela B.20 - | Análise de variância dos valores médios das viscosidades aparentes, a 25 °C, da Formulação 3 em função da velocidade de rotação | 155 |
| Tabela C.1 - | Valores dos tempos de secagem (min) para as Formulações em função das temperaturas de secagem e das espessuras das camadas de espuma | 158 |
| Tabela D.1 - | Valores das respostas obtidas na secagem em camada de espuma das Formulações | 169 |
| Tabela E.1 - | Valores médios teor de água do Experimento nº 2, o qual foi seleccionado, desidratado a 60 °C com espessura de 0,5 cm e 3% de Emustab | 171 |



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



Dissertação de Mestrado: **Secagem em camada de espuma da polpa de cajá**

Autora: **Tâmila Kassimura da Silva Fernandes**

Orientadores: **Prof. Dr. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo**

Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de desidratar a polpa de cajá através do processo de secagem em camada de espuma e analisar, através do planejamento experimental fatorial, o produto em pó obtido. Três formulações foram 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%), as quais foram agitadas em batedeira durante 15 minutos, formando espuma. A polpa de cajá e as formulações foram caracterizadas quanto aos parâmetros químicos, físicos e físico-químicos. As Formulações (espumaas) 1, 2 e 3 foram desidratadas em estufa com circulação forçada de ar, nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C e com espessura da camada de espuma de 0,5; 1,0 e 1,5 cm. Os modelos de Page, Henderson & Pabis e Cavalcanti Mata foram ajustados aos dados experimentais das curvas de secagem. Os pós obtidos ao fim do processo de secagem foram analisados quanto aos parâmetros teor de água, °Brix, pH, acidez, açúcares (reduzidos, totais e não-reduzidos), ácido ascórbico, cinzas, cor, atividade de água e rendimento, com a finalidade de se avaliar a influência da temperatura de secagem, espessura da camada de espuma e da concentração de Emustab, através do planejamento experimental fatorial. Determinou-se a isoterma de adsorção de água a 25 °C, da melhor amostra em pó selecionada através do planejamento fatorial, e a ela se ajustaram os modelos de GAB, Oswin e Peleg. Com os resultados obtidos neste trabalho verificou-se que a polpa de cajá integral é ácida e pode ser considerada fonte de vitamina C; trata-se de um fluido pseudoplástico, em que o modelo de Herschel Bulkley foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais. Avaliando-se os parâmetros de massa específica, expansão volumétrica e estabilidade da espuma, as três formulações estudadas (1, 2 e 3) se apresentaram dentro dos padrões de secagem em camada de espuma; verificou-se a

influência dos aditivos nas características da polpa integral e as espumas apresentaram comportamento pseudoplástico, em que o modelo de Mizrahi-Berk foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais. As curvas de secagem das espumas foram influenciadas pela espessura da camada e pela temperatura de secagem. As secagens mais rápidas ocorreram na menor espessura e maior temperatura e apresentaram menor teor de água final; a secagem mais rápida ocorreu na Formulação 3, com maior concentração de Emustab. O modelo de Cavalcanti Mata foi o que melhor se ajustou às curvas de cinética de secagem das espumas. Através do planejamento experimental verificou-se que o melhor pó encontrado foi o do Experimento 2 (polpa de cajá com 3% de Emustab e 2% de Super Liga Neutra; espessura da camada de espuma de 0,5 cm e temperatura de secagem de 60 °C).

Palavras-chave: *Spondias lutea* L., processamento, reologia, planejamento experimental



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



M. Sc. Thesis: **Foam mat drying of the *cajá* pulp**

Author: **Tâmila Kassimura da Silva Fernaudes**

Supervisors: **Prof. Dr. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo**

Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz

ABSTRACT

The *cajá* pulp was dried using foam-mat drying process and results were analyzed using the experimental factorial design. Were prepared formulations of *cajá* pulp with three different concentrations of the emulsifier *Emustab*® (1, 2 and 3%) and fixed concentration *Super Liga Neutra* (2%) additive; this mixture was stirred during 15 minutes until the foam formation. All samples at the end were analyzed for its chemical, physical and physico-chemical properties. The Formulations 1, 2 and 3% were dried in a stove with air circulation at 60, 70 and 80 °C and thickness 0.5; 1.0 and 1.5 cm. The Page, Henderson & Pabis and Cavalcanti Mata models were used to fit the experimental data. The moisture content, °Brix, pH, acidity, sugars (reducing, total and non-reducing sugars), ascorbic acid, ashes, color, water activity and yield of the powder pulp was determined to study the effect of the drying temperature, foam layer thickness and the emulsifier concentration. From these results, the best sample was selected to study the moisture adsorption isotherm at 25 °C, fitting data by the GAB, Oswin and Peleg models. According the results it can be concluded that the whole *cajá* pulp is acid and could have its applications as a vitamin C source; furthermore is classified as pseudoplastic fluid, whereby its experimental data was best fitted by the Herschel Bulkley model. It can be stated that the density, volumetric expansion and stability of the foam of the three different formulations were in agreement with the drying standards of foam layers. There was an effect of the additives on the properties of the whole pulp as well as on the different formulations, whereby the formulations presented a pseudoplastic behavior, with its experimental data best fitted by the Mizrahi-Berk model. The drying curves were affected by the thickness of the layer and temperature. It was noticed that thinner layers resulted in higher drying rates with a lower

UFCC - BIBLIOTECA

final moisture content. The highest drying rate was obtained by the sample with 3% of the emulsifier. The experimental data of the drying process was best fitted by the Cavalcanti Mata model. According to the experimental factorial design the sample with the concentration of 3% of *Emustab*® and 2% of *Super Liga Neutra*, dried with a layer thickness of 0.5 cm at a temperature of 60 °C presented the best results.

Key words: *Spondias lutea* L., processing, rheology, experimental design

1 - INTRODUÇÃO

Do ponto de vista do seu valor nutritivo, as frutas são consideradas complementos dos alimentos básicos, fornecendo energia, minerais, vitaminas, fibras e compostos antioxidantes e seu consumo tem aumentado nas últimas décadas. Aliadas a este fato, a ausência de tempo da população para o preparo cotidiano dos alimentos, a praticidade de consumo oferecida pelas frutas e a preocupação com a saúde que impõe a busca por alimentos mais saudáveis, vêm estimulando o seu mercado e o de seus derivados (LINS, 2010).

O crescimento constante, que consolida a posição do Brasil como terceiro maior produtor mundial de frutas, depois da China e da Índia, com uma área plantada de 2,260 milhões de hectares e colheita de 43 milhões de toneladas, faz com que a fruticultura nacional se venha renovando ao se adotar novas tecnologias, melhorando a qualidade e diversificando seus pomares. Da produção nacional, 47% das frutas são consumidos *in natura* e os outros 53% são processados na elaboração de polpas, sucos, sorvetes, picolés, geléias e doces, entre outros artigos, e só 1 a 2% desse volume são exportados. A União Européia continua sendo o maior comprador de frutas brasileiras, absorvendo 76% do total. Atualmente, as principais frutas exportadas são uva, melão, manga, maçã, limão e melancia (ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2009).

Das frutas cultivadas na região Nordeste com produção em ascensão se destaca, devido ao seu aroma e sabor característicos, o cajá, fruto da cajazeira (*Spondias lutea* L.), espécie frutífera da família Anacardiaceae, originária da região tropical do continente americano. A cajazeira é uma árvore alta, com cerca de 20 metros de altura, o que dificulta sua colheita, sendo necessária a espera do amadurecimento do fruto que, ao cair, é coletado no chão. O cajá é uma fruta de casca lisa e fina, de cor laranja ou avermelhada e de polpa com sabor agridoce, consumido tanto *in natura* como processado na forma de sucos, geléias, licores, sorvetes, etc. Devido à sua alta perecibilidade, ressalta-se a necessidade de processá-lo de forma a possibilitar a armazenagem e comercialização de seus derivados por um período de tempo mais prolongado (SACRAMENTO & SOUZA, 2000; BOSCO et al., 2000).

Um dos procedimentos mais utilizados na conservação de alimentos é a secagem. Este tipo de processo é muito utilizado por diminuir a disponibilidade da água para reações de deterioração, aumentando a estabilidade e reduzindo seu volume, facilitando o transporte e armazenamento (SHIGEMATSU et al., 2005). Além disso, introduz um novo produto no mercado com características próprias e cujas propriedades se mantêm por mais

tempo, viabilizando a regularização da oferta e melhorando o retorno do investimento na produção e no beneficiamento, face aos benefícios que derivam da transformação do produto (SOARES et al., 2001).

Dentre os diversos métodos de secagem, a secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*) é um processo simples que consiste, basicamente, no preparo do purê concentrado na forma de espuma estável que, distribuída em uma camada fina, é submetida a uma corrente de ar quente, até desidratação final (AGUIRRE & GASPARINO FILHO, 1999). A secagem é auxiliada pela incorporação de agentes que têm, por finalidade principal, a facilitação da perda de água pelo produto sob condições de aquecimento. Tem, como uma das maiores vantagens, o baixo custo e pouca sofisticação dos equipamentos empregados. Utilizada para secagem de polpa de frutas, resulta na produção de polpa em pó com boa manutenção das características do produto original.

I.1 – Objetivo geral

Estudar a transformação da polpa de cajá em um produto em pó, utilizando o processo de secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*).

I.1.1 - Objetivos específicos

- Determinar as características químicas, físicas e físico-químicas da polpa de cajá;
- Elaborar e selecionar as melhores formulações, compostas pela polpa de cajá e diferentes aditivos (Emustab e Super Liga Neutra), em diferentes concentrações;
- Caracterizar, química, física e físico-quimicamente, as formulações;
- Desidratar as diferentes formulações em estufa com circulação forçada de ar, utilizando-se o método de secagem em camada de espuma, em diferentes temperaturas de secagem (60, 70 e 80 °C) e espessuras de camada de espuma (0,5; 1,0 e 1,5 cm), avaliando-se as cinéticas de secagem;
- Aplicar o Planejamento Experimental e caracterizar, físico-quimicamente, as amostras em pó;
- Determinar a isoterma de adsorção de água na temperatura de 25 °C da amostra em pó, selecionada como a melhor formulação.

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – Cajá

Pertencente à família *Anacardiaceae*, o cajá é também chamado, no Brasil, cajá mirim ou taperebá; *prunier mombin* na Guiana Francesa; *ciruela de monte* e *jocote* na Guatemala; *ciruela amarilla* no México e Equador; *jobo* na América Central; *hogplum* ou *yellow mombin* na América do Norte (MARTINS & MELO, 2006).

Esta espécie se encontra dispersa nas regiões tropicais da América, África e Ásia, sendo encontrada no Brasil principalmente nas regiões Norte e Nordeste; possui flores hermafroditas, estaminadas e pistiladas, com aparente ocorrência de protandria, o que propicia a polinização cruzada e a variabilidade genética nos pomares de plantas oriundas de sementes (SACRAMENTO & SOUZA, 2000).

A cajazeira é uma árvore frutífera tropical lenhosa, ainda em domesticação. Tem porte alto, folhas caducas e tronco revestido por casca grossa e rugosa que esgalha e ramifica na parte terminal, o que confere, à planta, porte alto (Figura 2.1). A copa é ampla, vistosa e imponente quando em fase de floração e frutificação (SOUZA & BLEICHER, 2002).



Figura 2.1 - Cajazeira (*Spondias lutea* L.) (FONTE: PISCA, 2010)

É um fruto tropical com crescente valor de mercado, em especial no Nordeste brasileiro, onde ocupa lugar de destaque na produção e comercialização de polpa pela excelente qualidade sensorial que apresenta. O aumento da demanda vem despertando o interesse pelo seu cultivo, porém o acervo incipiente de informações e conhecimentos existentes, impede a instalação de pomares comerciais (SOUZA, 1998).

Apesar da expectativa de desenvolvimento e expansão de seu cultivo, a comercialização do cajá está restrita à sua época de safra, havendo a necessidade de processamento para aumentar a vida útil (CAVALCANTI MATA et al., 2005).

O eajá é uma espécie explorada na forma de extrativismo e em plantios espontâneos. A procura pelos frutos da cajazeira se deve principalmente às boas características para a industrialização, aliadas ao sabor agradável. É utilizada na fabricação de sorvetes, geléias, polpas congeladas, produção de bebidas alcoólicas e consumo *in natura*, despertando interesse não apenas para o mercado regional mas também para outros locais do País, onde a fruta é escassa (GOUVEIA et al., 2003).

O cajá é um fruto bastante apreciado em todo o Brasil, sendo mais consumido no Nordeste, na forma *in natura* e, nas outras regiões do País, na forma de polpa. Uma das maneiras mais utilizadas para armazenar a polpa do cajá pela indústria alimentícia, é congelando-a imediatamente após a extração. Se não for armazenado sob temperatura ideal, o cajá se mantém adequado para o consumo por apenas um dia (CAVALCANTI MATA et al., 2005).

De acordo com os Padrões de Identidade e Qualidade do Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento (BRASIL, 2000), a polpa de cajá é definida como “produto não fermentado e não diluído, obtido da parte comestível do cajá (*Spondias mombin* L.), através de processos tecnológicos adequados, com teor mínimo de sólidos solúveis”. Segundo a referida norma, a polpa de cajá deve ter as seguintes características: pH mínimo de 2,2; sólidos solúveis em °Brix a 20 °C, mínimo de 9,0; acidez total expressa em ácido cítrico (g/100 g), mínimo de 0,90; açúcares totais naturais (g/100 g), máximo de 12,0 e sólidos totais (g/100 g), mínimo de 9,50.

Sabe-se que as características químicas e físico-químicas das frutas de determinada espécie variam conforme o fator genético, a localidade, a época de colheita, o estágio de maturação e tratamentos culturais. As características físicas e químicas dos frutos da cajazeira foram estudadas por diversos autores, em vários países, e alguns resultados são apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Características físicas e químicas do cajá, de acordo com a literatura

| Parâmetros | Sacramento et al. | Leon & Shaw |
|---|-------------------|--------------|
| | (2007) | (1990) |
| Massa do fruto (g) | 9,3 a 21,9 | - |
| Massa da casca (g) | 0,9 a 2,9 | - |
| Casca (%) | 8,4 a 18,7 | - |
| Massa do endocarpo (g) | 2,0 a 4,4 | - |
| Endocarpo (%) | 15,7 a 31,1 | - |
| Polpa (g) | 6,0 a 14,6 | - |
| Polpa (%) | 56,0 a 73,3 | - |
| Valor energético (cal/100 g) | - | 21,8 a 70,0 |
| Carboidratos (g/100 g) | - | 8,7 a 13,8 |
| Proteínas (g/100 g) | - | 0,8 a 1,4 |
| Lipídios (g/100 g) | - | 0,1 a 2,1 |
| Fibras (g/100 g) | - | 1,0 a 1,2 |
| Cinzas (g/100 g) | - | 0,6 a 0,7 |
| pH | 2,4 a 3,0 | 2,1 |
| Sólidos solúveis totais (°Brix) a 20 °C | 11,4 a 15,0 | |
| Ácido total (ac. cítrico) (g/100 g) | 0,9 a 1,6 | 1,65 |
| Açúcares redutores (g/100 g) | 6,1 a 10,8 | 6,7 a 9,4 |
| Cálcio (mg/100 g) | - | 26,0 a 31,4 |
| Fósforo (mg/100 g) | - | 31,0 a 40,0 |
| Ferro (mg/100 g) | - | 2,2 a 2,8 |
| Ácido ascórbico (mg/100 g) | 28,2 a 54,7 | 11,0 a 166,0 |
| Vitamina A (µg/100 g) | - | 70,0 a 71,0 |
| Tiamina (mg/100 g) | - | 0,08 a 0,09 |
| Riboflavina (mg/100) | - | 0,05 a 0,06 |
| Niacina (mg/100 g) | - | 0,5 |

Fonte: SACRAMENTO et al. (2007); LEON & SHAW (1990)

RODRIGUEZ-AMAYA & KIMURA (1989) determinaram a composição de carotenóides e o valor de vitamina A do cajá, detectando e identificando sete deles: α -caroteno, β -caroteno, ζ -caroteno, zeinoxantina, criptoxantina, criptoflavina e luteína. A polpa com casca apresentou um conteúdo total de carotenóides de 25,8 µg/g, 64% dos quais

constituídos por β -criptoxantina. O conteúdo total da polpa foi de 17 $\mu\text{g/g}$, com as concentrações de α -caroteno, β -caroteno e luteína moderadamente mais altas e a da β -criptoxantina aproximadamente 50% menor que o da polpa e da casca juntas. A β -criptoxantina foi também a que mais contribuiu com o valor de vitamina A, perfazendo 74% do total na polpa e casca, sendo o restante proveniente de α -caroteno, β -caroteno e criptoxantina. Segundo esses autores, com a polpa fornecendo o valor de 135,0 RE/100g e a polpa com casca 187,3 RE/100 g, o cajá se situa entre as boas fontes de pró-vitamina A.

2.2 - Secagem

Secagem é a remoção, voluntária ou não, total ou parcial, de uma fase líquida ou gasosa de qualquer material envolvendo exclusivamente a transferência de calor e massa (FIOREZE, 2004). Seja por qualquer sistema, a secagem se baseia na propriedade pela qual o aumento da temperatura do ar diminui sua umidade e o torna capaz de absorver a umidade disponível em outros corpos. O teor de água do material acompanhará a diminuição de umidade do ar quando são submetidos a uma corrente de ar (quente), tendendo ao equilíbrio higroscópico.

É um processo de conservação de alimentos pelo uso de calor, que visa remover a água livre dos alimentos por evaporação, retardando o crescimento de micro-organismos e aumentando seu tempo de conservação (EVANGELISTA, 1994); é uma operação unitária importante, que visa preparar o produto para a armazenagem; entretanto, se mal conduzida, poderá prejudicar a qualidade comercial do produto antes mesmo da armazenagem ou, por outro lado, acelerar o processo de deterioração durante a armazenagem (NASCIMENTO, 2002). A secagem tem como finalidade, ainda, inibir os processos enzimáticos (EVANGELISTA, 1994; LEITE, 2001).

De acordo com GARCIA et al. (2004) esta operação é fundamental no sistema de produção porque, além de reduzir a umidade para permitir a conservação de sua qualidade fisiológica no armazenamento, possibilita a antecipação da colheita, evitando perdas de natureza diversa.

Como a comercialização de frutas está restrita à sua época de safra e, geralmente, sua perecibilidade é alta, necessita-se de unidades de processamento que possam abastecer o mercado consumidor na entressafra. Uma das técnicas que podem ser utilizadas é a secagem, com a finalidade de transformar a polpa de fruta em pó (RODRIGUES et al., 2005). A polpa seca, processada na forma de pó, geralmente apresenta fácil reconstituição

em água, possibilidade de formulação com outros produtos e baixa relação volume/massa, com conseqüente economia em custos de embalagem, transporte e espaço para o armazenamento (ALEXANDRE et al., 2007).

Diversas são as técnicas de secagem que podem ser usadas na desidratação de alimentos, porém a escolha é orientada pela natureza do material a ser desidratado, pela forma que se deseja dar ao produto processado, pelo fator econômico e pelas condições de operação (EVANGELISTA, 1994). Dentre os métodos e equipamentos de secagem que podem ser utilizados, pode-se citar: secagem com ar quente, secagem por contato direto com uma superfície quente, secagem por radiação e liofilização.

2.2.1 – Secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*)

A secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*), também denominada secagem em leito de espuma, é um método de desidratação apropriado para produtos sensíveis ao calor e alimentos viscosos. As taxas de secagem em leito de espuma são altas em razão do enorme aumento na relação do gás-líquido, apesar da transferência de calor estar impedida por um grande volume de gás atuando na massa de espuma (SANKAT & CASTAIGNE, 2004).

Neste método, o líquido é transformado em espuma pela adição de uma porção de um agente espumante, como a proteína de soja, albumina, ésteres de ácidos graxos e monoestearatos de glicerol, e a incorporação de ar ou outros gases como o nitrogênio (por ser inerte) por injeção direta ou agitação. A espuma é distribuída em camadas finas em bandejas e levada ao secador (BRENNAN, 2006).

Muitos alimentos contêm, naturalmente, proteínas e monoglicérides e produzem espumas quando batidos; entretanto, as espumas produzidas geralmente não são satisfatórias para uma desidratação posterior, motivo por que a adição de agentes espumantes é necessária (SANKAT & CASTAIGNE, 2004).

As vantagens dessa técnica em relação a outras técnicas de secagem de líquidos, como a secagem por aspersão (*spray drying*) e a secagem em tambor (*drum drying*), são: técnica mais simples, custo operacional menor, possibilita o uso de temperaturas mais baixas, o que preserva melhor o sabor e o valor nutricional, e secagem mais rápida. A espuma aumenta a eficiência de secagem porque aumenta a área superficial e incrementa a transferência de calor e massa. Além disso, a capilaridade através dos poros da espuma facilita a perda da umidade, fazendo com que a secagem de uma camada de espuma seja

aproximadamente três vezes mais rápida do que a secagem de uma camada similar de líquido (FRANCIS, 2000).

BASTOS et al. (2005) explicaram que essas vantagens são devidas à maior área de superfície exposta ao ar quente, provocada pela formação de espuma. Com isto, a velocidade do processo de remoção de água é acelerado e no final se obtém um produto poroso e de fácil reidratação.

O pó produzido pela secagem resulta em um material com características peculiares, diferentes daquelas próprias da polpa líquida e, em tal apresentação, precisa ser analisado, visando estabelecer suas propriedades, que têm influência no valor nutricional, na qualidade, nas variadas etapas de processamento e embalagem e no armazenamento. Fazem parte dessas características o conteúdo de ácido ascórbico, umidade, pH, densidade, tempo de escoamento, ângulo de repouso e molhabilidade (CHITARRA & CHITARRA, 2005; CIABOTTI et al., 2000; MEDEIROS, 2001).

SANKAT & CASTAIGNE (2004) realizaram uma pesquisa de desidratação de polpa de bananas quando utilizaram diversos agentes espumantes: proteína de soja, monoestearato de glicerina e dois agentes comerciais. O monoestearato de glicerina não formou espuma, os agentes comerciais testados formaram espumas, porém estas não apresentaram estabilidade, rompendo-se durante o processo de secagem e a proteína de soja apresentou o melhor efeito pois formou uma espuma fina, consistente, estável ao calor e de baixa densidade, reduzindo a densidade do purê de banana para 0,5 g/cm³ após 12 minutos de agitação na concentração de 1%.

SOARES et al. (2001) desidrataram polpa de acerola utilizando o método secagem em camada de espuma, ao realizarem vários testes com os agentes químicos Emustab[®] e Superliga Neutra[®] que favorecem a formação de espuma, obtendo-se um pó com 7,2% de teor de água.

GALDINO et al. (2003) avaliaram a secagem em camada de espuma da polpa de umbu com adição de emulsionante em espessante, em estufa com circulação de ar a 70 °C, durante 5 horas. A umidade do pó foi de 16,75% b.u. e depois de armazenado por 60 dias as umidades aumentaram cerca de 14,3% na embalagem laminada e 50,1% na embalagem de polietileno. O teor de ácido ascórbico inicial foi de 178,05 mg/100 g, apresentando ao final do armazenamento, redução de 30,07% na embalagem laminada e de 38,45% na embalagem de polietileno.

CAMARGO et al. (2008) secaram polpa de maracujá azedo em estufa com circulação de ar, na temperatura de 35 °C, até massa constante, utilizando, para a formação

da espuma, 1% de emulsificante, 1% de espessante e 2% de farinha da casca de maracujá-amarelo, com um tempo de batimento de 30 minutos, resultando em uma umidade de $15,51 \pm 0,57\%$ e um total de fibras alimentar de $14,45 \pm 1,77\%$, após um tempo de secagem de cinco dias.

SILVA et al. (2008) testaram a secagem em camada de espuma da polpa de tamarindo utilizando, como aditivo, a albumina (5%) e homogeneizando a mistura em batedeira doméstica até a espuma resultar em uma densidade aparente entre 0,45 e 0,5 g/cm³. A secagem foi feita em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C; observou-se que os melhores atributos (ácido ascórbico, luminosidade e acidez) foram obtidos na secagem a 70 °C.

Ao secarem em camada de espuma a polpa de tamarindo, GURJÃO et al. (2008), utilizaram 7,5% do agente espumante comercial Emustab na formulação, realizando a agitação do material em batedeira até a espuma alcançar densidade aparente média entre 0,45 e 0,50 g/cm³. A seguir, a espuma foi levada para estufa com circulação de ar com espessura de 0,5 cm nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C.

2.2.2 – Cinética de secagem

O estudo da cinética de secagem visa conhecimento do comportamento do material ao longo do processo e à predição do tempo de secagem, uma vez que a modelagem do processo é de grande importância para o desenvolvimento e a otimização dos secadores, além de possibilitar a padronização do processo (SOARES, 2009).

Quando um alimento é desidratado ele não perde água a uma velocidade constante ao longo do processo. Com o progresso da secagem sob condições fixas, a taxa de remoção de água diminui. A forma precisa de uma curva de secagem normal varia conforme o alimento, com os diferentes tipos de secadores e em resposta às variações das condições de secagem, tais como a temperatura, a umidade, a velocidade do ar, o sentido do ar e a espessura do alimento, entre outros fatores (MELONI, 2003).

A importância do estudo das curvas de secagem de um produto é que elas indicam a velocidade de remoção de água em qualquer tempo medido a partir do início do processo. Uma inclinação maior ou menor da curva, indica a facilidade ou dificuldade de remoção de água durante o processo de secagem (MELONI, 1995).

Comumente, o período de secagem é comumente dividido em dois, um de velocidade constante e outro de velocidade decrescente; no primeiro período as

transferências de calor e massa são analisadas da superfície do material e ar de secagem, enquanto no segundo período as análises são baseadas nas transferências internas que governam a secagem e quase sempre o único observado para a secagem de produtos agrícolas e alimentícios. A complexidade dos fenômenos durante a secagem, conduz os pesquisadores a proporem numerosas teorias e múltiplas fórmulas empíricas para prever a taxa de secagem (PARK et al., 2007).

A taxa de secagem pode ser acelerada com o aumento da temperatura do ar de secagem e/ou com o aumento do fluxo de ar, que passa pelo produto por unidade de tempo. A quantidade de ar utilizada para a secagem depende de vários fatores, dentre eles: o teor de água inicial do produto e a espessura da camada (GOUVEIA et al., 2003).

Existem, na literatura, vários modelos matemáticos utilizados para estimar as curvas de cinética de secagem de produtos alimentícios, dentre os quais se tem os de: Cavalcanti Mata, Henderson & Pabis e Page (MELO, 2008).

Ao analisar a cinética de secagem de frutas, vários autores consideram que a temperatura do ar de secagem apresenta maior influência na taxa de secagem (ALSINA et al., 1997; MOURA et al., 2001; KROKIDA et al., 2000). Este mesmo comportamento foi observado quando ALMEIDA et al. (2006) estudaram a cinética de secagem da acerola em um secador de leito fixo, analisando o efeito da temperatura (40, 50 e 60 °C) e da velocidade do ar de secagem (1,0 e 1,5 m/s).

GURJÃO et al. (2008) verificaram que o modelo que melhor se ajustou às curvas de secagem em camada de espuma da polpa de tamarindo, foi o de Page.

CAMPELO (2009) analisando polpa de figo-da-índia desidratada nas temperaturas de 70, 80 e 90 °C, com espessura da camada de espuma de 0,4 cm, ajustou os dados experimentais aos modelos matemáticos de Page, Henderson & Pabis e Cavalcanti Mata, constatando que todos os modelos testados podem ser utilizados para representar as curvas de secagem, em razão de terem apresentado coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,94 e desvios quadráticos médios inferiores a 0,15, embora dentre os modelos testados o de Cavalcanti Mata foi o que apresentou os melhores ajustes, com os maiores coeficientes de determinação ($R^2 > 0,99$) e os menores desvios quadráticos médios (DQM < 0,04).

2.3 – Aditivos

Aditivos são produtos adicionados ao alimento visando melhorar sua qualidade sensorial ou nutricional ou que estão presentes neste alimento, através da contaminação *in*

natura ou no seu processamento e armazenamento. Existem duas classes de aditivos: intencionais e acidentais. Os intencionais são em grande número, da ordem de 2.000 – 2.500, e os acidentais são em número menor mas muito variável, pois dependem quase que totalmente de circunstâncias incontroláveis ou desconhecidas. Os aditivos intencionais são necessários aos produtos processados, dos quais o consumidor espera cor, sabor e textura, porém o aditivo deve ser comprovadamente não-tóxico aos níveis consumidos e, especialmente, não deve ter efeito tóxico cumulativo (BOBBIO & BOBBIO, 1992).

Segundo CHITARRA (2000), os aditivos químicos são incorporados para manter as características de qualidade (cor, sabor, aroma e textura). A preservação química não deve, quando utilizada, prejudicar isoladamente nenhum fator de qualidade sensorial do produto. Por exemplo, se utilizada para manter a cor, não deve prejudicar o sabor nem o aroma.

Um grande número de substâncias químicas é adicionado aos alimentos durante o processo de fabricação. Entre eles estão os aditivos, que são utilizados para manter uma dispersão uniforme de um líquido em outro, tal como óleo e água. Os agentes emulsificantes ou surfactantes são substâncias adicionadas às emulsões para aumentar a sua estabilidade cinética, tornando-as razoavelmente estáveis e homogêneas (NITSCHKE & PASTORE, 2002).

Emulsão é o produto resultante da junção estável de duas substâncias naturalmente imiscíveis. Segundo KOKINI & AKEN (2006), as emulsões podem ser agrupadas em emulsões líquidas, espumas e emulsões de géis. Emulsões líquidas são aquelas em que a fase contínua e a fase dispersa são líquidas e se subdividem em água em óleo (A/O) como a margarina e O/A óleo em água (O/A) como a maionese, leite, molhos, sopa etc. As espumas são emulsões em que o ar é a fase dispersa na fase contínua líquida como sorvete, mousse, etc. Por fim, as emulsões de géis são aquelas em que a fase contínua é semi-sólida, como uma pasta ou um gel, como em queijos, maionese magra, certas sobremesas e linguiças. A presença de espessante pode ser necessária, seja na fase dispersa, seja na contínua. Para emulsões O/A, existe uma grande variedade de emulsificantes possíveis entre proteínas animais ou vegetais e, como espessantes hidrofílicos, polissacarídeos (amidos e gomas); entretanto, para emulsões A/O (margarina, por exemplo) há poucas opções de emulsificantes, apenas mono e di-glicerídeos e fosfolípidos (lecitina). Espessantes solúveis em gordura para fase oleosa, são ainda mais limitados, mas poderiam ser utilizados ácidos graxos de cadeia longa, alguns esteróis e

ceras porém, com as limitações comerciais e legais, a única opção tem sido utilizar cristais de gordura sólida misturados ao óleo.

Dentre os emulsificantes comerciais tem-se o Emustab, que é produzido com mono e diglicerídios destilados, e também a Super Liga Neutra, que é um produto à base de sacarose, carboximetil-celulose e goma guar.

SOARES et al. (2001) secaram a polpa de acerola em estufa com circulação de ar a 70 °C, utilizando, para a obtenção da espuma, os aditivos pectina cítrica, Emustab e Super Liga Neutra, com tempo de batimento de 20 min, resultando numa espuma com densidade de 0,51 g/cm³ e um pó com umidade de 7,2%, após o tempo de secagem de 90 min.

PEREIRA (2008) utilizou, na formulação, os aditivos comerciais Emustab e Super-Liga-Neutra (E-SLN) e Emustab e carragena (E-C) na secagem em leito de espuma de extrato de própolis, na qual apresentou menores valores de densidade e, portanto, as melhores na busca de secagens mais rápidas. A formulação E-SLN apresentou a menor densidade, 0,49 g/cm³ e o maior rendimento de moagem, 91,6%. O produto seco dessas formulações apresentou-se flexível como uma película de “plástico”, ao invés de rígido e quebradiço.

MELO (2008) elaborou e selecionou a melhor formulação composta pela polpa do fruto do mandacaru e, por diferentes concentrações dos aditivos comerciais, extrato de soja, albumina e Super Liga Neutra. A partir da análise dos parâmetros expansão volumétrica, densidade da espuma e estabilidade da espuma verificou-se, dentre as formulações testadas que, a espuma com melhor comportamento foi a composta por polpa do fruto do mandacaru, 2% de albumina e 2% de Super Liga Neutra, com um tempo de batimento de 5 min.

PINTO (2009) estudou a caracterização da espuma de jenipapo com Emustab, maltodextrina e Super Liga Neutra, como aditivos na secagem em leito de espuma. O Emustab e maltodextrina apresentaram a melhor estabilidade das espumas de jenipapo a 25 °C e a 50 °C em todas as concentrações estudadas sendo que, para a massa específica, o melhor aditivo para reduzi-la foi o Emustab; já para a atividade de água e para a umidade, o aditivo que mais reduziu com o aumento das concentrações foi a Super Liga Neutra.

2.4 – Massa específica

Nas análises de alimentos a determinação da massa específica é uma das mais simples, porém qualquer medida de densidade é afetada pela variação de temperatura. Para

água, a temperatura ambiente a densidade decresce cerca de 0,03% para cada °C de aumento de temperatura (CECCHI, 2003).

A massa específica de líquidos e sólidos não varia significativamente com a pressão em condições comuns mas muda 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 e servem ainda como índice de qualidade (ALVARADO & ROMERO, 1989; RAMOS & IBARZ, 1998). Além disso, os conhecimentos a respeito desta propriedade também são importantes na caracterização, identificação e utilização de substâncias ou de materiais (SILVA et al., 1990).

A massa específica de partículas sólidas de alimentos é, em sentido físico, a razão da massa pelo volume das partículas, a qual pode ser determinada pelo deslocamento de ar ou deslocamento de líquidos (MOHSENIN, 1980).

De acordo com QUEIROZ (1993) a massa específica sofre influência direta da pressão e temperatura, aumentando com o aumento da pressão, a temperatura constante e diminuindo com o aumento da temperatura, a pressão também constante.

RÉ & HIGA (1995), estudando a influência das propriedades físicas de soluções de maltodextrina nas propriedades do produto secado em secador por aspersão, verificaram que as propriedades físicas do líquido a ser secado, o aumento da concentração de sólidos na alimentação do secador, podem causar aumento ou diminuição da massa específica da partícula, dependendo sobremaneira 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.

FRANCISONI et al. (2002) constataram que o acréscimo da concentração de maltodextrina aumenta a massa específica normal e compactada do suco de maracujá desidratado em secador por aspersão.

2.5 – Viscosidade

Para a fabricação de produtos que utilizam polpa de frutas e visando à definição dos processos, é indispensável o conhecimento das suas propriedades físicas e químicas.

Dentre essas propriedades o comportamento reológico ocupa posição de grande destaque (VIDAL et al., 2000). A reologia é importante nas mais diferentes áreas da ciência dos alimentos e é correto que se tenha o conhecimento das propriedades reológicas dos alimentos para uma série de aplicações (MCCLEMENTS, 2010; MOURA et al., 2005). Segundo MCCLEMENTS (2010), muitas das propriedades texturais que os humanos percebem quando consomem alimentos, são basicamente reológicas na natureza, isto é, cremosidade, suculência, maciez, suavidade e dureza. A estabilidade e a aparência dos alimentos dependem frequentemente das características reológicas e de seus componentes.

O termo reologia (rheo – deformação e logia – ciência) significa o estudo do escoamento dos fluidos, ou seja, é a ciência que se preocupa com a descrição das propriedades mecânicas dos vários materiais sob diferentes condições de deformação, quando eles exibem a capacidade de escoar e/ou acumular deformações reversíveis. A reologia dos fluidos é estudada principalmente através da medida da viscosidade (NAVARRO, 1997; PARK & LEITE, 2001).

Segundo SCHWARTZ (1989) a viscosidade do material líquido exerce influência significativa no resultado obtido no processo de secagem por aspersão.

No Brasil há escassez de dados sobre propriedades reológicas dos sucos, polpas e outros concentrados de frutas aqui produzidas. A matéria-prima brasileira apresenta características diferentes daquelas produzidas em outras partes do mundo, em particular no que diz respeito aos teores de polpa e de açúcares, que influenciam diretamente no teor de sólidos solúveis e insolúveis. 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 (VIDAL, 1997; MELO, 2008).

A importância do conhecimento do comportamento reológico dos derivados de frutas está na sua utilização como medida de qualidade, além de ser indispensável em projetos, avaliação e operação dos equipamentos processadores de alimentos e de fundamental significância na economia de energia, o que se tornou extremamente importante a ponto de, cada vez mais, as operações de troca de calor e massa serem feitas de forma precisa (IBARZ et al., 1996; SHARMA et al., 2000; HAMINIUK, 2005).

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).

Estudos sobre reologia de sucos de frutas referem-se à busca pelos principais elementos que respondem pelo comportamento reológico de tais produtos. Esses elementos são: temperatura, concentração de sólidos solúveis totais e teor de pectina (QUEIROZ, 1998). Os dados de viscosidade aparente em função da temperatura e concentração, são imprescindíveis não só no dimensionamento de novas instalações industriais mas também na avaliação do desempenho de unidades já instaladas (SILVA, 1999).

Segundo BOBBIO & BOBBIO (2003) o comportamento de maior ou menor fluidez de um material depende da interação física entre as moléculas que o compõem e essa interação depende principalmente das forças de atração e repulsão entre as moléculas.

STREETER (1996) define um fluido como uma substância que se deforma continuamente quando submetida a um esforço constante, sem importar quão pequeno seja este esforço. De todas as propriedades dos fluidos a viscosidade requer maior atenção no estudo do fluxo de um fluido. SHARMA et al. (2000) dizem que a viscosidade é a propriedade do fluido que descreve a magnitude da resistência devido às forças cisalhantes dentro do fluido.

Os fluidos são classificados de acordo com seu comportamento reológico por meio da análise da relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação (gradiente de deformação) para condições de temperatura e pressão estabelecidas. O comportamento reológico dos fluidos é dividido em duas categorias: Newtonianos e não-newtonianos (CONCEIÇÃO, 2000).

NAGY et al. (1993), descreveram que o comportamento dos fluidos newtonianos é caracterizado por uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação aplicada, dependendo apenas da temperatura e da composição do fluido, enquanto os não-newtonianos são fluidos inelásticos, dependentes ou independentes do tempo.

A Figura 2.2 ilustra a classificação geral do comportamento reológico de fluidos:

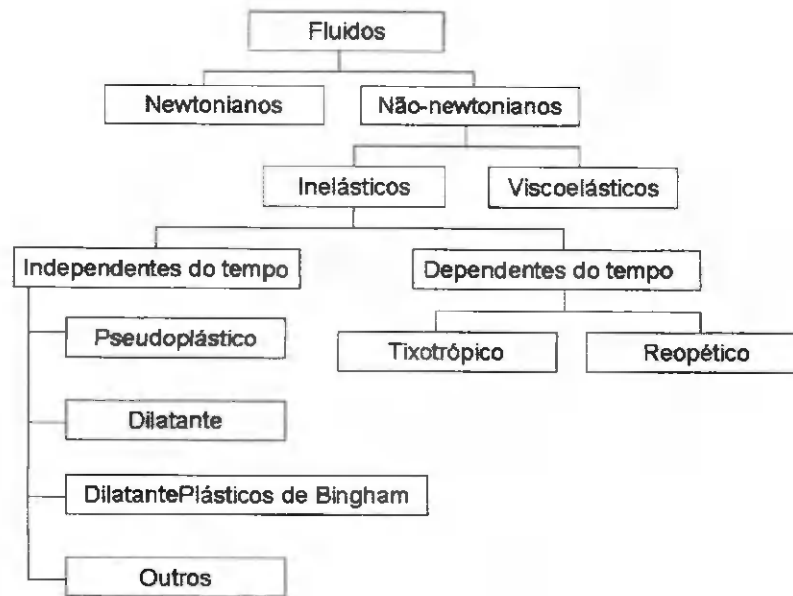


Figura 2.2 – Classificação do comportamento reológico

Para valores de $n < 1$ (índice de comportamento do fluido) 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 (LEWIS, 1990).

GASPARETTO et al. (1996) ao estudarem o comportamento reológico de suspensões e pastas de amido de mandioca com concentrações variando de 5 a 90%, verificaram que a temperatura ambiente (25 °C) as suspensões de amido de mandioca se comportaram como fluidos newtonianos, enquanto nas temperaturas acima da temperatura de gelatinização as pastas de amido apresentaram comportamento pseudoplástico com características tixotrópicas.

FIGUEIRÊDO & MARTUCCI (1998) visando à determinação da influência do material de parede na viscosidade aparente de suspensões elaboradas com suco de acerola, maltodextrina e goma arábica, verificaram que o aumento de 50% na concentração de material de parede nas suspensões aumentou a viscosidade aparente em cerca de 75%; posteriormente, FIGUEIRÊDO & MARTUCCI (2003) verificaram que a viscosidade aparente de suspensões elaboradas com suco de acerola, maltodextrina e amido modificado (Capsul) em substituição à goma arábica, foram inferiores às formulações anteriores.

Os modelos reológicos são úteis para relacionar propriedades reológicas de um fluido com grandezas práticas, como concentração, temperatura, pH e índice de maturação, entre outros. Esses modelos podem ser isotérmicos ou não isotérmicos. No primeiro caso,

descrevem o comportamento de um fluido a uma temperatura fixa e, no último, incluem relações específicas, como funções da temperatura. Dependendo do modelo utilizado, possuem ou não tensão inicial (VIDAL et al., 2000).

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 matemáticos mais aplicados tem-se o de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência), Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk e Casson.

Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência)

Os sucos ou polpa de frutas geralmente apresentam comportamento reológico de um fluido não-newtoniano. O modelo de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) é uma das equações mais utilizadas para descrever o comportamento não-newtoniano de fluidos (Equação 2.1).

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (2.1)$$

onde:

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).

PEREIRA et al. (2003) obtiveram coeficientes de determinação superiores a 0,98 quando ajustaram o modelo de Ostwald-de-Waelle 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.

Herschel-Bulkley

De acordo com LEITE et al. (2004) para alimentos que apresentam comportamento reológico independente do tempo, o modelo teórico de Herschel-Bulkley (Equação 2.2) pode ser aplicado para descrever a relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, considerando-se a existência de uma tensão inicial a partir da qual o fluido

começa a escoar; é utilizado para representar o comportamento reológico de materiais semi-sólidos, tais como polpas e sucos de fruta, descrevendo muito bem o comportamento de fluidos não-newtonianos.

$$\tau = \tau_{OH} + K_H \dot{\gamma}^{n_H} \quad (2.2)$$

onde:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

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

K_H - índice de consistência (Pa.sⁿ)

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

n_H - índice de comportamento do fluido (adimensional)

O modelo de Herschel-Bulkley descreveu apropriadamente o comportamento pseudoplástico das polpas de araçá e amora-preta na faixa de temperatura de 10 a 60 °C (HAMINIUK, 2005).

CABRAL et al. (2002) ao ajustarem o modelo de Herschel-Bulkley aos reogramas da polpa de cupuaçu peneirada, determinados nas temperaturas de 10, 15, 20, 25 e 30 °C, encontraram coeficientes de determinação superiores a 0,96.

Casson

O modelo de Casson tem sido usado sobretudo para estimar a tensão inicial K_{oc} de alimentos (GEHRKE, 1996). No caso do modelo de Casson, a curva da tensão de cisalhamento versus taxa de deformação pode ser transformada em uma linha reta pela plotagem da raiz quadrada da tensão de cisalhamento versus raiz quadrada da taxa de cisalhamento. O modelo de CASSON (1959) foi desenvolvido para uma suspensão de partículas interagindo em um meio Newtoniano, através da Equação 2.3.

$$\tau^{0,5} = K_{oc} + K_c \dot{\gamma}^{0,5} \quad (2.3)$$

onde:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

K_{oc} - tensão de cisalhamento inicial (Pa)^{0,5}

K_C - viscosidade plástica de Casson (Pa s)^{0,5}

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

Mizrahi–Berk

Este modelo foi proposto por MIZRAHI & BERK (1972) para demonstrar o comportamento reológico do suco de laranja concentrado; foi desenvolvido com base em um modelo de suspensão, interagindo com partículas em um solvente pseudoplástico (PELEGRINE et al., 2000), ou seja, é um modelo obtido pela modificação da equação de Casson, expresso pela Equação 2.4.

$$\tau^{0,5} = K_{oM} + K_M (\dot{\gamma})^{n_M} \quad (2.4)$$

onde:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

K_{oM} - raiz quadrada da tensão inicial (Pa)^{0,5}

K_M - índice de consistência (Pa^{0,5} s)ⁿ

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

n_M - índice de comportamento do fluido (adimensional)

FERNANDES et al. (2008), ao estudarem o comportamento reológico da polpa de umbu-cajá em diferentes concentrações de maltodextrina (2,5; 5 e 7,5%) nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 °C, concluíram que o modelo que melhor se ajustou foi o de Mizrahi–Berk, apresentando coeficientes de determinação superiores a 0,98 e desvios percentuais médios inferiores a 3%.

2.6 – Isotermas de adsorção de água

Nos alimentos a água se encontra em duas formas, ou seja, na forma de água livre e na forma de água ligada. De acordo com RIBEIRO & SERAVALLI (2007) a água ligada é definida como a água em contato com solutos e outros constituintes não aquosos existindo em vários graus de ligação, podendo ser dividida em: água constitucional, que é a água ligada mais fortemente aos constituintes não aquosos do alimento, através de ligações iônicas; água vicinal é aquela que ocupa os espaços mais próximos da maioria dos grupos

hidrofilicos (afinidade pela água) presentes nos constituintes; água de multicamadas representa a água ligada de forma mais fraca aos constituintes não aquosos do alimento. A água livre no alimento é a água que representa as mesmas propriedades da água pura e está disponível para o crescimento de micro-organismos e para reações enzimáticas.

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 colóides 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) que é dada pela relação entre a pressão de vapor de água em equilíbrio sobre o alimento e a pressão de vapor de água pura, a mesma temperatura, ou seja, a umidade relativa em equilíbrio com o produto na temperatura considerada (PARK et al., 2006).

Segundo PARK et al. (2001) a determinação da atividade de água é uma das medidas mais importantes no processamento e análise dos produtos agropecuários *in natura* ou processados, em virtude de sua influência no que diz respeito à qualidade e à estabilidade do produto.

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). ADAMBOUNOU et al. (1983), encontraram que o valor ótimo de atividade de água para o crescimento de micro-organismos se situa entre 0,92 e 0,99.

O estudo da atividade de água pode ser feito através das isotermas de sorção. Uma isoterma é uma curva que descreve a relação de equilíbrio de uma quantidade de água sorvida por componentes do material biológico e a pressão de vapor ou umidade relativa, a dada temperatura. Esta relação depende da composição química dos alimentos (gordura, amido, açúcar, proteínas, etc.) (PARK et al., 2001).

A isoterma é denominada de adsorção, quando a amostra ganha umidade do ambiente e é denominada de dessorção, quando a amostra perde umidade para o ambiente (MELO, 2008).

A isoterma de sorção tem importância particular no projeto de processos de desidratação de alimentos, especialmente na determinação de secagem e num ponto que

assegure a viabilidade econômica e a segurança microbiológica (MCLAUGHLIN & MAGEE, 1998). As informações acerca da umidade de equilíbrio são imprescindíveis no processamento e armazenamento de alimentos. No processo de secagem, a umidade de equilíbrio é a umidade final que o produto pode atingir se o processo for conduzido em longo período de tempo (PARK et al., 2001).

Uma vez produzida a fruta em pó, uma das mais importantes informações são as isotermas de equilíbrio higroscópico do produto que têm, por finalidade, estabelecer se o produto sob determinadas condições de temperatura e umidade relativa do ar tende a sorver ou dessorver água. Segundo CARVALHO (1994), a atividade de água de um produto tem valor equivalente ao da umidade relativa do ar embora sejam conceitos diferentes.

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).

Com o intuito de prever o comportamento das isotermas, diversos autores propuseram modelos de ajuste de isotermas. Esses modelos são úteis no conhecimento das características dos produtos os quais, em sua maioria, são modelos empíricos.

O modelo de GAB (Equação 2.5) é uma extensão do modelo de BET, resultando em uma equação tri-paramétrica. Segundo PRADO (1998) este modelo permite ajustar os dados de sorção de produtos agrícolas até atividades de água de 0,9. Os parâmetros C e K deste modelo representam as constantes de adsorção relacionadas com as interações energéticas entre as moléculas da monocamada e as camadas subsequentes em um sítio de sorção.

$$X_{eq} = \frac{X_m C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)} \quad (2.5)$$

onde:

a_w - atividade de água

X_{eq} - umidade de equilíbrio

X_m - umidade na monocamada molecular

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

GOMES et al. (2002) determinaram as isotermas de adsorção de umidade nas temperaturas de 20, 25 e 30 °C, da polpa de acerola em pó, que foi desidratada em secador

do tipo leito de jorro com adição de 10% maltodextrina e temperatura do ar de secagem de 70 °C. Esses pesquisadores verificaram que o modelo de GAB resultou nos melhores ajustes aos dados experimentais e que as isotermas da polpa de acerola em pó foram classificadas do Tipo III.

O modelo proposto por PELEG (1993) contém quatro parâmetros (Equação 2.6) e é utilizado para ajustar dados experimentais de adsorção de umidade. De acordo com WOLF & SPIESS (1995) este modelo é aplicado para calcular dados de umidade de equilíbrio e atividade de água de produtos individuais em sistemas multicomponentes.

$$X_{eq} = K_1(a_w)^{n_1} + K_2(a_w)^{n_2} \quad (2.6)$$

onde:

X_{eq} - umidade de equilíbrio (% base seca)

a_w - atividade de água (adimensional)

K_1, K_2, n_1 e n_2 – constantes do modelo

ALEXANDRE et al. (2007) observaram que o modelo de Peleg foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais das isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó, nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C, apresentando R^2 superiores a 0,98.

O modelo de Oswin (Equação 2.7) é empírico, e se baseia na expressão matemática para curvas de formato sigmoidal. Apresenta apenas dois parâmetros e é de fácil linearização. De acordo com LOMAURO et al. (1985) este modelo ajusta cerca de 57% das isotermas de alimentos.

$$X_{eq} = A \left(\frac{a_w}{(1 - a_w)} \right)^B \quad (2.7)$$

onde:

X_{eq} - umidade de equilíbrio

a_w - atividade de água

A e B - parâmetros de ajuste do modelo

Este modelo foi usado por BOUQUET et al. (1978) para trinta e nove produtos, sendo adequado principalmente para alimentos com alto conteúdo de amido, além de ser considerado um dos mais versáteis modelos de dois parâmetros, dentre os testados.

Isotermas de equilíbrio higroscópico de polpas de cajá em pó nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 °C, produzidas em secador por aspersão com adição de 20% de maltodextrina foram determinadas por CAVALCANTI et al. (2006). Estas isotermas apresentaram forma sigmoideal e foram classificadas como do tipo II. Estes pesquisadores concluíram que os modelos que melhor representam as curvas experimentais foram os de Henderson modificado por Cavalcanti Mata, GAB, Oswin e Peleg.

2.7 - Planejamento experimental fatorial

O planejamento de experimentos é utilizado na otimização de produtos e processos, minimizando custos e tempos, maximizando rendimento, produtividade e qualidade de produtos, se destacando como objetivo principal (RODRIGUES & IEMMA, 2005).

O planejamento fatorial tem sido muito aplicado em pesquisas básicas e tecnológicas e é classificado como um método do tipo simultâneo, onde as variáveis de interesse que realmente apresentam influências significativas na resposta são avaliadas ao mesmo tempo (SILVA, 2008).

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).

O coeficiente de determinação (R^2) é um parâmetro estatístico que relaciona a variância dos pontos experimentais em relação ao modelo proposto com a variância da própria população de pontos experimentais. Se a correlação entre os valores preditos pelo modelo e os valores experimentais for igual à unidade diz-se que está perfeita, e caso contrário, quando este valor for nulo não existe correlação nenhuma entre eles. Pode-se afirmar que, quanto mais próximo este valor estiver de 1, melhor será o ajuste do modelo com os pontos experimentais (GOUVEIA, 1999). 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 $F_{\text{calculado}}$ deve ser no mínimo quatro a cinco vezes o valor de F_{tabelado} (BARROS NETO et al., 1995).

A metodologia de superfície de resposta (MSR) pode ser definida como conjunto de métodos estatísticos que emprega dados quantitativos, originados de planejamentos experimentais convenientes, para determinar e resolver modelos (equações) multivariados (STATSOFT, 2003).

A MSR é uma ferramenta eficiente para otimizar as propriedades de alimentos processados. Baseia-se na variação simultânea de vários fatores (variáveis independentes), previamente selecionados por sua influência nas propriedades do processo (variáveis dependentes ou respostas). Utilizando-se técnicas matemáticas e estatísticas, os resultados experimentais indicam uma combinação de níveis de fatores dentro de uma região ótima (BARROS NETO et al., 2007).

Esta metodologia se baseia na construção de modelos matemáticos empíricos que, geralmente, empregam funções polinomiais, quadráticas ou de ordem superior, para descrever o sistema estudado e, conseqüentemente, dão condições de explorar (modelar e deslocar) o sistema, até atingir uma região ótima (máximo e mínimo) da superfície de resposta investigada (CALADO & MONTGOMERY, 2003).

Na área de ciência e tecnologia de alimentos e nutrição toda a formulação, direta ou indiretamente, tem uma soma total de 100% de seus componentes. Isto é, ao elevar a quantidade de um ingrediente, automaticamente se reduz a quantidade de outro porque a mistura total é determinada pela proporção de seus ingredientes (STATSOFT, 2003).

Os planejamentos experimentais para o estudo de misturas têm encontrado larga aplicação na ciência, na engenharia e, particularmente, na indústria. A partir de um delineamento de misturas a resposta ou propriedade muda somente quando são feitas alterações nas proporções dos componentes que fazem parte dessa mistura. Portanto, a finalidade principal de se utilizar esta metodologia é verificar como as respostas ou propriedades de interesse são afetadas pela variação das proporções dos componentes da mistura (CORREIA et al., 2004).

SOUSA (2008) utilizou o planejamento experimental 2^2 na desidratação osmótica de figos utilizando a metodologia de superfície de resposta (RSM). As variáveis independentes foram a temperatura e a concentração da solução de sacarose e uma das respostas foi o conteúdo de açúcares totais. A análise estatística mostrou que o modelo proposto pelo planejamento foi preditivo, porque a análise de variância apresentou regressão significativa a nível de 95% de confiança, coeficiente de correlação igual a 0.95

e relação $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$ igual a 4,89; daí foi possível, então, se obter a superfície de resposta e respectivas curvas de contorno para o conteúdo de açúcares totais em função da temperatura e concentração da solução, durante a pré-secagem osmótica.

EL-AOUAR (2005) estudou o processo de desidratação osmótica do mamão Formosa através de um planejamento experimental fatorial 2^3 , tendo como variáveis independentes a temperatura (30–50 °C) e concentração (40–60% p/p) da solução osmótica e o tempo de imersão (90–240 min), cujo o objetivo foi obter uma máxima perda de água. Segundo o planejamento a melhor combinação de variáveis obtida para a desidratação osmótica foi: 34 °C, 56% p/p e 210 minutos. O coeficiente de correlação R^2 obtido para o modelo ajustado foi superior a 0,99, ou seja, a percentagem da variação explicada pelo modelo foi maior que 99% e, ainda, que o excelente ajuste obtido para o modelo de segunda ordem fornecido pelo planejamento, foi o melhor para representar a perda de água para a desidratação osmótica em soluções de sacarose.

SOUZA (2009) analisou a secagem de misturas de polpas de frutas tropicais em leite de jorro conforme planejamento experimental fatorial completo 2^3 , com três réplicas no ponto central, avaliando os efeitos das variáveis de operação temperatura (60-80 °C), vazão de alimentação (5–10 mL/min) e tempo de intermitência (10–20 min) sobre a qualidade do produto como variável de resposta, a vitamina C. Com base no planejamento experimental os resultados obtidos nas variáveis de processo e operação, individualmente ou de forma combinada, apresentaram efeitos significativos sobre as perdas de vitamina C nos pós produzidos. A análise de variância durante o processo teve como coeficiente de correlação 0,98, com relação ao teste F (regressão) observou-se que a razão entre F_{cal} e o F_{tab} foi de 7,98, confirmando que o modelo além de ser estatisticamente significativo também foi um modelo preditivo.

GOUVEIA (1999) utilizou o planejamento experimental na avaliação da cinética de secagem de gengibre, para a identificação dos efeitos da temperatura e velocidade do ar de secagem e verificou que a temperatura foi o fator que exerceu maior influência no processo e, ainda, que o modelo de segunda ordem fornecido pelo planejamento foi o melhor para representar a cinética de secagem do produto.

ITO (2007) utilizou um planejamento fatorial completo 2^3 , com os pontos axiais e com 3 repetições no ponto central, considerando as variáveis independentes: temperatura de processo (20 a 40 °C), concentração da solução osmótica (45 a 65 °Brix) e tempo de aplicação do pulso de vácuo (0 a 20 minutos) tendo, como variáveis de respostas: perda de água, ganho de sólidos e as propriedades reológicas. Com referência à obtenção da maior

perda de água, menor ganho de sólidos e manutenção das propriedades reológicas, a melhor condição de processo encontrada para a desidratação osmótica de fatias de manga se refere à utilização de solução osmótica na concentração de 60 °Brix, temperatura de processo de 30°C, aplicação de 10 minutos de pulso de vácuo e tempo de processo de 120 minutos. Os modelos para a perda de água, ganho de sólidos e propriedades reológicas (30 e 60 minutos de processo), ao longo do tempo, apresentaram regressão significativa (F calculado superior a F tabelado) e os coeficientes de determinação (R^2) foram superiores a 0,78, 0,83 e 0,75, respectivamente.

Esses resultados justificam a importância do planejamento experimental como função desconhecida que opera sobre as variáveis de entrada, os fatores e produz, como saída, as respostas observadas, obtendo uma aproximação satisfatória para ela; com o conhecimento desta função poder-se-á escolher as melhores condições de operação do sistema (SILVA, 2008).

3 – MATERIAL E MÉTODOS

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

3.1 – Matérias-primas

Utilizaram-se, como matérias-primas, cajás (*Spondias mombim* L.), oriundos da região circunvizinha de Campina Grande, PB, e os aditivos Emustab[®] (composto por: monoglicerídeos destilados, monoestearato de sorbitana e polisorbato) e Super Liga Neutra (composição: açúcar, espessantes: goma guar e carboximetilcelulose), adquiridos no comércio de Campina Grande, PB.

3.2 – Processamento do cajá

Os cajás (Figura 3.1) foram adquiridos em estágio de maturação maduros, com cor da casca variando do alaranjado ao amarelo sendo transportados ao laboratório dentro de caixotes engradados. No laboratório os frutos foram selecionados manualmente, de forma a eliminar os exemplares que apresentaram danos físicos, aspecto de podridão ou em outro estágio de maturação. A seguir fez-se uma lavagem dos frutos com detergente neutro e logo após, a sanitização, imergindo-se os mesmos em recipiente contendo solução de hipoclorito de sódio com concentração de 50 ppm, durante 15 minutos, e por fim enxaguados em água corrente para retirar o excesso da solução de hipoclorito.



Figura 3.1 – Cajás *in natura*

Logo após o escoamento natural da água de enxágue, os frutos foram despulpados em despulpadeira mecânica e a polpa embalada em sacos de polietileno de baixa densidade; depois de embaladas as polpas foram mergulhadas em nitrogênio líquido, com o objetivo de realizar o congelamento rápido e, em seguida, foram armazenadas em freezer a $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$, até sua utilização nos experimentos.

As etapas para obtenção da polpa de cajá integral são apresentadas no fluxograma da Figura 3.2.

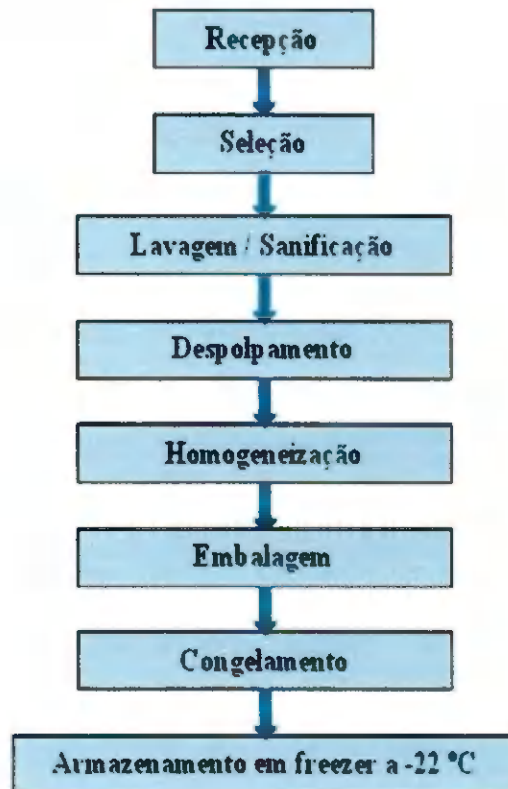


Figura 3.2 - Fluxograma das etapas realizadas para obtenção da polpa de cajá integral

3.3 – Caracterização da polpa de eajá integral

A polpa de cajá integral foi caracterizada química, física e fisico-quimicamente quanto ao pH, sólidos solúveis totais ($^{\circ}\text{Brix}$), teor de água/sólidos totais, acidez total titulável, açúcares totais, açúcares redutores e não redutores, cinzas, ácido ascórbico, proteína, atividade de água, cor, massa específica e comportamento reológico. Todos esses procedimentos foram realizados em triplicata.

3.3.1 - pH

Determinou-se o pH através do método potenciométrico, calibrando-se o potenciômetro com soluções tampão (pH 4,0 e 7,0), a temperatura ambiente, imergindo-se em seguida o eletrodo em um béquer de 100 mL contendo a amostra e se lendo o valor no visor do aparelho, com os resultados expressos em unidades de pH.

3.3.2 – Sólidos solúveis totais (°Brix)

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

3.3.3 – Teor de água e sólidos totais

O teor de água e os sólidos totais foram determinados através do método descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005), expressos em percentagem (%).

3.3.4 – Acidez total titulável

A determinação da acidez total titulável foi feita através do método acidimétrico do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005), em que os resultados foram expressos em percentagem (%) de ácido cítrico, cujas amostras foram tituladas com solução padronizada de NaOH 0,1 N.

3.3.5 – Açúcares totais, redntores e não-redntores

Os açúcares totais, redutores e não-redutores, foram determinados utilizando-se a metodologia proposta pelo Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005). Os resultados foram expressos em % de glicose e % de sacarose.



3.3.6 – Ácido ascórbico

O ácido ascórbico foi determinado segundo o método da AOAC (1997), modificado por BENASSI & ANTUNES (1998); nesta metodologia é usado o ácido oxálico como solução extratora e se baseia na titulação da amostra com o 2,6 diclorofenolindofenol sódio, que apresenta a cor rosa em solução ácida e a cor azul em solução alcalina. Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico / 100 g da amostra.

3.3.7 – Cinzas (resíduo mineral fixo)

As cinzas foram determinadas utilizando-se o método do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005) e os resultados expressos em percentagem (%).

3.3.8 – Atividade de água

A atividade de água foi determinada a 25 °C utilizando-se o equipamento Aqualab 3TE da Decagon Devices.

3.3.9 – Cor

Os parâmetros de cor da polpa de cajá foram determinados utilizando-se o espectrofotômetro portátil HunterLab MiniScan XE Plus, modelo 4500 L, com padrão de iluminação D65/10°, calibrado com placa branca padrão (X=80,5; Y=85,3; Z=90,0). Foram determinados os seguintes parâmetros: L* - luminosidade; a* - transição da cor verde (-a*) para o vermelho (+a*); e b* - transição da cor azul (-b*) para a cor amarela (+b*).

3.3.10 – Massa específica

A massa específica da polpa de cajá foi definida na temperatura de 25 °C, utilizando-se um picnômetro de 25 mL. O picnômetro com a amostra foi colocado em um banho termostático até que a amostra atingisse a temperatura desejada. Depois era pesado em balança analítica com precisão de 0,0001 g. O valor da massa específica (Equação 3.1) foi obtido através da razão entre a massa da amostra e o volume do picnômetro.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3.1)$$

onde:

ρ – massa específica da amostra (kg/m^3)

m – massa do produto (kg)

V – volume do picnômetro (m^3)

3.3.11 – Comportamento reológico

Inicialmente, foram realizadas as medidas das viscosidades aparentes da polpa de cajá, em sextuplicata, na temperatura de 25 °C, utilizando-se o viscosímetro Brookfield modelo RV, fabricado por Brookfield Engineering Laboratories, E.U.A., nas diferentes velocidades de rotação 0,5; 1; 2,5; 5; 10; 20; 50 e 100 rpm.

Com os dados coletados no viscosímetro para a polpa de cajá, fez-se um tratamento dos dados, transformando-se as leituras (torque) realizadas no viscosímetro em medidas reológicas. Para tal foi utilizada a metodologia proposta por MITSCHKA (1982), obtendo-se, desta forma, os valores da tensão de cisalhamento e da taxa de deformação nas diferentes velocidades de rotação.

Os modelos reológicos de Ostwald-de-Waelle ou Lei da potência (Equação 3.2), Mizrahi-Berk (Equação 3.3), Herschel-Bulkley (Equação 3.4) e Casson (Equação 3.5) foram ajustados às curvas da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, utilizando o programa computacional Statistica versão 5.0, para descrever o comportamento reológico da polpa de cajá.

Ostwald-de-Waelle

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad (3.2)$$

onde:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

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

K - índice de consistência (Pa s^n)

n - índice de comportamento do fluido (adimensional)

Mizrabí–Berk

$$\tau^{0,5} = K_{OM} + K_M \dot{\gamma}^{n_M} \quad (3.3)$$

onde:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

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

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

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

n_M - índice de comportamento do fluido (adimensional)

Herschel–Bulkley

$$\tau - \tau_{OH} = K_H \dot{\gamma}^{n_H} \quad (3.4)$$

onde:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

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

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

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

n_H - índice de comportamento do fluido (adimensional)

Casson

$$\tau^{0,5} = K_{0C} + K_C \dot{\gamma}^{0,5} \quad (3.5)$$

onde:

τ - Tensão de cisalhamento (Pa)

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

$K_{0C}^{0,5}$ - Tensão de cisalhamento inicial (Pa)^{0,5}

K_C - viscosidade plástica de Casson (Pa s)^{0,5}

Utilizaram-se, como critérios de determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais, o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio percentual médio (P), calculado conforme a Equação 3.6.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|X_{\text{exp}} - X_{\text{teor}}|}{X_{\text{exp}}} \quad (3.6)$$

onde:

P - desvio percentual médio (%)

X_{exp} - valores obtidos experimentalmente

X_{teor} - valores preditos pelo modelo

n - número de dados experimentais

3.4 – Elaboração das formulações

Foram elaboradas formulações (Tabela 3.1) com o intuito de realizar posteriormente a secagem em camada de espuma das mesmas. Inicialmente pesava-se uma massa fixa da polpa de cajá integral (500 g) em temperatura ambiente, e adicionavam-se os aditivos Emustab[®], em diferentes concentrações, e Super Liga Neutra em concentração fixa, mostradas na Tabela 3.1.

Testes preliminares foram feitos como preparo para testar as concentrações dos aditivos adicionados à polpa de cajá integral para formação de espuma estável com características adequadas a secagem. Analisou-se a massa específica das espumas em função do tempo de batimento buscando-se, com base na literatura, um valor próximo a 0,5 g/cm³. A seguir foram avaliados o tempo de batimento da espuma, a expansão volumétrica e a estabilidade da espuma. Logo após este material era batido em batedeira elétrica, por um determinado tempo, até formar uma espuma.

Após testes preliminares, na Tabela 3.2 estão apresentadas as formulações que foram selecionadas para produção das espumas. Fixou-se nestes testes um tempo de batimento de 15 minutos e a concentração do estabilizante Super Liga Neutra, variando-se a concentração do emulsificante Emustab.

Tabela 3.1 – Concentrações dos aditivos Emustab e Super Liga Neutra utilizadas nas formulações para obtenção da espuma, para secagem em camada de espuma da polpa de cajá

| Formulação (n°) | Conceuturação de aditivos (%) | |
|--------------------|-------------------------------|-------------------|
| | Emustab | Super Liga Neutra |
| 1 | 1 | 2 |
| 2 | 2 | 2 |
| 3 | 3 | 2 |

Tabela 3.2 – Formulações e massa específica das espumas selecionadas

| Formulação (n°) | Massa específica (g/cm ³) |
|-----------------|---------------------------------------|
| 1 | 0,6904 |
| 2 | 0,5404 |
| 3 | 0,4826 |

3.4.1 – Massa específica da espuma

Construiu-se o gráfico da massa específica das espumas em função do tempo de batimento. O tempo total de batimento testado foi de 30 mim, sendo a massa específica da espuma verificada a cada 5 minutos. A massa específica em cada tempo foi determinada através da relação entre a massa e o volume da amostra, colocada em um recipiente de volume conhecido a 25 °C.

3.4.2 – Expansão volumétrica

Com os dados de massa específica do item 3.4.1 determinou-se o volume da espuma para os diferentes tempos de batimento através da relação entre a massa e a massa específica da amostra; a partir dos dados coletados definiu-se o melhor tempo de batimento.

3.4.3 – Estabilidade da espuma

Definido o tempo de batimento de 15 minutos, fez-se a estabilidade das espumas a qual para cada concentração, foi determinada segundo a técnica descrita por KARIN & CHEE-WAI (1999). Assim, foi montado um sistema constituído de uma proveta de 25 mL com um funil de vidro acoplado e um filtro de nylon. Foram colocados no funil com o filtro, aproximadamente, 15 g da espuma, e o sistema foi levado a estufa com circulação de ar a 70 °C, durante 90 minutos. Após 5 minutos foi medido o volume do líquido drenado para a proveta, enquanto a espuma era desfeita; posteriormente, foi verificado o volume do líquido em intervalos de tempo de 10 minutos. A estabilidade da espuma é inversamente proporcional ao volume de líquido drenado para a proveta.

3.4.4 – Análise estatística

Para a análise dos dados de massa específica da espuma foi feito um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial com 6 tempos de batimento (5, 10, 15, 20, 25 e 30 min), e 3 formulações com diferentes concentrações de Emustab (1, 2 e 3%), em triplicata. Para a análise dos dados utilizou-se o programa computacional Assistat versão 7.5 Beta (SILVA & AZEVEDO, 2006).

Foram também ajustadas equações lineares e quadráticas, para se obter equações de regressão propostas para a estimativa do volume coletado de líquido (mL) em função do tempo de drenagem (min) para as diferentes concentrações de Emustab, utilizando o programa computacional Statistica 5.0.

3.5 – Caracterização química, física e fisico-química das espumas

Foram determinados os seguintes parâmetros quanto às características químicas, físicas e fisico-químicas das espumas: pH, sólidos solúveis totais, umidade, acidez total titulável, açúcares, ácido ascórbico, cinzas, atividade de água, massa específica, cor e comportamento reológico, de acordo com as metodologias descritas no item 3.3.

3.6 – Planejamento experimental fatorial para a secagem em camada de espuma

Após definição das formulações utilizou-se o planejamento experimental fatorial, com a finalidade de estudar a influência das variáveis independentes (formulações - concentração de Emustab, espessura da camada de espuma e temperatura do ar de secagem) sobre as variáveis dependentes (umidade, rendimento, ácido ascórbico, açúcares totais, açúcares redutores, açúcares não-redutores, acidez total titulável, cinzas, pH, sólidos solúveis totais, cor e atividade de água).

Foi utilizado um planejamento fatorial 2^3 com três pontos centrais onde se especificaram as variáveis de entrada (formulações - concentração de Emustab, espessura da camada de espuma e temperatura do ar de secagem), com influência sobre as respostas, conforme a Tabela 3.3 onde se apresentam os níveis codificados.

Tabela 3.3 – Níveis das variáveis independentes reais e codificadas empregadas na secagem das Formulações

| Variável real | Níveis codificados | | |
|------------------------------------|--------------------|-----|-----|
| | -1 | 0 | 1 |
| Concentração de Emustab (%) | 1 | 2 | 3 |
| Espessura da camada de espuma (cm) | 0,5 | 1,0 | 1,5 |
| Temperatura de secagem (°C) | 60 | 70 | 80 |

A Tabela 3.4 apresenta a matriz de planejamento fatorial 2^3 com 8 experimentos distintos e 3 experimentos no ponto central.

Tabela 3.4 – Matriz de planejamento fatorial $2^3 + 3$ experimentos no ponto central para a secagem das formulações

| Experimento (n°) | Concentração de Emustab (%) | Espessura da camada de espuma(cm) | Temperatura de secagem (°C) |
|------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 1 | -1 (1) | -1 (0,5) | -1 (60) |
| 2 | +1 (3) | -1 (0,5) | -1 (60) |
| 3 | -1 (1) | +1 (1,5) | -1 (60) |
| 4 | +1 (3) | +1 (1,5) | -1 (60) |
| 5 | -1 (1) | -1 (0,5) | +1 (80) |
| 6 | +1 (3) | -1 (0,5) | +1 (80) |
| 7 | -1 (1) | +1 (1,5) | +1 (80) |
| 8 | +1 (3) | +1 (1,5) | +1 (80) |
| 9 | 0 (2) | 0 (1,0) | 0 (70) |
| 10 | 0 (2) | 0 (1,0) | 0 (70) |
| 11 | 0 (2) | 0 (1,0) | 0 (70) |

Com os resultados obtidos a partir do planejamento experimental fatorial, foram identificadas as formulações e condições operacionais de processo que resultaram na combinação de maior retenção de ácido ascórbico, menor massa específica e maior rendimento. Para a análise dos resultados obtidos no planejamento experimental, o programa computacional utilizado foi o Statistica 5.0.

3.7 – Secagem em camada de espuma

A polpa de cajá com adição de Emustab (1, 2 e 3%) e Super Liga Neutra (2%) foram desidratadas através da secagem em camada de espuma (*foam mat drying*).

A espuma resultante foi espalhada em bandejas de aço inoxidável, formando uma camada de espuma com diferentes espessuras (0,5; 1,0 e 1,5 cm), medidas com o auxílio de um paquímetro e levadas para desidratação em estufa com circulação de ar, nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C; em seguida, o produto seco foi retirado das bandejas e triturado/homogeneizado em processador doméstico para assim obter o produto pulverizado. Logo após este pó foi acondicionado em sacos de polipropileno de baixa densidade e levados ao dessecador para esfriar. Após atingir a temperatura ambiente as

amostras em pó foram acondicionadas em embalagens laminadas contendo aproximadamente 25 g e conservadas em isopor com sílica gel, até o momento das análises químicas, físicas e físico-químicas.

3.8 – Cinética de secagem

As curvas de cinética de secagem das formulações foram feitas em estufa com circulação de ar, pesando-se as bandejas até peso constante em intervalos regulares.

Foram aplicados os modelos semi-teóricos de Cavalcanti Mata (Equação 3.7), Henderson & Pabis (Equação 3.8) e Page (Equação 3.9) para determinação das curvas de secagem.

Cavalcanti Mata

$$RX = a_1 \left[\exp(-bt^{a_2}) + a_3 \cdot \exp(-bt^{a_4}) + a_5 \right] \quad (3.7)$$

onde:

RX – razão de água

a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 e b – parâmetros da equação

t – tempo (min)

Henderson & Pabis

$$RX = a \cdot \exp(-kt) \quad (3.8)$$

onde:

RX – razão de água

a – constante adimensional da equação

k – Constante da equação (1/h)

t – tempo (min)

Page

$$RX = \exp(-kt^n) \quad (3.9)$$

onde:

RX – razão de água

k – Constante da equação (1/h)

n – constante da equação

t – tempo (min)

Para avaliar qual modelo produziu o melhor ajuste foram utilizados, como parâmetros, o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio quadrático médio (Equação 3.10).

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum (RU_{pred} - RU_{exp})^2}{n}} \quad (3.10)$$

onde:

DQM – desvio quadrático médio

RU_{pred} – razão de umidade predito pelo modelo

RU_{exp} – razão de umidade experimental

N – número de observações

3.9 – Caracterização química, física e físico-química das amostras do pó

Foram determinados os parâmetros seguintes quanto às características químicas, físicas e físico-químicas das amostras em pó: teor de sólidos solúveis totais (°Brix), teor de água, acidez total titulável, cinzas, açúcares (reduzidores, totais e não-reduzidores), ácido ascórbico, pH, cor (luminosidade, intensidade de vermelho e intensidade de amarelo) e atividade de água, de acordo com as metodologias descritas no item 3.3, e rendimento, o qual foi determinado através da Equação 3.11.

$$R = \frac{M_{final} \times 100}{M_{inicial}} \quad (3.11)$$

onde:

R – rendimento (%)

$M_{inicial}$ – massa inicial (g)

M_{final} – massa final (g)

3.10 – Análise dos dados

Para a análise de regressão dos dados experimentais do planejamento fatorial, na construção das figuras e para o ajuste dos modelos aos dados experimentais da isoterma de adsorção de água das diferentes amostras, utilizou-se o programa Statistica 5.0.

3.11 - Isoterma de adsorção de água

A isoterma de adsorção de água da amostra em pó, foi determinada utilizando-se o método estático-indireto descrito por CAPRISTE & ROTSTEIN (1982), na temperatura de 25 °C.

A atividade de água da amostra em pó (do pó selecionado como o melhor), foi determinada no AquaLab 3TE (Decagon).

Determinou-se a umidade de equilíbrio em base seca pela relação entre a massa de água e a massa seca das amostras (Equação 3.12).

$$X_{eq} = \frac{m_{eq} - m_s}{m_s} \cdot 100 \quad (3.12)$$

onde:

X_{eq} - umidade de equilíbrio em base seca

m_{eq} - massa da amostra no equilíbrio

m_s - massa seca da amostra.

Os dados experimentais da isoterma de adsorção de água da amostra em pó foram ajustados através dos modelos matemáticos de GAB, Peleg e Oswin (Tabela 3.5), fazendo-se uso de regressão não linear, utilizando-se o programa Statistica 5.0.

Tabela 3.5 – Modelos para estimar as isotermas de adsorção de água

| Modelo | Equação |
|--------|---|
| GAB | $X_{eq} = \frac{X_m C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)}$ |
| Peleg | $X_{eq} = K_1 a_w^{n_1} + K_2 a_w^{n_2}$ |
| Oswin | $X_{eq} = a \left(\frac{a_w}{(1 - a_w)} \right)^b$ |

onde: X_{eq} - umidade de equilíbrio; a_w - atividade de água; X_m - umidade na monocamada molecular; C e K - parâmetros que dependem da temperatura e natureza do produto; K_1 e K_2 - constantes da equação; n_1 e n_2 - constantes da equação; a e b - parâmetros de ajuste do modelo

Os critérios usados para determinação do melhor ajuste dos modelos a isoterma foram: o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio percentual médio (P), calculado conforme a Equação 3.6 citada no item 3.3.11.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Caracterização química, físico-química e física da polpa de cajá integral

Na Tabela 4.1 se encontram os valores médios e os desvios padrão dos parâmetros avaliados para caracterização química, físico-química e física da polpa de cajá integral.

Tabela 4.1 – Valores médios e desvios padrão dos parâmetros avaliados na polpa de cajá integral

| Parâmetro | Média e desvio padrão |
|---|-----------------------|
| pH | 2,24 ± 0,14 |
| Sólidos solúveis totais (°Brix) | 13,26 ± 0,12 |
| Teor de água (% b.u.) | 85,93 ± 0,05 |
| Sólidos totais (%) | 14,07 ± 0,05 |
| Ácido ascórbico (mg/100 g) | 37,94 ± 0,26 |
| Acidez total titulável (% ácido cítrico) | 1,60 ± 0,03 |
| Cinzas (%) | 0,58 ± 0,04 |
| Açúcares redutores (% glicose) | 10,51 ± 0,22 |
| Açúcares totais (%) | 11,32 ± 0,11 |
| Açúcares não-redutores (% sacarose) | 0,77 ± 0,09 |
| Massa específica (kg/m ³) (25 °C) | 1069,13 ± 4,23 |
| Luminosidade (L*) | 43,58 ± 0,39 |
| Intensidade de vermelho (+a*) | 14,65 ± 0,12 |
| Intensidade de amarelo (+b*) | 40,83 ± 0,80 |
| Atividade de água (a _w) | 0,974 ± 0,001 |

Observa-se que o valor encontrado para o pH da polpa de cajá integral foi de 2,24 ± 0,14, valor este que apresenta-se dentro dos padrões de qualidade do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2000) que é de 2,2, indicando assim que a polpa de cajá é classificada como um alimento ácido. O valor médio do pH encontrado no presente trabalho se manteve dentro da faixa determinada por OLIVEIRA et al. (1999), ao avaliarem os parâmetros de qualidade físico-químicos de polpas congeladas de acerola, cajá e caju, obtendo pH da polpa de cajá variando de 2,14 a 3,21 com média de 2,57; e por CAVALCANTE et al. (2009), ao trabalharem com componentes qualitativos do cajá em

diferentes municípios, que encontraram p_H variando de 2,28 a 3,06; no entanto, MACHADO et al. (2007) ao estudarem a caracterização de polpas de frutas tropicais congeladas, encontraram p_H da polpa de cajá com valores superiores ao do presente trabalho, variando entre 2,67 a 3,22.

Os sólidos solúveis totais (°Brix) são usados como índice de maturidade para alguns frutos, e indicam a quantidade de substâncias que se encontram dissolvidos no suco, sendo constituído na sua maioria por açúcares (GADELHA et al., 2009). O teor de sólidos solúveis totais encontrado para a polpa de cajá integral foi de $13,26 \pm 0,12$ °Brix, estando este valor dentro do padrão de qualidade do Ministério da Agricultura (BRASIL, 2000), que indica que os sólidos solúveis totais da polpa de cajá devem ser superiores a 9 °Brix a 20 °C. GADELHA et al. (2009) ao trabalharem com a avaliação de parâmetros de qualidade de polpas congeladas encontraram teor de sólidos solúveis totais igual a 9,96 °Brix, sendo inferior ao do presente trabalho. Os sólidos solúveis totais encontrados por OLIVEIRA et al. (1999) para polpa de cajá variaram de 4,24 a 10,48 °Brix, com média de 8,74 °Brix sendo esta média inferior ao recomendado por BRASIL (2000) e inferior ao encontrado no presente trabalho.

O teor de água é um aspecto de grande importância do ponto de vista de conservação de alimentos, o teor de água da polpa de cajá integral encontrada foi de $85,93 \pm 0,05\%$ b.u., indicando alto teor de água, sendo próximo ao indicado em PROFRUTAS (1997) de aproximadamente 86,90% b.u. FARIAS (2002) ao trabalhar com polpa de cajá encontrou teor próximo, igual a 87% b.u.; no entanto, CAVALCANTI MATA et al. (2005) determinaram para a polpa de cajá teor de água superior, de 90,06% b.u.. SILVA (2008) ao trabalhar com o bagaço de cajá encontrou teor de água inferior, igual a 83,3% b.u.. Quanto aos sólidos totais da polpa de cajá o valor determinado foi de $14,07 \pm 0,05\%$, sendo superior ao indicado em BRASIL (2000) que deve ser no mínimo igual a 9,5%. GADELHA et al (2009) encontraram valor inferior de sólidos totais, de $10,23 \pm 0,28\%$.

O ácido ascórbico da polpa de cajá integral encontrado foi $37,94 \pm 0,26$ mg/100 g, valor próximo ao encontrado por ALVES et al. (2000) e estabelecido em BRASIL (2000) que foram, respectivamente, 36,86 e 35,90 mg/100 g. O teor encontrado por SILVA et al. (2009a) ao trabalharem com elaboração e caracterização de fruta estruturada mista de goiaba e caiá foi de $20,18 \pm 0,05$ mg/100 g, valor este inferior ao encontrado no presente trabalho. Este teor de ácido ascórbico equivale a aproximadamente a 84% da ingestão diária recomendada (IDR) de vitamina C para um adulto, que é de 45 mg/dia (BRASIL, 2005).

A acidez é um parâmetro importante na apreciação do estado de conservação de um produto alimentício (OLIVEIRA et al., 1999). A acidez total titulável da polpa de cajá integral foi de $1,60 \pm 0,03\%$ de ácido cítrico, estando dentro das normas da legislação vigente (BRASIL, 2000) que exige um teor mínimo de 0,9%. Valores semelhantes foram encontrados por GADELHA et al. (2009), CAVALCANTE CALDAS et al. (2006) e SILVA et al. (2009a) que encontraram para a polpa de cajá, respectivamente de, $1,66 \pm 0,11$, $1,60 \pm 0,36$ e $1,62 \pm 0,03\%$ de ácido cítrico.

A quantidade de cinzas encontrada na polpa de cajá integral foi de $0,58 \pm 0,04\%$, valor este superior aos encontrados por GADELHA et al. (2009), SILVA et al. (2009a), FARIAS (2002) e AMARAL et al. (2006) que foram, respectivamente, 0,46, 0,41, 0,40 e 0,49% para a polpa de cajá.

Observa-se que o conteúdo de açúcares redutores da polpa de cajá integral foi de $10,51 \pm 0,22\%$ de glicose, o qual foi superior ao avaliado por LEON & SHAW (1990) que variou entre 6,7 a 9,4% de glicose, e também superior ao encontrado por SILVA et al. (2009a) que foi de $7,49 \pm 0,11\%$ de glicose.

A quantidade de açúcares não-redutores encontrado na polpa de cajá integral foi de $0,77 \pm 0,09\%$ de sacarose, valor este inferior aos encontrados por CAVALCANTI MATA et al. (2005) para polpa de cajá que foi de 2,70% de sacarose, e por LIMA et al. (2003) ao trabalharem com umbu, que foi de $3,01 \pm 0,14\%$ de sacarose.

O açúcar total quantificado na polpa de cajá integral foi de $11,32 \pm 0,11\%$ de glicose, o qual se encontra no padrão de qualidade da legislação vigente (BRASIL, 2000) que indica o limite máximo para açúcares totais da polpa de cajá igual a 12%. Valores superiores açúcares totais foram encontrados por CAVALCANTI MATA et al. (2005) e SILVA et al. (2009a) que foram 7,20 e 7,61% de glicose, respectivamente.

A massa específica da polpa de cajá integral a 25 °C foi de $1.069,13 \pm 4,23 \text{ kg/m}^3$, valor este semelhante ao encontrado por LIMA et al. (2003) para a polpa de umbu na concentração de 10 °Brix e na temperatura de 20 °C, que foi de $1.063,39 \text{ kg/m}^3$. Valores inferiores foram encontrados por GADELHA et al. (2009) e ARAÚJO et al. (2002) que foram de $1.045,3 \pm 0,9 \text{ kg/m}^3$ e $1.030,5 \text{ kg/m}^3$, respectivamente.

Quanto aos parâmetros da cor da polpa de cajá integral, observou-se um valor para a luminosidade (L^*) de $43,58 \pm 0,39$; para a intensidade de vermelho ($+a^*$) de $14,65 \pm 0,12$; e para a intensidade de amarelo ($+b^*$) de $40,83 \pm 0,80$, verificando-se assim o que já era esperado, uma predominância da cor amarela. MELO et al. (2008) ao trabalharem com polpa de melão também encontraram predominância na intensidade de amarelo.

A atividade de água encontrada para a polpa de cajá integral foi de $0,974 \pm 0,001$, valor que indica que a polpa de cajá se classifica como alimento com alto teor de água ($a_w > 0,90$). Valor semelhante encontraram LIMA et al. (2003) para a polpa de cajá, que foi de $0,97 \pm 0,01$. Alimentos com esta a_w sofrem facilmente contaminação microbiológica (RIBEIRO & SERAVALLI, 2007).

4.2 – Comportamento reológico da polpa de cajá integral

Na Tabela A.1 (Apêndice A) são apresentados os valores médios das viscosidades aparentes, tensão de cisalhamento e taxa de deformação para a polpa de cajá na temperatura de 25 °C, em diferentes velocidades de rotação (rpm).

Na Figura 4.1 se encontram os dados experimentais das viscosidades aparentes (Pa s) da polpa de cajá integral em função da velocidade de rotação, na temperatura de 25 °C. Constata-se que as viscosidades aparentes diminuíram com o aumento da velocidade de rotação. De forma semelhante, NASCIMENTO et al. (2008) ao determinarem a viscosidade aparente da polpa de umbu-cajá integral e formulada nas temperaturas entre 10 e 50 °C, encontraram o mesmo comportamento.

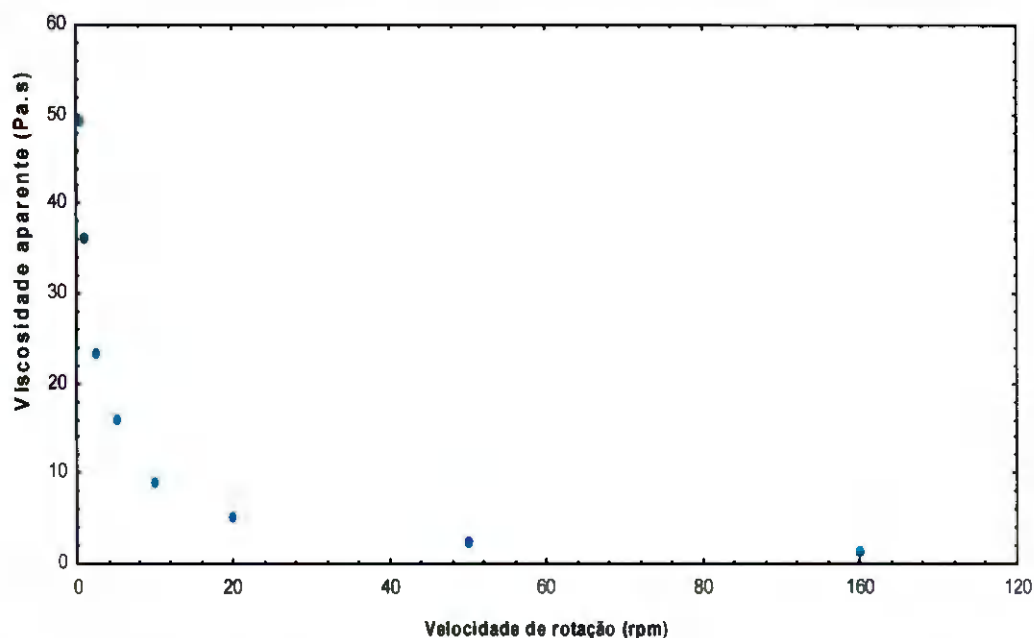


Figura 4.1 – Viscosidade aparente (Pa s) da polpa de cajá integral, em função da velocidade de rotação (rpm) a 25 °C

Na Tabela 4.2 tem-se os valores dos parâmetros dos modelos reológicos de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência), Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk e Casson ajustados à curva de tensão de cisalhamento, em função da taxa de deformação da polpa de cajá integral na temperatura de 25 °C, bem como os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios percentuais médios (P).

Tabela 4.2 - Parâmetros dos modelos reológicos ajustados ao reograma da polpa de cajá integral a 25 °C, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P)

| Modelo | Parâmetros | | | R^2 | P (%) |
|-------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|--------|-------|
| Ostwald-de-Waelle | K | n | | 0,9607 | 14,06 |
| | 13,2238 | 0,2633 | | | |
| Hersebel-Bulkley | τ_{OH} | K_n | n_n | 0,9965 | 2,99 |
| | -417,5610 | 429,7596 | 0,0141 | | |
| Mizrahi-Berk | K_{OM} | K_M | n_M | 0,9843 | 3,19 |
| | -1599,440 | 1602,8790 | 0,0004 | | |
| Casson | K_{OC} | K_M | | 0,8024 | 12,46 |
| | 3,2536 | 0,4090 | | | |

Dos valores apresentados nota-se que todos os modelos aplicados indicaram coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,8; entretanto, os modelos de Ostwald-de-Waelle e Casson apresentaram desvios percentuais médios superiores a 10%, devendo ser evitado o uso dos mesmos na estimativa do reograma da polpa de cajá integral. Dentre os modelos testados o modelo de Herschel-Bulkley foi o que apresentou o melhor ajuste, com o maior coeficiente de determinação e menor desvio percentual médio. OLIVEIRA (2006) ao avaliar o comportamento reológico da polpa de pitanga também obteve ótimo ajuste com o modelo de Herschel-Bulkley. De forma semelhante, CABRAL et al. (2002) obtiveram $R^2 > 0,98$ ao ajustarem o modelo de Herschel-Bulkley aos reogramas da polpa de cupuaçu peneirada, nas temperaturas de 15, 20 e 25 °C.

Analisando os valores encontrados para os índices de comportamento do fluido, n , n_H e n_M , os quais são grandezas adimensionais, todos foram inferiores a 1, o que caracteriza a polpa de cajá como fluido pseudoplástico. TORRES et al. (2004) também caracterizaram, como fluido pseudoplástico, a polpa de umbu-cajá. Nota-se que os índices

de consistência K , K_H e K_M , apresentaram altos valores, indicando que a polpa de cajá é um fluido consistente.

Nas Figuras A.1 a A.3 (Apêndice A) tem-se os reogramas (tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação) da polpa de cajá integral com ajustes pelos modelos de Ostwald-de-Waele, Mizrahi-Berk e Casson. E na Figura 4.2, demonstra-se o comportamento reológico da polpa de cajá integral, com os valores de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação ajustados pelo modelo de Herschel-Bulkley, o qual foi considerado como o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais. FERNANDES et al. (2008) verificaram para a polpa de umbu-cajá com adição de diferentes concentrações de maltodextrina que o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais foi o de Mizrahi-Berk. Observa-se, com o aumento da taxa de deformação, aumento da tensão de cisalhamento.

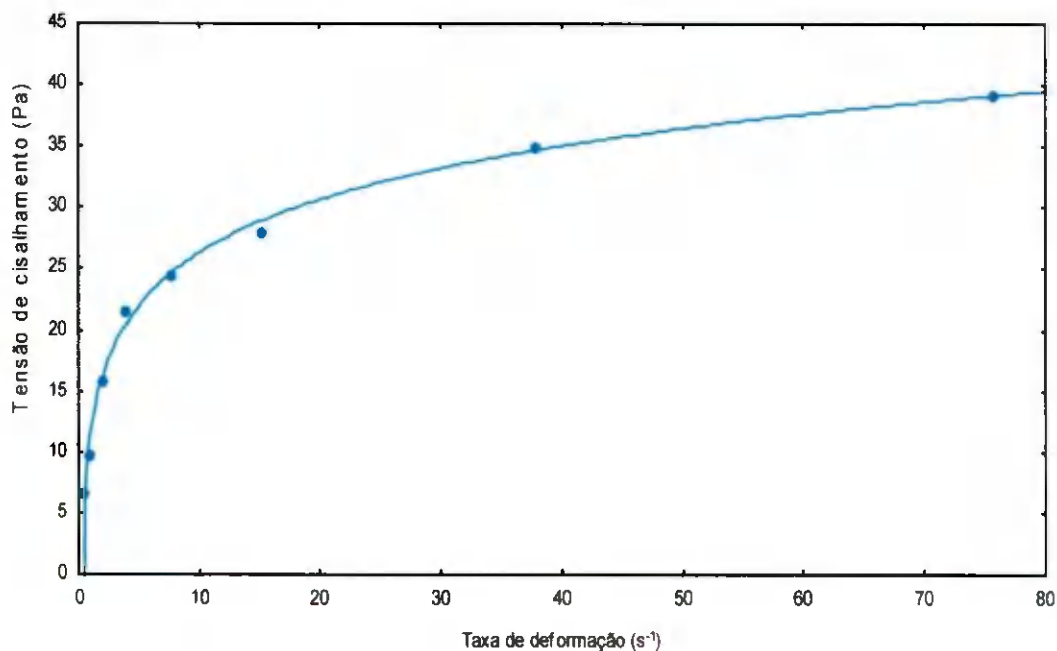


Figura 4.2 - Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de cajá integral com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley

4.3 – Análise das formulações das espumas

4.3.1 – Massa específica das espumas

Na Tabela B.I (Apêndice B) tem-se a análise de variância dos valores médios da massa específica das espumas produzidas a partir das três formulações. Como as formulações diferiam apenas com relação à concentração de Emustab, os fatores avaliados foram concentração de Emustab e tempo de batimento. Foi possível observar que a variação no tempo de batimento e a concentração de Emustab exerceram efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, no entanto a interação entre os mesmos não foi significativa.

Na Tabela 4.3 se acham os valores médios da massa específica das espumas (g/cm^3) das diferentes formulações, em função das diferentes concentrações de Emustab e tempos de batimento. Analisando-se as massas específicas das espumas para cada tempo de batimento isolado observa-se que com o aumento da concentração de Emustab ocorreram reduções significativas das massas específicas das espumas de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. De forma semelhante, KARIN & CHEE-WAI (1999) encontraram o mesmo comportamento para a espuma produzida com a polpa de carambola, sendo verificada redução da massa específica com o aumento da concentração de metilcelulose (Methocel).

Tabela 4.3 – Valores médios da massa específica das espumas (g/cm^3) das Formulações 1, 2 e 3

| Tempo de batimento (min) | Formulação (n ^o) | | |
|--------------------------|------------------------------|------------|------------|
| | 1 | 2 | 3 |
| 5 | 0,7464 aA | 0,6050 aB | 0,5305 aC |
| 10 | 0,7072 bA | 0,5732 abB | 0,5053 abC |
| 15 | 0,6946 bA | 0,5428 bcB | 0,4794 bC |
| 20 | 0,6742 bcA | 0,5303 cB | 0,4787 bC |
| 25 | 0,6508 cA | 0,5298 cB | 0,4780 bC |
| 30 | 0,6449 cA | 0,5288 cB | 0,4777 bC |

DMS colunas = 0,0330; DMS para linhas = 0,0268; CV = 2,33; MG = 0,5765 g/cm^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

Avaliando a influência do tempo de batimento em cada uma das espumas (formulações), observa-se que ocorreu tendência de redução das massas específicas com o aumento do tempo de batimento. Semelhantemente, SANKAT & CASTAIGNE (2004) ao trabalharem com banana e adição de proteína de soja isolada, obtiveram uma redução da massa específica com o aumento do tempo de batimento. De forma contrária, MELO (2008) ao avaliar a polpa do fruto de mandacaru com adição de diferentes concentrações de extrato de soja observou que, com o aumento do tempo de batimento ocorreu o aumento da massa específica. O que demonstra que a influência do tempo de batimento sobre a massa específica das espumas pode estar relacionada com os tipos de aditivos utilizados, suas concentrações e as características da matéria-prima (CAMPELO, 2009).

Analisando as formulações é possível verificar que na Formulação 1, que contém 1% de Emustab as massas específicas entre os tempos de batimento de 10, 15 e 20 min e entre os tempos 20, 25 e 30 min não diferiram estatisticamente de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade; na Formulação 2, que contém 2% de Emustab, as massas específicas entre os tempos de batimento de 5 e 10 min, entre 10 e 15 min, e entre 15, 20, 25 e 30 min, são estatisticamente iguais; para a Formulação 3, com 3% de Emustab, as massas específicas das espumas entre os tempos de batimento de 5 e 10 min, e entre os tempos de 10, 15, 20, 25 e 30 min, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey. Observa-se que em todas as formulações entre os tempos de batimento de 5 e 30 min as massas específicas foram estatisticamente diferentes. Foi possível verificar que os menores valores de massa específica foram encontrados no tempo de batimento de 30 minutos. A redução da massa específica das espumas entre o tempo de batimento de 5 e 30 min foi de 13,60; 12,60 e 9,95% para as Formulações 1, 2 e 3, respectivamente. THUWAPANICHAYANAN et al. (2008) ao trabalharem com polpa de banana com diferentes concentrações de albumina, notaram que com o aumento do tempo de batimento a massa específica das espumas foram reduzidas até o tempo de batimento de 20 min e depois ocorreu aumento da massa específica.

A faixa da massa específica das espumas variou entre 0,4777 e 0,7464 g/cm³ e de acordo com os experimentos de THUWAPANICHAYANAN et al. (2008) foi observado que quanto maior a massa específica da espuma menor é a eficiência da desidratação. Verifica-se, ainda, de maneira geral que nos tempos de batimento de 5 e 10 minutos tem-se as maiores massas específicas e, também generalizando, nota-se que a partir dos 15 minutos de batimento as massas específicas das espumas com diferentes concentrações de Emustab (1, 2 e 3%) tendem a se estabilizar. As massas específicas médias no tempo de

batimento de 15 minutos foram de 0,6946; 0,5428 e 0,4794 g/cm³, para as espumas das Formulações 1, 2 e 3, respectivamente. De acordo com SILVA et al. (2008) a faixa de massa específica mais utilizada para a secagem em camada de espuma é entre 0,45-0,50 g/cm³; entretanto, MELO (2008) secou com êxito em camada de espuma formulações com a polpa do fruto do mandacaru com massa específica de 0,1566 g/cm³, demonstrando que a faixa de massa específica adequada está diretamente relacionada com o produto e a formulação.

De acordo com RAJKUMAR et al. (2007), a escolha do tempo de batimento é feita selecionando-se o menor valor da massa específica e o maior valor para a expansão volumétrica. Com esses resultados, recomenda-se que se utilize o tempo de batimento de 15 minutos para as espumas testadas (formulações).

4.3.2 – Expansão volumétrica das espumas

Na Figura 4.3 são observadas as curvas do volume da espuma (cm³) em função do tempo de batimento (min) para as espumas (formulações) contendo polpa de cajá, diferentes concentrações de Emustab (1, 2 e 3%) e 2% de Super Liga Neutra.

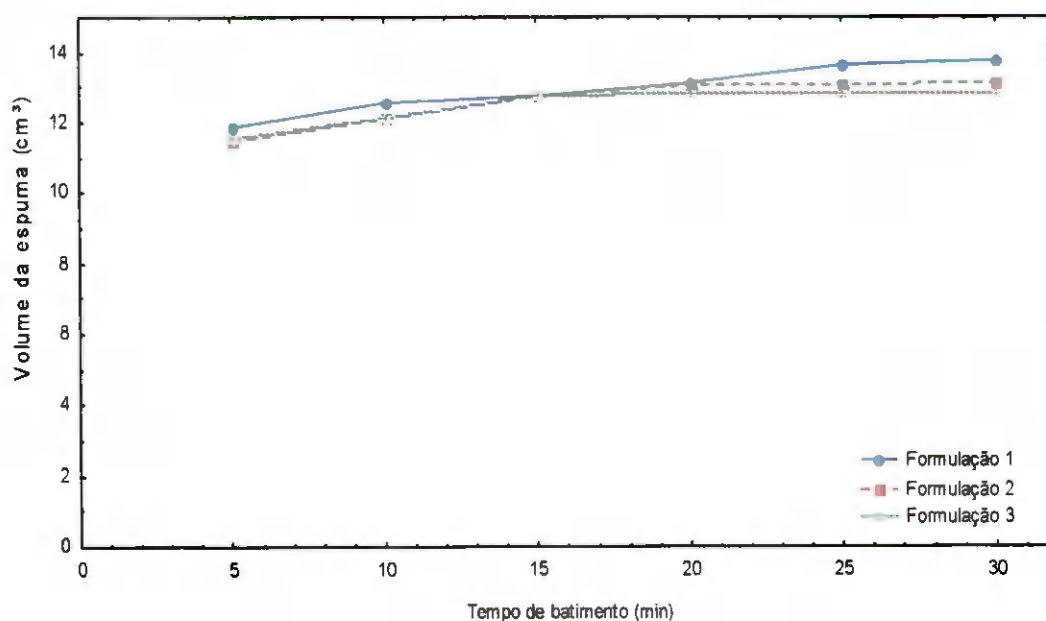


Figura 4.3 – Volume da espuma (cm³) em função do tempo de batimento (min) para as Formulações 1, 2 e 3

Foi possível verificar tendência de maior expansão no tempo de 15 minutos com o aumento do volume da espuma, e se observa que, após este tempo de batimento, as espumas se mantêm em crescimento; no entanto, de forma não significativa. Segundo RAJKUMAR et al. (2007), a escolha do tempo de batimento é feito analisando-se a maior expansão volumétrica e a menor massa específica.

4.3.3 – Estabilidade da espuma

Na Figura 4.4 estão as representações gráficas dos volumes coletados (mL) em função do tempo de batimento (min) para as diferentes espumas (formulações) na temperatura de 70 °C, durante 90 minutos. Pode-se observar, para todas as formulações, que o volume coletado foi 0,0 mL o que significa ótima estabilidade das espumas, pois segundo BASTOS et al. (2005) a importância deste teste reside na determinação de um nível mínimo de agente estabilizante necessário para a produção de espuma com estabilidade adequada para o processo de secagem. De forma semelhante RAHARITSIFA et al. (2006) afirmaram que a estabilidade da espuma será maior quanto menor for o volume coletado. PINTO (2009) ao trabalhar com jenipapo e diferentes aditivos observou que o Emustab e a Super Liga Neutra em todas as concentrações testadas apresentaram uma espuma estável. A formação de uma espuma estável e pouco densa é fundamental para obter uma eficiência melhor no processo de desidratação (CARNEIRO, 2008).

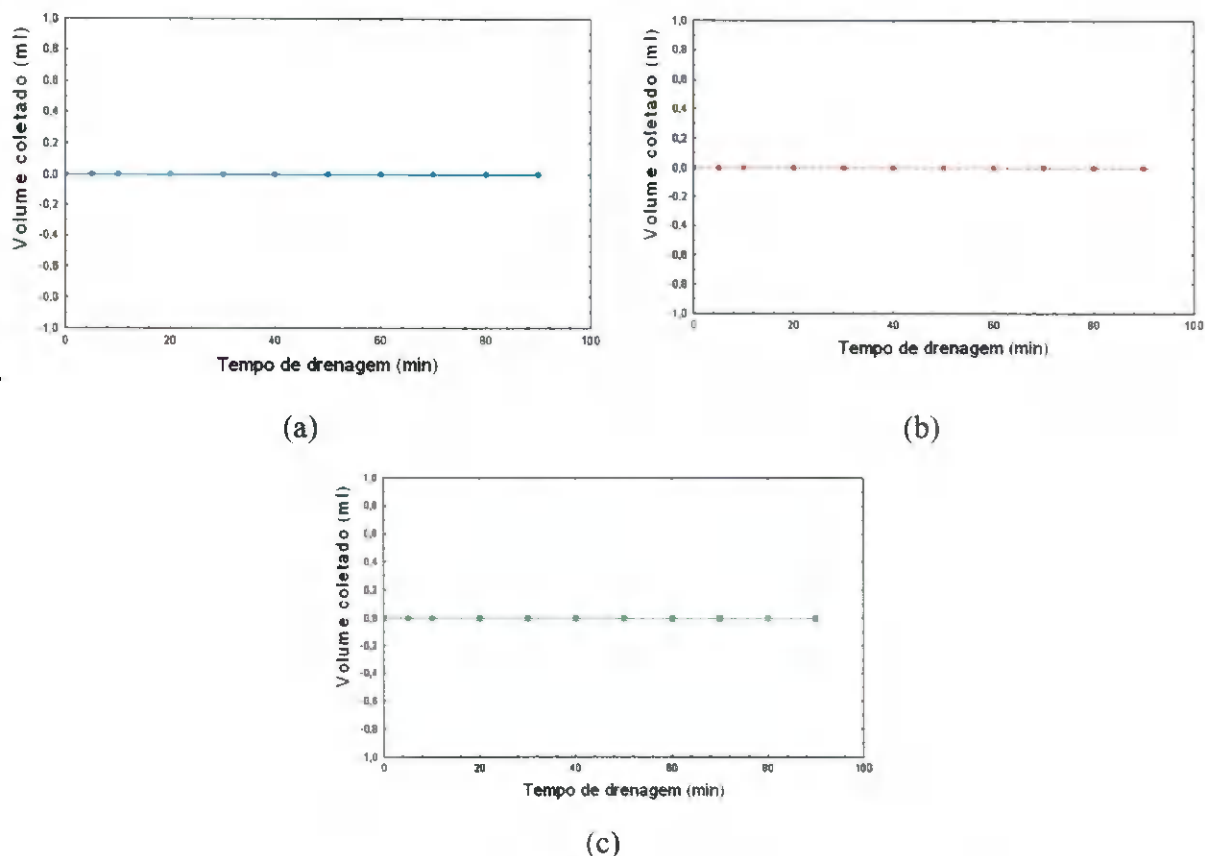


Figura 4.4 – Volume coletado de líquido (mL) em função do tempo de drenagem (min) para as diferentes espumas (formulações): (a) Formulação 1; (b) Formulação 2 e (c) Formulação 3

Avaliando todos os parâmetros estudados (massa específica, expansão volumétrica e estabilidade) foi possível verificar que as três formulações avaliadas estão dentro dos padrões para a secagem em camada de espuma, as quais estão numa faixa de massa específica que varia de 0,4 a 0,7 g/cm³.

4.4 – Caracterização físico-química das espumas

A partir da análise preliminar das formulações, selecionou-se o tempo de batimento de 15 minutos para preparação das espumas, o qual foi o tempo utilizado em todos os itens seguintes.

Nas Tabelas B.2 a B.16 (Apêndice B) se observam as análises de variância dos parâmetros avaliados para as formulações, e que o fator avaliado, concentração de Emustab, foi significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para os parâmetros pH, acidez total titulável, açúcares redutores, não-redutores e totais, massa específica,

luminosidade, intensidade de vermelho, intensidade de amarelo e atividade de água; já para o parâmetro cinzas, o fator concentração de Emustab foi significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; os parâmetros teor de água, sólidos totais e sólidos solúveis totais não foram significativos para os valores experimentais das espumas.

Na Tabela 4.4 são apresentados os valores médios e os desvios padrão da caracterização química, físico-química e física das diferentes espumas elaboradas com polpa de cajá, Super Liga Neutra e diferentes concentrações de Emustab, submetidas ao batimento, durante 15 minutos.

Tabela 4.4 – Caracterização, química, físico-química e física das Formulações 1, 2 e 3

| Parâmetro | Média e desvio padrão | | |
|--|-----------------------|------------------|-------------------|
| | Formulação 1 | Formulação 2 | Formulação 3 |
| pH | 1,26 ± 0,00 c | 1,30 ± 0,00 b | 1,44 ± 0,01 a |
| Sólidos solúveis totais (°Brix) | 16,13 ± 0,14 a | 15,69 ± 0,13 b | 15,81 ± 0,13 b |
| Teor de água (% b.u.) | 83,635 ± 0,142 a | 83,909 ± 0,604 a | 83,836 ± 0,237 a |
| Sólidos totais (%) | 16,365 ± 0,141 a | 16,091 ± 0,604 a | 16,164 ± 0,237 a |
| Ácido ascórbico (mg/100 g) | 12,631 ± 0,307 a | 12,556 ± 0,125 a | 12,461 ± 0,035 a |
| Acidez total titulável (% ácido cítrico) | 1,561 ± 0,026 a | 1,502 ± 0,005 b | 1,469 ± 0,003 c |
| Cinzas (%) | 0,594 ± 0,003 b | 0,600 ± 0,013 b | 0,622 ± 0,007 a |
| Açúcares redutores (% glicose) | 14,271 ± 0,000 a | 13,397 ± 0,000 b | 11,88 ± 0,332 c |
| Açúcares totais (% glicose) | 16,744 ± 0,578 a | 13,915 ± 0,234 b | 12,936 ± 0,198 c |
| Açúcares não-redutores (% sacarose) | 2,350 ± 0,394 a | 0,492 ± 0,000 b | 1,003 ± 0,000 b |
| Massa específica (g/cm ³) (25 °C) | 0,6904 ± 0,018 a | 0,5395 ± 0,009 b | 0,4765 ± 0,0061 c |
| Luminosidade (L*) | 47,04 ± 0,10 a | 43,37 ± 0,02 c | 43,91 ± 0,01 b |
| Intensidade de vermelho (+a*) | 11,27 ± 0,11 a | 9,63 ± 0,04 b | 9,32 ± 0,01 c |
| Intensidade de amarelo (+b*) | 36,24 ± 0,28 a | 33,10 ± 0,04 b | 32,53 ± 0,02 c |
| Atividade de água (a _w) | 0,971 ± 0,001 a | 0,968 ± 0,001 b | 0,966 ± 0,001 b |

Obs.: As médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade

Comparando os resultados encontrados para a polpa de cajá integral na Tabela 4.1 e os resultados encontrados para as formulações na Tabela 4.4, observa-se que, com a preparação das formulações e formação das espumas, todas as características químicas, fisico-químicas e físicas avaliadas da polpa de cajá foram alteradas. Observa-se que ao comparar os dados da polpa de cajá (Tabela 4.1) com os dados das formulações (Tabela 4.4) para os parâmetros pH, umidade, ácido ascórbico, acidez total titulável, massa específica, intensidade de vermelho e atividade de água ocorreu diminuição dos mesmos. Já quando avalia-se os parâmetros sólidos solúveis totais, sólidos totais, cinzas, açúcares redutores, açúcares totais e intensidade de amarelo observa-se aumentos.

Avaliando a Tabela 4.4, verifica-se que o pH aumentou significativamente com o aumento da concentração de Emustab. SOARES (2009) ao trabalhar com espumas de polpa de araçá-boi com diferentes concentrações de Emustab, verificou que o pH aumentou mas não significativamente, com o aumento da concentração de Emustab. No entanto, GOMES (2010) ao trabalhar com polpa de buriti em diferentes concentrações de maltodextrina, encontrou que, com o aumento da concentração de maltodextrina, ocorreu diminuição do pH. CALEGUER & BENASSI (2007) ao adicionarem goma arábica os formulados de refresco de laranja, constataram que o valor do pH aumentou com relação ao valor padrão da goma arábica.

Os sólidos solúveis totais (°Brix) encontrados para as Formulações 1, 2 e 3 foram 16,13; 15,69 e 15,81 °Brix, respectivamente. Observa-se que o maior valor dos sólidos solúveis totais (SST) foi o da Formulação 1, o qual foi estatisticamente diferente das Formulações 2 e 3; já o teor de SST das Formulações 2 e 3 foram estatisticamente semelhantes. Desta forma confirma-se que a maior parte dos SST das formulações são provenientes da polpa de cajá, sendo que o Emustab e a Super Liga Neutra contribuem apenas com uma pequena parte, e por sua vez o aumento da concentração de Emustab nas formulações não corresponde proporcionalmente com o teor de SST. SOARES (2009) ao trabalhar com espumas de polpa de araçá-boi com diferentes concentrações de Emustab verificou que não houve acréscimo significativo com o aumento da concentração de Emustab sendo o valor médio do teor de sólidos solúveis totais desse emulsificante de 9,77 °Brix. PINTO (2009) trabalhando com espuma de jenipapo com diferentes aditivos, também não observou aumento significativo nos sólidos solúveis totais com o aumento da concentração de Emustab.

Verifica-se que a umidade e os sólidos totais das formulações resultaram em médias estatisticamente iguais significando que, mesmo com o aumento da concentração de

Emustab, não foi suficiente para alterar significativamente esses valores. PINTO (2009) encontrou, para a polpa de jenipapo com diferentes concentrações de Emustab, uma diminuição da umidade com o aumento da concentração de Emustab.

O ácido ascórbico encontrado nas Formulações 1, 2 e 3 não diferiu estatisticamente, em razão dos aditivos usados nas formulações não conterem ácido ascórbico. PINTO (2009) ao estudar a espuma de Jenipapo com diferentes aditivos, relatou que não ocorreu variação de ácido ascórbico com o aumento dos aditivos.

Os valores encontrados para a acidez total titulável nas Formulações 1, 2 e 3 foram 1,561; 1,502 e 1,469% de ácido cítrico, respectivamente. Observa-se uma redução estatisticamente significativa ($P \leq 0,05$) da acidez com o aumento da concentração de Emustab. Semelhantemente, CHAVES et al. (2008) ao trabalharem com polpa de araçá-boi com adição de diferentes concentrações de Emustab, encontraram diminuição na acidez da espuma com o aumento da concentração de Emustab.

As cinzas das Formulações 1, 2 e 3 apresentaram tendência de aumento com o aumento da concentração de Emustab. Entretanto, as médias das Formulações 1 e 2 resultaram em valores estatisticamente iguais e a da Formulação 3 diferente das demais médias e com o maior valor. Constata-se que os aditivos Emustab e Super Liga Neutra adicionados à polpa contribuíram com o aumento do teor de minerais das formulações. MELO (2008) ao analisar a espuma da polpa do fruto do mandacaru encontrou um teor de cinzas de $(0,7390 \pm 0,0193\%)$, indicando assim que os valores encontrados para as espumas foram próximos aos obtidos para a espuma do mandacaru.

Quanto aos açúcares redutores e totais verifica-se que as médias das formulações são estatisticamente diferentes. Verifica-se, também, diminuição significativa desses parâmetros com o aumento da concentração de Emustab. Contrariamente, SOARES (2009) observou aumento dos açúcares totais e redutores com o aumento dos aditivos Emustab e Super Liga Neutra.

Os valores medios encontrados de massa específica das formulações apresentaram diminuição significativa com o aumento da concentração de Emustab. Comportamento semelhante foi verificado por KARIM & CHEE-WAI (1999), no estudo da espuma de purê de carambola com adição de metilcelulose como agente espumante. Uma provável justificativa para esta redução, é que a baixa massa específica das espumas nas maiores concentrações se deve ao fato de que o movimento da espuma age a partir da fase aquosa para a fase ar-aquosa, sendo insuficiente para a redução da tensão superficial, o que reforça a formação de espuma (KARIM & CHEE-WAI, 1999).

Avaliando os parâmetros de cor das espumas, observa-se que: a luminosidade (L^*) das formulações diferiu estatisticamente entre si, com a maior luminosidade para a Formulação 1; a intensidade de vermelho ($+a^*$) e a intensidade de amarelo ($+b^*$) apresentaram valores entre as formulações estatisticamente diferentes, com uma diminuição dos mesmos com o aumento da concentração de Emustab, significando que as formulações se tornaram menos amarelas com o aumento da concentração dos aditivos. Verifica-se ainda, predominância da cor amarela nas espumas. SOARES (2009), ao avaliar a polpa de araçá-boi encontrou que com o aumento de Emustab ocorreu a diminuição da intensidade de amarelo na espuma.

Analisando o parâmetro atividade de água nas formulações, observou-se, que com o aumento da concentração de Emustab ocorreu a tendência de diminuição da atividade de água, entretanto a a_w das Formulações 2 e 3 são estatisticamente iguais. O autor observou porém, ocorrência de redução da atividade de água para as formulações elaboradas com polpa de araçá-boi e diferentes concentrações de Emustab, no entanto, não foi uma grande redução, como ocorreu com as formulações que continham a polpa de araçá-boi e a Super Liga Neutra.

4.5 – Viscosidade aparente das espumas

Neste item utilizou-se o tempo de batimento de 15 minutos para preparação das espumas.

Na Tabela B.17 (Apêndice B) se apresenta a análise de variância dos valores médios das viscosidades aparentes das diferentes formulações, avaliando-se os fatores concentração de Emustab (1, 2 e 3%) e velocidade de rotação e a interação entre concentração e velocidade. Verifica-se, para todas as fontes de variação, efeito significativo a 1% de probabilidade, de acordo com o teste F.

Apresentam-se na Tabela 4.5, os valores médios das viscosidades aparentes das diferentes formulações em função da velocidade de rotação na temperatura de 25 °C. Analisando-se as viscosidades aparentes para cada velocidade de rotação isolada, observa-se que em todas as velocidades de rotação com o aumento da concentração de Emustab ocorreu um aumento significativo das viscosidades aparentes das espumas de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade, com exceção das velocidades de rotação de 50 e 100 rpm. Na velocidade de rotação de 50 rpm, as médias das Formulações 1 e 2 não diferiram estatisticamente entre si e na velocidade de rotação de 100 rpm as médias são

estatisticamente iguais entre as três formulações. TORRES et al. (2003) verificaram, para a polpa de umbu-cajá, que com o aumento da concentração do teor de sólidos solúveis totais a viscosidade aparente aumentou.

Tabela 4.5 – Valores médios da viscosidade aparente das espumas (Pa s), na temperatura de 25 °C, das Formulações 1, 2 e 3, em função da velocidade de rotação

| Velocidade de rotação (rpm) | Formulação (n°) | | |
|-----------------------------|-----------------|-----------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 |
| 0,5 | 70,00 aC | 105,33 aB | 145,33 aA |
| 1,0 | 66,67 bC | 76,00 bB | 87,33 bA |
| 2,5 | 35,47 cC | 39,47 cB | 43,60 cA |
| 5,0 | 23,07 dC | 25,47 dB | 28,20 dA |
| 10 | 12,93 eC | 15,33 eB | 17,80 eA |
| 20 | 7,65 fC | 9,43 fB | 11,33 fA |
| 50 | 1,85 gB | 2,50 gAB | 3,17 gA |
| 100 | 1,35 gA | 1,66 gA | 1,99 gA |

DMS colunas = 1,53; DMS para linhas = 1,18; CV = 2,48%; MG = 34,71 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

Analisando-se as formulações separadamente observa-se, que para a Formulação 1, que a viscosidade aparente diminuiu com o aumento da velocidade de rotação, resultando em uma redução da viscosidade de 98,07% entre a velocidade de rotação 0,5 e 100 rpm; para a Formulação 2, a viscosidade aparente diminuiu, também com o aumento da velocidade de rotação, resultando em uma redução da viscosidade de 98,42% entre as rotações de 0,5 e 100 rpm e, para a Formulação 3, a viscosidade aparente também diminuiu com o aumento da velocidade de rotação, resultando em uma redução da viscosidade de 98,63% entre as velocidades de rotação de 0,5 e 100 rpm. Foi possível verificar que para todas as formulações entre as velocidades de rotação de 50 e 100 rpm não houve diferenças estatísticas mas apresentaram tendência de diminuição. TORRES et al (2004) ao trabalharem com a polpa de umbu-cajá também constataram redução da viscosidade aparente com o aumento da velocidade de rotação. GRANGEIRO et al. (2007) ao estudarem a viscosidade aparente das polpas de figo-da-índia concentradas obtiveram o

mesmo comportamento, reduzindo a viscosidade com o aumento da velocidade de rotação e aumentando, com o aumento da concentração de aditivos.

Nas Tabelas B.18, B.19 e B.20 (Apêndice B) tem-se as análises de variância das regressões polinomiais das viscosidades aparentes a 25 °C das Formulações 1, 2 e 3, respectivamente. Observa-se que todas as equações testadas foram significativas a 1% de probabilidade, de acordo com o teste F.

Na Tabela 4.6 são apresentadas as equações de regressão polinomiais significativas a 1% de probabilidade propostas para o cálculo da viscosidade aparente, a 25 °C, das Formulações 1, 2 e 3; nota-se que todas as equações polinomiais de 5º grau apresentaram coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,94.

Tabela 4.6 - Equações de regressão propostas para o cálculo das viscosidades aparentes na temperatura de 25 °C, das Formulações 1, 2 e 3

| Formul. (nº) | Equação | R ² |
|-----------------|--|----------------|
| 1 | $\eta = 39,3904 - 0,5087V$ | 0,413 |
| | $\eta = 49,6421 - 2,0313V + 0,0158V^2$ | 0,668 |
| | $\eta = 61,0307 - 5,4118V + 0,1228V^2 - 0,0007V^3$ | 0,854 |
| | $\eta = 72,9446 - 12,4971V + 0,7063V^2 - 0,0135V^3 + 0,00008V^4$ | 0,960 |
| | $\eta = 82,1617 - 22,1950V + 2,4698V^2 - 0,1118V^3 + 0,0019V^4 - 1,042 \times 10^{-5}V^5$ | 0,990 |
| 2 | $\eta = 49,6037 - 0,6436V$ | 0,357 |
| | $\eta = 62,8843 - 2,6160V + 0,0204V^2$ | 0,588 |
| | $\eta = 78,5162 - 7,2561V + 0,1674V^2 - 0,001V^3$ | 0,882 |
| | $\eta = 96,9112 - 18,1959V + 1,0682V^2 - 0,0207V^3 + 0,0001V^4$ | 0,914 |
| | $\eta = 115,2849 - 37,5278V + 4,5836V^2 - 0,2168V^3 + 0,0038V^4 - 2,077 \times 10^{-5}V^5$ | 0,978 |
| 3 | $\eta = 61,1823 - 0,7973V$ | 0,310 |
| | $\eta = 77,9508 - 3,2877V + 0,0258V^2$ | 0,519 |
| | $\eta = 98,4922 - 9,3851V + 0,2189V^2 - 0,0013V^3$ | 0,704 |
| | $\eta = 124,3617 - 24,7701V + 1,4857V^2 - 0,029V^3 + 0,0002V^4$ | 0,857 |
| | $\eta = 153,1738 - 55,0849V + 6,9983V^2 - 0,3365V^3 + 0,0060V^4 - 3,257 \times 10^{-5}V^5$ | 0,946 |

η - viscosidade aparente (Pa s); v - velocidade de rotação (rpm); ** - significativo a 1% de probabilidade (p-valor < 0,01)

Na Tabela 4.7 tem-se os valores dos parâmetros reológicos dos modelos de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência), Herschel-Bulkley, Casson e Mizrahi-Berk ajustados aos reogramas das diferentes formulações, bem como os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios percentuais médios (P). Verifica-se que dentre os modelos testados, o modelo de Mizrahi-Berk foi o que apresentou os melhores ajustes, com coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,96 e os menores desvios percentuais médios (P) inferiores a 4,8%. De forma geral o segundo melhor modelo pode ser considerado como o de Herschel-Bulkley, seguido dos modelos de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) e Casson. Semelhantemente, FERNANDES et al. (2008) ao trabalharem com a polpa de umbu-cajá com adição de diferentes concentrações de maltodextrina, também, verificaram que o modelo de Mizrahi-Berk foi o que apresentou os melhores ajustes, $R^2 > 0,98$ e $P < 2,5\%$. Observando-se os parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk verifica-se que entre as formulações o índice de consistência (K_M) diminuiu com o aumento da concentração de Emustab e o índice de comportamento de fluido (n_M) aumentou com o aumento da concentração de Emustab. Tem-se ainda os valores de $n_M < 1$, então as diferentes formulações podem ser classificadas como fluidos pseudoplásticos. Similarmente, PEREIRA et al. (2003) ao avaliarem o comportamento reológico, na temperatura de 30 °C, da polpa de açaí nas concentrações de sólidos totais de 9,7; 12,5 e 15,2%, as classificaram também como fluidos pseudoplásticos.

Analisando os parâmetros de ajuste do modelo de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência), verifica-se, com o aumento da concentração de Emustab, houve um aumento no índice de consistência (K) e no índice de comportamento do fluido (n); a confirmação das formulações se tratar de fluidos pseudoplásticos, também foi verificada para este modelo em razão de n também ter sido inferior à unidade ($n < 1$).

Observa-se para o modelo de Herschel-Bulkley que o parâmetro índice de comportamento de fluido (n_H) aumentou com o aumento da concentração de Emustab e o índice de consistência (K_H) diminuiu com o aumento da temperatura.

Verifica-se, para o modelo de Casson, que os valores do parâmetro K_{oc} e da viscosidade plástica de Casson (K_c) aumentaram com o aumento da concentração de Emustab.

Tabela 4.7 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (%) dos modelos reológicos ajustados aos reogramas a 25 °C das Formulações 1, 2 e 3

| Modelo | Formulação (n°) | Parâmetro | | | R^2 | P (%) |
|--|--------------------|-------------|---------|--------|--------|-------|
| | | K | n | | | |
| Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) | 1 | 18,0895 | 0,3072 | | 0,9693 | 11,29 |
| | 2 | 20,9629 | 0,3276 | | 0,9966 | 3,48 |
| | 3 | 24,1455 | 0,3409 | | 0,9986 | 3,12 |
| | Formulação (n°) | τ_{OH} | K_H | n_H | R^2 | P (%) |
| Herschel-Bulkley | 1 | -2,5537 | 20,4812 | 0,2858 | 0,9695 | 10,83 |
| | 2 | 1,9101 | 19,2324 | 0,3432 | 0,9967 | 1,51 |
| | 3 | 5,0386 | 19,6958 | 0,3786 | 0,9994 | 3,70 |
| | Formulação (n°) | K_{OC} | K_C | | R^2 | P (%) |
| Casson | 1 | 3,8146 | 0,5684 | | 0,8873 | 9,57 |
| | 2 | 4,1236 | 0,6551 | | 0,9439 | 5,36 |
| | 3 | 4,4406 | 0,7329 | | 0,9637 | 6,56 |
| | Formulação (n°) | K_{OM} | K_M | n_M | R^2 | P (%) |
| Mizrahi-Berk | 1 | -24,3894 | 28,5787 | 0,0296 | 0,9700 | 4,76 |
| | 2 | -0,5225 | 5,1044 | 0,1506 | 0,9963 | 0,70 |
| | 3 | 1,6835 | 3,3026 | 0,2227 | 0,9991 | 1,68 |

Nas Figuras B.1 a B.3 (Apêndice B) são encontrados os gráficos da relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação das diferentes formulações, na temperatura de 25 °C, com ajustes pelos modelos de Ostwald-de-Waelle, Herschel-Bulkley e Casson.

Na Figura 4.5, vê-se a relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação das diferentes formulações, na temperatura de 25 °C, com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk, o qual foi considerado o melhor modelo. Observa-se, para uma taxa de deformação fixa, que a tensão de cisalhamento aumenta com o aumento da concentração de Emustab, representando o aumento da viscosidade; verifica-se, ainda, que as curvas não apresentaram relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, caracterizando as formulações como fluidos não newtonianos.

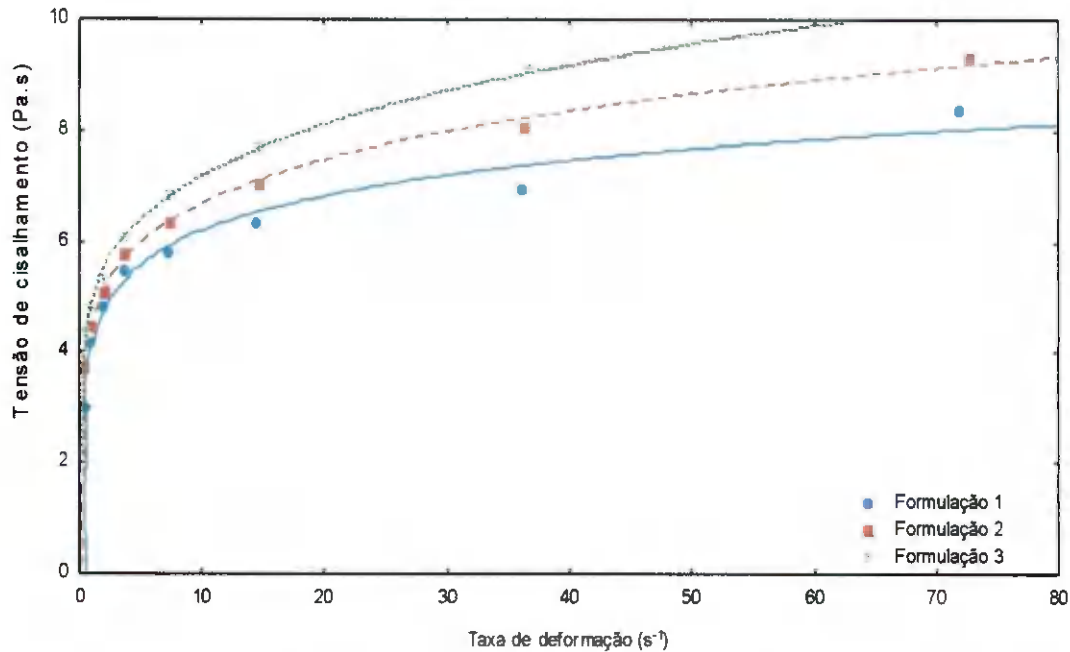


Figura 4.5 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação das diferentes formulações, na temperatura de 25 °C, com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk

4.6 – Secagem em camada de espuma

Após a caracterização das formulações e batimento durante 15 minutos para formação das espumas, foram determinadas as curvas de cinética de secagem para diferentes espessuras da camada de espuma (0,5; 1,0 e 1,5 cm) e diferentes temperaturas de secagem (60, 70 e 80 °C).

4.6.1 – Influência da temperatura e espessura da camada

Nas Figuras 4.6 a 4.8 se acham as cinéticas de secagem (razão de água em função do tempo de secagem) em camada de espuma das diferentes formulações (espumas) com espessuras da camada de espuma de 0,5; 1,0 e 1,5 cm e temperaturas de secagem de 60, 70 e 80 °C. Foi possível verificar que em todas as formulações, a secagem foi mais rápida para a menor espessura (0,5 cm) e maior temperatura (80 °C), assim, verificou-se a igual importância da influência destes dois parâmetros avaliados, o que já prevista. MELO (2008) ao estudar a secagem em camada de espumas da polpa de mandacaru com adição de albumina e Super Liga Neutra[®], também verificou a influência da temperatura e da

espessura da camada de espuma no tempo de secagem. Analisando a cinética de secagem do caju, GOUVEIA et al. (2002), também observaram que a maior taxa de secagem ocorreu na maior temperatura de secagem, 65 °C, e vazão do ar de secagem igual a 1,4 m/s. RAJKUMAR et al. (2007) ao avaliarem a cinética de secagem da polpa de manga com adição de albumina e metilcelulose, na temperatura de 60 °C verificaram que a secagem ocorreu de forma mais rápida na menor espessura avaliada que foi de 1 cm.

De acordo com FORMOSO et al. (2009) o efeito da temperatura se deve à sua influência sobre o potencial de transferência de água do sólido para o ar de secagem, uma vez que o aquecimento do ar a temperaturas mais elevadas implica na redução de sua umidade relativa, afetando diretamente o potencial de transferência de massa. O aumento da temperatura pode também afetar as propriedades físicas da matriz sólida, afetando a difusão da água. Por outro lado, a maior espessura implica no aumento da distância que deverá ser percorrida por difusão das moléculas de água até a superfície do sólido, a partir da qual a transferência de massa passará a ocorrer por convecção.

Na Tabela C.1 encontram-se os valores dos tempos de secagem (min) para cada formulação em função das temperaturas de secagem e das espessuras das camadas de espuma.

Comparando-se as formulações entre si, verificou-se que quanto maior a concentração de aditivos menor é o tempo de secagem, para as mesmas condições de temperatura e espessura da camada de espuma. O maior tempo de secagem foi verificado para a Formulação 1 (1% de Emustab e 2% de Super Liga Neutra) que foi de 2.205 minutos para uma temperatura de secagem de 60 °C e espessura da camada de 1,5 cm; enquanto o menor tempo (285 minutos) foi constatado para a Formulação 3 (3% de Emustab e 2% de Super Liga Neutra) na temperatura de 80 °C e espessura da camada de 0,5 cm. ALEXANDRE (2006) ao secarem polpa de pitanga pelo processo de secagem em camada de espuma, estes pesquisadores verificaram tempos de secagem inferiores nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. Observa-se que quanto menor a espessura da camada de espuma e maior a temperatura menor o tempo de secagem. Uma camada de espuma seca muito mais rapidamente do que a mesma quantidade de líquido sob as mesmas condições de secagem, isto porque o líquido move-se mais facilmente em uma estrutura espumosa do que em uma densa camada do mesmo material. Isso é devido também a evaporação dentro das bolhas seguida por difusão gasosa através das paredes finas da espuma (KARIM & CHEE-WAI, 1999).

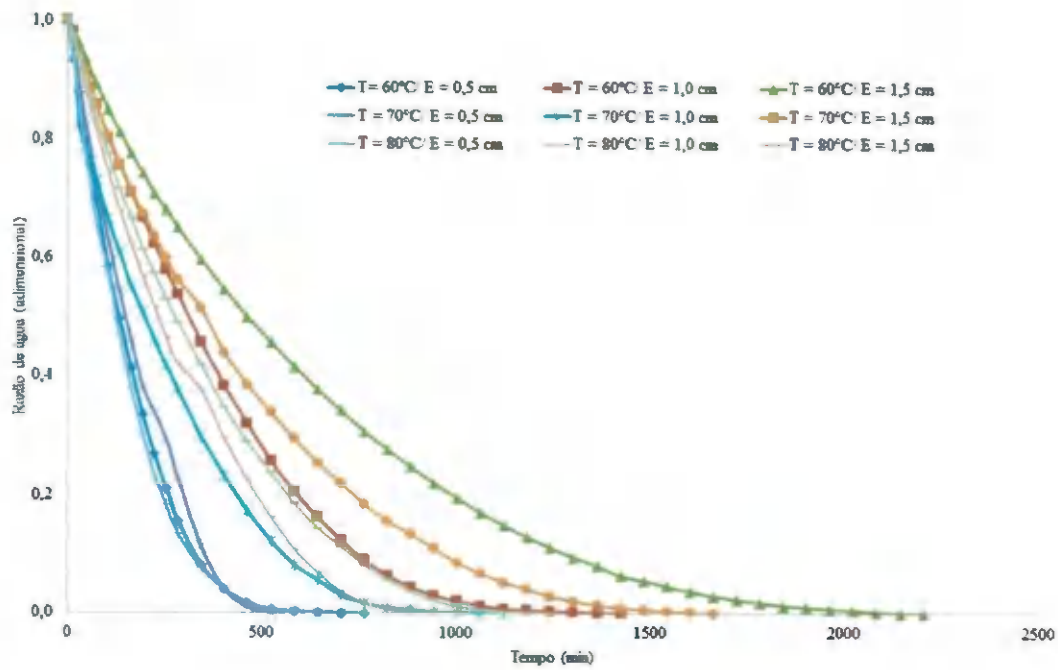


Figura 4.6 – Cinéticas de secagem da Formulação 1 nas diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

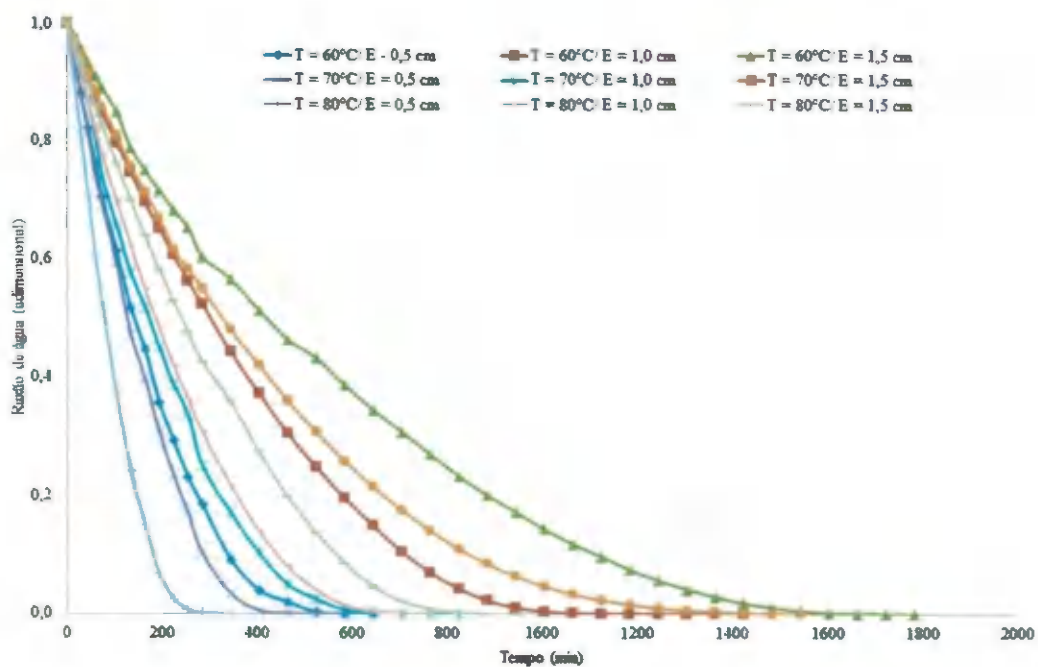


Figura 4.7 – Cinéticas de secagem da Formulação 2 nas diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

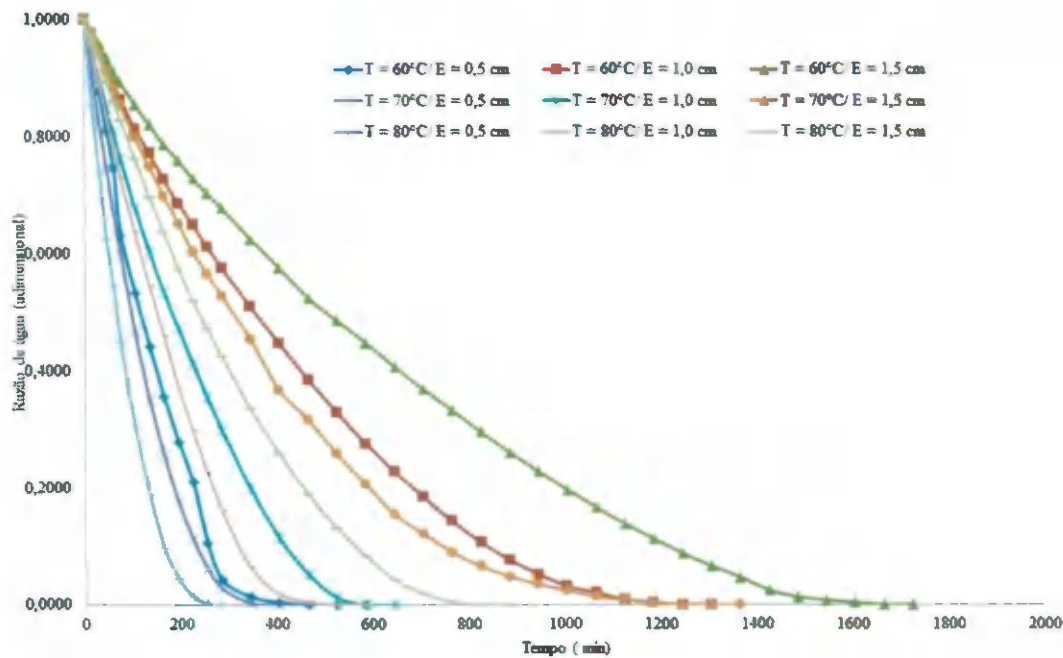


Figura 4.8 – Cinéticas de secagem da Formulação 3 nas diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

4.6.2 – Modelos matemáticos

Nas Tabelas 4.8 a 4.10 são avaliados os valores estimados dos parâmetros dos modelos de Page, Henderson & Pabis e Cavalcanti Mata ajustados às curvas de secagem da Formulação I, nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, para as espessuras de 0,5; 1,0 e 1,5 cm, respectivamente, e também os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios quadráticos médios (DQM). Constata-se que todos os modelos podem ser utilizados na estimativa das curvas de secagem, uma vez que apresentaram coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,98 e desvios quadráticos médios (DQM) inferiores a 0,07. COELHO et al. (2010) ao estudarem secagem de polpa de mamão pelo método de camada de espuma nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, encontraram para o modelo de Page os maiores coeficientes de determinação ($R^2 \geq 0,999$). DOYMAZ (2004), ao trabalhar com a secagem de ameixa, na temperatura de 65 °C encontrou, para os modelos de Page e Henderson & Pabis, coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,99 e desvios quadráticos médios inferiores a 0,03; já GOYAL et al. (2006) ao estudarem a secagem de manga encontraram, para os mesmos modelos, R^2 superiores a 0,98. Dentre os modelos estudados o de Cavalcanti Mata foi o que apresentou os melhores ajustes, para a Formulação 1 para as três espessuras da camada de espuma (0,5; 1,0 e 1,5 cm) e nas três temperaturas, com coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,9953 e desvios quadráticos médios

(DQM) inferiores a 0,007. Este resultado era esperado em razão do referido modelo apresentar o maior número de parâmetros (seis) e geralmente quanto maior o número de constantes do modelo melhor é o ajuste. MEDEIROS (2007) ao avaliar a secagem da polpa de mangada formulada nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, verificou que o modelo de Cavalcanti Mata apresentou os melhores ajustes com coeficientes de determinação superiores a 0,99 e desvios quadráticos médios inferiores a 0,0103. Analisando os parâmetros K e n do modelo de Page observa-se, para todas as espessuras, que não foi possível observar um comportamento de aumento ou decréscimo com o aumento da temperatura, pode-se verificar que o parâmetro n não apresenta grande variação em nenhuma das espessuras estudadas. GIRALDO-ZUNIGA et al. (2010) ao estudarem a cinética de secagem da polpa de cupuaçu em fatias nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, também obtiveram variação nos parâmetros K e n do modelo de Page.

Tabela 4.8 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da Formulação 1, com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, para as diferentes temperaturas avaliadas

| Modelo | Temperatura (°C) | Parâmetro | | | | | R^2 | DQM | |
|----------------------|---------------------|----------------|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|--------|
| | | K | u | | | | | | |
| Page | 60 | 0,0019 | 1,2115 | | | | | 0,9985 | 0,0230 |
| | 70 | 0,0013 | 1,2535 | | | | | 0,9957 | 0,0340 |
| | 80 | 0,0025 | 1,1770 | | | | | 0,9985 | 0,0187 |
| Henderson & Pabis | Temperatura (°C) | A | K | | | R^2 | DQM | | |
| | | | K | | | | | | |
| Henderson & Pabis | 60 | 1,0473 | 0,0061 | | | 0,9928 | 0,0408 | | |
| | 70 | 1,0556 | 0,0054 | | | 0,9877 | 0,0486 | | |
| | 80 | 1,0415 | 0,0064 | | | 0,9943 | 0,0330 | | |
| Cavalcanti Mata | Temperatura (°C) | a ₁ | b | a ₂ | a ₃ | a ₄ | a ₅ | R^2 | DQM |
| | | | | | | | | | |
| Cavalcanti Mata | 60 | 0,648 | 0,002 | 1,210 | 0,354 | 1,209 | -0,016 | 0,9991 | 0,0018 |
| | 70 | 0,663 | 0,002 | 1,028 | 0,362 | 1,192 | -0,696 | 0,9974 | 0,0018 |
| | 80 | 0,507 | 0,003 | 1,152 | 0,507 | 1,152 | -0,021 | 0,9991 | 0,0005 |

Tabela 4.9 – Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da Formulação 1, com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, para as diferentes temperaturas avaliadas

| Modelo | Temperatura (°C) | Parâmetro | | | | | R^2 | DQM | |
|----------------------|---------------------|----------------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|--------|
| | | K | | n | | | | | |
| Page | 60 | 0,0005 | | 1,2567 | | | 0,9979 | 0,0411 | |
| | 70 | 0,0036 | | 1,0099 | | | 0,9918 | 0,0482 | |
| | 80 | 0,0011 | | 1,1821 | | | 0,9958 | 0,0372 | |
| Hendersou & Pabis | Temperatura (°C) | A | | K | | R^2 | DQM | | |
| | | | | | | | | | |
| & Pabis | 60 | 1,0541 | | 0,0027 | | 0,9900 | 0,0630 | | |
| | 70 | 0,9832 | | 0,0037 | | 0,9921 | 0,0389 | | |
| | 80 | 1,0433 | | 0,0033 | | 0,9902 | 0,0489 | | |
| Cavalcanti Mata | Temperatura (°C) | a ₁ | b | a ₂ | a ₃ | a ₄ | a ₅ | R^2 | DQM |
| | | | | | | | | | |
| Mata | 60 | -0,275 | 0,001 | 0,380 | 1,046 | 1,148 | 0,228 | 0,9987 | 0,0070 |
| | 70 | 0,625 | 0,005 | 0,931 | 0,429 | 0,945 | -0,070 | 0,9953 | 0,0038 |
| | 80 | 0,554 | 0,002 | 1,068 | 0,534 | 1,069 | -0,087 | 0,9984 | 0,0011 |

Tabela 4.10 – Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da Formulação I, com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, para as diferentes temperaturas avaliadas

| Modelo | Temperatura (°C) | Parâmetro | | | | | R^2 | DQM | |
|----------------------|---------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | K | | n | | | | | |
| Page | 60 | 0,0008 | | 1,1089 | | | 0,9975 | 0,0382 | |
| | 70 | 0,0012 | | 1,0972 | | | 0,9978 | 0,0404 | |
| | 80 | 0,0011 | | 1,1607 | | | 0,9976 | 0,0308 | |
| Henderson & Pabis | Temperatura (°C) | A | K | | | R^2 | DQM | | |
| | | | n | | | | | | |
| & Pabis | 60 | 1,0211 | 0,0017 | | | 0,9954 | 0,0492 | | |
| | 70 | 1,0203 | 0,0022 | | | 0,9956 | 0,0448 | | |
| | 80 | 1,0367 | 0,0029 | | | 0,9934 | 0,0482 | | |
| Cavalcanti Mata | Temperatura (°C) | a_1 | b | a_2 | a_3 | a_4 | a_5 | R^2 | DQM |
| | | | | | | | | | |
| Mata | 60 | 1,052 | 0,002 | 0,257 | 1,074 | 0,984 | -1,118 | 0,9994 | 0,0055 |
| | 70 | 1,058 | 0,002 | 1,019 | -0,164 | 0,314 | 0,102 | 0,9996 | 0,0042 |
| | 80 | 0,854 | 0,002 | 0,158 | 1,065 | 1,058 | -0,916 | 0,9994 | 0,0028 |

Nas Figuras 4.9 a 4.11 se encontram as curvas de cinética de secagem para a Formulação I para as espessuras da camada de espuma de 0,5; 1,0 e 1,5 cm, respectivamente, com ajustes com o modelo de Cavalcanti Mata, considerado o melhor modelo ($R^2 > 0,99$ e $DQM < 0,07$). Observa-se que as curvas ajustadas se aproximam dos dados experimentais e se constata a influência da espessura da camada de espuma sobre as curvas de secagem, em que quanto maior a espessura da camada maior o tempo de secagem. Ao mesmo tempo em que a espessura da camada influencia, a temperatura de secagem também é um agente influenciador, indicando a tendência de que quanto maior a temperatura de secagem, menor o tempo para ocorrer a secagem. Assim, tem-se que as variáveis temperatura e espessura influenciaram muito nos resultados obtidos.

Nas Figuras C.1 a C.6 (Apêndice C) tem-se as curvas de cinética de secagem da Formulação I com ajustes pelos modelos de Page e Henderson & Pabis, para as espessuras da camada de espuma de 0,5; 1,0 e 1,5 cm e temperaturas de 60, 70 e 80 °C.

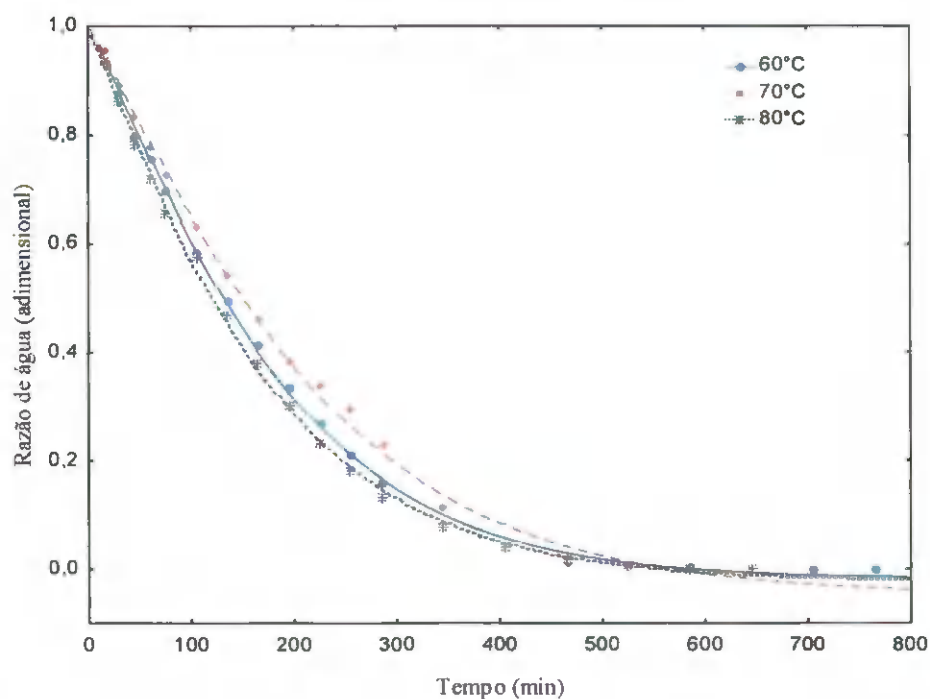


Figura 4.9 - Cinética de secagem da Formulação 1 com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Cavalcanti Mata

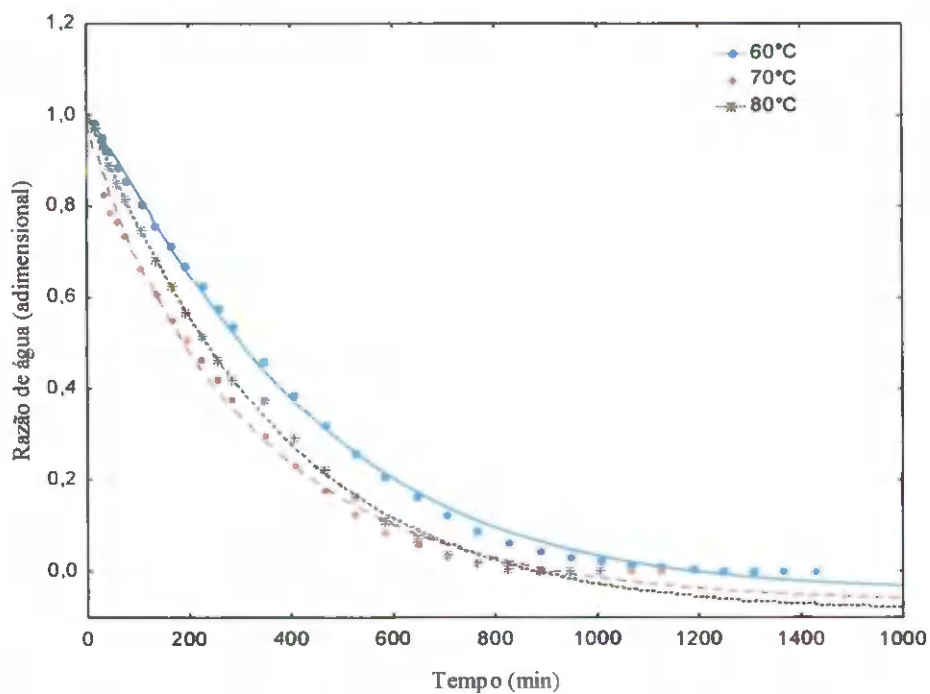


Figura 4.10 - Cinética de secagem da Formulação 1 com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Cavalcanti Mata

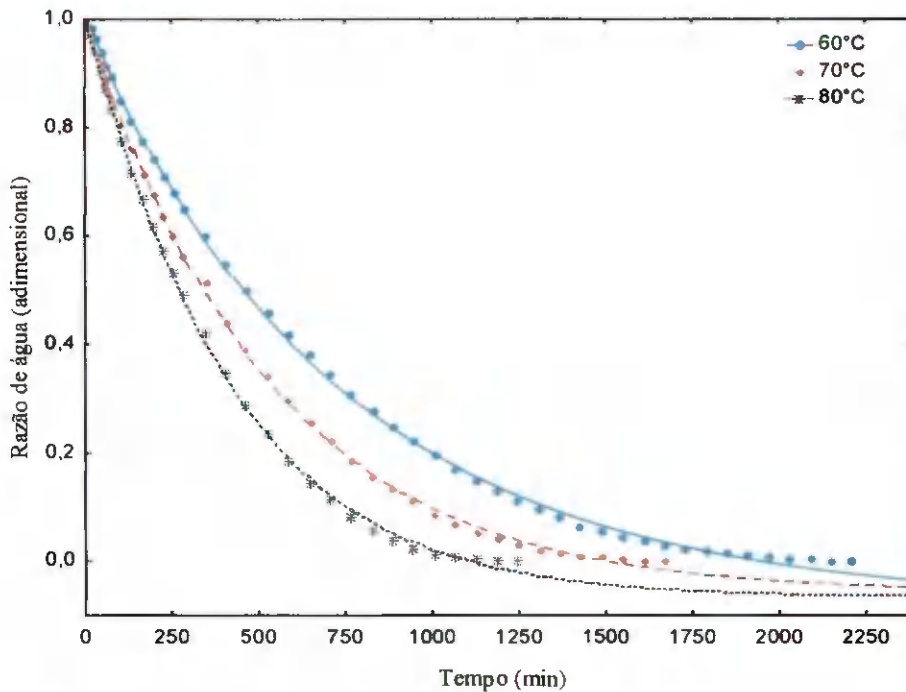


Figura 4.11 - Cinética de secagem da Formulação 1 com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Cavalcanti Mata

Nas Tabelas 4.11 a 4.13 são apresentados os valores estimados dos parâmetros dos modelos de Page, Henderson & Pabis e Cavalcanti Mata ajustados às curvas de secagem da Formulação 2, nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, para as espessuras da camada de espuma de 0,5; 1,0 e 1,5 cm, e também os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios quadráticos médios (DQM). Nota-se que todos os modelos podem ser utilizados para representar as curvas de cinética de secagem, haja vista que apresentaram coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,98 e desvios quadráticos médios inferiores a 0,07. Dentre os modelos avaliados o de Cavalcanti Mata foi o que apresentou os melhores ajustes para a Formulação 2 para as três espessuras da camada de espuma (0,5; 1,0 e 1,5 cm) e diferentes temperaturas (60, 70 e 80 °C), com coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,99 e desvios quadráticos médios (DQM) inferiores a 0,007. De forma semelhante, CARVALHO et al. (2007) ao estudarem a secagem da polpa de umbu-cajá com adição de amido modificado na temperatura de 70 °C, encontraram que o modelo de Cavalcanti Mata apresentou os melhores ajustes com $R^2 \geq 0,956$. FREITAS et al. (2006), ao determinarem a cinética de secagem de fatias de manga cv. espada nas temperaturas de 50 e 60 °C, em secador de bandejas com circulação forçada de ar a uma velocidade de 3,3 m/s obtiveram, também, para o modelo de Page $R^2 > 0,99$. Verifica-se, para o modelo de Page, que o parâmetro n aumentou com o aumento da temperatura; analisando ainda o modelo de Page,

verifica-se que a constante de secagem K diminuiu com o aumento da espessura da camada. Comportamento inverso foi detectado por SILVA et al. (2009b) ao avaliarem o modelo de Page, na secagem de banana maçã em camada fina, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C em secador de leito fixo; nota-se para o modelo de Henderson & Pabis, que os parâmetros K e A aumentaram com o aumento da temperatura, exceto na temperatura de 80 °C com espessura de 1,0 cm; este comportamento também foi encontrado por KAYA et al. (2007) ao estudarem a secagem de maçã nas temperaturas de 35, 45 e 55 °C.

Tabela 4.11 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da Formulação 2, com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, para as diferentes temperaturas avaliadas

| Modelo | Temperatura (°C) | Parâmetro | | | | | R^2 | DQM | |
|----------------------|---------------------|----------------|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|--------|
| | | K | N | A | K | R ² | | | DQM |
| Page | 60 | 0,0016 | 1,2311 | | | | 0,9976 | 0,0264 | |
| | 70 | 0,0012 | 1,3105 | | | | 0,9968 | 0,0291 | |
| | 80 | 0,0019 | 1,3538 | | | | 0,9981 | 0,0498 | |
| Henderson & Pabis | 60 | | | 1,0521 | 0,0058 | | 0,9902 | 0,0421 | |
| | 70 | | | 1,0653 | 0,0066 | | 0,9854 | 0,0482 | |
| | 80 | | | 1,0741 | 0,0108 | | 0,9827 | 0,0498 | |
| Cavalcanti Mata | 60 | A ₁ | b | a ₂ | a ₃ | a ₄ | a ₅ | R^2 | DQM |
| | 60 | 0,618 | 0,002 | 0,130 | 1,025 | 1,199 | -0,652 | 0,9989 | 0,0009 |
| | 70 | 1,015 | 0,001 | 1,283 | 0,623 | 0,244 | -0,650 | 0,9981 | 0,0002 |
| 80 | 0,990 | 0,002 | 1,330 | 0,281 | 0,684 | -0,281 | 0,9990 | 0,0001 | |

Tabela 4.12 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da Formulação 2, com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, para as diferentes temperaturas avaliadas

| Modelo | Temp. (°C) | Parâmetro | | | | | R^2 | DQM |
|--------|---------------|-----------|--------|--|--|--------|--------|-----|
| | | K | N | | | | | |
| Page | 60 | 0,0006 | 1,2427 | | | 0,9966 | 0,0503 | |
| | 70 | 0,0012 | 1,2500 | | | 0,9972 | 0,0295 | |
| | 80 | 0,0009 | 1,2679 | | | 0,9973 | 0,0360 | |

| Modelo | Temp. (°C) | A | K | | | R^2 | DQM |
|----------------------|---------------|--------|--------|--|--|--------|--------|
| | | | | | | | |
| Henderson & Pabis | 60 | 1,0494 | 0,0028 | | | 0,9884 | 0,0693 |
| | 70 | 1,0583 | 0,0049 | | | 0,9898 | 0,0493 |
| | 80 | 1,0549 | 0,0044 | | | 0,9878 | 0,0483 |

| Modelo | Temp. (°C) | a ₁ | b | a ₂ | a ₃ | a ₄ | a ₅ | R^2 | DQM |
|--------|---------------|--------------------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|--------|
| | | Cavalcanti Mata | 60 | 0,447 | 0,001 | 0,160 | 1,038 | | |
| 70 | 0,553 | | 0,001 | 0,360 | 1,018 | 1,210 | -0,575 | 0,9982 | 0,0029 |
| 80 | 0,100 | | 0,001 | 1,031 | 0,972 | 1,198 | -0,080 | 0,9990 | 0,0006 |

Tabela 4.13 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da Formulação 2, com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, para as diferentes temperaturas avaliadas

| Modelo | Temp. (°C) | Parâmetro | | | | | R^2 | DQM | |
|----------------------|---------------|----------------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|--------|
| | | K | | n | | | | | |
| Page | 60 | 0,0008 | | 1,1195 | | | 0,9949 | 0,0454 | |
| | 70 | 0,0009 | | 1,1535 | | | 0,9978 | 0,0398 | |
| | 80 | 0,0006 | | 1,2840 | | | 0,9964 | 0,0398 | |
| Henderson & Pabis | Temp. (°C) | A | | K | | R^2 | DQM | | |
| | | | | | | | | | |
| & Pabis | 60 | 1,0262 | | 0,0019 | | 0,9918 | 0,0547 | | |
| | 70 | 1,0356 | | 0,0024 | | 0,9936 | 0,0537 | | |
| | 80 | 1,0574 | | 0,0034 | | 0,9862 | 0,0552 | | |
| Cavalcanti Mata | Temp. (°C) | a ₁ | b | a ₂ | a ₃ | a ₄ | a ₅ | R^2 | DQM |
| | | | | | | | | | |
| Mata | 60 | 1,175 | 0,002 | 0,940 | -0,780 | 0,341 | 0,612 | 0,9987 | 0,0024 |
| | 70 | 1,040 | 0,001 | 1,089 | 0,117 | 0,302 | -0,162 | 0,9993 | 0,0069 |
| | 80 | 1,083 | 0,002 | 1,131 | 0,484 | 0,376 | -0,563 | 0,9986 | 0,0029 |

Nas Figuras 4.12 a 4.14 se encontram as curvas de cinética de secagem para a formulação 2 para as espessuras da camada de espuma de 0,5; 1,0 e 1,5 cm e temperaturas de 60, 70 e 80 °C, ajustadas para o modelo de Cavalcanti Mata, o qual apresentou os melhores ajustes aos dados experimentais. Observa-se a influência da espessura da camada de espuma sobre as curvas de secagem, em que quanto maior a espessura da camada maior o tempo de secagem. Nota-se que a temperatura de secagem também é um agente influenciador, indicando que, quanto maior a temperatura menor o tempo para ocorrer a secagem; logo, entende-se que os dois parâmetros analisados juntos, influenciam de forma semelhante. AGRA (2006) ao estudar a secagem de fatias de manga na temperatura de 55 °C, encontrou para o modelo de Cavalcanti Mata, ótimo ajuste, com $R^2 = 0,9983$.

Nas Figuras C.7 a C.12 (Apêndice C) tem-se as curvas de cinética de secagem da Formulação 2 com ajustes pelos modelos de Page e Henderson & Pabis, para as espessuras da camada de espuma de 0,5; 1,0 e 1,5 cm e temperaturas de 60, 70 e 80 °C.

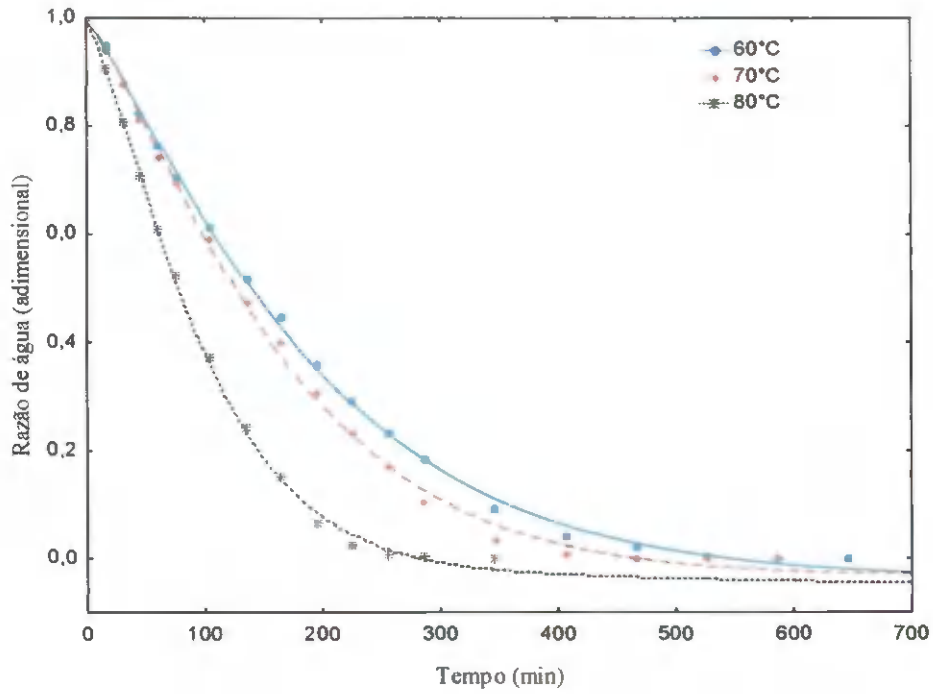


Figura 4.12 - Cinética de secagem da Formulação 2 com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Cavalcanti Mata

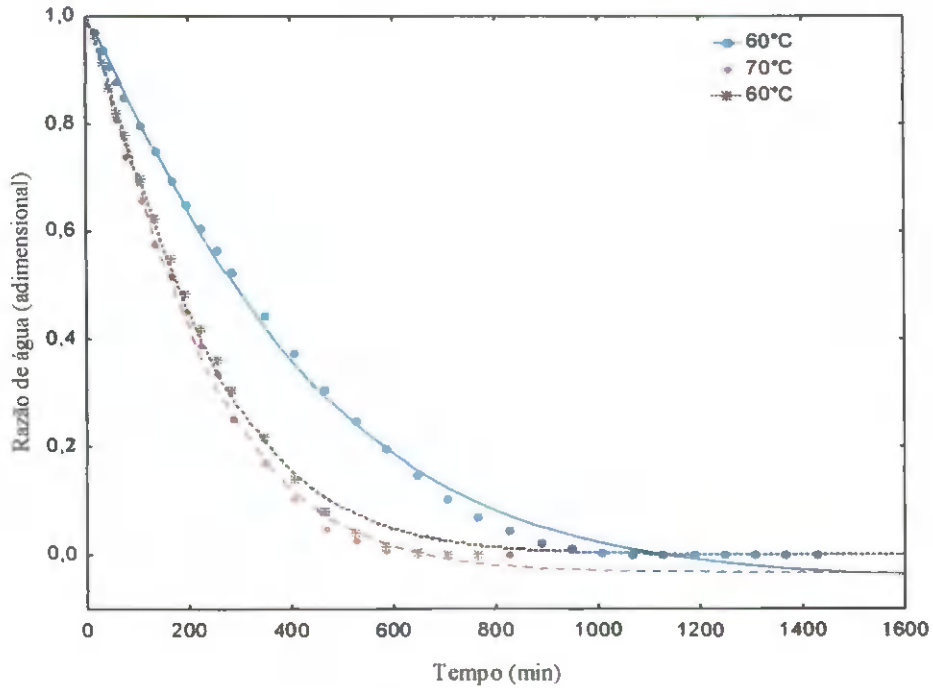


Figura 4.13 - Cinética de secagem da Formulação 2 com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Cavalcanti Mata

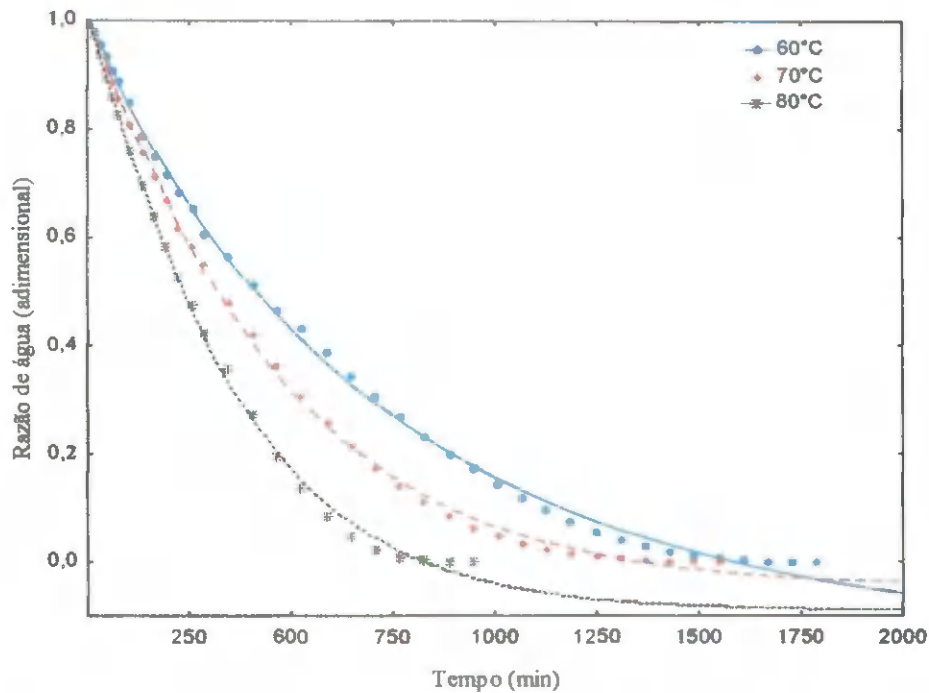


Figura 4.14 - Cinética de secagem da Formulação 2 com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Cavalcanti Mata

Nas Tabelas 4.14 a 4.16 são encontrados os valores estimados dos parâmetros dos modelos de Page, Henderson & Pabis e Cavalcanti Mata ajustados às curvas de secagem da Formulação 3, nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, para as espessuras da camada de espuma de 0,5; 1,0 e 1,5 cm, os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios quadráticos médios (DQM). Verifica-se que todos os modelos podem ser utilizados para representar as curvas de secagem da Formulação 3, visto que apresentaram coeficientes de determinação superiores a 0,98 e desvios quadráticos médios inferiores a 0,07, fato também verificado para as Formulações 1 e 2. GIRALDO-ZUNIGA et al. (2010) verificaram para as curvas de secagem de cupuaçu nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, que o modelo de Page apresentou os melhores ajustes com coeficientes de determinação superiores a 0,996. TORRES et al. (2009) ao avaliarem a secagem de fatias de goiaba, verificaram que o modelo que melhor se ajustou à cinética de secagem foi o de Page com $R^2 \geq 0,993$ e DQM $\leq 0,124$. Verifica-se que os parâmetros K dos modelos de Page e Henderson & Pabis aumentaram com o aumento da temperatura; comportamento semelhante foi verificado por FREITAS et al. (2007) ao estudarem a cinética de secagem de manga em fatias, nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C. Verificou-se que entre os modelos estudados o que apresentou os melhores ajustes foi o de Cavalcanti Mata, com coeficientes de determinação superiores a 0,99 e desvios quadráticos médios inferiores a 0,006. Com isto,

o modelo de Cavalcanti Mata foi considerado como o modelo que melhor se ajustou as curvas de secagem das três Formulações (1, 2 e 3) em todas as condições de temperatura e espessura da camada de espuma. LIMA et al. (2008) ao analisarem acinética da secagem de sementes de algaroba com cápsula nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, também encontraram o modelo de Cavalcanti Mata com os maiores coeficientes de determinação ($R^2 > 0,998$).

Tabela 4.14 – Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da Formulação 3, com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, para as diferentes temperaturas avaliadas

| Modelo | Temp. (°C) | Parâmetro | | | | | R^2 | DQM | |
|----------------------|------------|----------------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|--------|
| | | K | n | | | | | | |
| Page | 60 | 0,0013 | | | | | 0,9954 | 0,0222 | |
| | 70 | 0,0023 | | | | | 0,9976 | 0,0243 | |
| | 80 | 0,0045 | | | | | 0,9968 | 0,0249 | |
| Henderson & Pabis | Temp. (°C) | A | K | | | R^2 | DQM | | |
| | 60 | 1,0754 | | | 0,0073 | 0,9842 | 0,0487 | | |
| | 70 | 1,0547 | | | 0,0086 | 0,9881 | 0,0425 | | |
| | 80 | 1,0392 | | | 0,0122 | 0,9893 | 0,0397 | | |
| Cavalcanti Mata | Temp. (°C) | a ₁ | b | a ₂ | a ₂ | a ₄ | a ₅ | R^2 | DQM |
| | 60 | 0,609 | 0,001 | 0,234 | 1,018 | 1,288 | -0,630 | 0,9961 | 0,0011 |
| | 70 | 0,506 | 0,002 | 1,247 | 0,506 | 1,248 | -0,029 | 0,9988 | 0,0002 |
| | 80 | 0,998 | 0,006 | 1,136 | 0,043 | 1,138 | -0,052 | 0,9988 | 0,0002 |

Tabela 4.15 – Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da Formulação 3, com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, para as diferentes temperaturas avaliadas

| Modelo | Temp. (°C) | Parâmetro | | | | | | R^2 | DQM |
|----------------------|------------|-----------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|
| | | K | | n | | | | | |
| Page | 60 | 0,0007 | | 1,2012 | | | | 0,9951 | 0,0469 |
| | 70 | 0,0012 | | 1,2361 | | | | 0,9939 | 0,0361 |
| | 80 | 0,0010 | | 1,3194 | | | | 0,9957 | 0,0377 |
| | Temp. (°C) | A | | K | | | | R^2 | DQM |
| Henderson & Pabis | 60 | 1,0412 | | 0,0024 | | | | 0,9873 | 0,0565 |
| | 70 | 1,0457 | | 0,0045 | | | | 0,9840 | 0,0438 |
| | 80 | 1,0666 | | 0,0058 | | | | 0,9817 | 0,0498 |
| | Temp. (°C) | a_1 | b | a_2 | a_3 | a_4 | a_5 | R^2 | DQM |
| Cavalcanti Mata | 60 | -1,099 | 0,002 | 0,666 | 1,510 | 0,952 | 0,593 | 0,9986 | 0,0025 |
| | 70 | 0,767 | 0,002 | 1,107 | 0,365 | 1,082 | -0,139 | 0,9985 | 0,0017 |
| | 80 | 1,010 | 0,001 | 1,316 | 0,395 | 0,604 | -0,421 | 0,9979 | 0,0059 |

Tabela 4.16 – Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da Formulação 3, com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, para as diferentes temperaturas avaliadas

| Modelo | Temp. (°C) | Parâmetro | | | | | R^2 | DQM | |
|----------------------|------------|----------------|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|--------|
| | | K | n | | | | | | |
| Page | 60 | 0,0007 | 1,1271 | | | | 0,9909 | 0,0640 | |
| | 70 | 0,0007 | 1,2164 | | | | 0,9980 | 0,0342 | |
| | 80 | 0,0008 | 1,2500 | | | | 0,9967 | 0,0354 | |
| Temp. (°C) | | A | K | | | | R^2 | DQM | |
| Henderson & Pabis | 60 | 1,0284 | 0,0016 | | | | 0,9851 | 0,0572 | |
| | 70 | 1,0474 | 0,0027 | | | | 0,9916 | 0,0565 | |
| | 80 | 1,0563 | 0,0035 | | | | 0,9860 | 0,0512 | |
| Temp. (°C) | | a ₁ | b | a ₂ | a ₃ | a ₄ | a ₅ | R^2 | DQM |
| Cavalcanti Mata | 60 | 1,365 | 0,002 | 0,914 | 0,337 | 0,291 | -0,696 | 0,9988 | 0,0029 |
| | 70 | 1,048 | 0,001 | 1,126 | 0,126 | 0,461 | 0,075 | 0,9991 | 0,0034 |
| | 80 | -0,107 | 0,001 | 0,073 | 1,094 | 1,134 | 0,013 | 0,9992 | 0,0039 |

As Figuras 4.15 a 4.17 apresentam as curvas de cinética de secagem para a Formulação 3 para as espessuras da camada de espuma de 0,5; 1,0 e 1,5 cm e temperaturas de 60, 70 e 80 °C, com ajustes pelo modelo de Cavalcanti Mata, o qual apresentou os melhores ajustes aos dados experimentais. Verifica-se a influência da espessura da camada de espuma sobre as curvas de secagem, em que quanto maior a espessura da camada maior o tempo de secagem, também constatou-se, ainda, que a temperatura de secagem influenciou no processo, observando-se que quanto maior a temperatura menor o tempo para ocorrer a secagem; logo os dois parâmetros influenciam o processo.

Nas Figuras C.13 a C.18 (Apêndice C) tem-se as curvas de cinética de secagem da Formulação 3 com ajustes pelos modelos de Page e Henderson & Pabis, nas espessuras de 0,5; 1,0 e 1,5 cm e temperaturas de 60, 70 e 80 °C.

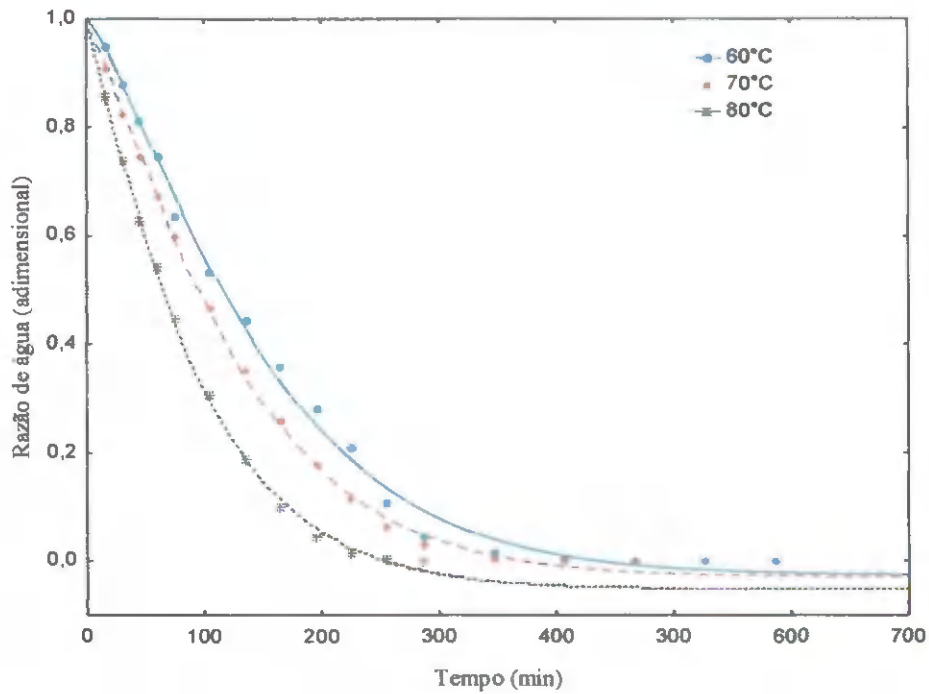


Figura 4.15 - Cinética de secagem da Formulação 3 com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Cavalcanti Mata

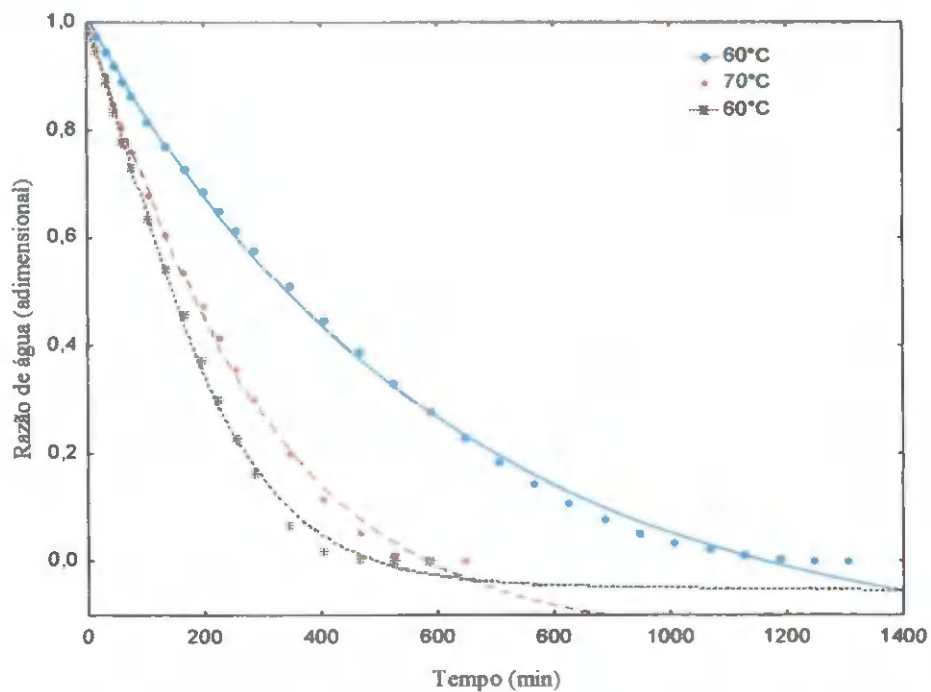


Figura 4.16 - Cinética de secagem da Formulação 3 com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Cavalcanti Mata

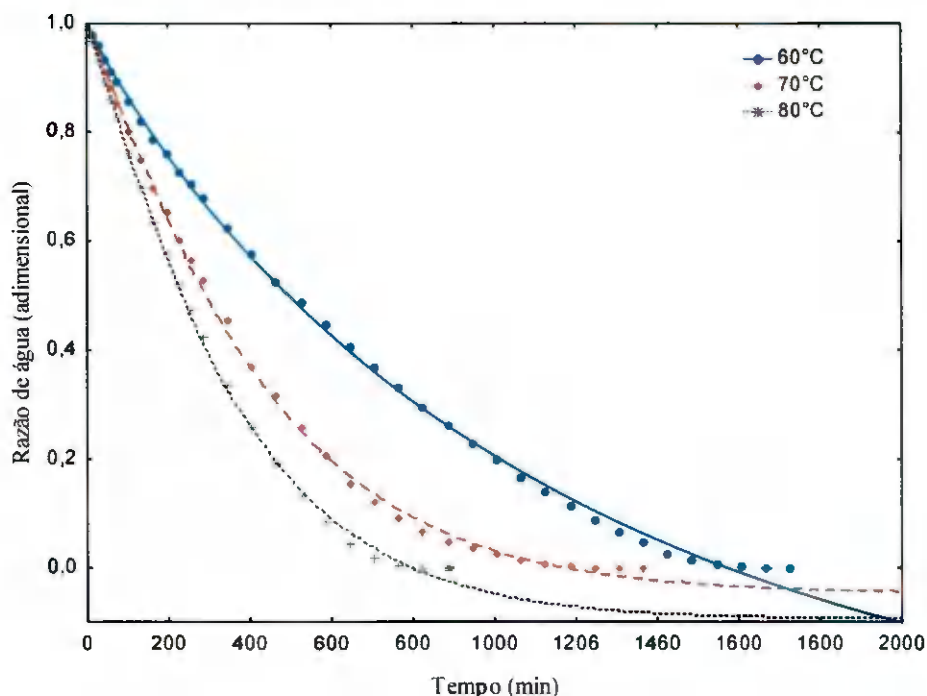


Figura 4.17 - Cinética de secagem da Formulação 3 com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Cavalcanti Mata

4.7 – Planejamento experimental fatorial

As secagens das formulações elaboradas com a polpa de cajá foram realizadas de acordo com um delineamento fatorial 2^3 , com 8 combinações dos níveis +1 e -1 e 3 experimentos no ponto central, totalizando 11 ensaios. Este planejamento teve como objetivo avaliar a influência das variáveis de entrada (independentes): temperatura do ar de secagem, concentração de Emustab e espessura da camada de espuma, sobre as variáveis de resposta (dependentes): umidade, sólidos solúveis totais (°Brix), pH, acidez total titulável, açúcares redutores, açúcares não-redutores e açúcares totais, ácido ascórbico, cinzas, cor (luminosidade, intensidade de vermelho e intensidade de amarelo), atividade de água e rendimento. Os resultados médios experimentais das variáveis de resposta para os 11 ensaios estão apresentados na Tabela D.1 (Apêndice D).

Por meio do programa Statistica 5.0 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). De acordo com TONON (2009) os 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.

4.7.1 – Teor de água

Na Tabela 4.17 estão apresentados os efeitos significativos e os não significativos, os erros padrão, os coeficientes t e grau de significância estatística da concentração de Emustab, espessura da camada de espuma e temperatura de secagem sobre o conteúdo do teor de água durante o processo de secagem em camada de espuma da polpa de cajá. Os efeitos dos fatores lineares e das interações em negrito, são significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$). Os dados foram obtidos considerando-se o erro puro; entretanto, para se conhecer se o modelo de primeira ordem proposto possui significância estatística e se é útil para fazer a estimativa dos dados, deve-se fazer uma análise de variância (ANOVA).

Tabela 4.17 - Efeito estimado, erro, coeficiente t e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real do teor de água

| Fatores | Efeito Estimado | Erro Padrão | t (2) | Significância Estatística (p) |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|
| Concentração (C) | -2,72404 | 0,117669 | -23,1500 | 0,001861 |
| Espessura (E) | -0,63425 | 0,117669 | -5,3901 | 0,032739 |
| Temperatura (T) | -2,95832 | 0,117669 | -25,1410 | 0,001578 |
| Concentração x Espessura | 0,54640 | 0,117669 | 4,6435 | 0,043382 |
| Concentração x Temperatura | 3,12554 | 0,117669 | 26,5622 | 0,001414 |
| Espessura x Temperatura | 0,02190 | 0,117669 | 0,1861 | 0,869540 |

Analisando os valores dos efeitos estimados observa-se que a temperatura de secagem foi um dos fatores que mais influenciaram no teor de água final do produto em pó (maior valor), seguida da concentração de Emustab e depois pela espessura da camada de espuma (menor valor). A temperatura, a concentração (Emustab) e a espessura da camada

de espuma apresentaram efeitos negativos, ou seja, quanto maior a temperatura, a concentração de Emustab e a espessura da camada de espuma implicam na produção de pós com teores de água menores. Em relação às interações, constata-se que as interações concentração x espessura e concentração x temperatura foram significativas com valores de p de 0,043382 e 0,001414, respectivamente, isto é, $p \leq 0,05$ correspondendo a um efeito significativo a 95% de confiança. A interação espessura x temperatura não foi significativa a 95% de confiança, com o valor superior a 0,05. Das interações significativas, a concentração x temperatura teve efeito maior sobre a umidade do que a interação concentração x espessura.

A Figura 4.18 mostra o diagrama de Pareto, no qual é possível visualizar a influência dos fatores estudados e suas interações no teor de água. Os efeitos são representados pelas colunas enquanto a linha transversal às colunas representa os efeitos com significado estatístico com $p = 0,05$, ou seja, os fatores que são estatisticamente significativos a nível de 95 % de confiança. Observa-se que a interação concentração x temperatura foi o que influenciou de forma mais significativa, atingindo um efeito estimado de aproximadamente 26,56. Em seguida as variáveis temperatura de secagem, concentração de Emustab, espessura da camada de espuma e a interação concentração x espessura também se mostram significativos seguindo a ordem de influência, assim, é possível verificar concordância com os dados estudados de cinética.

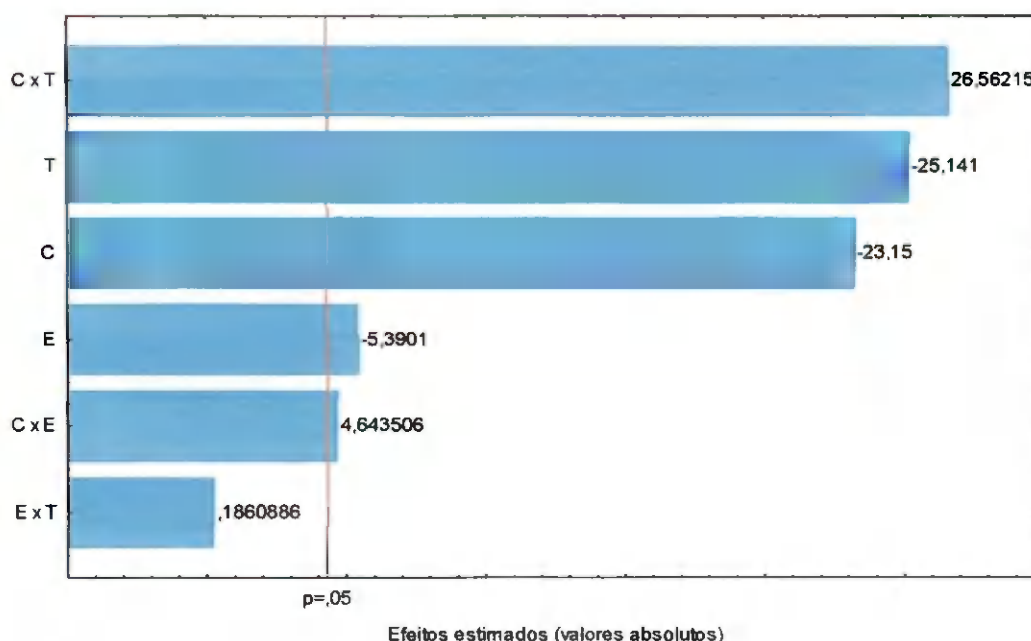


Figura 4.18 – Diagrama de Pareto do teor de água

Através dos dados obtidos pelo planejamento fatorial do teor de água das amostras em pó foi feita a regressão de primeira ordem desses dados experimentais, em função da concentração de Emustab, espessura da camada de espuma e temperatura de secagem e das interações entre concentração de Emustab e espessura da camada de espuma, e concentração de Emustab e temperatura de secagem, gerando o modelo empírico (Equação 4.1). Como visto anteriormente, apenas a interação espessura x temperatura não foi significativa, os outros fatores e interações foram todos significativos a 95% de confiança.

$$TA = 11,86 - 1,362C - 0,317E - 1,479T + 0,273C.E + 1,563C.T \quad (4.1)$$

onde:

TA - teor de água (%)

C – concentração de Emustab (%)

E – espessura da camada de espuma (cm)

T – temperatura de secagem (°C)

Eliminando-se os fatores não significativos (interação espessura x temperatura) verifica-se, na análise de variância (Tabela 4.18), a significância da regressão e falta de ajuste a nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$), pelo teste F. Através da análise de variância do teor de água das amostras em pó, verifica-se que o valor de $F_{\text{calculado}}$ foi maior que o valor do F_{tabelado} e o valor da sua razão destes foi de aproximadamente 1,2 para o nível de 95% de confiança. Assim, de acordo com o teste F, o modelo de primeira ordem do teor de água foi estatisticamente significativo mas não preditivo vez que, segundo 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 coeficiente de determinação (R^2) para o modelo ajustado foi de 0,8562, indicando que o modelo explicou 85,62% da variação dos dados observados. TONON (2009) ao estudar a secagem da polpa de açaí em secador por aspersão (spray drying) avaliou, através do planejamento fatorial, que o teor de água foi estatisticamente significativo e preditivo com o modelo de primeira ordem, apresentando R^2 superior a 0,906.

Tabela 4.18 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para teor de água

| | SQ | GL | MQ | F _{calculado} | F _{tabelado*} |
|-----------------|---------|----|---------|------------------------|------------------------|
| Regressão | 53,2837 | 5 | 10,6567 | 5,9518 | 5,05 |
| Resíduo | 8,9525 | 5 | 1,7905 | | |
| Falta de ajuste | 8,8971 | 3 | 2,9657 | 107,0957 | 19,16 |
| Erro puro | 0,0554 | 2 | 0,0277 | | |
| Total | 62,2362 | 10 | | | |

R² = 85,62%; *Valores tabelados de F a p ≤ 0,05; SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

A Figura 4.19 apresenta a superfície de resposta para o teor de água das amostras em pó, relacionando: (a) concentração × espessura, para a temperatura de secagem de 70 °C (ponto central); (b) concentração × temperatura, para uma espessura da camada de espuma de 1,0 cm (ponto central), geradas através do modelo proposto. Avaliando-se os comportamentos obtidos das superfícies de resposta verifica-se, na Figura 4.19 (a), que o maior teor de água (16,31%) foi encontrado na menor concentração de Emustab e espessura da camada de espuma e o menor teor de água (10%) encontrado foi na maior concentração de Emustab e maior espessura da camada de espuma. E este comportamento acontece em razão de que com o aumento da concentração de Emustab ocorre a redução da massa específica o que acarreta um menor teor de água. Analisando a Figura 4.19 (b) observa-se que o maior valor estimado de teor de água (22%) encontrado foi na menor temperatura e maior concentração de Emustab e o menor teor de água (8%) foi verificado na maior temperatura e menor concentração de Emustab. Os comportamentos diferentes encontrados para as diferentes condições de secagem eram esperados, já que as secagens foram realizadas até peso constante.

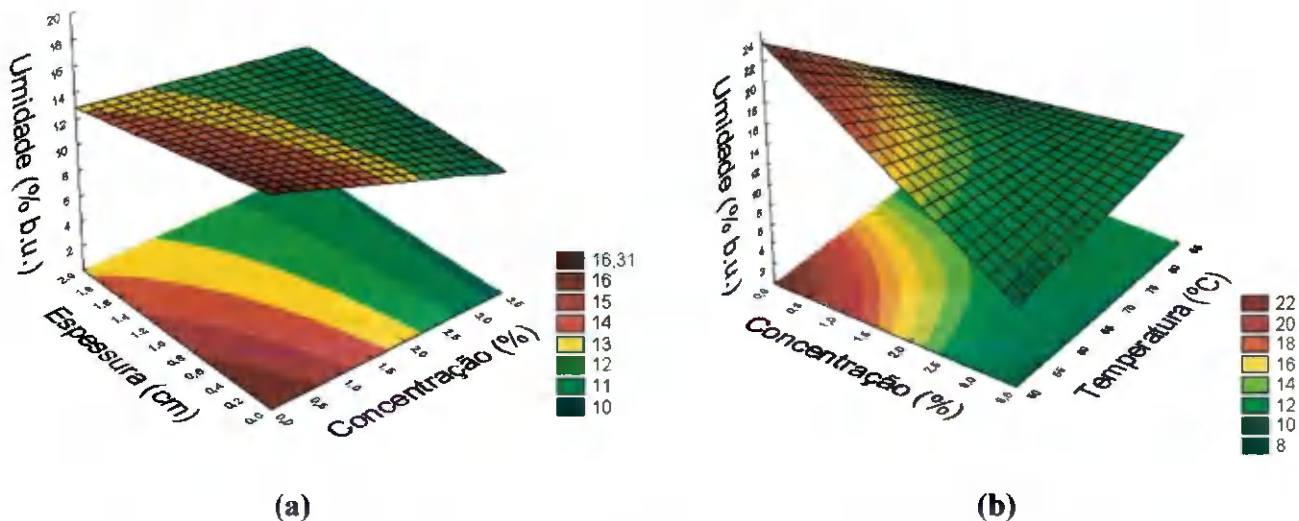


Figura 4.19 - Superfícies de resposta para teor de água, relacionando-se: (a) concentração × espessura, para a temperatura de secagem de 70 °C; (b) concentração × temperatura, para a espessura da camada de espuma de 1,0 cm

De acordo com a Tabela D.1 (Apêndice D), o teor de água dos pós variou entre 9,73 e 16,99% b.u.; valores semelhantes foram obtidos por SILVA et al. (2005a) ao produzirem umbu-cajá em pó, seco em camada de espuma, com teor de água em torno de 16% b.u.

4.7.2 – Sólidos solúveis totais (°Brix)

Na Tabela 4.19 se observam os efeitos significativos e os não significativos, o erro, o coeficiente t e grau de significância estatística da concentração de Emustab, espessura da camada de espuma, temperatura de secagem e interações de secagem, sobre os sólidos solúveis totais (°Brix) durante o processo de secagem em camada de espuma da polpa de cajá, quando os pós foram diluídos para determinação dos sólidos solúveis totais. Observa-se que os efeitos dos sólidos solúveis totais não foram significativos a 95% de confiança, onde apresentaram significância estatística superiores a 0,05. Este comportamento pode ser melhor observado na Figura 4.20, na qual se apresenta o diagrama de Pareto, o qual indica que nenhum dos parâmetros foi significativo.

Tabela 4.19 - Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para sólidos solúveis totais

| Fatores | Efeito Estimado | Erro Padrão | t (2) | Significância Estatística (p) |
|----------------------------|-----------------|-------------|-------|-------------------------------|
| Concentração (C) | 0,00188 | 0,001871 | 1,00 | 0,421792 |
| Espessura (E) | -0,00675 | 0,001871 | -3,61 | 0,068966 |
| Temperatura (T) | 0,00350 | 0,001871 | 1,87 | 0,202276 |
| Concentração x Espessura | -0,00688 | 0,001871 | -3,67 | 0,066724 |
| Concentração x Temperatura | 0,00288 | 0,001871 | 1,54 | 0,264165 |
| Espessura x Temperatura | -0,00150 | 0,001871 | -0,80 | 0,506803 |

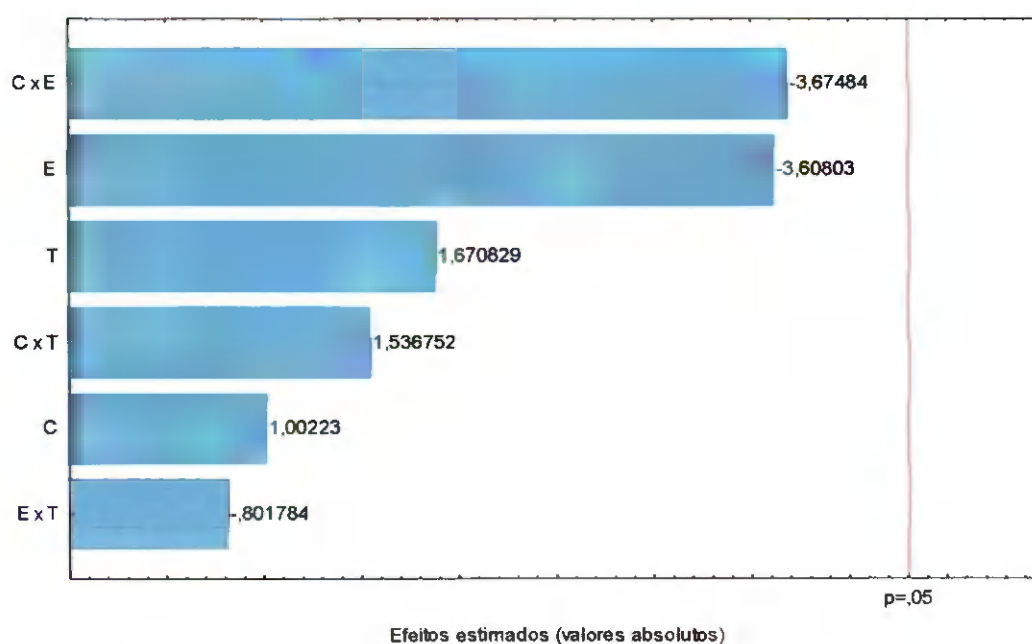


Figura 4.20 – Diagrama de Pareto dos sólidos solúveis totais (°Brix)

Na Tabela 4.20 onde é encontrada a análise de variância dos sólidos solúveis totais, constata-se, como já foi referido, que os parâmetros estudados não foram significativos. Pode-se verificar este fato observando que o $F_{\text{calculado}}$ foi inferior ao F_{tabelado} . Também se observa que o coeficiente de determinação ($R^2 = 49,11\%$) não indicou boa precisão, fatos que podem ter ocorrido em virtude da metodologia utilizada não ter sido a mais adequada.

Tabela 4.20 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para sólidos solúveis totais

| | SQ | GL | MQ | F _{calculado} | F _{tabelado*} |
|-----------------|----------|----|----------|------------------------|------------------------|
| Regressão | 0,000238 | 6 | 0,000040 | 0,6434 | 6,16 |
| Resíduo | 0,000247 | 4 | 0,000062 | | |
| Falta de ajuste | 0,000233 | 2 | 0,000116 | 16,6313 | 19 |
| Erro puro | 0,000014 | 2 | 0,000007 | | |
| Total | 0,000485 | 10 | | | |

R² = 49,11%; *Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$; SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

Observando os dados da Tabela D.1 (Apêndice D), os sólidos solúveis totais dos pós foram de aproximadamente 30,02 °Brix. Valor superior foi encontrado por SOARES et al. (2001) ao avaliarem o pó de acerola seco em camada de espuma, quando então obtiveram sólidos solúveis totais de 62,30 °Brix.

4.7.3 – pH

Na Tabela 4.21 estão os efeitos estimados, erros, coeficientes *t* e graus de significância estatística para cada fator no modelo real para o pH dos pós estudados. Verifica-se que a concentração, espessura e temperatura, que se encontram em negrito, foram significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$).

Tabela 4.21 - Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para o pH

| Fatores | Efeito Estimado | Erro Padrão | t (2) | Significância Estatística (p) |
|----------------------------|-----------------|-----------------|---------------|-------------------------------|
| Concentração (C) | 0,015556 | 0,002526 | 6,159 | 0,025362 |
| Espessura (E) | 0,040000 | 0,002526 | 15,838 | 0,003963 |
| Temperatura (T) | 0,012222 | 0,002526 | 4,839 | 0,040146 |
| Concentração x Espessura | -0,007222 | 0,002526 | -2,860 | 0,103626 |
| Concentração x Temperatura | -0,008333 | 0,002526 | -3,300 | 0,080867 |
| Espessura x Temperatura | -0,001667 | 0,002526 | -0,660 | 0,577143 |

Na Figura 4.21 se encontra o diagrama de Pareto sendo possível verificar que o parâmetro espessura, foi o fator que mais influenciou no pH final do produto, seguido de concentração e depois da temperatura. Observa-se também que as interações não foram significativas.

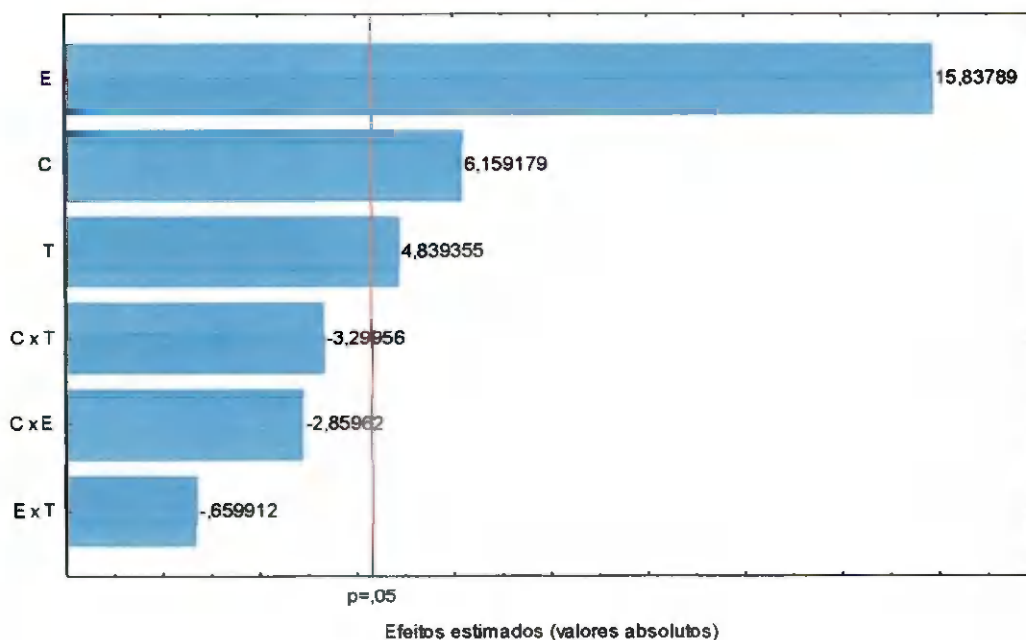


Figura 4.21 – Diagrama de Pareto do pH

Através dos dados obtidos pelo planejamento experimental fatorial do pH das amostras em pó, foi feita a regressão linear desses dados experimentais em função da concentração de Emustab, espessura da camada de espuma e temperatura de secagem, os quais foram significativos a 95% de confiança, obtendo-se o modelo de primeira ordem (Equação 4.2).

$$\text{pH} = 2,588 + 0,078C + 0,020E + 0,006T \quad (4.2)$$

onde:

C – concentração de Emustab (%)

E – espessura da camada de espuma (cm)

T – temperatura de secagem (°C)

Uma vez feita a avaliação dos efeitos e se eliminando os parâmetros que não foram significativos observa-se, na Tabela 4.22, a qual apresenta a ANOVA, que o valor do

$F_{\text{calculado}}$ foi maior que o valor do F_{tabelado} e o valor da razão foi de aproximadamente 1,82 para o nível de 95% de confiança. Assim como já citado anteriormente que para ser preditivo a razão entre o $F_{\text{calculado}}$ e o F_{tabelado} , deve ser no mínimo maior que 4, logo de acordo com o teste F, o modelo de primeira ordem do pH foi estatisticamente significativo, mas não preditivo. O coeficiente de determinação (R^2) encontrado foi de 77,25% o que indica uma razoável precisão. LINS (2010) ao estudar o desenvolvimento de fruta estruturada a partir da polpa de cajá (genótipo IPA 11.2), verificou que o modelo de primeira ordem ajustado para o pH da fruta estruturada foi considerado preditivo por apresentar regressão significativa e falta de ajuste não significativa (95% de confiança), além de $R^2 = 91\%$.

Tabela 4.22 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para pH

| | SQ | GL | MQ | $F_{\text{calculado}}$ | F_{tabelado}^* |
|-----------------|---------|----|----------|------------------------|-------------------------|
| Regressão | 0,00398 | 3 | 0,001328 | 7,922 | 4,35 |
| Resíduo | 0,00117 | 7 | 0,000168 | | |
| Falta de ajuste | 0,00115 | 5 | 0,000230 | 17,991 | 19,3 |
| Erro puro | 0,00003 | 2 | 0,000013 | | |
| Total | 0,00516 | 10 | | | |

$R^2 = 77,25\%$; *Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$; SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

Na Tabela D.1 (Apêndice D), verifica-se que o pH dos pós variaram entre 2,55 e 2,62, valores inferiores foram obtidos por GOMES et al. (2002) ao estudarem a polpa de acerola em pó com a dição de maltodextrina, seco em secador do tipo leito de jorro, obtive pH igual a 3,82.

4.7.4 – Acidez total titulável

Na Tabela 4.23 estão apresentados os efeitos estimados, erros, coeficientes t e graus de significância estatística, para cada fator do modelo empírico com os valores reais para a acidez total titulável dos pós estudados; verifica-se que a espessura, temperatura e a interação espessura x temperatura, que se encontram em negrito, foram significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$); entretanto, a concentração e as outras interações não foram significativas.

Tabela 4.23 - Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para acidez total titulável

| Fatores | Efeito Estimado | Erro Padrão | t (2) | Significância Estatística (p) |
|--------------------------------|------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|
| Concentração (C) | 0,000284 | 0,014541 | 0,020 | 0,986187 |
| Espessura (E) | -0,461257 | 0,014541 | -31,721 | 0,000992 |
| Temperatura (T) | -0,313923 | 0,014541 | -21,589 | 0,002139 |
| Concentração x Espessura | 0,041454 | 0,014541 | 2,851 | 0,104169 |
| Concentração x Temperatura | -0,000136 | 0,014541 | -0,009 | 0,993367 |
| Espessura x Temperatura | 0,251256 | 0,014541 | 17,279 | 0,003333 |

Na Figura 4.22 se encontra o diagrama de Pareto, no qual é possível verificar que o parâmetro, espessura da camada de espuma, foi o fator que mais influenciou na acidez total titulável final do produto, seguido da temperatura de secagem e depois pela interação espessura da camada de espuma x temperatura de secagem; observa-se, também, que os parâmetros concentração de Emustab e as interações concentração de Emustab x espessura da camada e concentração de Emustab x temperatura de secagem, não foram significativas.

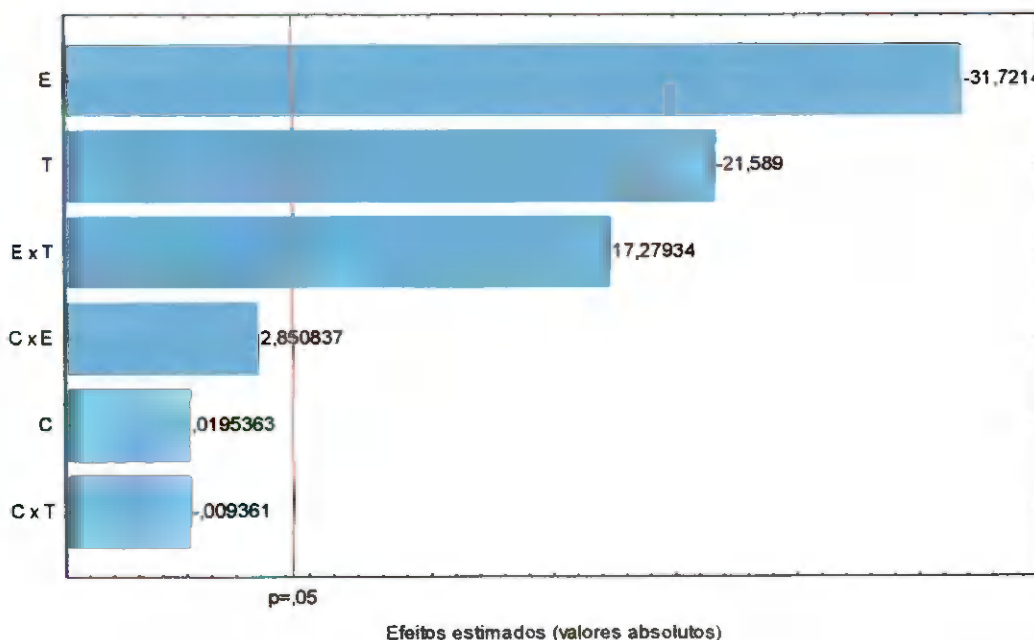


Figura 4.22 – Diagrama de Pareto da acidez total titulável

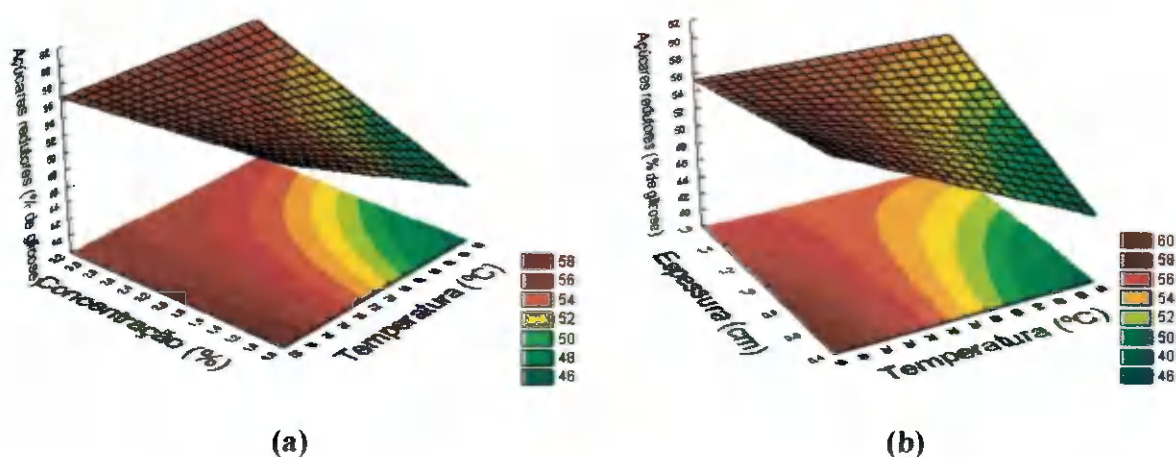


Figura 4.25 - Superfícies de resposta para açúcares redutores, relacionando-se: (a) concentração × temperatura, para a espessura da camada de espuma de 1,0 cm (ponto central); (b) espessura × temperatura, para uma concentração de 2% de Emustab (ponto central = Formulação 2)

Observou-se, na Tabela D.1, que o valor mínimo encontrado para açúcares redutores foi de 40,43% de glicose e o valor máximo foi de 60,65% de glicose, faixa esta inferior ao valor encontrado após a secagem, por GALDINO et al. (2003) para a polpa de umbu em pó, produzida pelo método de secagem em camada de espuma na temperatura de 70 °C, que foi para os açúcares redutores, foi de 96,39% de glicose.

4.7.6 – Açúcares totais

Na Tabela 4.27 tem-se os efeitos estimados, erros, coeficientes t e graus de significância estatística, para cada fator no modelo real para açúcares totais. Observa-se, dentre os parâmetros estudados que, a concentração, a temperatura e a interação espessura x temperatura, apresentaram significância a 95% de confiança com valores de p inferiores a 0,05. No entanto os outros fatores não foram significativos.

Tabela 4.27 - Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para açúcares totais

| Fatores | Efeito Estimado | Erro Padrão | t (2) | Significância Estatística (p) |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|-------------------------------|
| Concentração (C) | 3,45580 | 0,548165 | 6,3043 | 0,024249 |
| Espessura (E) | -1,37947 | 0,548165 | -2,5165 | 0,128228 |
| Temperatura (T) | 5,58182 | 0,548165 | 10,1827 | 0,009507 |
| Concentração x Espessura | -1,29623 | 0,548165 | -2,3647 | 0,141772 |
| Concentração x Temperatura | 0,42259 | 0,548165 | 0,7709 | 0,521376 |
| Espessura x Temperatura | 3,89981 | 0,548165 | 7,1143 | 0,019191 |

Na Figura 4.26, no qual encontra-se o diagrama de Pareto para a avaliação dos açúcares totais, é possível visualizar de melhor forma os parâmetros que foram estatisticamente significativos a 95% de confiança ($p = 0,05$). Dentre os que foram significativos observa-se que a temperatura foi o fator que mais influenciou, da mesma forma que aconteceu com os açúcares redutores. Além deste parâmetro, a interação espessura x temperatura e concentração também foram significativos.

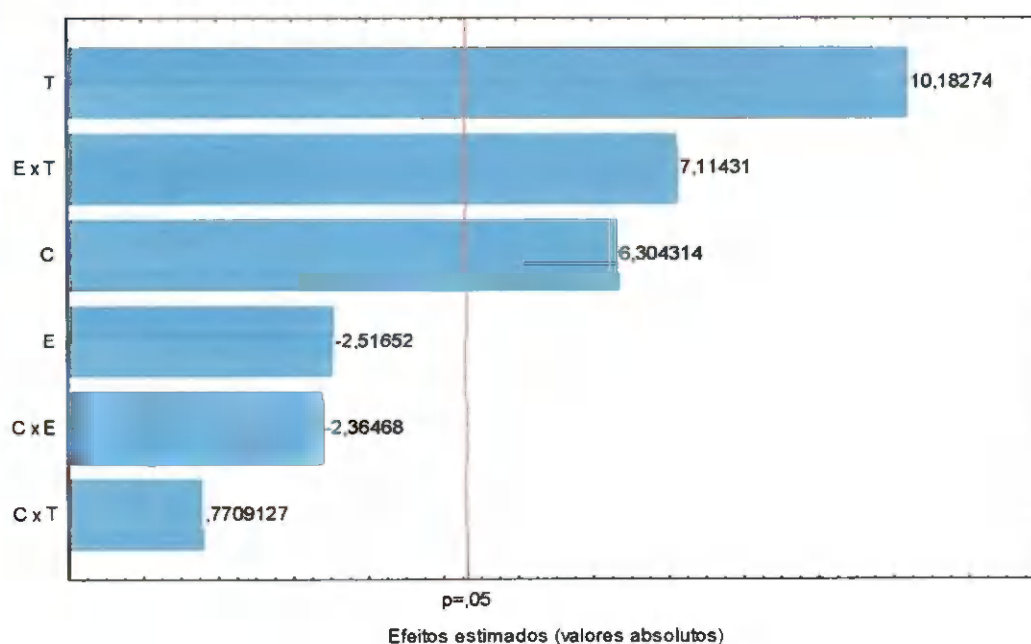


Figura 4.26 – Diagrama de Pareto dos açúcares totais

A partir dos dados obtidos pelo planejamento fatorial dos açúcares totais das amostras em pó (Formulações 1, 2 e 3) foi feita a regressão linear desses dados experimentais, em função da concentração de Emustab, temperatura de secagem e da interação espessura da camada de espuma x temperatura de secagem, os quais foram significativos a 95% de confiança obtendo-se o modelo empírico da Equação 4.5.

$$AT = 63,462 + 1,728C + 2,791T + 1,950ET \quad (4.5)$$

onde:

AT – açúcares totais (% glicose)

C – concentração de Emustab (%)

E – espessura da camada de espuma (cm)

T – temperatura de secagem (°C)

Na Tabela 4.28 encontra-se a análise de variância do modelo ajustado para açúcares totais. Avaliando os dados observa-se que o $F_{\text{calculado}}$ foi inferior ao F_{tabelado} para o nível de 95% de confiança, logo de acordo com o teste F, o modelo de primeira ordem dos açúcares totais não foi estatisticamente significativo a 95% de confiança, o que também foi comprovado ao se observar o coeficiente de determinação o qual foi de 64,29%.

Tabela 4.28 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para açúcares totais

| | SQ | GL | MQ | $F_{\text{calculado}}$ | F_{tabelado}^* |
|-----------------|----------|----|---------|------------------------|-------------------------|
| Regressão | 116,6157 | 3 | 38,8719 | | |
| Resíduo | 64,7845 | 7 | 9,2549 | 4,20013069 | 4,35 |
| Falta de ajuste | 63,5825 | 5 | 12,7165 | | |
| Erro puro | 1,2019 | 2 | 0,6010 | 21,1599962 | 19,3 |
| Total | 181,4002 | 10 | | | |

$R^2 = 64,29\%$; *Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$. SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

Na Figura 4.27 encontra-se a superfície de resposta para açúcares totais, relacionando a espessura x temperatura, para a concentração de 2% de Emustab (ponto central – Formulação 2). Analisando-a, observa-se que o maior valor encontrado para os açúcares totais (66% de glicose) foi encontrado na menor espessura e maior temperatura, enquanto que a menor quantidade de açúcares totais (60% de glicose) foi encontrado na

maior espessura e menor temperatura. Assim, verifica-se que com o aumento da temperatura e a redução da espessura encontra-se a maior quantidade de açúcar total.

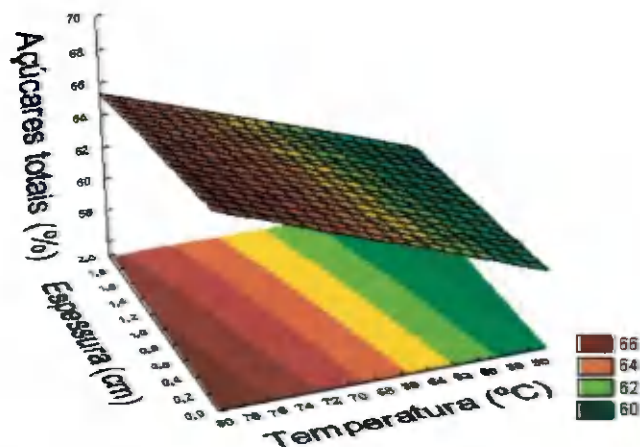


Figura 4.27 - Superfície de resposta para açúcares totais, relacionando-se espessura x temperatura, para uma concentração de 2% de Emustab (ponto central – Formulação 2)

Analisando os valores médios de açúcares totais encontrados na Tabela D.1 observa-se que os valores variaram entre 56,02 e 71,10% de glicose; valor inferior foi encontrado por CAMARGO et al. (2008) ao estudarem a desidratação da polpa do maracujá azedo com 1% de emulsificante, 1% de espessante e 2% de farinha da casca de maracujá-amarelo, pelo método de secagem em camada de espuma a 35 °C, que foi de 40,09% de glicose.

4.7.7 – Açúcares não-redutores

Na Tabela 4.29 se apresentam os efeitos estimados, erros, coeficientes *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para os açúcares não-redutores; observa-se que todos os parâmetros estudados foram estatisticamente significativas a 95% de confiança ($p < 0,05$). Observa-se que o efeito estimado para a espessura apresentou um valor negativo o que indica que quanto maior a espessura menor será a quantidade de açúcares não-redutores no produto.

Tabela 4.29 - Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para açúcares não-redutores

| Fatores | Efeito Estimado | Erro Padrão | t (2) | Significância Estatística (p) |
|----------------------------|-----------------|-------------|----------|-------------------------------|
| Concentração (C) | 0,54496 | 0,000175 | 3113,2 | 0,000 |
| Espessura (E) | -2,33752 | 0,000175 | -13353,4 | 0,000 |
| Temperatura (T) | -1,14369 | 0,000175 | -6533,5 | 0,000 |
| Concentração x Espessura | -3,32910 | 0,000175 | -19017,9 | 0,000 |
| Concentração x Temperatura | 4,41616 | 0,000175 | 25227,8 | 0,000 |
| Espessura x Temperatura | 7,72350 | 0,000175 | 44121,4 | 0,000 |

Na Figura 4.28 é possível verificar de melhor forma, através do diagrama de Pareto para açúcares não-redutores, que a interação espessura x temperatura foi o parâmetro que mais influenciou no produto. Também verifica-se que todos os parâmetros e suas interações foram significativos a 95% de confiança.

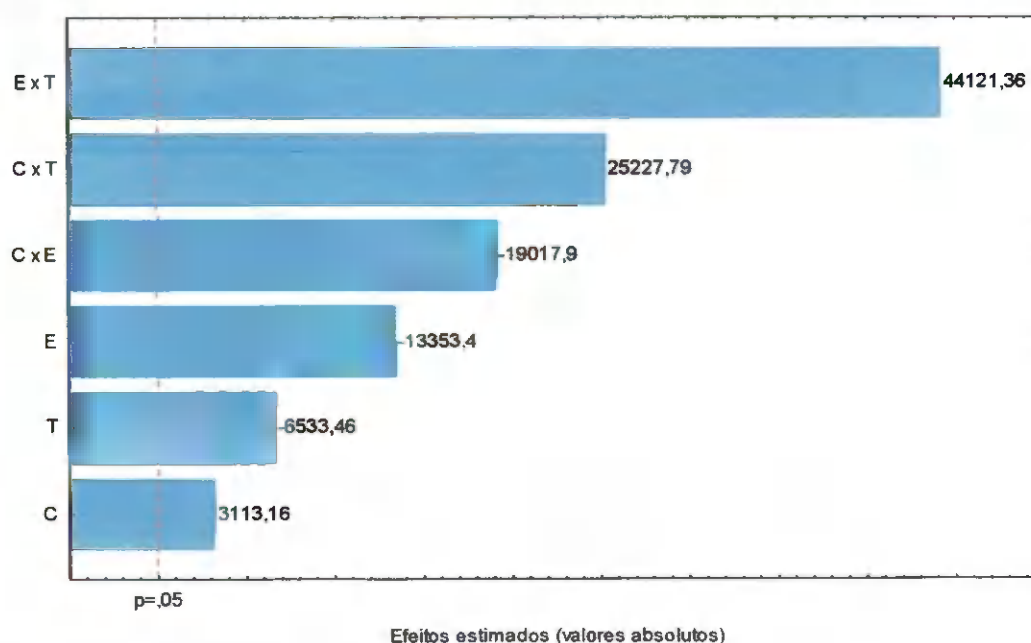


Figura 4.28 – Diagrama de Pareto dos açúcares não-redutores

Através dos dados obtidos pelo planejamento fatorial dos açúcares não-redutores das amostras do pó (Formulações 1, 2 e 3) foi feita a regressão linear desses dados

experimentais, em função de todos os fatores e suas interações significativas a 95% de confiança obtendo o modelo empírico da Equação 4.6.

$$\text{ANR} = 9,165 + 0,272C - 1,169E - 0,572T - 1,664C.E + 2,208C.T + 3,862E.T \quad (4.6)$$

onde:

ANR – açúcares não-redutores (% sacarose)

C – concentração de Emustab (%)

E – espessura da camada de espuma (cm)

T – temperatura de secagem (°C)

Na Tabela 4.30 é apresentada a análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para açúcares não-redutores. Verifica-se que o valor foi $F_{\text{calculado}}$ foi inferior ao F_{tabelado} , para o nível de 95% de confiança, assim de acordo com o teste F, o modelo de primeira ordem proposto para açúcares não-redutores, não foi estatisticamente significativo a 95% de confiança, o que também pode ser observado ao se avaliar o coeficiente de determinação, o qual foi inferior a 64%.

Tabela 4.30 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para os açúcares não-redutores

| | SQ | GL | MQ | $F_{\text{calculado}}$ | F_{tabelado}^* |
|-----------------|----------|----|---------|------------------------|-------------------------|
| Regressão | 194,6136 | 6 | 32,4356 | 1,663675 | 6,16 |
| Resíduo | 116,9781 | 4 | 29,2445 | | |
| Falta de ajuste | 116,9781 | 2 | 58,4890 | - | 19,00 |
| Erro puro | 0,000 | 2 | 0,000 | | |
| Total | 311,5917 | 10 | | | |

$R^2 = 63,14\%$; *Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$. SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

A Figura 4.29 apresenta as superfícies de resposta para os açúcares não-redutores, relacionando-se: (a) concentração × espessura, para 70 °C de temperatura (ponto central); (b) concentração × temperatura, para uma espessura de 1,0 cm (ponto central); (c) espessura x temperatura, para uma concentração de 2% de Emustab (ponto central = Formulação 2). Como analisado anteriormente no diagrama de Pareto, ficou patente que a interação espessura x temperatura foi o parâmetro que mais influenciou na resposta, este fato pode ser visto na superfície de resposta, Figura 4.29(c), em que o maior valor encontrado para açúcares não-redutores (18% de sacarose) ocorreu na menor espessura e

menor temperatura enquanto o menor valor encontrado para açúcares não-redutores (4% de sacarose) foi na maior espessura e menor temperatura. Avaliando as Figuras 4.29 (a) e (b) nota-se a influência da espessura e da temperatura.

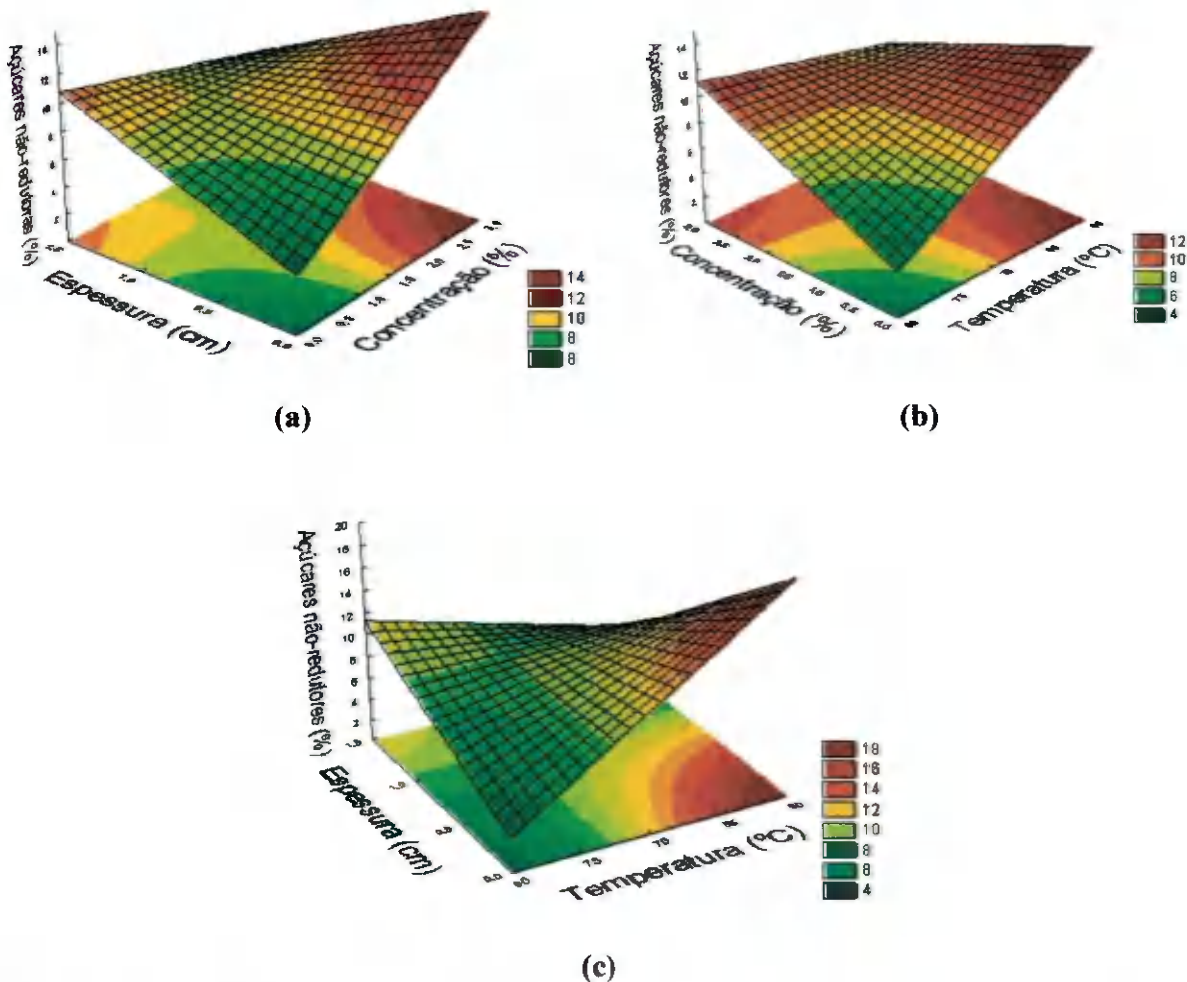


Figura 4.29 - Superfícies de resposta para açúcares não-redutores, relacionando-se: (a) concentração × espessura, para a temperatura de secagem de 70 °C (ponto central); (b) concentração × temperatura, para a espessura da camada de espuma de 1,0 cm (ponto central); (c) espessura x temperatura, para uma concentração de 2% de Emustab (ponto central)

Avaliando-se a Tabela D.1 observa-se que os valores médios obtidos de açúcares não-redutores se situaram entre 3,01 e 16,94% de sacarose. BASTOS et al. (2005), ao secarem polpa de manga “Tomy Atkins” pelo método de secagem em camada de espuma nas temperaturas de 70 e 85 °C verificaram que houve uma tendência de aumento de

açúcares redutores com o aumento da temperatura, valores estes que foram de 5,62 e 5,83 g sacarose 100 g⁻¹.

4.7.8 – Ácido ascórbico

Na Tabela 4.31 se acham os efeitos estimados, erros, coeficientes *t* e graus de significância estatística, para cada fator no modelo real para ácido ascórbico. Analisando-os, é possível verificar que todos os fatores e suas interações apresentaram significância a 95% de confiança com valores de *p* inferiores a 0,05. Constatou-se, daí, que a quantidade de ácido ascórbico sofre facilmente modificação com alteração de qualquer um desses fatores apresentados.

Tabela 4.31 - Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para ácido ascórbico

| Fatores | Efeito Estimado | Erro Padrão | t (2) | Significância Estatística (p) |
|----------------------------|-----------------|-------------|----------|-------------------------------|
| Concentração (C) | 0,57220 | 0,010158 | 56,331 | 0,000315 |
| Espessura (E) | -2,49602 | 0,010158 | -245,724 | 0,000017 |
| Temperatura (T) | 1,56611 | 0,010158 | 154,178 | 0,000042 |
| Concentração x Espessura | -0,52994 | 0,010158 | -52,171 | 0,000367 |
| Concentração x Temperatura | -0,54926 | 0,010158 | -54,073 | 0,000342 |
| Espessura x Temperatura | 6,52396 | 0,010158 | 642,259 | 0,000002 |

Na Figura 4.30 apresenta-se o diagrama de Pareto do ácido ascórbico, no qual é possível verificar que todos os fatores e suas interações foram significativos; no entanto, o que apresentou maior influência foi a interação espessura x temperatura.

Tabela 4.32 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para ácido ascórbico

| | SQ | GL | MQ | F _{calculado} | F _{tabelado*} |
|-----------------|-----------|----|---------|------------------------|------------------------|
| Regressão | 104,3096 | 6 | 17,3849 | | |
| Resíduo | 3,9141 | 4 | 0,9785 | 17,7663152 | 6,16 |
| Falta de ajuste | 3,91372 | 2 | 1,9569 | | |
| Erro puro | 0,00041 | 2 | 0,0002 | 9482,60237 | 19 |
| Total | 108,22374 | 10 | | | |

R² = 96,38%; *Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$. SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

Na Figura 4.31 se apresentam as superfícies de resposta para ácido ascórbico, relacionando: (a) concentração × espessura, para a temperatura de 70 °C (ponto central); (b) concentração × temperatura, para uma espessura de 1,0 cm (ponto central); (c) espessura x temperatura, para uma concentração de 2% de Emustab (ponto central). Observa-se na Figura 4.31(a) que os maiores valores encontrados de ácido ascórbico (22,75 mg/100 g) foram na menor espessura e maior concentração, e os menores valores de ácido ascórbico (17 mg/100 g) foram na maior espessura e em todas as concentrações, avaliando-se assim que a espessura influenciou mais que a concentração. Na Figura 4.31(b) nota-se a influência da temperatura, onde com maiores temperaturas encontraram-se os maiores valores de ácido ascórbico. Avaliando a Figura 4.31(c), observa-se que a interação temperatura x espessura foi o fator que mais influenciou no resultado obtido, onde o menor valor encontrado foi obtido na maior espessura e menor temperatura de secagem. SOARES (2009) ao avaliar a secagem de araçá-boi com adição de diferentes aditivos e em diferentes teores de concentração, observou que o ácido ascórbico, aumenta, dependendo do agente espumante e do teor deste.

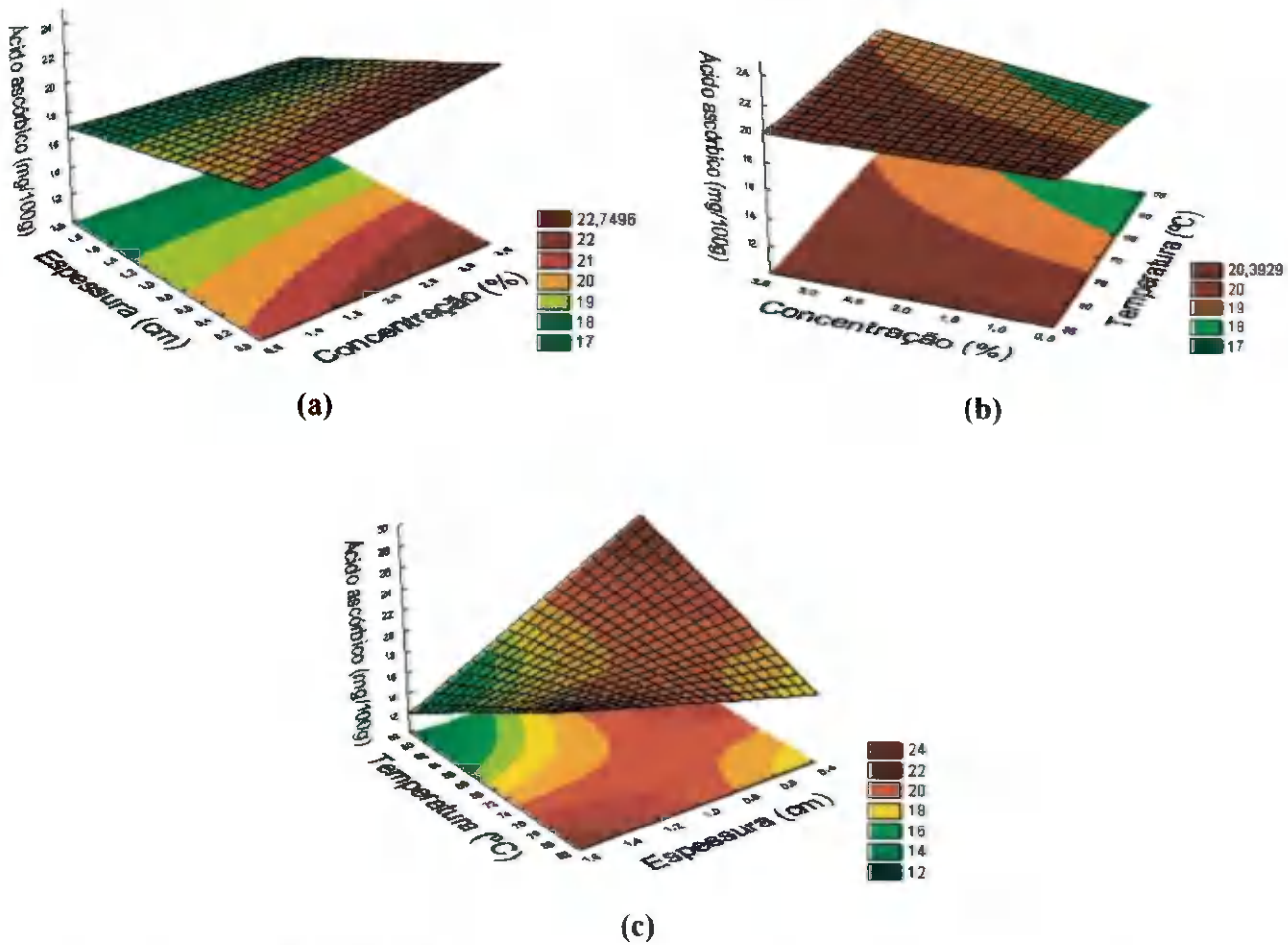


Figura 4.31 - Superfícies de resposta para ácido ascórbico, relacionando-se: (a) concentração × espessura, para a temperatura de secagem de 70 °C (ponto central); (b) concentração × temperatura, para a espessura da camada de espuma de 1,0 cm (ponto central); (c) espessura x temperatura, para uma concentração de 2% de Emustab (ponto central)

Avaliando-se os teores médios do ácido ascórbico das amostras em pó, encontrados na Tabela D.1, observa-se que os mesmos variaram entre 14,05 a 24,19 mg/100 g, valores estes superiores aos encontrados por BASTOS et al. (2005) ao trabalharem com secagem em camada de espuma da polpa de manga Tommy, os quais encontraram valores de 7,64 e 8,30 mg/100 g de ácido ascórbico, para as temperaturas de secagem de 70 e 85 °C, respectivamente. SOARES et al. (2001) ao trabalharem com polpa de acerola seca em camada de espuma na temperatura de 70 °C encontraram teor de ácido ascórbico na amostra em pó, igual a $15,16 \pm 0,12$ mg/100 g.

4.7.9 – Cinzas

Na Tabela 4.33 são apresentados os efeitos estimados, erro, coeficientes t e graus de significância estatística, para cada fator no modelo real para cinzas. Observa-se que os efeitos das cinzas não foram significativos a 95% de confiança, onde apresentaram significância estatística superiores a 0,05. Este comportamento pode ser melhor observado na Figura 4.32, onde apresenta-se o diagrama de Pareto, o qual indica que nenhum dos parâmetros foi significativo.

Tabela 4.33 - Efeito estimado, erro, coeficiente t e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para cinzas

| Fatores | Efeito Estimado | Erro Padrão | t (2) | Significância Estatística (p) |
|----------------------------|-----------------|-------------|----------|-------------------------------|
| Concentração (C) | 0,630183 | 0,343860 | 1,83267 | 0,208309 |
| Espcatura (E) | 0,106779 | 0,343860 | 0,31053 | 0,785532 |
| Temperatura (T) | 0,468808 | 0,343860 | 1,36337 | 0,305954 |
| Concentração x Espcatura | -0,423611 | 0,343860 | -1,23193 | 0,343160 |
| Concentração x Temperatura | 0,192138 | 0,343860 | 0,55877 | 0,632534 |
| Espcatura x Temperatura | 0,600762 | 0,343860 | 1,74711 | 0,222730 |

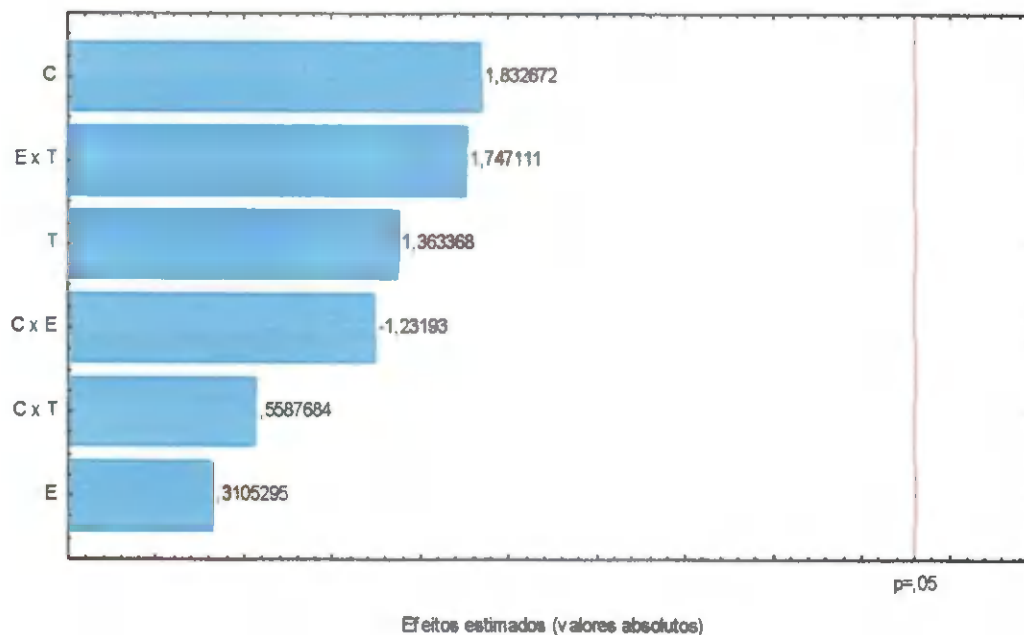


Figura 4.32 – Diagrama de Pareto das cinzas

Na Tabela 4.34 é apresentada a análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para as cinzas verifica-se que o valor foi $F_{\text{calculado}}$ foi inferior ao F_{tabelado} para o nível de 95% de confiança, assim de acordo com o teste F, o modelo de primeira ordem proposto para as cinzas, não foi estatisticamente significativo a 95% de confiança, o que também pode ser observado ao se avaliar o coeficiente de determinação, o qual foi inferior a 68%.

Tabela 4.34 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para cinzas

| | SQ | GL | MQ | $F_{\text{calculado}}$ | F_{tabelado}^* |
|-----------------|----------|----|--------|------------------------|-------------------------|
| Regressão | 2,4112 | 6 | 0,4019 | 1,35734237 | 6,16 |
| Resíduo | 1,1843 | 4 | 0,2961 | | |
| Falta de ajuste | 0,711307 | 2 | 0,3557 | 1,50395037 | 19 |
| Erro puro | 0,472959 | 2 | 0,2365 | | |
| Total | 3,595450 | 10 | | | |

$R^2 = 67,06\%$, *Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$; SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

Observando-se os dados obtidos na Tabela D.1, concluiu-se que as cinzas dos pós variaram entre 3,18 e 4,87%. SOARES et al. (2001) encontraram, para a polpa de acerola em pó, desidratada a 70 °C, uma média de cinzas de 3,41%, valor este próximo ao que foi encontrado no presente estudo.

4.7.10 – Luminosidade (L^*)

Na Tabela 4.35 estão apresentados os efeitos estimados, erros, coeficientes t e graus de significância estatística para cada fator, no modelo real para luminosidade (L^*). Observa-se que dentre os parâmetros estudados, a concentração, a espessura e a temperatura foram estatisticamente significativas a 95% de confiança ($p < 0,05$). No entanto as interações não foram significativas. Observa-se que o efeito estimado para a espessura apresentou um valor negativo o que indica que quanto maior a espessura, menor será a luminosidade no produto. Também observa-se que o efeito da temperatura foi um valor negativo o que indica que quanto maior a temperatura menor será a luminosidade. TONON et al. (2009) observaram a influência da temperatura de secagem e da concentração de maltodextrina na luminosidade do suco de açaí em pó, seco por aspersão, onde, com o aumento da concentração de maltodextrina, ocorreu um aumento da luminosidade (L^*), o que pode ser justificado pela adição de maltodextrina diluída no açaí.

Tabela 4.35 - Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para luminosidade (L^*)

| Fatores | Efeito Estimado | Erro Padrão | t (2) | Significância Estatística (p) |
|----------------------------|-----------------|-------------|----------|-------------------------------|
| Concentração (C) | 8,8350 | 1,632124 | 5,41319 | 0,032473 |
| Espessura (E) | -13,2983 | 1,632124 | -8,14787 | 0,014731 |
| Temperatura (T) | -7,5133 | 1,632124 | -4,60341 | 0,044092 |
| Concentração x Espessura | 2,9617 | 1,632124 | 1,81461 | 0,211249 |
| Concentração x Temperatura | 1,2500 | 1,632124 | 0,76587 | 0,523793 |
| Espessura x Temperatura | 1,6700 | 1,632124 | 1,02321 | 0,413821 |

Na Figura 4.33 é possível visualizar melhor a influência dos fatores estudados através do diagrama de Pareto, onde a espessura foi o fator que mais influenciou seguido da concentração e da temperatura e as interações não foram significativas. SOUSA et al. (2008) verificaram efeito significativo da temperatura de secagem sobre a luminosidade do tomate em pó secado em secador por aspersão. MELO (2008) ao estudar a secagem em camada de espuma da polpa do fruto do mandacaru verificou que com o aumento da temperatura ocorreu uma redução da luminosidade, e com o aumento da concentração também ocorreu uma redução da luminosidade.

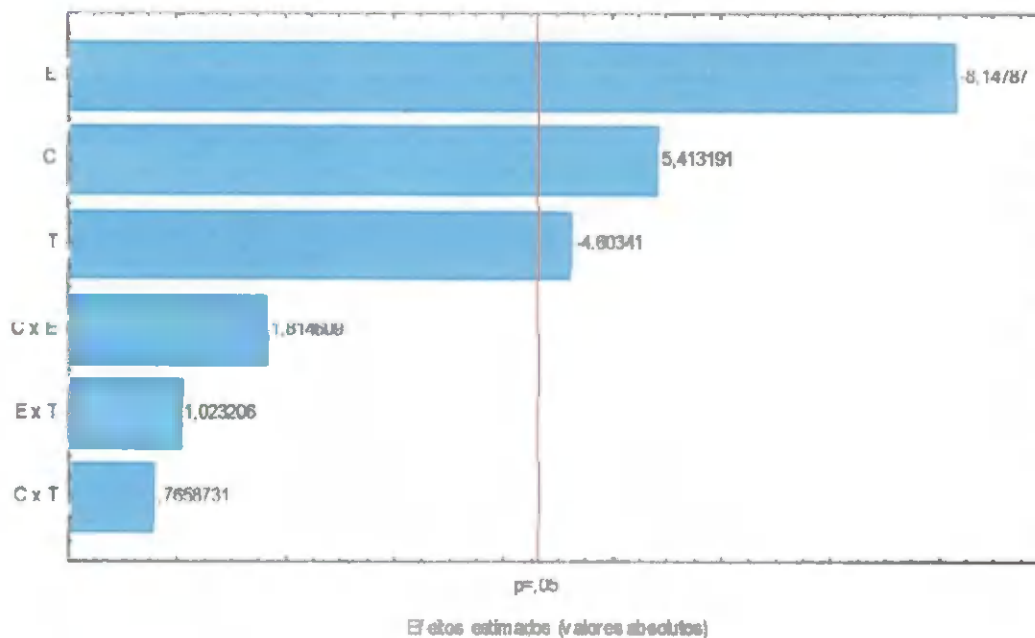


Figura 4.33 – Diagrama de Pareto da luminosidade

Através dos dados obtidos pelo planejamento fatorial de luminosidade (L^*) das amostras do pó (Formulações 1, 2 e 3) foi feita a regressão linear desses dados experimentais, em função da concentração, espessura e temperatura os foram significativos a 95% de confiança obtendo-se o modelo da Equação 4.8.

$$L^* = 46,575 + 4,417C - 6,649E - 3,757T \quad (4.8)$$

onde:

L^* - luminosidade

C – concentração de Emustab (%)

E – espessura da camada de espuma (cm)

T – temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$)

Na Tabela 4.36 é apresentada a análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para luminosidade (L^*). Verifica-se que o valor do $F_{\text{calculado}}$ foi superior ao F_{tabelado} para o nível de 95% de confiança, assim de acordo com o teste F, o modelo de primeira ordem proposto para a luminosidade, foi estatisticamente significativo a 95% de confiança, o que também pode ser observado ao se avaliar o coeficiente de determinação, o qual foi superior a 77% o que indica um razoável ajuste.

Tabela 4.36 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para luminosidade (L^*)

| | SQ | GL | MQ | $F_{\text{calculado}}$ | F_{tabelado}^* |
|-----------------|----------|----|----------|------------------------|-------------------------|
| Regressão | 622,7061 | 3 | 207,5687 | 8,24034603 | 4,35 |
| Resíduo | 176,3252 | 7 | 25,1893 | | |
| Falta de ajuste | 165,6699 | 5 | 33,1340 | 6,21923869 | 19,3 |
| Erro puro | 10,6553 | 2 | 5,3277 | | |
| Total | 799,0314 | 10 | | | |

$R^2 = 77,93\%$; *Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$; SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

Avaliando a Tabela D.1 observa-se que os valores médios obtidos da luminosidade (L^*) das amostras variaram entre 29,31 e 57,05. SILVA et al. (2005a) ao avaliarem o armazenamento do pó da polpa de umbu-cajá em diferentes embalagens encontraram uma média de luminosidade de 46,1, valor este que encontra-se dentro da faixa de valores encontrados no presente trabalho.

4.7.11 – Intensidade de vermelho (+a*)

Na Tabela 4.37 estão apresentados os efeitos estimados, erros, coeficientes *t* e graus de significância estatística, para cada fator no modelo real para intensidade de vermelho (+a*). Observa-se que nenhum dos parâmetros estudados e suas interações foram estatisticamente significativos a 95% de confiança ($p < 0,05$).

Tabela 4.37 - Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para intensidade de vermelho (+a*)

| Fatores | Efeito Estimado | Erro Padrão | t (2) | Significância Estatística (p) |
|----------------------------|------------------------|--------------------|--------------|--------------------------------------|
| Concentração (C) | -2,91167 | 0,721330 | -4,03653 | 0,056246 |
| Espessura (E) | 1,66833 | 0,721330 | 2,31286 | 0,146850 |
| Temperatura (T) | 1,85667 | 0,721330 | 2,57395 | 0,123574 |
| Concentração x Espessura | -0,68833 | 0,721330 | -0,95426 | 0,440663 |
| Concentração x Temperatura | 0,58000 | 0,721330 | 0,80407 | 0,505740 |
| Espessura x Temperatura | -0,62667 | 0,721330 | -0,86877 | 0,476567 |

Na Figura 4.34 verifica-se que não houve influência dos fatores estudados através do diagrama de Pareto.

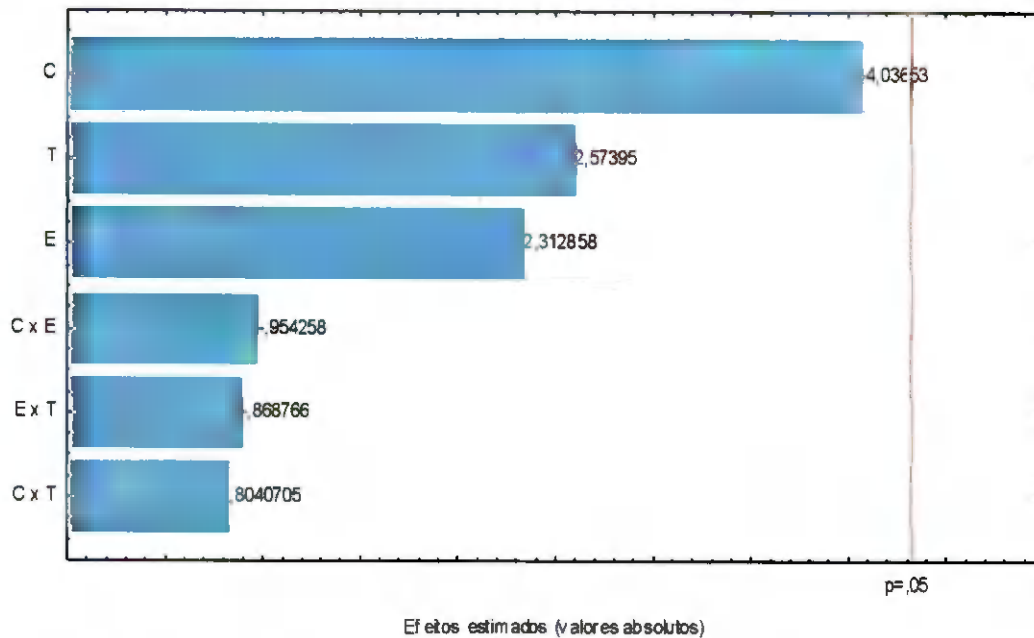


Figura 4.34 – Diagrama de Pareto da intensidade de vermelho (+a*)

Na Tabela 4.38 apresenta-se a análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para intensidade de vermelho (+a*), e se constata que o valor do $F_{\text{calculado}}$ foi inferior ao F_{tabelado} para o nível de 95% de confiança, assim de acordo com o teste F, o modelo de primeira ordem proposto para a intensidade de vermelho (+a*), não foi estatisticamente significativo a 95% de confiança com coeficiente de determinação (R^2) de 78,32%.

Tabela 4.38 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para intensidade de vermelho (a*)

| | SQ | GL | MQ | $F_{\text{calculado}}$ | F_{tabelado}^* |
|-----------------|----------|----|--------|------------------------|-------------------------|
| Regressão | 31,8225 | 6 | 5,3038 | 2,40829983 | 6,16 |
| Resíduo | 8,8091 | 4 | 2,2023 | | |
| Falta de ajuste | 6,72786 | 2 | 3,3639 | 3,23257957 | 19 |
| Erro puro | 2,08127 | 2 | 1,0406 | | |
| Total | 40,63165 | 10 | | | |

$R^2 = 78,32\%$; *Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$; SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

Avaliando-se a Tabela D.1, nota-se que os valores médios obtidos da intensidade de vermelho (+a*) variaram entre 16,71 e 22,50. Observa-se que o aumento da temperatura, aumenta a intensidade de vermelho, ou seja, aumenta o escurecimento. Da mesma forma, MELO (2008) ao estudar a secagem em camada de espuma da polpa do fruto de mandacaru, observou que com o aumento da temperatura ocorreu aumento da intensidade

de vermelho e, com o aumento da concentração, ocorreu redução da intensidade de vermelho.

4.7.12 – Intensidade de amarelo (+b*)

Na Tabela 4.39 estão apresentados os efeitos estimados, erros, coeficientes *t* e graus de significância estatística, para cada fator no modelo real para intensidade de amarelo (+b*). Observa-se que os fatores espessura e a interação concentração x espessura foram estatisticamente significativos a 95% de confiança ($p < 0,05$); no entanto os fatores concentração e temperatura e as interações concentração x temperatura e espessura x temperatura não foram significativas, indicando assim que o fator espessura foi o fator que mais influenciou no produto final. Este mesmo comportamento pode ser visto de melhor forma através do diagrama de Pareto para a intensidade de amarelo (+b*) (Figura 4.35).

Observa-se que o efeito estimado da espessura da camada apresentou valor negativo, o que indica que quanto maior a espessura menor será a intensidade de amarelo (+b*). CAMPELO (2009) ao estudar a secagem em camada de espuma da polpa de figo-da-india, observou que com o aumento da camada de espuma, ocorreu diminuição da intensidade de amarelo (+b*), ou seja, escurecimento do pó.

Tabela 4.39 - Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para intensidade de amarelo (+b*)

| Fatores | Efeito Estimado | Erro Padrão | t (2) | Significância Estatística (p) |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|-------------------------------|
| Concentração (C) | 1,76000 | 1,085981 | 1,6207 | 0,246535 |
| Espessura (E) | -7,79000 | 1,085981 | -7,1732 | 0,018886 |
| Temperatura (T) | -4,17667 | 1,085981 | -3,8460 | 0,061441 |
| Concentração x Espessura | 4,83333 | 1,085981 | 4,4507 | 0,046956 |
| Concentração x Temperatura | 1,62667 | 1,085981 | 1,4979 | 0,272878 |
| Espessura x Temperatura | -1,32667 | 1,085981 | -1,2216 | 0,346299 |

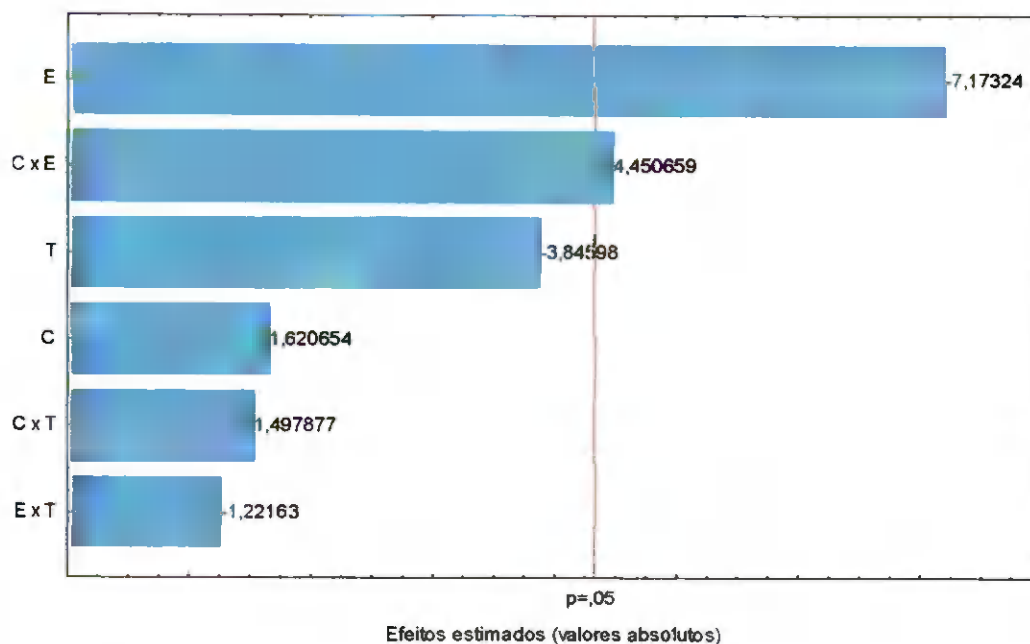


Figura 4.35 – Diagrama de Pareto da intensidade de amarelo (+b*)

Avaliando-se os dados obtidos pelo planejamento fatorial da intensidade de amarelo das amostras em pó (Formulações 1, 2 e 3) foi feita a regressão linear desses dados experimentais, em função da espessura e da interação concentração x espessura, os quais foram significativos a 95% de confiança, obtendo-se o modelo da Equação 4.9.

$$+b^* = 61,356 - 3,895E + 2,417C.E \quad (4.9)$$

onde:

+b* - intensidade de amarelo

C – concentração de Emustab (%)

E – espessura da camada de espuma (cm)

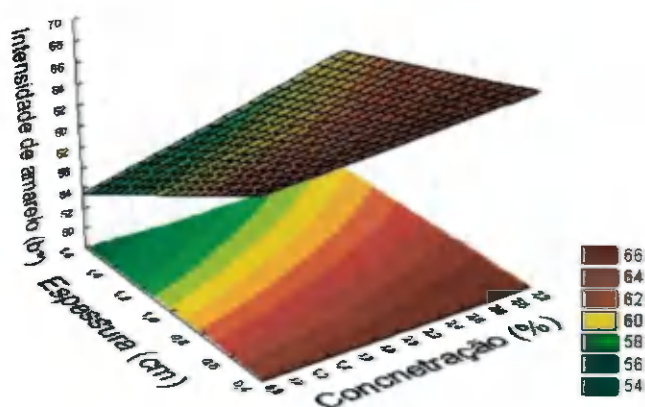
Na Tabela 4.40 é apresentada a análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para intensidade de amarelo (b*). Verifica-se que o valor do $F_{\text{calculado}}$ foi superior ao F_{tabelado} para o nível de 95% de confiança, com uma razão de 2,43, assim de acordo com o teste F, o modelo de primeira ordem proposto para a intensidade de amarelo (+b*), foi estatisticamente significativo a 95% de confiança, embora não seja preditivo, com coeficiente de determinação (R^2) de 73,04%.

Tabela 4.40 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a intensidade de amarelo (+b*)

| | SQ | GL | MQ | F _{calculado} | F _{tabelado*} |
|-----------------|----------|----|---------|------------------------|------------------------|
| Regressão | 168,0904 | 2 | 84,0452 | 10,8389847 | 4,46 |
| Resíduo | 62,0318 | 8 | 7,7540 | | |
| Falta de ajuste | 57,3144 | 6 | 9,5524 | 4,04983704 | 19,33 |
| Erro puro | 4,7174 | 2 | 2,3587 | | |
| Total | 230,1222 | 10 | | | |

R² = 73,04%; *Valores tabelados de F a p ≤ 0,05. SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

Na Figura 4.36 é apresentada a superfície de resposta para intensidade de amarelo (+b*), relacionando-se: concentração x espessura, para a temperatura de 70 °C (ponto central). Observa-se que a maior intensidade de amarelo (+b*) foi encontrada nas maiores concentrações e menor espessura, e a menor intensidade de amarelo (+b*) foi encontrada na menor concentração e maior espessura, indo de conformidade com o que já foi dito.

**Figura 4.36** - Superfícies de resposta para intensidade de amarelo (+b*), relacionando-se, concentração x espessura, para a temperatura de secagem de 70 °C

Avaliando a Tabela D.1, observa-se que os valores médios obtidos de intensidade de amarelo (+b*) variaram entre 49,53 e 67,96; os valores encontrados foram superiores ao encontrado por SILVA et al. (2005a) para a polpa de umbu-cajá em pó, seca em camada de espuma, que foi de 28; logo, após a secagem.

4.7.13 – Atividade de água

Na Tabela 4.41 estão os efeitos estimados, erros, coeficientes *t* e graus de significância estatística, para cada fator no modelo real para atividade de água. Observa-se que nenhum dos parâmetros estudados foram estatisticamente significativos a 95% de confiança ($p < 0,05$). Na Figura 4.37 onde é apresentado o diagrama de Pareto para atividade de água, visualiza-se, de melhor forma, que nenhum dos fatores foi significativo.

Tabela 4.41 - Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para atividade de água

| Fatores | Efeito Estimado | Erro Padrão | t (2) | Significância Estatística (p) |
|----------------------------|-----------------|-------------|----------|-------------------------------|
| Concentração (C) | -0,034500 | 0,013785 | -2,50277 | 0,129378 |
| Espessura (E) | 0,052333 | 0,013785 | 3,79647 | 0,062905 |
| Temperatura (T) | -0,027833 | 0,013785 | -2,01914 | 0,180923 |
| Concentração x Espessura | -0,005000 | 0,013785 | -0,36272 | 0,751559 |
| Concentração x Temperatura | -0,011833 | 0,013785 | -0,85844 | 0,481106 |
| Espessura x Temperatura | -0,022333 | 0,013785 | -1,62015 | 0,246636 |

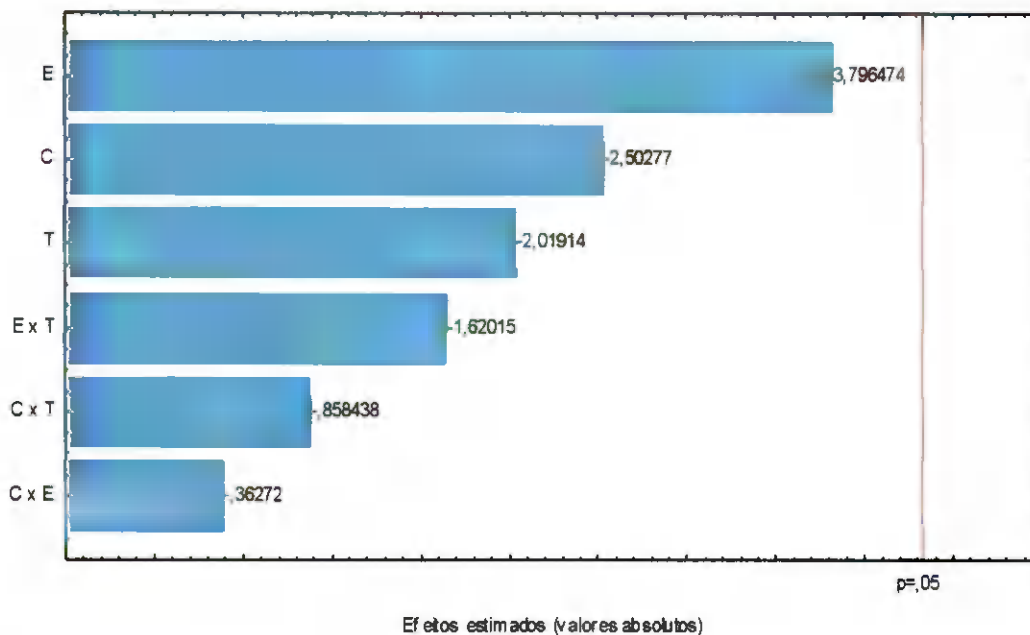


Figura 4.37 – Diagrama de Pareto da atividade de água

Na Tabela 4.42 se apresenta a análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a atividade de água (a_w). Verifica-se que o valor do $F_{\text{calculado}}$ foi inferior ao F_{tabelado} para o nível de 95% de confiança; então de acordo com o teste F, o modelo de primeira ordem proposto para a atividade de água, não foi estatisticamente significativo a 95% de confiança com coeficiente de determinação (R^2) de 69,88%.

Tabela 4.42 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para atividade de água

| | SQ | GL | MQ | $F_{\text{calculado}}$ | F_{tabelado}^* |
|-----------------|----------|----|--------|------------------------|-------------------------|
| Regressão | 0,0107 | 6 | 0,0018 | 1,54679914 | 6,16 |
| Resíduo | 0,0046 | 4 | 0,0012 | | |
| Falta de ajuste | 0,003867 | 2 | 0,0019 | 5,08727884 | 19 |
| Erro puro | 0,000760 | 2 | 0,0004 | | |
| Total | 0,015362 | 10 | | | |

$R^2 = 69,88\%$; *Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$; SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

Avaliando a Tabela D.1, observa-se que os valores médios obtidos de atividade de água variaram entre 0,31 para as condições do ponto central e 0,44 o experimento 3; observa-se que com o aumento da temperatura ocorre redução da atividade de água, o que pôde ser observado por ANSELMO et al. (2006), ao secarem cajá por aspersão nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 °C.

4.7.13 – Rendimento

Através da Tabela 4.43, em que são apresentados os efeitos estimados, erros, coeficientes t e graus de significância estatística, para cada fator no modelo real para o rendimento, observa-se que todos os parâmetros estudados foram estatisticamente significativos a 95% de confiança ($p < 0,05$). O fator temperatura apresentou efeito estimado negativo, indicando que com o aumento da temperatura ocorre diminuição do rendimento do pó.

Tabela 4.43 - Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para rendimento

| Fatores | Efeito Estimado | Erro Padrão | t (2) | Significância Estatística (p) |
|----------------------------|-----------------|-------------|----------|-------------------------------|
| Concentração (C) | -0,79437 | 0,031689 | -25,068 | 0,001588 |
| Espessura (E) | 3,17396 | 0,031689 | 100,161 | 0,000100 |
| Temperatura (T) | -3,28604 | 0,031689 | -103,698 | 0,000093 |
| Concentração x Espessura | 0,22104 | 0,031689 | 6,975 | 0,019940 |
| Conceutração x Temperatura | -0,98229 | 0,031689 | -30,998 | 0,001039 |
| Espessura x Temperatura | 1,92271 | 0,031689 | 60,675 | 0,000272 |

Na Figura 4.38 é possível visualizar que todos os fatores e suas interações foram significativos a 95% de confiança através do diagrama de Pareto, onde a temperatura e a espessura foram os fatores que mais influenciaram.

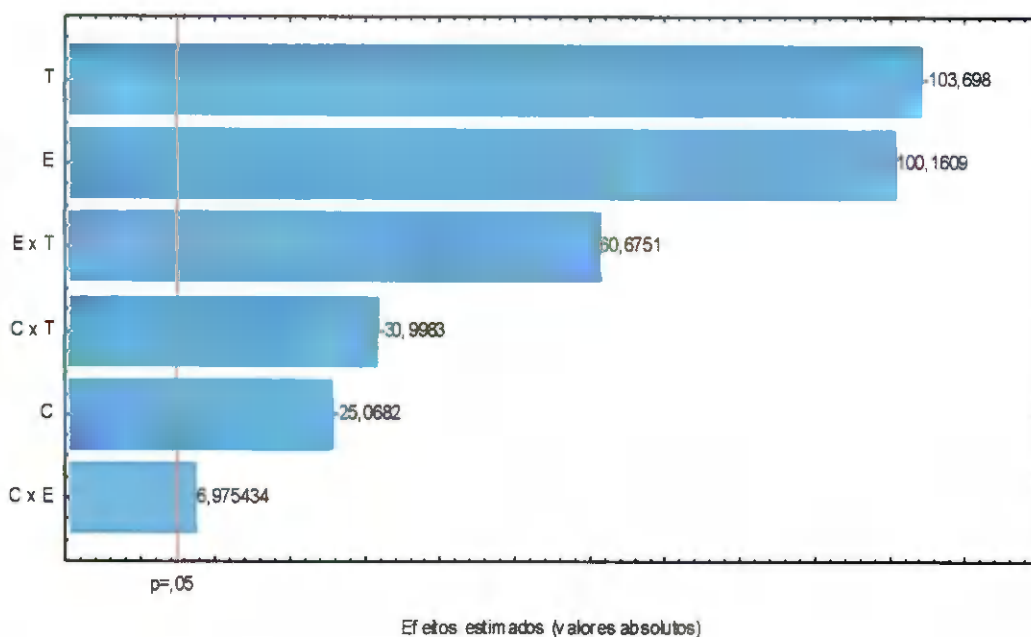


Figura 4.38 – Diagrama de Pareto do rendimento

Com os dados obtidos do rendimento das amostras em pó (Formulações 1, 2 e 3) usando o planejamento fatorial, foi feita a regressão linear desses dados experimentais em função de todos os fatores e sua interações, os quais foram significativos a 95% de confiança, obtendo-se o modelo da Equação 4.10.

$$R = 16,690 - 0,397C + 1,587E - 1,643T + 0,110C.E - 0,491C.T + 0,961E.T \quad (4.10)$$

onde:

R – rendimento (%)

C – concentração de Emustab (%)

E – espessura da camada de espuma (cm)

T – temperatura de secagem (°C)

Na Tabela 4.44 é apresentada a análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para o rendimento; nota-se que o valor do $F_{\text{calculado}}$ foi superior ao F_{tabelado} para o nível de 95% de confiança, assim de acordo com o teste F, o modelo de primeira ordem proposto para o rendimento foi estatisticamente significativo a 95% de confiança com o coeficiente de determinação (R^2) de 93,60%, indicando boa estimativa dos dados.

Tabela 4.44 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para rendimento

| | SQ | GL | MQ | $F_{\text{calculado}}$ | F_{tabelado}^* |
|-----------------|----------|----|--------|------------------------|-------------------------|
| Regressão | 52,4274 | 6 | 8,7379 | 9,75072238 | 6,16 |
| Resíduo | 3,5845 | 4 | 0,8961 | | |
| Falta de ajuste | 3,58049 | 2 | 1,7902 | 891,409307 | 19 |
| Erro puro | 0,00402 | 2 | 0,0020 | | |
| Total | 56,01186 | 10 | | | |

$R^2 = 93,60\%$; *Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$; SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

Na Figura 4.39 são apresentadas as superfícies de resposta para o rendimento, relacionando-se: (a) concentração × espessura, para a temperatura de 70 °C (ponto central); (b) concentração × temperatura, para uma espessura de 1,0 cm (ponto central); (c) espessura × temperatura, para uma concentração de 2% de Emustab (ponto central). Avaliando-se a Figura 4.39(a) observa-se que o maior rendimento encontrado está na menor concentração de Emustab e maior espessura da camada de espuma, tal fato ocorre pela maior quantidade de sólidos encontrados nesta formulação, e o menor rendimento encontrado foi na maior concentração e menor espessura. Observando as Figuras 4.39(b) e 4.39(c) observa-se que o maior rendimento ocorreu na menor temperatura e maior espessura, respectivamente.

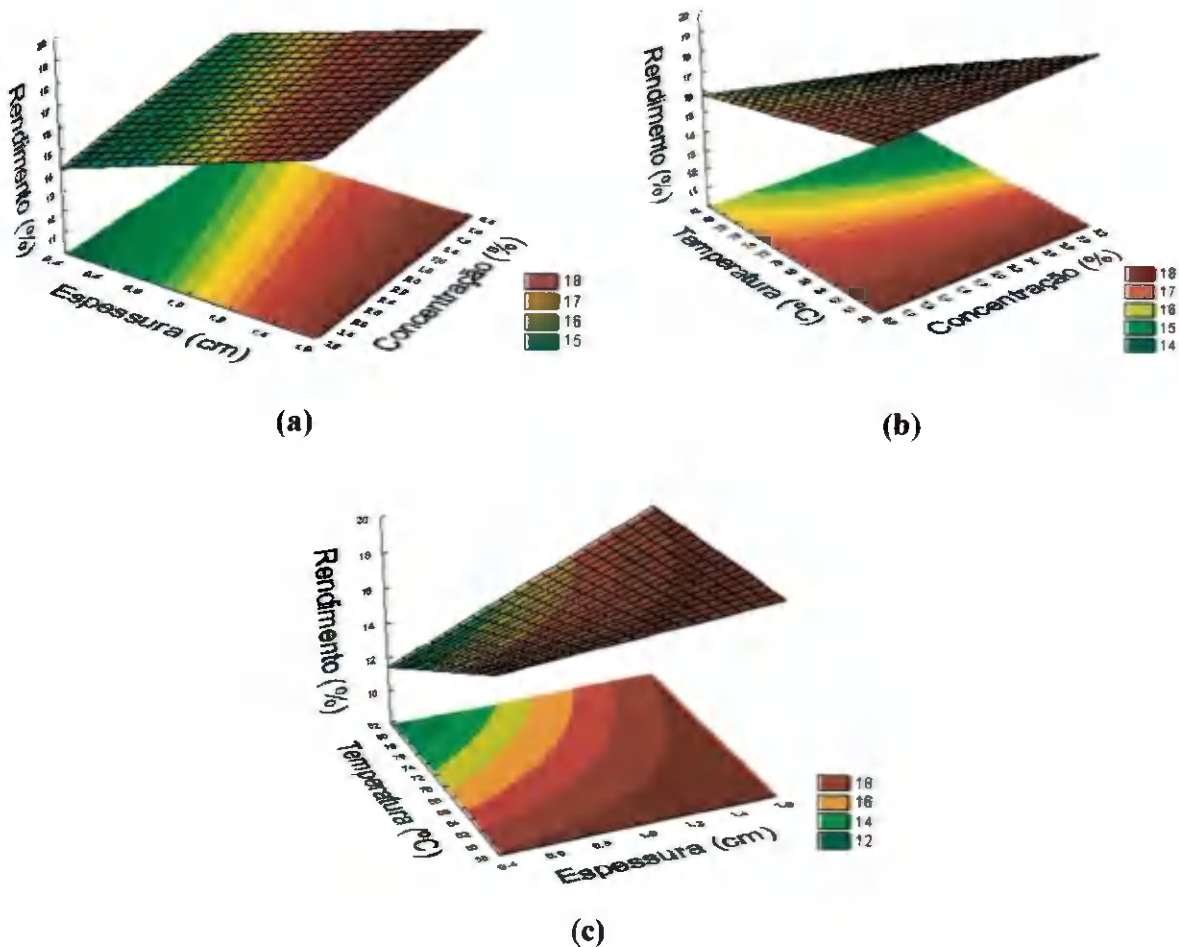


Figura 4.39 - Superfícies de resposta para rendimento, relacionando-se: (a) Concentração × espessura, para a temperatura de secagem de 70 °C (ponto central); (b) concentração × temperatura, para a espessura da camada de espuma de 1,0 cm (ponto central); (c) espessura x temperatura, para uma concentração de 2% de Emustab (ponto central)

Avaliando a Tabela D.1, observa-se que os valores médios obtidos de rendimento variaram entre 10,76 e 19,31, considerado rendimento baixo.

4.7.15 – Seleção do pó

Avaliando-se as amostras em pó estudadas através dos parâmetros teor de água, ácido ascórbico, luminosidade (L^*), intensidade de vermelho ($+a^*$), intensidade de amarelo ($+b^*$) e rendimento, é possível apresentar o pó do Experimento nº 2 (Formulação 3 - 3% de Emustab, 0,5 cm de espessura da camada de espuma e temperatura de secagem de 60 °C)

do planejamento experimental fatorial como sendo o melhor pó. O mesmo apresentou um dos menores valores de teor de água (11,37% b.u.), indicando assim um maior tempo de vida de prateleira, obteve a maior quantidade de ácido ascórbico (24,19 mg/100 g), indicando uma boa quantidade de vitamina C, apresentou a maior luminosidade ($L^* = 57,05$), a menor intensidade de vermelho ($+a^* = 16,71$), uma intensidade de amarelo de $+b^* = 65,11$, valor este próximo ao encontrado a amostra em pó do Experimento 1, e um dos maiores rendimentos (18,25%) ficando atrás apenas do Experimento 3.

4.7.16 – Isoterma de adsorção de água

Na Tabela E.1 (Apêndice E) tem-se os valores médios da umidade de equilíbrio em função da atividade de água da amostra em pó produzida a partir do Experimento nº 2, selecionada como a melhor amostra.

Na Tabela 4.45 são apresentados os parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados à isoterma de adsorção de água a 25 °C para amostra em pó produzida a partir do Experimento nº 2 (Formulação 3; 0,5 cm de espessura da camada de espuma e temperatura de secagem de 60 °C). Foi possível verificar que todos os modelos estudados se ajustaram bem aos dados experimentais, sendo o de Oswin o que melhor se ajustou aos dados experimentais, apresentando o maior coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9989$) e o menor desvio percentual médio (P = 2,32%). BEZERRA (2009) ao estudar o comportamento higroscópico de pós de diferentes variedades de manga, verificou que os modelos de GAB e Oswin foram os que melhor se ajustaram, apresentando os maiores coeficientes de determinação ($R^2 > 0,986$) e os menores desvios percentuais médios (P < 11,4%). PENA et al. (2000) ao ajustarem o modelo de Oswin às isotermas de adsorção de água, nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C do guaraná em pó obtido por secagem por aspersão, encontraram $R^2 > 0,99$.

Avaliando-se os parâmetros k e c dos dados experimentais de acordo com BLAHOVEC (2004) a isoterma de adsorção da Formulação 3, produzida conforme as condições do Experimento 2 é do Tipo II ($0 < k \leq 1$ e $c > 2$).

Tabela 4.45 – Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados à isoterma de adsorção de água, a 25 °C da Formulação 3 (Experimento nº 2)

| Modelo | Parâmetro | | | | R^2 | P (%) |
|--------|-----------|-------|---------|--------|--------|-------|
| GAB | X_m | c | k | | | |
| | 9,459 | 2,596 | 0,989 | 0,9988 | 2,64 | |
| Oswin | a | b | | R^2 | P (%) | |
| | 13,089 | 0,835 | 0,9989 | 2,32 | | |
| Peleg | k_1 | n_1 | k_2 | n_2 | R^2 | P (%) |
| | 55,394 | 2,065 | 232,899 | 17,415 | 0,9987 | 3,53 |

As Figuras E.1 e E.2 (Apêndice E) apresentam as isotermas de adsorção de água a 25 °C, do Experimento 2 com ajustes pelos modelos de GAB e Peleg.

Na Figura 4.40 se encontra a isoterma de adsorção de água a 25 °C do pó da Formulação 3, produzida no Experimento nº 2, com ajuste pelo modelo de Oswin, o qual se apresentou com os melhores ajustes aos dados experimentais.

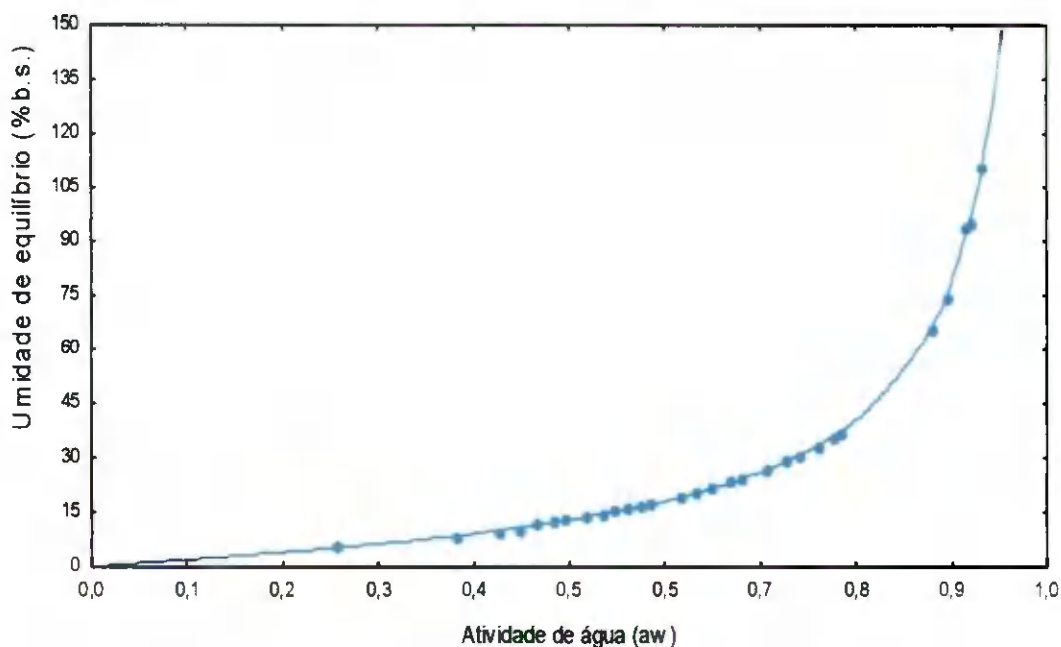


Figura 4.40 – Isotherma de adsorção de água a 25 °C, da amostra em pó produzida de acordo com o Experimento nº 2 com ajuste pelo modelo de Oswin

5 – CONCLUSÕES

Caracterização da polpa de cajá integral

- A polpa de cajá integral apresentou baixo pH, indicando tratar-se de uma polpa ácida;
- A polpa de cajá integral pode ser considerada fonte de vitamina C, devido ao alto teor de ácido ascórbico;
- A polpa de cajá integral apresentou comportamento de fluido não-Newtoniano de caráter pseudoplástico e, dentre os modelos reológicos analisados, o que melhor se ajustou aos dados experimentais foi de Herschel-Bulkley.

Análise das formulações

- Avaliando todos os parâmetros estudados (massa específica, expansão volumétrica e estabilidade) foi possível verificar que as três formulações estão dentro dos padrões para a secagem em camada de espuma;
- A adição dos aditivos influenciaram nas características da polpa integral;
- As espumas apresentaram comportamento pseudoplástico e o modelo que melhor se ajustou às formulações, foi o de Mizrahi-Berk.

Secagem em camada de espuma

- As curvas de secagem das espumas foram influenciadas pela espessura da camada e pela temperatura de secagem. A secagem mais rápida ocorreu na menor espessura e maior temperatura e apresentaram menor teor de umidade final;
- A concentração de Emustab nas formulações influenciou nas curvas de secagem. A secagem mais rápida ocorreu na formulação 3 com maior concentração de Emustab;
- Os modelos de Page, Henderson & Pabis e Cavalcanti Mata se ajustaram bem aos dados experimentais das secagens, podendo ser usados na predição das cinéticas de secagem das formulações estudadas (1, 2 e 3) para diferentes espessuras (0,5; 1,0; e 1,5 cm) e diferentes temperaturas (60, 70 e 80 °C); no entanto, o de Cavalcanti Mata foi o que apresentou os melhores ajustes para todas as condições;

Planejamento Experimental

- Analisando-se os dados experimentais do planejamento experimental através dos parâmetros teor de água, ácido ascórbico, luminosidade (L^*), intensidade de vermelho ($+a^*$), intensidade de amarelo ($+b^*$) e rendimento verificou-se que o melhor pó foi o produzido de acordo com o Experimento nº 2 (Formulação 3; espessura da camada de espuma de 0,5 cm e temperatura de secagem de 60 °C).

Isoterma de adsorção de água

- O modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais da isoterma de adsorção de água da amostra em pó seca de acordo com o Experimento nº 2 foi o de Oswin;

- A amostra seca de acordo com o Experimento nº 2, foi classificada como sendo do Tipo II.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMBOUNOU, T. L., CASTAIGNE, F., DILLON, J. C. Abaissement de l'activité de l'eau de légumes tropicaux par déshydratation osmotique partielle. **Sciences des Aliments**, Paris, v. 3, n. 4, p. 551-567, 1983.

AGRA, N. G. **Secagem e liofilização de manga: características físico-químicas e sensoriais**. 2006. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

AGUIRRE, J. M.; GASPARINO FILHO, J. Manual técnico - **Desidratação de frutas e hortaliças**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1999.

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

ALEXANDRE, H. V. **Secagem da polpa de pitanga e armazenamento do pó**. 2005, 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

ALMEIDA, F. de A. C.; GOUVEIA, J.P.G. de.; ALMEIDA, F. de A.C.; SILVA, F.L.H. Avaliação da cinética de secagem em frutos de acerola. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.6, n.1, p.145–151, 2006.

ALSINA, O. L. S.; SILVA, O. S. E; SANTOS, J. M. Efeitos das condições operacionais na cinética de secagem de fatias de bananas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1997. CD-ROM.

ALVARADO, J. D.; ROMERO, C. H. Physical properties of fruits: I –II. Density and viscosity of juices as functions of soluble solids content and temperature. **Latin American Applied Research**, Bahía Blanca, v. 19, n. 15, p. 15-21, 1989.

ALVES, R. E.; FILGUIERAS, H. A. C.; MOURA, C.F.H. Org. **Caracterização de frutas nativas da América Latina**. Jaboticabal: UNESP/SBF, 2000.

AMARAL, C. R. S.; BELTRÃO FILHO, E. M.; NEVES, H. C. N.; RIBEIRO, J. C. A.; GOMES, L. C. DA S.; BEZERRA, W. I. Obtenção de doce de cajá (*Spondias sp*) em massa. I Jornada Nacional da Agroindústria, **Anais...**, Bananeiras, 2006. CD Rom.

ANSELMO, G. C. S.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; ARRUDA, P. C. DE; SOUSA, M. C. Determinação da higroscopicidade do cajá em pó por meio de secagem por atomização. **Revista de biologia e ciências da Terra**, v. 6, n. 2, p. 58 – 65, 2006.

ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2009. Bonito de ver: Produção de frutas cresce em torno de 4,5% ao ano, impulsionada pelo consumo interno, pelas exportações e pelo incremento no processamento. Disponível em: <<http://www.anuarios.com.br/upload/publicacaoCapitulo/pdfpt/pdf209.pdf>>. Acesso em: setembro de 2010.

ARAÚJO, J. L.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Massa específica da polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum Schum*) sob diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 127 – 134, 2002.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. AOAC. **Official Methods of Analysis**, Williams, S. (Ed) 14.ed. Arlington, 1997. 1141p.

BARROS NETO, B. de; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. 3 ed., Campinas, SP: UNICAMP, 2007.

BARROS NETO, B. de; SCARMÍNIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e otimização de experimentos**. Campinas: Editora da UNICAMP, 1995. 299p.

BASTOS, D. S.; SOARES, D. M. B. G.; ARAÚJO, K. G. L.; VERRUMA-BERNARDI, M. R. Desidratação da Polpa de Manga “Tommy Atkins” Utilizando a Técnica de foam

mat drying - Avaliações Químicas, Físico-químicas e Sensoriais. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.8, n.4, p. 283-290, 2005.

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**, Curitiba, v. 31, n. 4, p. 507-513, 1998.

BEZERRA, T. S. **Comportamento higroscópico de pós de diferentes variedades de manga (*Mangifera indica L.*)**. 2009, 101f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará.

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

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Manual de laboratório de química de alimentos**. 1. ed. São Paulo: Varela, 2003. 135 p.

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

BOSCO, J.; SOARES, K. T.; AGUIAR FILHO, S. P.; BARROS, R. V. **A cultura da cajazeira**. João Pessoa: EMEPA-PB, 2000. 29 p.

BOUQUET, R.; CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H. A. Equationa for fltting water sorption isotherms os food: II. Evaluations of various two-parameter models. **Journal of Food Technology**, London, v. 13,n. 4,p. 319-327,1978.

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

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, **Leis, Decretos**, etc. Instrução Normativa nº I de 7 de janeiro de 2000. Seção 1. p.54-58. Regulamento técnico geral para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpa de fruta.

BRENNAN J.G. **Food Processing Handbook**. 1. ed. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, p. 85-95, 2006.

CABRAL, M. F. P.; QUEIROZ, A. J. de M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F de. 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.

CALADO, V.; MONTGOMERY, D.; **Planejamento de Experimento usando o Statistica**, Ed.- e- papers: Rio de Janeiro, 2003.

CALEGUER, V. F.; BENASSI, M. T. Efeito da adição de polpa, carboximetilcelulose e goma arábica nas características sensoriais e aceitação de preparados em pó para refresco sabor laranja. **Revista Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 2, p. 270 – 277, 2007.

CAMARGO, P.; MORAES, C.; CANTERI, M. G.; FRANCISCO, A. C.; MAIA, L. Avaliação da desidratação da polpa do maracujá azedo pelo método “foam-mat”. In: SEMANA DE TECNOLOGIA EM ALIMENTOS, 6., Paraná. **Anais ...**, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. V. 02, n. 14, 2008. CD-ROM.

CAMPELO, I. K. M. **Secagem em camada de espuma da polpa do figo-da-india**. 2009, 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande.

CAPRISTE, G. H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorptional equilibrium data for starchcontaining foodstuffs. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 47, p. 1501-1507, 1982.

CARNEIRO, Diego Dias. **Desidratação de alimentos por Foam-Mat Drying**. 2008. 9f. Seminário (Processamento de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

CARVALHO, C. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; PAIVA, K. M. R.; GONDIM, M. M. S. Secagem da polpa formulada de umbu-cajá. In: XXXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, Bonito. **Anais...** Bonito: XXXVI CONBEA, 2007. CD ROM.

CARVALHO, S.M.L. **Determinação de isotermas de adsorção da farinha d'água obtida de mandioca (*Manihot esculenta*)**. Belém, 1994. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Tecnologia de Alimentos) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Pará (UFPA).

CASSON, N. A. **Flow equation for pigment-oil suspensions of the printing ink type, in Rheology of Disperse Suspensions**. C.C. Mill (Ed.) Pergamon press, New York, 1959.

CAVALCANTE, L. F.; LIMA, E. M.; FREIRE, J. L. O.; PEREIRA, W. E.; COSTA, A. P. M.; CAVALCANTE, I. H. L. Componentes qualitativos do cajá em sete municípios do brejo paraibano. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n.4, p. 627 – 632, 2009.

CAVALCANTE CALDAS, Z. T.; PEREIRA, V. S. DE S.; MACHADO, A. V.; DANTAS, L. A. B.; MORAIS, P. L. D. C. Avaliação de qualidade de polpas de frutas comercializadas no Estado do Rio Grande do Norte. In: JORNADA NACIONAL DA AGROINDÚSTRIA, 1., Bananeiras-PB. **Anais...**, Bananeiras, 2006, CD-ROM.

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., Campina Grande. **Anais...**, Campina Grande: PIBIC/CNPq, 2006. CD-ROM.

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, 2005.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análises de alimentos**. 2. ed. Campinas: Editora da UNICAMP, 2003. 207 p.

CHAVES, M. A.; SOARES, E. C.; PINTO, E. G.; SOARES, R. D. Efeito da concentração do Emustab nas características da espuma de araçá-boi (*Eugenia stipitata* Mc Yaugh). In: CONGRESSO DE ALIMENTOS, 2008. **Anais...**, CD-ROM.

CHITARRA, M. I. F. **Processamento mínimo de frutos e bortaliças**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2000. 113 p.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutos e bortaliças: fisiologia e mauuseio**. 2. ed. rev. e ampl. Lavras: UFLA, 2005, 785p.

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

COELHO, W. L. V.; PORTO, A. G.; SANTOS, P.; FURTADO, G. F.; SILVA, F. S. Secagem de polpa de mamão pelo método de camada de espuma In: JORNADA CIENTÍFICA DA UNEMAT, 3., 2010, Cáceres. **Anais...** Cáceres: Unemat, 2010. CD-ROM.

CONCEIÇÃO, R. S. da. **Comportamento reológico da polpa de goiaba (*Psidium guajava*, L.)**. 2000. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

CORREIA, S. L., CURTO, K. A. S., HOTZA, D., SEGADÃES, A. M., Using statistical techniques to model the flexural strength of dried triaxial ceramic bodies, **Journal of the European Ceramic Society**, v. 24, p. 2813-2818, 2004.

DOYMAZ, I. Effect of dipping treatment on air drying of plums. **Journal of Food Engineering**, v. 64, n. 4, p. 465-470, 2004.

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.

EL-AOUAR, A. A. **Estudo do processo de secagem de mamão formosa (Carica papaya L.) fresco e pré-tratado osmoticamente**. 2005. 241f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, 2005.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia dos alimentos**. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 1994. 270 p.

FARIAS, E. DA S. **Estudo da secagem e atividade de água e frutos de cajá (Spondias lutea L.)**. Dissertação - Campina Grande, UFCG, 2002, 61p.

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.; MARTUCCI, E. Estudo reológico de suspensões elaboradas com suco de acerola. In: FITO, P.; MULET, A.; CHIRALT, A.; ANDRÉS, A. **Propiedades físicas y aspectos fisicoquímicos en relación con los procesos alimentarios**. Valencia: UPV, 2003. p. 137-142, 2003.

FIGUEIRÊDO, R.M.F.; MARTUCCI, E.T. Influência da Viscosidade das Suspensões na Morfologia do Particulado de Suco de Acerola Microencapsulado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 25., 1998, São Carlos. **Anais...** São Carlos, 1998, p. 729-733. CD-ROM.

FIOREZE, R. **Princípios de secagem de produtos biológicos**. João Pessoa: UFPB, 2004. 229 p.

FORMOSO, V. C.; DAMY, P. C.; TELIS, V. R. N. Secagem por ar quente e degradação de ácido ascórbico em fatias de caqui. CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 21., 2009, São José do Rio Preto. **Anais....** São José do Rio Preto: UNESP, 2009. CD-ROM.

FRANCIS, F. J. **Eucyclopedia of Food Science and Technology**. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc. v. 1, 2000, 2907 p.

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 CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS DE ALIMENTOS, 18., 2002, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SBCTA. 2002. CD Rom.

FREITAS, J. C. O., QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; MELO, K. S. Cinética de secagem de manga fatiada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36., 2007, Bonito, **Anais...** Bonito: SBEA, 2007. CD Rom.

FREITAS, J.C.O., QUEIROZ, A.J. de M.; FIGUEIRÊDO, R.M.F. de; MELO, K.S. Cinética de secagem de manga fatiada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa, **Anais...**, João Pessoa: SBEA, 2006. CD Rom.

GADELHA A. J. F.; ROCHA, C. O.; VIEIRA, F. F.; RIBEIRO, G. N. Avaliação de parâmetros de qualidade físico-químicos de polpas congeladas de abacaxi, acerola, cajá e caju. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 1, p. 115 – 118, 2009.

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

GARCIA, D.C.; BARROS, A.C.S.A.; PESKE, S.T.; MENEZES, N.L. A secagem de sementes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.2, p.603-608, 2004.

GASPARETTO, C.A.; PÉCORÁ, A.A.B.; SCAMPARINI, A.R.P. Estudo reológico de suspensões e pastas de amido de mandioca. In: CONGRESO PANAMERICANO DE INGENIERIA AGRONOMICA Y DE ALIMENTOS, 2. Guatemala. **Anais...** Guatemala: CONFEA/CREAs, p.1- 19, 1996.

GEHRKE, T. **Reometria de suco concentrado de suco de frutas**. 1996, 52f. Dissertação de Mestrado, Campinas, UNICAMP...

GIRALDO-ZUNIGA, A. D.; ARÉVALO-PINEDO, A.; SILVA, A. F.; SILVA, P. F.; VALDES-SERRA, J. C.; PAVLAK, M. C. M. Datos experimentales de la cinética del secado y del modelo matemático para pulpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) en rodajas. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 1, p. 179 – 182, 2010.

GOMES, W. C. **Secagem por aspersão da polpa de buriti**. 2010, 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande.

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

GOUVEIA, J. P. G de. **Avaliação da cinética de secagem de gengibre (*Zingiber officinale*, Roscoe) em um secador de leito fixo**. Campinas, SP: UNICAMP, 1999. 175f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, 1999.

GOUVEIA, J. P. G., ALMEIDA, F. A. C.; FARIAS, E. S.; SILVA, M. M.; CHAVES M. C. V.; REIS, L. S. Determinação das curvas de secagem em frutos de cajá. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, Especial, v. 01, p.65-68, 2003.

GOUVEIA, J. P. G.; MOURA, R. S. F.; ALMEIDA, F. DE A. C.; OLIVEIRA, A. M. DE V.; SILVA, M. M. Avaliação da cinética de seeagem de caju mediante um planejamento experimental. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.3, p.471-474, 2002.

GOYAL, R.K.; KINGSLY, A.R.P.; MANIKANTAN, M.R.; ILYAS, S.M. Thin-layer drying kinetics of raw mango slices. **Biosystems Engineering**, v. 95, n. 1, p. 43-49, 2006.

GRANGEIRO, A. A.; QUEIROZ, A. J. DE M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; CAVALCANTE MATA, M. E. R. M. Viscosidades de polpas concentradas de figo-da-índia. **Revista Brasileira agrociência**, Pelotas, v. 13, n. 2, p. 219 – 224, 2007.

GURJÃO, K. C. DE O.; SILVA, A. S.; ALMEIDA, F. DE A. C.; BRUNO, R. L. A.; PEREIRA, W. E. Cinética de secagem da polpa de tamarindo pelo método de camada de espuma (“foam-mat drying”). In: Congresso Brasileiro de Fruticultura, 20., Vitória. **Anais ...**, Vitória/ES, 2008. CD-ROM.

HAMINIUK, C. W. I. **Comportamento reológico e fracionamento péctico das polpas integrais de araçá (*Psidium cattleianum* sahine) e amora-preta (*Rubus spp.*)**. 2005. 99 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

HIMMELBLAU, D. M. **Engenharia química: princípios e cálculos**. 6 ed. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil, 1998, 592p.

IBARZ, A.; GONÇALVES, C; EXPLUGAS, S. Rheology of clarified passion fruit juices. **Fruit Processing**, v. 6, n. 8, p. 330-333, 1996.

ITO, A. P. **Estudo do processo de desidratação osmótica a pulso de vácuo (PVOD) para manga**. Campinas, SP: UNICAMP, 2007. 171f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, 2007.

KARIM, A. A.; CHEE-WAI, C. Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) purée. stability and air drying characteristics. **Food Chemistry**, v. 64, n. 3, p.337-343, 1999.

KAYA, A.; AYDIN, O.; DEMIRTAS, C. Drying Kinetics of red delicious apple. **Biosystems Engineering**, v. 96, n. 4, p.517–524, 2007.

KOKINI, J.; AKEN, G. V. Discussion session on food emulsions and foams. **Food Hydrocolloids**, v. 20, p. 438-445, 2006.

KROKIDA, M.K.; KIRANOUDIS, C.T.; MAROULIS, Z.B.; MARINOS KOURIS, D. Drying related properties of apple. **Drying Technology**, New York, v. 18, n. 6; p. 1251-1267, 2000.

LEITE, J.T.C.; PARK, K.J.; RAMALHO, J.R.P.; FURLAN, D.M. Caracterização reológica das diferentes fases de extrato de inulina de raízes de chicória, obtidas por abaixamento de temperatura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 2002-210, 2004.

LEITE, J. T. C. **Obtenção de extrato de inulina de chicória (*Cichorium intybus*) por abaixamento de temperatura e secagem por spray dryer**. 2001. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

LEON, J.; SHAW, P. E. Spondias: The Red Mombin and Related Fruits. In: NAGY S.; SHAW, P. E.; WARDOWSKI, W. F. (ed). **Fruits of Tropical and Subtropical Origin: Composition properties and uses**. Flórida. 1990. cap 4, p. 116-126.

LEWIS, M. J. **Physical properties of foods and food processing systems**. England: Ellis Horwood Limited, 1990, 480p.

LIMA, C. Q. DE; SILVA, C. G. DA; MEDEIROS, D. S DE; ALMEIDA, K. M. DE A.; NASCIMENTO, M. A. G. DO; FRANÇA, J. DE A. Cinética da secagem de sementes de algaroba com cápsula. In: **Semana Acadêmica de Ciências Agrárias**, 3., Catolé do Rocha. **Anais ...**, Catolé do Rocha – PB – UEPB. 2008.

LIMA, I. J. E.; QUEIROZ, A. J. DE M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Propriedades termofísicas da polpa de umbu. **Revista Brasileira de produtos agroindustriais**, Campina Grande, Especial, n. 1, p. 31 – 42, 2003.

LINS, A. C. DE A. **Desenvolvimento de fruta estruturada com umidade intermediária obtida de polpas concentradas de três genótipos de cajazeira (*Spondias mombin* L.)**. 2010, 81f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia do Alimento) - Universidade Federal Rural de Pernambuco.

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations: Part II - milk, coffee, tea, nut, oilseeds, spices and starchy foods **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, Zurich, v. 18, n. 1, p. 118-124, 1985.

MACHADO, S. S.; TAVARES, J. T. Q.; CARDOSO, R. L.; MACHADO, C. S.; SOUZA, K. E. P. Caracterização de polpas de frutas tropicais congeladas comercializadas no Recôncavo Baiano. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 2, p. 158 – 163, 2007.

MARTINS, S.T. & MELO, B. *Spondias* (Cajá e outras). Disponível em: <<http://www.fruticultura.iciag.ufu.br/caja.html>>. Acesso em 13 mar 2006.

MCCLEMENTS, J. **Food Biopolymers and Colloids Research Laboratory**. University of Massachusetts Amherst. Disponível em: <<http://www.unix.oit.umass.edu/~mcclemen/58IRheology.html>>. Acesso: Agosto de 2010.

MCLAUGHLIN, C. P., MAGEE, T. R. A. The determination of sorption isotherm and the isosteric heats of sorption for potatoes. **Journal of Food Engineering**, v. 35, n. 3, p. 267–280, 1998.

MEDEIROS, J. **Secagem e armazenamento de polpa de mangaba**. 2007, 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

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

MELO, K. S. **Secagem em camada de espuma da polpa do fruto do mandacaru**. 2008, 148f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande.

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, 37., 2008, Foz do Iguaçu, **Anais...**, Foz do Iguaçu – PR, 2008. CD ROM.

MELONI, P. L. S. **Desidratação de frutas e hortaliças**. Fortaleza: Instituto Frutal, 2003. 87p.

MELONI, P. L. S. **Estudos dos parâmetros operacionais ua secagem de cenoura (Daucus carota L.)**. 1995. 67f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Viçosa – MG.

MITSCHKA, P. Simple conversion of brookfield RVT: readings into viscosity functions. **Rheologica Acta**, Prague, v. 21, n. 2, p. 207-209, 1982.

MOHSENIN, N. N. **Thermal properties of foods and agricultural materials**. New York: Gordon and Breach Sci. Publishers, 1980. 407 p.

MOURA, S. C. S. R.; FRANÇA, V. C. L.; LEAL, A. M.C. B. Propriedades termofísicas de soluções-modelos similares a sucos - parte III. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, p. 454-459, 2005.

MOURA, R.S.F., ALMEIDA, F.A.C.; GOUVEIA, J.P.G., SILVA, M.M.; FIGUEIRÊDO NETO, A. Efeito da temperatura e da velocidade do ar na secagem de caju. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 30, 2001. **Anais...**, Pelotas, 2001. CD-ROMS.

NAGY, S.; CHEN, C. S.; SHAW, P. E. **Fruit juice processing technology**. Miami: Agscience, 1993. 713 p.

NASCIMENTO, A. L.; FERNANDES, T. K. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Viscosidades aparentes de soluções com polpa de umbu-cajá e maltodextrina. In: Congresso de Iniciação Científica - UFCG, 5., 2008. **Anais...**, Campina Grande – PB, 2008. CD ROM.

NASCIMENTO, J. **Estudo da cinética de secagem de banana (*Musa acuminata L.*)**. 2002. 65f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

NAVARRO, R. F. **Fundamentos de reologia de polímeros**. Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul, 1997. 264 p.

NITSCHKE, M & PASTORE, G. M. **Biosurfactantes: Propriedades e aplicações**. Química Nova. V. 25, n. 5, p. 772-776, 2002.

OLIVEIRA, F. M. N. **Secagem e armazenamento da polpa de pitanga**. 2006, 197f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

OLIVEIRA, M. E. B.; BASTOS, M. S. R.; FEITOSA, T.; BRANCO, M. A. A. C.; SILVA, M. G. G. Avaliação de parâmetros de qualidade físico-químicos de polpas congeladas de acerola, cajá e caju. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 3, 1999.

PARK, K.J.; ANTONIO, G.C.; OLIVEIRA, R.A.; PARK, K.J.B. **Conceitos de processos e equipamentos de secagem**. Campinas, 121p. 2007.

PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. B. Seleção de Processos e Equipamentos de Secagem. Palestra, 01 de agosto de 2006. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa. **Anais...**, 2006. CD-ROM.

PARK, K. J.; LEITE, J. T. C. **Reologia**. Disponível em: <<ftp://ftp.agr.unicamp.br/pub/disciplinas/fa-20/reologia>>. UNICAMP. Última atualização em abril de 2001.

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

PELEG, M. Assessment of a semi-empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms. **Journal of Food Processing Engineering**, v. 16, n. 1, p. 21-37, 1993.

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 de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 1, 2000.

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

PEREIRA, D. A. **Extração aquosa de própolis e secagem em leite de espuma para uso em alimentos**. Itapetinga, BA: UESB, 2008. 88f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

PEREIRA, E.A.; QUEIROZ, A.J.M.; FIGUEIRÊDO, R.M.F. Propriedades reológicas da polpa de açaí (*Euterpe oleracea*, Mart.): efeito da concentração. **Engenharia Agrícola**, v. 23, n. 3, p. 606-612, 2003.

PINTO, E. G. **Caracterização da espuma de jenipapo (*Genipa americana L.*) com diferentes aditivos visando à secagem em leite de espuma**. 2009, 65f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga.

PISCA. Disponível em: <http://picasaweb.google.com/lh/photo/fBGT-8_bwUCLXjKgOssw_g>. Acesso em: Novembro de 2010.

PRADO, M. E. T. **Secagem de tâmaras (*Phoenix dactylifera L*) para obtenção de tâmara passa**. 1998. 152 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

PROFRUTAS. **Curso de tecnologia de industrialização de frutas**. João Pessoa: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Paraíba. PROFRUTAS/SINE, 1997. 24 p.

Com os dados da acidez total titulável obtidos com o planejamento fatorial das amostras do pó (Formulações 1, 2 e 3) foi feita a regressão linear desses dados experimentais, em função da espessura, temperatura e da interação espessura x temperatura, obtendo-se o modelo empírico (Equação 4.3) onde os termos em negrito foram significativos a 95% de confiança.

$$ATT = 6,905 - 0,231E - 0,157T + 0,126E.T \quad (4.3)$$

onde:

ATT – acidez total titulável (% ácido cítrico)

E – espessura da camada de espuma (cm)

T – temperatura de secagem (°C)

Na Tabela 4.24, a qual apresenta a ANOVA, o valor do $F_{\text{calculado}}$ foi menor que o valor do F_{tabelado} para o nível de 95% de confiança; logo, de acordo com o teste F, o modelo de primeira ordem da acidez total titulável não foi estatisticamente significativo a 95% de confiança; o coeficiente de determinação (R^2) encontrado foi de 58,16% o que indicando que não foi boa a precisão.

Tabela 4.24 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para acidez total titulável

| | SQ | GL | MQ | $F_{\text{calculado}}$ | F_{tabelado}^* |
|-----------------|----------|----|--------|------------------------|-------------------------|
| Regressão | 0,7489 | 3 | 0,2496 | 3,24283989 | 4,35 |
| Resíduo | 0,5388 | 7 | 0,0770 | | |
| Falta de ajuste | 0,537992 | 5 | 0,1076 | 254,446192 | 19,3 |
| Erro puro | 0,000846 | 2 | 0,0004 | | |
| Total | 1,287709 | 10 | | | |

$R^2 = 58,16\%$; *Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$. SQ - soma quadrática, GL - grau de liberdade, MQ - média quadrática

A Figura 4.23 apresenta a superfície de resposta para a acidez total titulável, relacionando espessura x temperatura, para o ponto central que corresponde a 2% de Emustab (Formulação 2), geradas através do modelo proposto. Avaliando-se o comportamento obtido na superfície de resposta, verifica-se que a maior acidez total titulável (7,8% ácido cítrico) foi encontrada nas menores espessuras e maiores temperaturas, e a menor acidez total titulável (6,6% ácido cítrico) encontrada foi na maior

espessura e maiores temperaturas; desta forma, foi possível verificar, como mostrado no Pareto, que a espessura apresentou maior influência no comportamento da acidez total titulável na secagem. Os comportamentos diferentes encontrados para as diversas condições de secagem, eram esperados, visto que as secagens foram realizadas até peso constante. BASTOS et al. (2005) apesar de não terem detectado diferenças significativas entre os valores da acidez total das polpas de manga (Tommy Atkins) desidratadas a 70 e 85 °C, verificaram tendência de diminuição da acidez em função do aumento da temperatura de secagem.

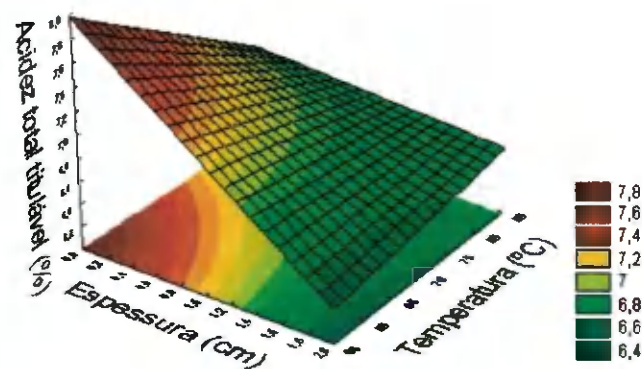


Figura 4.23 - Superfície de resposta para a acidez total titulável, relacionando-se espessura x temperatura, para o ponto central que corresponde a uma concentração de 2% de Emustab (Formulação 2)

Na Tabela D.1, encontram-se os valores médios da acidez total titulável (% de ácido cítrico) das amostras de cajá em pó, desidratadas nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, com espessuras de 0,5; 1,0 e 1,5 em, e diferentes concentrações de Emustab e Super Liga Neutra, utilizando-se planejamento fatorial. A acidez dos pós variaram entre um máximo de 7,41% de ácido cítrico e um mínimo de 6,44% de ácido cítrico. SILVA et al. (2005b) determinaram na polpa de acerola em pó, secas a 70 °C, um teor de 5,5% de ácido cítrico, logo após a secagem.

4.7.5 – Açúcares redutores

A Tabela 4.25 apresenta os efeitos estimados, erros, coeficientes *t* e graus de significância estatística, para cada fator no modelo real para açúcares redutores. Observa-se que dentre os parâmetros estudados a temperatura, as interações concentração x temperatura e espessura x temperatura, apresentaram significância a 95% de confiança com valores de *p* inferiores a 0,05, no entanto, os outros fatores não foram significativos.

Tabela 4.25 - Efeito estimado, erro, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para os açúcares redutores

| Fatores | Efeito Estimado | Erro Padrão | t (2) | Significância Estatística (p) |
|-----------------------------------|------------------------|--------------------|----------------|--------------------------------------|
| Concentração (C) | 3,14640 | 0,915141 | 3,4382 | 0,075180 |
| Espessura (E) | 1,34533 | 0,915141 | 1,4701 | 0,279333 |
| Temperatura (T) | 6,52146 | 0,915141 | 7,1262 | 0,019129 |
| Concentração x Espessura | 2,47233 | 0,915141 | 2,7016 | 0,114047 |
| Concentração x Temperatura | -4,49024 | 0,915141 | -4,9066 | 0,039116 |
| Espessura x Temperatura | -4,49443 | 0,915141 | -4,9112 | 0,039048 |

Na Figura 4.24, na qual se encontra o diagrama de Pareto para avaliação dos açúcares redutores, é possível visualizar de melhor forma os parâmetros que foram estatisticamente significativos a 95% de confiança, sendo os que ultrapassaram a linha do $p = 0,05$. Dentre estes que foram significativos, observa-se que a temperatura foi o fator que mais influenciou a acidez total titulável.

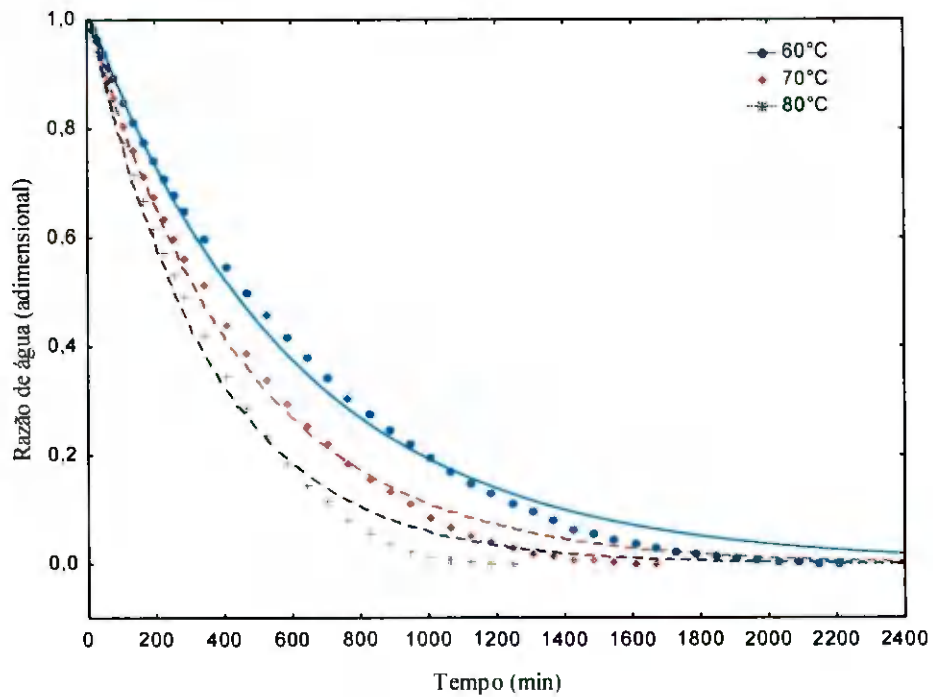


Figura C.6 - Cinética de secagem da Formulação 1 com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Henderson & Pabis

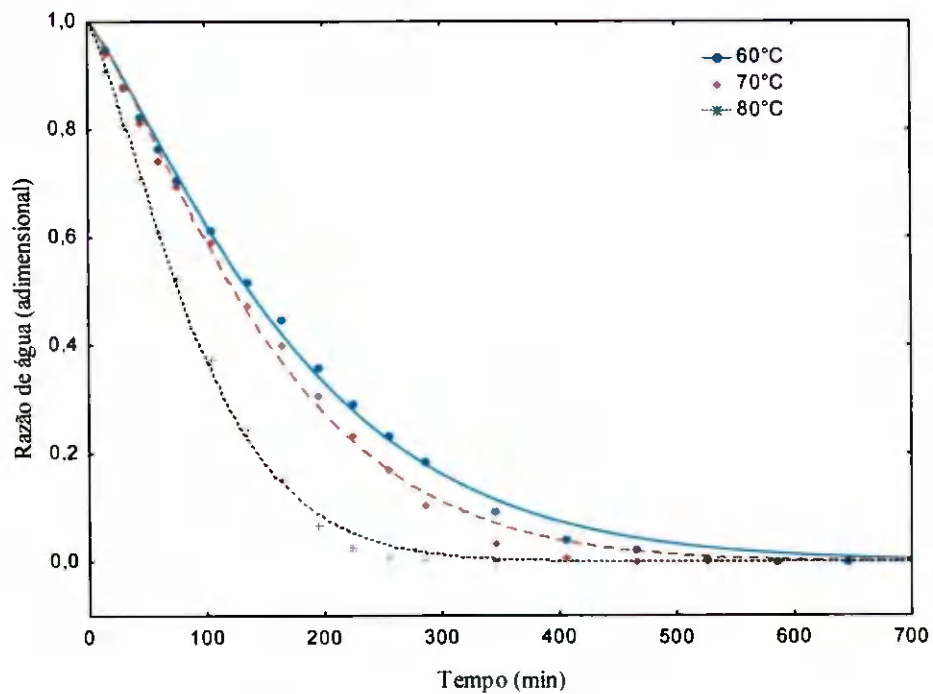


Figura C.7 - Cinética de secagem da Formulação 2 com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Page

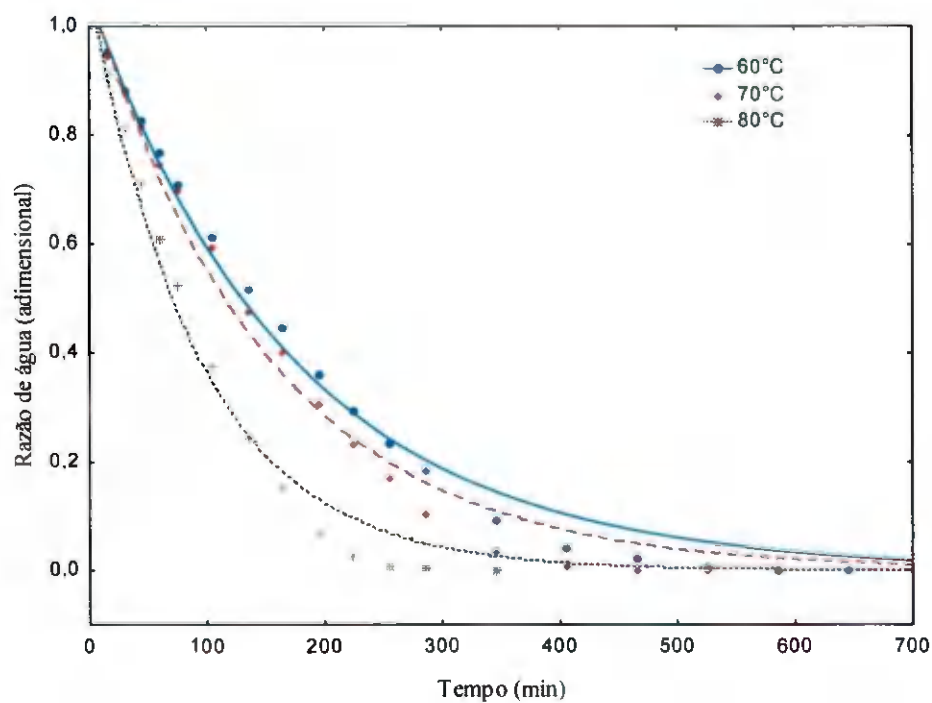


Figura C.8 - Cinética de secagem da Formulação 2 com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Henderson & Pabis

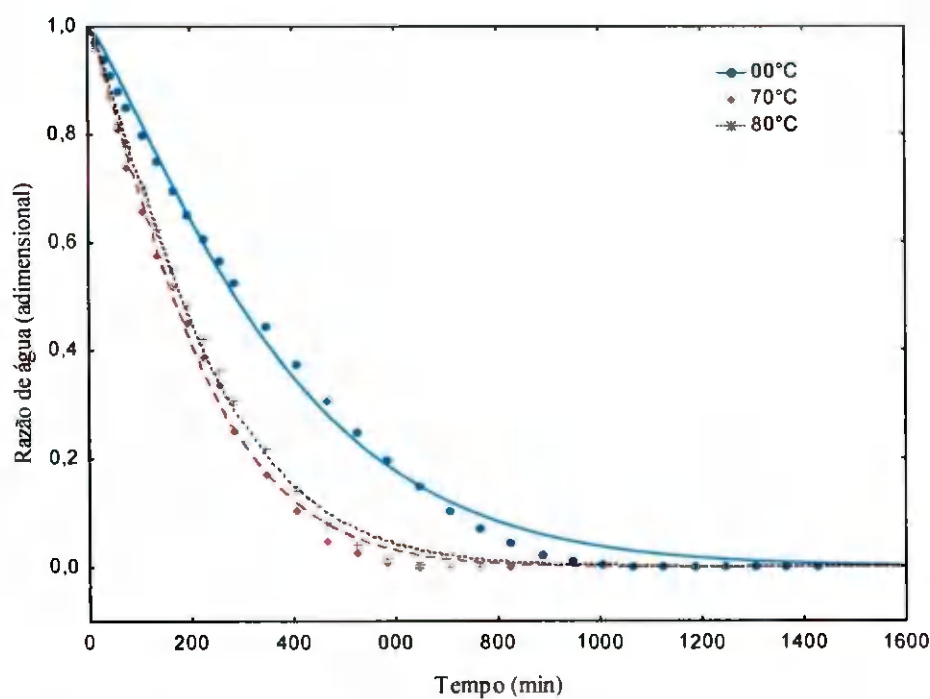


Figura C.9 - Cinética de secagem da Formulação 2 com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Page

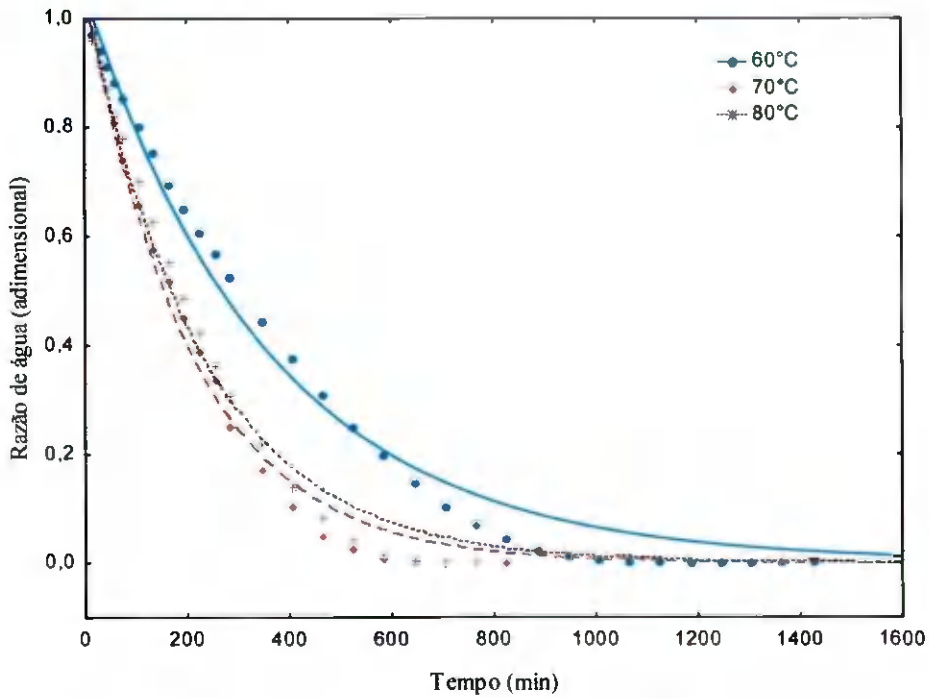


Figura C.10 - Cinética de secagem da Formulação 2 com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Henderson & Pabis

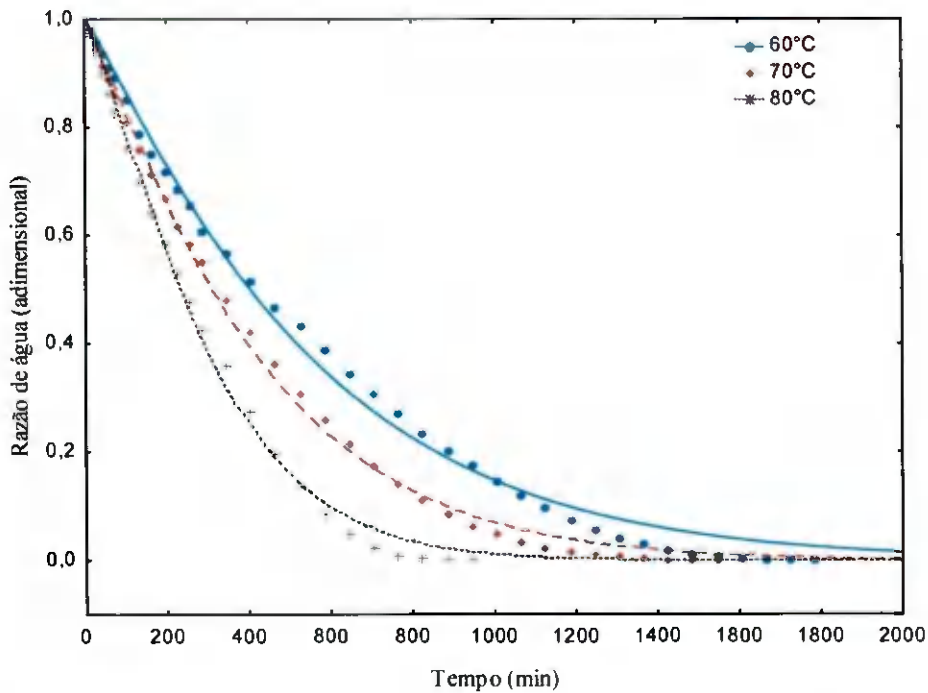


Figura C.11 - Cinética de secagem da Formulação 2 com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Page

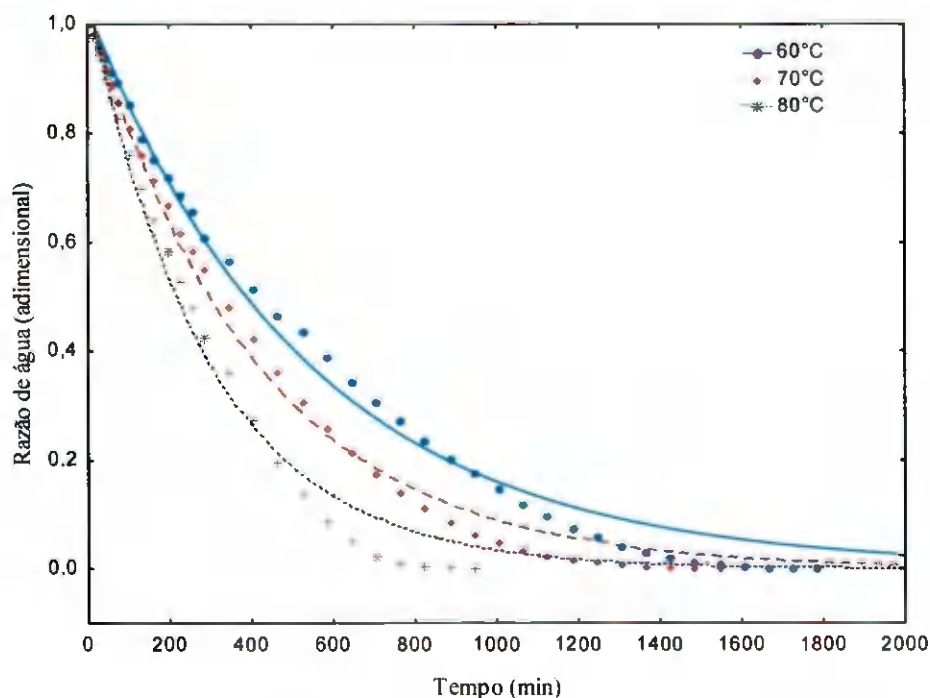


Figura C.12 - Cinética de secagem da Formulação 2 com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Henderson & Pabis

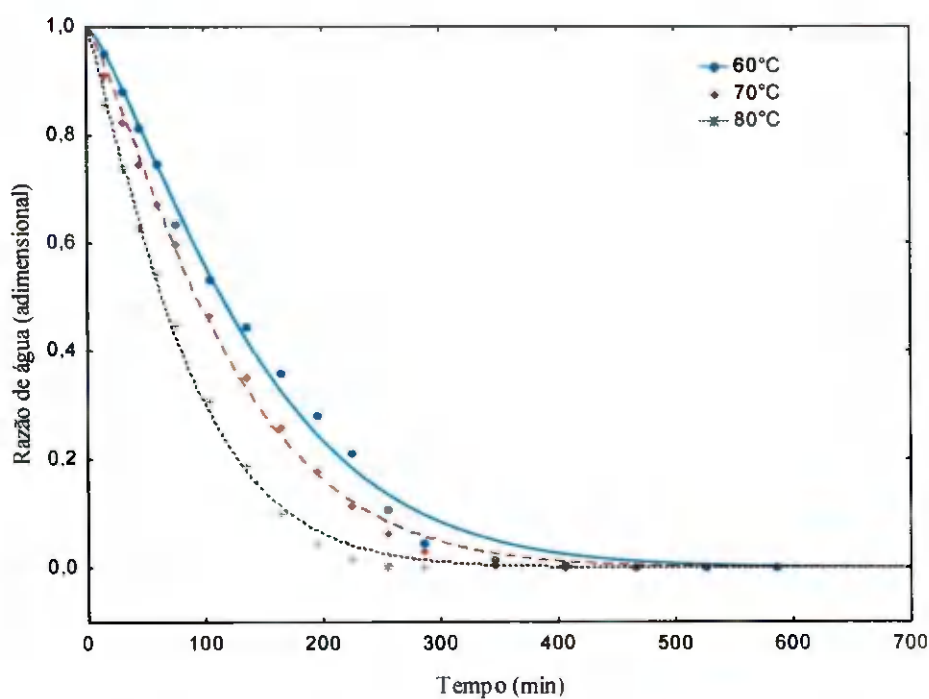


Figura C.13 - Cinética de secagem da Formulação 3 com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Page

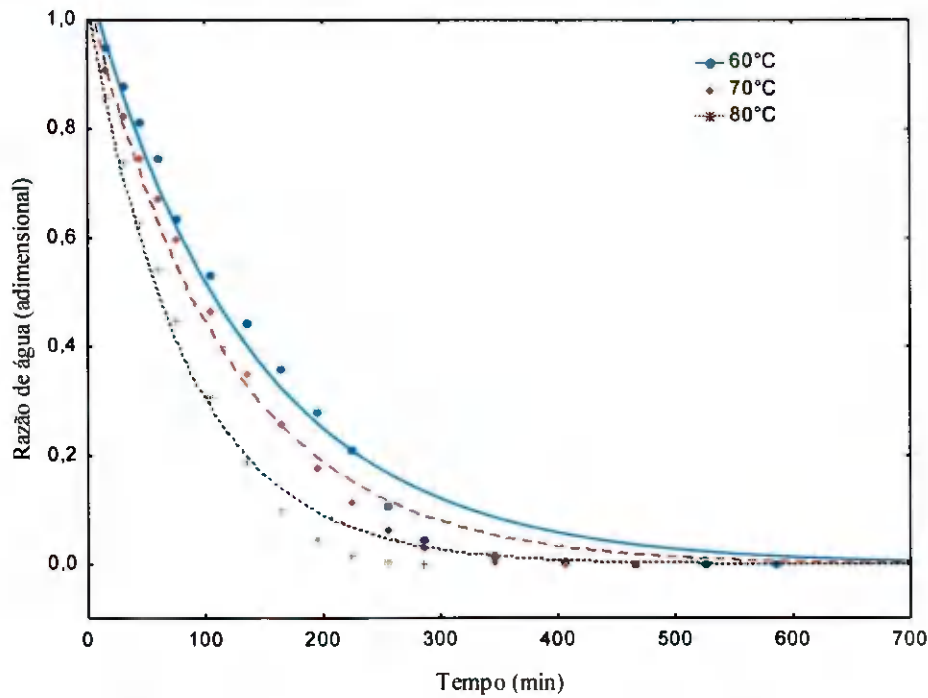


Figura C.14 - Cinética de secagem da Formulação 3 com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Henderson & Pabis

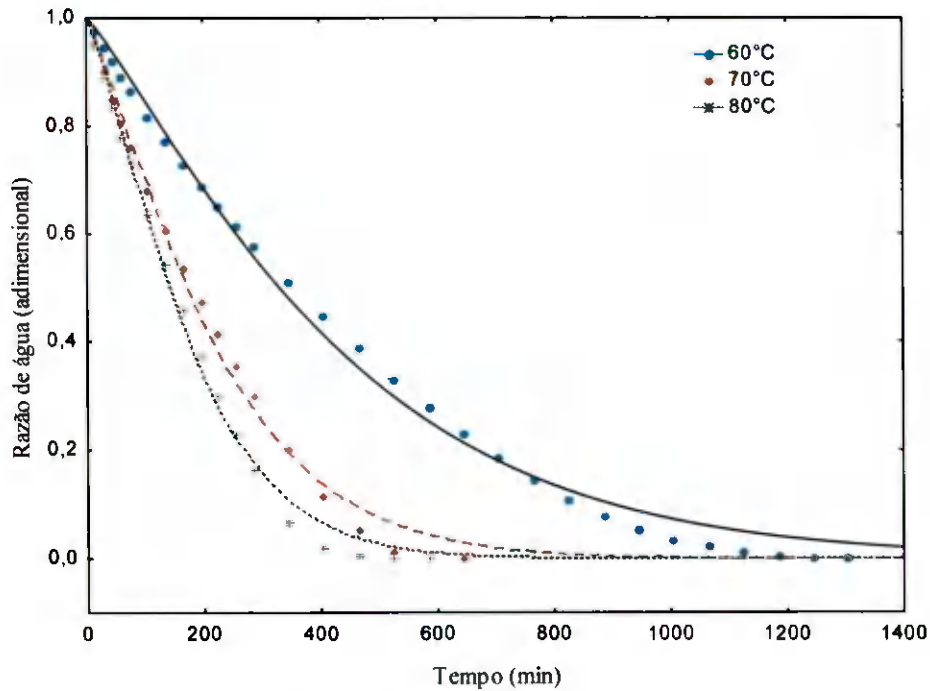


Figura C.15 - Cinética de secagem da Formulação 3 com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Page

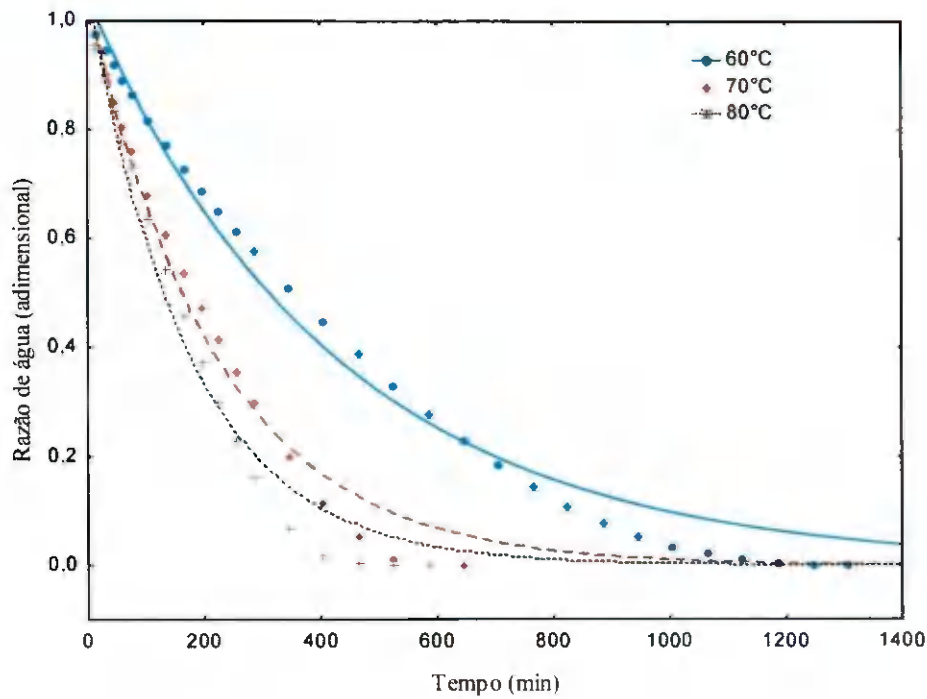


Figura C.16 - Cinética de secagem da Formulação 3 com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Henderson & Pabis

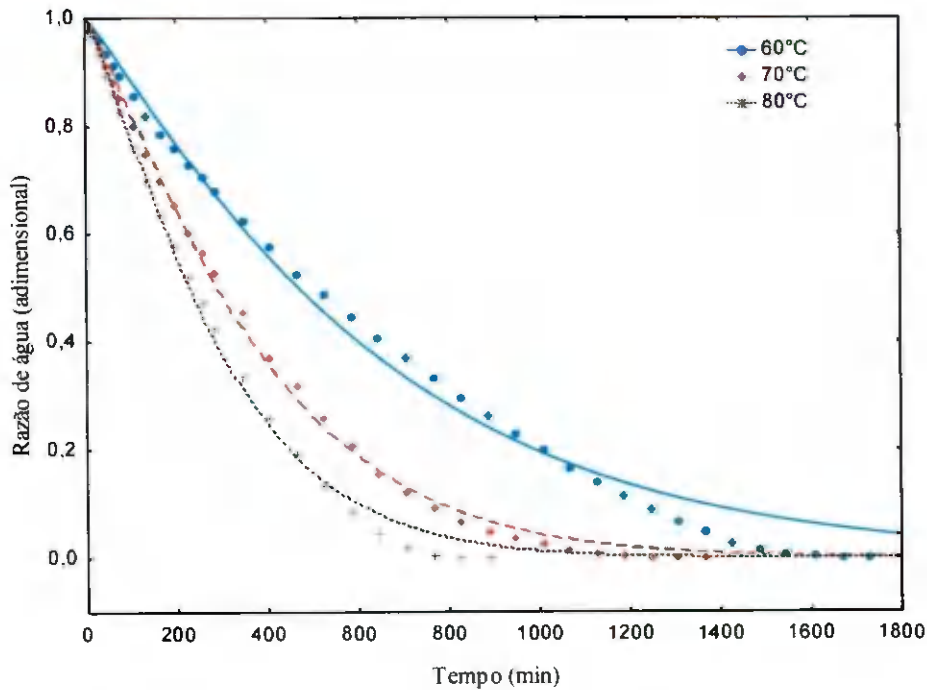


Figura C.17 - Cinética de secagem da Formulação 3 com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Page

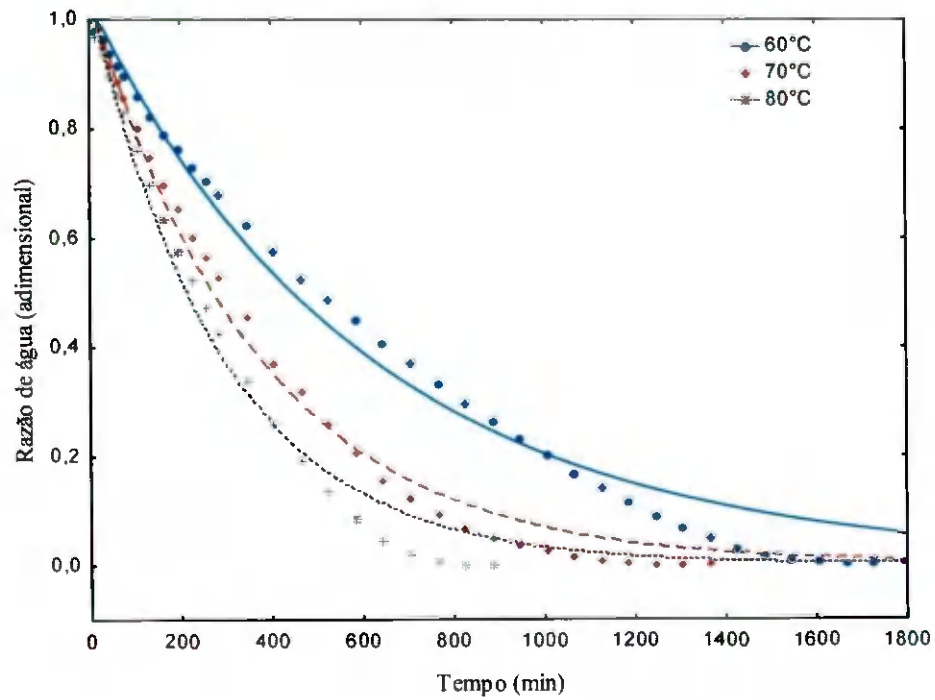


Figura C.18 - Cinética de secagem da Formulação 3 com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Henderson & Pabis

APÊNDICE D

APÊNDICE E

Tabela E.1 – Valores médios do teor de água de equilíbrio do Experimento nº 2, o qual foi selecionado, desidratado a 60 °C com espessura de 0,5 cm e 3% de Emustab

| aw | Ueq (%B.s.) |
|-----------|--------------------|
| 0,252 | 5,698 |
| 0,377 | 8,064 |
| 0,422 | 9,536 |
| 0,444 | 10,271 |
| 0,463 | 11,901 |
| 0,480 | 12,322 |
| 0,493 | 12,899 |
| 0,514 | 13,845 |
| 0,531 | 14,634 |
| 0,544 | 15,369 |
| 0,557 | 16,262 |
| 0,573 | 17,103 |
| 0,582 | 17,577 |
| 0,613 | 19,416 |
| 0,629 | 20,782 |
| 0,646 | 22,149 |
| 0,664 | 23,620 |
| 0,677 | 24,671 |
| 0,702 | 27,089 |
| 0,722 | 29,297 |
| 0,736 | 30,663 |
| 0,757 | 33,291 |
| 0,772 | 35,656 |
| 0,780 | 37,127 |
| 0,875 | 65,351 |
| 0,891 | 74,076 |
| 0,912 | 93,522 |
| 0,918 | 94,889 |
| 0,927 | 110,920 |