



## **INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

Centro de Tecnologia de Frutas e Hortaliças – Fruthotec

**ISABELA PORTELINHA TONIN**

### **DESIDRATAÇÃO DE POLPA DE MANGA EM SECADOR DE CILINDRO ROTATIVO (*DRUM DRYING*): VARIÁVEIS DE PROCESSO**

CAMPINAS

2017

ISABELA PORTELINHA TONIN

DESIDRATAÇÃO DE POLPA DE MANGA EM SECADOR DE  
CILINDRO ROTATIVO (*DRUM DRYING*): VARIÁVEIS DE  
PROCESSO

*Dissertação apresentada ao Instituto de  
Tecnologia de Alimentos para obtenção  
do título de Mestre em Ciência e  
Tecnologia de Alimentos.*

Aluno: Isabela Portelinha Tonin  
Orientador: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Silvia Pimentel Marconi Germer

*Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação defendida  
pela aluna Isabela Portelinha Tonin e orientada pela Prof<sup>a</sup> Dra.  
Silvia Pimentel Marconi Germer.*

CAMPINAS  
2017

**Agência:** Fapesp – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

**Nº do proc.:** 2015/12303-3

### Ficha Catalográfica

Elaborada pela Bibliotecária Adriana Gomes do Nascimento CRB/8 8853 –

Biblioteca Central do ITAL- Instituto de Tecnologia de Alimentos.

T665d Tonin, Isabela Portelinha. Desidratação de polpa de manga em secador de cilindro rotativo (*drum drying*): variáveis de processo. Isabela Portelinha Tonin / Dissertação de mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Campinas, SP: ITAL - Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2017.

99f.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Silvia Pimentel Marconi Germer (orientador)

1. Secagem. 2. Ingredientes. 3. Propriedades físico-químicas. 4. Nutrientes 5. Otimização. Instituto de Tecnologia de Alimentos, FRUTOTHEC - Centro de Tecnologia de Frutas e Hortaliças. I. Instituto de Tecnologia de Alimentos – ITAL. II. Isabela Portelinha Tonin. III. Título.

Título em inglês: Dehydration of mango pulp in rotary cylinder dryer (drum drying): process variables

Key-words: drying, ingredients, physico-chemical properties, nutrientes, optimization

Titulação: Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Banca Examinadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Silvia Pimentel Marconi Germer (orientadora)

Prof. Dr. José Mauricio de Aguirre (membro titular)

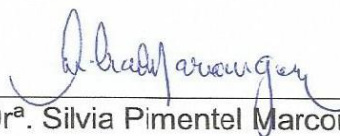
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Izabela Dutra Alvim (membro titular)

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marise Bonifacio Queiroz (membro suplente)

Data da Defesa: 23 de fevereiro de 2017

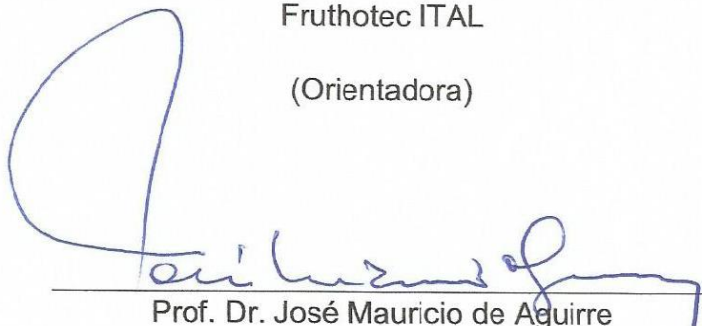
Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos

“Este exemplar corresponde à redação final da **Dissertação de Mestrado** defendida por **Isabela Portelinha Tonin**, aprovada pela Comissão Julgadora em 23 de fevereiro de 2017”.



Profª. Drª. Silvia Pimentel Marconi Germer

Instituto de Tecnologia de Alimentos –  
Fruthotec ITAL  
(Orientadora)



Prof. Dr. José Mauricio de Aguirre

Instituto de Tecnologia de Alimentos –  
Fruthotec ITAL  
(Membro Titular)



Profª. Drª. Izabela Dutra Alvim

Instituto de Tecnologia de Alimentos – Cereal  
Chocotec ITAL  
(Membro Titular)

---

Profª. Drª. Marise Bonifacio Queiroz

Instituto de Tecnologia de Alimentos – Cereal  
Chocotec ITAL  
(Membro Suplente)

*“Descobrir consiste em olhar para o que todo mundo está vendo e pensar uma coisa diferente.”*

Roger Von Oech

## DEDICATÓRIA

Dedico aos meus pais, pelo apoio e amor incondicional.

## AGRADECIMENTOS

A conclusão e realização desta dissertação de mestrado é o resultado de muitas horas de trabalho que não poderia chegar ao fim sem o precioso apoio de várias pessoas que me ajudaram tanto no crescimento profissional, como no pessoal e aos quais eu serei eternamente grata.

Agradeço a Deus, por conduzir os meus passos para chegar até aqui, colocando em meu caminho pessoas amigas e importantes.

Aos meus pais, pela oportunidade da vida, que apesar da distância e das dificuldades, sempre me apoiaram nas minhas decisões e me incentivaram muito para que eu sempre seguisse em busca dos meus sonhos. Obrigada por estarem comigo em mais essa conquista. Amo vocês!

À minha irmã, que dividiu um lar comigo durante esses anos e presenciou de perto a minha caminhada de todos os dias.

Aos meus familiares que sempre torceram por mim, em especial a minha tia Mari. Aproveito para agradecer a minha avó Aurora (*in memoriam*), que se foi durante essa etapa, mas me deixou muitas lições e exemplos a serem seguidos.

À minha orientadora, Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Silvia Pimentel Marconi Germer, por ter me escolhido como sua primeira aluna de mestrado, e ter acreditado em mim e no meu trabalho. Acredito que isso foi o principal para eu também acreditar que seria capaz de terminar essa etapa. Obrigada também pela paciência, por me ensinar a ser cada vez mais minuciosa com os termos utilizados nas redações, por ter me corrigido nos momentos necessários, além de todo o tempo disponibilizado para me ensinar coisas novas. Espero que eu tenha conseguido atingir como aluna, parte dos seus objetivos, assim como, sem sombra de dúvidas você atingiu os meus. Muito obrigada por tudo!

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo financiamento do projeto.

À Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa do Agronegócio (FUNDEPAG), pela bolsa concedida.

À Dr<sup>a</sup> Izabela Dutra Alvim e ao Dr. José Maurício de Aguirre, por terem aceito o convite de participação como membro da banca de qualificação e defesa, com contribuições e sugestões para melhoria do trabalho.

À Cristhiane Ferrari, pelas inúmeras ajudas em muitas etapas desse trabalho. Foram muitos “momentos manga” no convívio diário e, inspirações em conjunto. Cris, obrigada por todo ensinamento transmitido, e por dividir comigo tanto os momentos “doces” como os de desespero.

À Elaine Guerreiro, pela imensa vontade de ajudar, pela atenção e paciência, principalmente nas primeiras análises no laboratório. Obrigada por todo conhecimento transmitido, e por ter me ensinado tudo de uma maneira ímpar, além de me acompanhar e auxiliar nos diversos ensaios de secagem.

Ao Vinícius, aluno de Iniciação Científica, que me ajudou em várias etapas desse estudo, aceitando dividir comigo parte desse desafio.

À equipe de funcionários de apoio do FRUTHOTEC/ITAL, em especial a Elza, João, Marcos e Eliseu, por toda a colaboração durante a realização dos ensaios pilotos. Também não poderia me esquecer do Sr. Plínio (*in memorian*), também funcionário da planta, que me transmitiu os primeiros ensinamentos operacionais do *drum*.

À diretora do FRUTHOTEC/ITAL, Shirley Aparecida Berbari, que também foi professora na graduação, e a toda a equipe do centro que direta ou indiretamente colaboraram para a realização desse trabalho.

Ao Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL), pela oportunidade da pós graduação, e a todos os docentes do programa, pelos ensinamentos transmitidos durante as disciplinas cursadas.

À Elenice, secretária do programa de pós-graduação, por não medir esforços para auxiliar os alunos sempre que necessário, fornecendo documentações, entre tantas outras solicitações.

A todos os amigos do mestrado, principalmente aos da turma 2015, pela união e companheirismo de sempre. Acredito que os docentes não selecionaram apenas uma turma, mas sim, amigos para a vida toda.

Destaco aqui a Aline (eterna japa), amante dos fungos, e ao Diogo, que foram os integrantes do meu primeiro grupo de trabalho e seminário no mestrado, e me ensinaram a grande diferença de se estudar com pessoas de áreas opostas, além das trocas de informação e conhecimento.

À Raquel, pela amizade, compartilhando tanto os momentos alegres como os tristes durante esses anos, além do companheirismo no estudo para algumas provas, e nas madrugadas de relatórios de aulas práticas e seminários.

À Rosa de CETEA/ITAL pelo fornecimento da embalagem utilizada no estudo e, ao Luis por todas as bobinas de desenroladas, além da amizade.

À Maria Isabel Berto por permitir que a análise de reologia fosse feita no GEPC/ITAL e à Karen, por toda paciência e auxílio durante a análise e discussão dos resultados.

À Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Miriam Hubinger da FEA/UNICAMP, por permitir a realização da análise de transição vítrea e à Vanessa por todo apoio prestado.

À Ingredion, pelo fornecimento do amido e maltodextrinas.

A toda a equipe do CCQA/ITAL que esteve envolvida em algumas análises, em especial à Marta, o Marcelo, à Maria Tereza e à Sueli.

À Maira Yamato, por estar realizando a segunda etapa do estudo que iniciei.

À Isabela Ribeiro, que me auxiliou com bibliografias no início dessa etapa, além da amizade e companheirismo.

E não poderia me esquecer de toda a equipe do CEREAL CHOCOTEC/ITAL, que nunca mediu esforços para me ajudar no que fosse preciso, tanto antes da prova do mestrado, assim como durante todo esse percurso. Agradeço em especial à Marise Bonifacio Queiroz, que me apoiou e incentivou nas etapas anteriores ao mestrado, sempre transmitindo seus conhecimentos com muita calma e paciência. Tenho também um grande carinho por esse centro, que foi onde tive o primeiro contato com a área de pesquisa e desenvolvimento de produtos.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para que fosse possível a realização deste trabalho.

E assim, deixo o meu muito obrigado, sendo imensamente grata por todos os amigos que fiz nesse Instituto durante esses anos.

## RESUMO

O objetivo do estudo foi determinar as melhores condições de processo para a produção de polpa de manga em pó/flocos por desidratação em secador de cilindro rotativo (*drum dryer*), tendo em vista maiores rendimentos de secagem e retenções de qualidade da matéria-prima. Avaliou-se, primeiramente, o uso de diferentes coadjuvantes de processo no *drum drying*. Os ensaios foram realizados em secador de cilindro único, com aquecimento indireto por vapor (5 kgf/ cm<sup>2</sup>/ 150 °C) e tempo de residência de 15 segundos. Empregou-se polpa comercial de manga (aproximadamente 15 °Brix) (P) variando-se os aditivos: monoestearato de glicerila (MSG); maltodextrina 10DE (M10) e 20DE (M20) e amido de milho (A). As seguintes combinações de aditivos foram empregadas (bs): 1) P + 3% A + 0,5% MSG; 2) P + 3% A + 1% M10 + 0,5% MSG; 3) P + 3% A + 1% M20 + 0,5% MSG; 4) P + 3% M10 + 0,5% MSG; 5) P + 4% A + 1% MSG; 6) P sem aditivos. Após a secagem, os produtos foram moídos e os teores médios de umidade e atividade de água foram  $0,76 \pm 0,20\%$  e  $0,205 \pm 0,014$ , respectivamente. Não houve diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) na higroscopicidade, solubilidade e retenção de carotenoides totais dos pós. O ensaio 1 se destacou com maior retenção de vitamina C ( $61,02 \pm 0,68\%$ ) e de  $\beta$ -caroteno ( $89,56 \pm 2,80\%$ ). Em uma segunda etapa, investigaram-se as melhores condições do *drum drying*, a partir da temperatura (T) e tempo de residência (t), visando maiores retenções dos parâmetros de qualidade, tais como: teor de umidade, teor de carotenoides e  $\beta$ -caroteno, cor, teor de vitamina C, atividade antioxidante (ABTS e DPPH) e compostos fenólicos totais. Utilizou-se polpa comercial e, 3% de amido regular e 0,5% de monoestearato de glicerila (bs) como coadjuvantes. O delineamento empregado foi o Central Composto Rotacional, variando T de 120 a 150 °C, e t de 10 a 40 segundos. Após secagem, o produto foi floculado. Modelos matemáticos foram obtidos para as seguintes variações: teor de umidade, teor de carotenoides totais, e parâmetros de cor da polpa reconstituída ( $a^*$ , Hue,  $\Delta E$ ). Com base nas superfícies de respostas, verificou-se que as melhores faixas de T e t foram de 120-135 °C e 10-25 segundos, respectivamente. Nas condições otimizadas os produtos apresentaram teor de umidade de  $1,83 \pm 0,74\%$  e teor de

carotenoides de  $14,83 \pm 0,57$  mg/ 100 g. A cor da polpa reconstituída esteve menos vermelha, e mais próxima do amarelo, e os flocos apresentaram baixa higroscopicidade (aproximadamente 24%), alta solubilidade (aproximadamente 79%), alta molhabilidade (aproximadamente 29 segundos). Além disso, as retenções do  $\beta$ -caroteno e dos compostos fenólicos totais foram de aproximadamente 100% em relação à polpa *in natura*. Nas condições otimizadas, a retenção da vitamina C foi de aproximadamente 65%, e a retenção da atividade antioxidante variou de 88% (ABTS) a 96% (DPPH) em relação à polpa *in natura*.

**Palavras-chave:** secagem, ingredientes, propriedades físico-químicas, nutrientes, otimização

## ABSTRACT

The objective of the study was to determine the best process conditions for the production of mango pulp powder/flakes by dehydration in drum dryer, in order to obtain higher drying yields and quality retention of the raw material. First, the use of different process carrier in drum drying was evaluated. The process was performed in a single cylinder dryer, with indirect heating ( $5 \text{ kgf/ cm}^2/ 150 \text{ }^\circ\text{C}$ ) and residence time of 15 seconds. Commercial mango pulp was used (approximately 15 °Brix) (P) by varying the additives: glyceryl monostearate (GMS); maltodextrin 10DE (M10) and 20DE (M20) and corn starch (S). The following combinations of additives were employed (d.b.): 1) P + 3% S + 0.5% GMS; 2) P + 3% S + 1% M10 + 0.5% GMS; 3) P + 3% S + 1% M20 + 0.5% GMS; 4) P + 3% M10 + 0.5% GMS; 5) P + 4% S + 1% MSG; 6) P without additives. After drying, the products were ground and the mean moisture and water activity contents were  $0.76 \pm 0.20\%$  and  $0.205 \pm 0.014$ , respectively. No significant differences were observed ( $p > 0.05$ ) for hygroscopicity, solubility and retention of total carotenoids of the powders. Test 1 was pointed out with higher retention of vitamin C ( $61.02 \pm 0.68\%$ ) and  $\beta$ -carotene ( $89.56 \pm 2.80\%$ ). In a second stage, the best conditions of drum drying were investigated, from the temperature (T) and residence time (t), aiming at higher retentions of the quality parameters, such as: moisture content, carotenoid content and  $\beta$ -carotene, color, vitamin C content, antioxidant activity (ABTS and DPPH) and total phenolic compounds. Commercial pulp and, 3% regular starch and 0.5% glyceryl monostearate (d.b.) were used as carrier agents. The experimental design was the Rotational Compound, varying T from 120 to 150 °C, and t from 10 to 40 seconds. After drying, the product was flocculated. Mathematical models were obtained for the following variations: moisture content, total carotenoid content, and color parameters of the reconstituted pulp ( $a^*$ , Hue,  $\Delta E$ ). Based on the response surfaces, the best T and t ranges were 120-135 °C and 10-25 seconds, respectively. In the optimized conditions, the products had a moisture content of  $1.83 \pm 0.74\%$  and carotenoid content of  $14.83 \pm 0.57 \text{ mg/ 100 g}$ . The color of the reconstituted pulp was less red, and close to yellow, and the flakes presented low hygroscopicity (approximately 24%), high solubility

(approximately 79%), high wettability (approximately 29 seconds). Furthermore, the retentions of  $\beta$ -carotene and total phenolic compounds were approximately 100% in relation to the fresh pulp. Under optimized conditions, vitamin C retention was approximately 65%, and retention of antioxidant activity ranged from 88% (ABTS) to 96% (DPPH) in comparison to the fresh pulp.

**Key words:** drying, ingredients, physico-chemical properties, nutrients, optimization

## ÍNDICE

|                                                                                                                                                     |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>ÍNDICE DE TABELAS .....</b>                                                                                                                      | <b>xix</b> |
| <b>1 INTRODUÇÃO E OBJETIVO .....</b>                                                                                                                | <b>1</b>   |
| 1.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                                                                                                | 4          |
| <b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>                                                                                                                | <b>7</b>   |
| 2.1 A MANGA COMO MATÉRIA PRIMA .....                                                                                                                | 7          |
| 2.2 PRODUÇÃO E EXPORTAÇÃO DE MANGA .....                                                                                                            | 9          |
| 2.3 O PROCESSO DE SECAGEM E A PRODUÇÃO DE FRUTAS EM PÓ ...                                                                                          | 9          |
| 2.4 O <i>DRUM DRYING</i> COMO ALTERNATIVA PARA A PRODUÇÃO DE<br>FRUTAS EM PÓ/FLOCOS .....                                                           | 11         |
| 2.4.1 O <i>drum dryer</i> .....                                                                                                                     | 11         |
| 2.4.2 Os parâmetros do <i>drum drying</i> e o uso de coadjuvantes .....                                                                             | 11         |
| 2.4.3 O <i>drum drying</i> de frutas .....                                                                                                          | 13         |
| 2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                                                                                                | 14         |
| <b>DESEMPENHO DE DIFERENTES COADJUVANTES DE PROCESSO SOBRE<br/>AS PROPRIEDADES DE POLPA DE MANGA EM PÓ OBTIDAS POR <i>DRUM<br/>DRYING</i> .....</b> | <b>21</b>  |
| 3.1 INTRODUÇÃO .....                                                                                                                                | 23         |
| 3.2 MATERIAIS E MÉTODOS .....                                                                                                                       | 25         |
| 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                                                                                                                    | 30         |
| 3.4 CONCLUSÃO .....                                                                                                                                 | 41         |
| 3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                                                                                                | 41         |
| <b>INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS DE PROCESSO NO <i>DRUM DRYING</i> DE<br/>POLPA DE MANGA .....</b>                                                       | <b>47</b>  |
| 4.1 INTRODUÇÃO .....                                                                                                                                | 49         |
| 4.2 MATERIAIS E MÉTODOS .....                                                                                                                       | 50         |
| 4.2.1 Estudo para o estabelecimento das melhores condições do drum<br>drying de manga .....                                                         | 50         |
| 4.2.1.1 Ensaios experimentais .....                                                                                                                 | 51         |

|                                                 |           |
|-------------------------------------------------|-----------|
| 4.2.1.2 Métodos analíticos.....                 | 54        |
| 4.2.1.3 Métodos estatísticos.....               | 56        |
| 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                | 56        |
| 4.4 CONCLUSÃO .....                             | 77        |
| 4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....             | 79        |
| <b>5 CONCLUSÕES GERAIS .....</b>                | <b>85</b> |
| <b>6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b> | <b>87</b> |
| <b>7 ANEXOS .....</b>                           | <b>89</b> |
| 7.1 ANEXO 1 .....                               | 89        |
| 7.2 ANEXO 2 .....                               | 99        |

## ÍNDICE DE TABELAS

### CAPÍTULO 3

|                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 3.1</b> Propriedades físico-químicas da polpa de manga empregada no estudo. ....                                                                                                                                        | 26 |
| <b>Tabela 3.2</b> Coadjuvantes de processo empregados nos ensaios de <i>drum drying</i> de manga. ....                                                                                                                            | 27 |
| <b>Tabela 3.3</b> Teores de umidade e atividade de água dos pós obtidos no estudo de <i>drum drying</i> de manga com diferentes coadjuvantes de processo.....                                                                     | 31 |
| <b>Tabela 3.4</b> Taxas de secagem, higroscopicidade e solubilidade dos pós obtidos no estudo de <i>drum drying</i> de manga com diferentes coadjuvantes de processo. ....                                                        | 32 |
| <b>Tabela 3.5</b> Parâmetros de cor da manga em pó obtida no <i>drum drying</i> com diferentes coadjuvantes de processo. ....                                                                                                     | 33 |
| <b>Tabela 3.6</b> Parâmetros de cor da polpa e das polpas reconstituídas a partir dos pós obtidos no <i>drum drying</i> de manga com diferentes coadjuvantes de processo.....                                                     | 34 |
| <b>Tabela 3.7</b> Teores de compostos fenólicos totais e vitamina C dos pós obtidos no <i>drum drying</i> de manga com diferentes coadjuvantes de processo e as respectivas retenções com relação à polpa. ....                   | 36 |
| <b>Tabela 3.8</b> Teores de carotenoides totais e $\beta$ -caroteno dos pós obtidos no <i>drum drying</i> de manga com diferentes coadjuvantes de processo e as respectivas retenções com relação à polpa. ....                   | 37 |
| <b>Tabela 3.9</b> Temperatura de transição vítrea da manga em pó obtida nos diferentes ensaios de <i>drum drying</i> , e os parâmetros reológicos e viscosidades aparentes das polpas reconstituídas dos diferentes ensaios. .... | 39 |

### CAPÍTULO 4

|                                                                                                                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 4.1</b> Níveis codificados e decodificados das variáveis do planejamento experimental do <i>drum drying</i> de polpa de manga. ....                                                                      | 51 |
| <b>Tabela 4.2</b> Propriedades físico-químicas da polpa de manga empregada no estudo. ....                                                                                                                         | 53 |
| <b>Tabela 4.3</b> Resultados experimentais médios do teor de umidade e do teor de carotenoides totais dos flocos de manga, bem como dos parâmetros $a^*$ , Hue e $\Delta E$ da cor das polpas reconstituídas. .... | 57 |

|                                                                                                                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 4.4</b> Resultados das análises de regressão múltipla das variações do teor de umidade e do teor de carotenoides totais dos flocos de manga, bem como dos parâmetros $a^*$ , Hue e $\Delta E$ da cor das polpas reconstituídas. .... | 58 |
| <b>Tabela 4.5</b> Parâmetros $L^*$ , $a^*$ e $b^*$ de cor dos flocos de manga.....                                                                                                                                                             | 62 |
| <b>Tabela 4.6</b> Parâmetros Croma e Hue de cor dos flocos de manga. ....                                                                                                                                                                      | 63 |
| <b>Tabela 4.7</b> Taxas de secagem, atividade de água e higroscopicidade dos flocos de manga. ....                                                                                                                                             | 64 |
| <b>Tabela 4.8</b> Densidade aparente, absoluta e porosidade dos flocos de manga.                                                                                                                                                               | 66 |
| <b>Tabela 4.9</b> Solubilidade e molhabilidade dos flocos de manga. ....                                                                                                                                                                       | 68 |
| <b>Tabela 4.10</b> Teores de vitamina C e respectivas retenções nos flocos de manga. ....                                                                                                                                                      | 69 |
| <b>Tabela 4.11</b> Teores de atividade antioxidante pelos métodos de ABTS e DPPH com respectivas retenções nos flocos de manga.....                                                                                                            | 71 |
| <b>Tabela 4.12</b> Teores de compostos fenólicos totais, $\beta$ -caroteno e respectivas retenções dos flocos de manga.....                                                                                                                    | 72 |
| <b>Tabela 4.13</b> Diâmetro médio dos flocos de manga obtidos nos diferentes ensaios (espalhamento de luz).....                                                                                                                                | 74 |
| <b>Tabela 4.14</b> Percentual de massa retida por peneira na análise de granulometria dos flocos de manga dos diferentes ensaios (peneiramento). ..                                                                                            | 75 |

## 1 INTRODUÇÃO E OBJETIVO

A manga é um dos itens mais importante da fruticultura brasileira, sendo que o país produziu aproximadamente 1 milhão de toneladas em 2015 (IBGE, 2015). Embora essa fruta brasileira esteja obtendo preços crescentes no mercado mundial, a maior parte da produção fica no mercado interno, para o consumo *in natura*, ou para a industrialização, principalmente na forma de polpas e sucos (CARVALHO et al., 2004). É uma fruta muito apreciada pelo sabor, porém, apresenta também um alto valor nutricional em termos de vitaminas, fibras e minerais (NEPA/UNICAMP, 2011).

A indústria de alimentos se depara nos últimos anos com o desafio de desenvolver produtos que agreguem qualidades nutricionais, naturalidade, conveniência, porém sem sacrificar a qualidade sensorial e os custos dos mesmos (FIESP/ITAL, 2010). Neste contexto, as frutas e as hortaliças, principalmente na forma desidratada, têm sido muito demandadas como ingredientes para inserção nos produtos alimentícios.

O emprego de frutas em pó no desenvolvimento de novos produtos é estratégico sob vários aspectos. A desidratação prolonga a vida útil das frutas devido à redução do conteúdo de água, evita perdas pós-colheita e reduz custos de transporte. Segundo Caparino et al. (2012), em termos mercadológicos, a fruta em pó oferece maior flexibilidade no desenvolvimento de novos produtos, pois pode ser empregada de forma mais conveniente como substituta de sucos e polpas na formulação de alimentos e bebidas.

O principal processo comercial para a obtenção de fruta em pó tem sido a secagem da polpa/suco por atomização (*spray drying*). No entanto, apesar das vantagens, a secagem de matérias-primas ricas em açúcares, tais como os sucos e polpas de frutas, pode resultar, pelo processo, em pós com alta pegajosidade e higroscopicidade (FERRARI et al., 2013). Para evitar este problema tecnológico, o processo exige o emprego de coadjuvantes tecnológicos (agentes carreadores) tais como maltodextrinas, amidos e gomas, em níveis superiores a 40% (bs), dependendo das condições de processo. A liofilização é outro processo importante de desidratação, com grande retenção da qualidade, porém, mais aplicado para frutas em pedaços, visando à

manutenção da forma e obtenção de produtos crocantes (SAGAR; SURESH KUMAR, 2010). O processo resulta em alta retenção de nutrientes, sendo, contudo, o mais caro dentre os disponíveis comercialmente.

Uma alternativa que se apresenta para a obtenção de fruta em pó é a secagem em cilindros rotativos (*drum dryer*). Segundo Despain (2013), no geral, o *drum drying* é mais rentável, envolvendo custos operacionais menores, podendo resultar em boa manutenção do sabor e do aroma da matéria-prima. Os secadores tipo *drum dryers*, conhecidos também por secadores de rolos, cilindros ou tambores rotativos, precederam os secadores atomizadores (*spray dryer*) na obtenção de alimentos em pó, e têm sido utilizados na secagem de líquidos, produtos pastosos e viscosos (NINDO & TANG, 2007; AGUIRRE & GASPARINO FILHO, 2002; ROSENTHAL & SGARBIERI, 1992).

Neste contexto, o objetivo geral do estudo foi determinar as melhores condições de processo para a produção de polpa de manga em pó através do processo de desidratação em secador de cilindro rotativo (*drum dryer*), tendo em vista maiores rendimentos de secagem e retenções de qualidade da matéria-prima.

Os objetivos específicos foram:

1) Investigar os principais parâmetros do *drum drying* de polpa de manga dentre as variáveis usuais do processo: tipo e concentração dos coadjuvantes, taxa de alimentação, faixa de temperatura, espaçamento entre os cilindros, faixa da velocidade de rotação do cilindro;

2) Determinar as melhores condições para a secagem de polpa de manga por *drum drying* a partir das variáveis de processo pré-definidas, visando maiores rendimentos de secagem e retenções de qualidade da matéria-prima.

A dissertação está organizada em capítulos, conforme descrito a seguir:

## **1 – Introdução**

Apresenta-se um contexto geral do tema, justificando o estudo e descrevendo os objetivos gerais e específicos.

## **2 – Revisão Bibliográfica Geral**

Faz-se uma revisão bibliográfica sobre o tema, fundamentando o estudo. Os assuntos abordados são: a manga como matéria prima; produção e exportação de manga; o processo de secagem e a produção de frutas em pó; o *drum drying* como alternativa para a produção de frutas em pó/flocos.

## **3 – Desempenho de diferentes coadjuvantes de processo sobre as propriedades de polpa de manga em pó obtidas por *drum drying***

No capítulo, apresentam-se os resultados do estudo com as variáveis de processo e os tipos e concentrações de coadjuvantes avaliados no *drum dryer* de polpa de manga comercial.

## **4 – Influência das variáveis de processo no *drum dryer* de polpa de manga**

São apresentados os resultados obtidos no estudo sobre a influência das variáveis do *drum drying* – tempo de residência e temperatura de processo - sobre as propriedades físicas e químicas dos flocos. No estudo, a Metodologia de Superfície de Resposta foi empregada e, através de análise de regressão múltipla, modelos matemáticos foram obtidos para algumas das variações analisadas. Os efeitos dos fatores nas respostas foram analisados, e obtiveram-se as melhores condições de processo.

## **5 – Conclusões Gerais**

Apresentam-se as conclusões gerais do estudo, em concordância com os objetivos iniciais.

## **6 – Sugestões para trabalhos futuros**

São apresentadas algumas sugestões para trabalhos que possam ser estudados futuramente.

## **Anexos**

São apresentadas, de forma detalhada, todas as metodologias analíticas utilizadas no estudo, além dos trabalhos apresentados em congresso e o artigo submetido para um periódico internacional, até a data da defesa.

O presente estudo é parte integrante do projeto “Desenvolvimento de processo produtivo de manga em pó por secagem em cilindro rotativo (*drum drying*): condições de processo, estabilidade e aplicações”, financiado pela Fapesp (nº 2015/12303-3), sob coordenação da Pesquisadora Sílvia Pimentel Marconi Germer.

## 1.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIRRE, J.M.; GASPARINO FILHO, J. **Desidratação de frutas e hortaliças. Manual Técnico**. Campinas: ITAL, 205p., 2002.

CAPARINO, O.A.; TANG, J.; NINDO, C.I.; SABLANI, S.S.; POWERS, J.R.; FELLMAN, J.K. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine “Carabao” var.) powder. **Journal of Food Engineering**, v.111, n.1, p.135-148, 2012.

CARVALHO, R.C.L.; ROSSETTO, C.J.; MANTOVANI, D.M.B.; MORGANO, M.A.; CASTRO, J.V.; BORTOLETTO, N. Avaliação de cultivares de mangueira selecionadas pelo Instituto Agrônomo de Campinas comparadas a outras de importância comercial. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal - SP, v. 26, n.2, p.264-271, 2004.

DESPAIN, D. Fruit-Focused Formulating. **Food Technology**, v.67, n.8, p.65-70, 2013.

FERRARI, C.C., GERMER, S.P.M., ALVIM, I.D., AGUIRRE, J.M. Storage stability of spray-dried blackberry powder produced with maltodextrin or gum arabic. **Drying Technology**, v.31, n.4, p.470-478, 2013.

FIESP/ITAL – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo – Instituto de Tecnologia de Alimentos. **Brasil Food Trend 2020**. São Paulo. FIESP/ITAL, 173p., 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Produção Agrícola Municipal – Culturas Temporárias e Permanentes - 2015**. Rio de Janeiro. v.42, 57p., 2015.

NEPA/UNICAMP. **Tabela brasileira de composição de alimentos – TACO - Versão II**, 4.ed. rev. e ampl. Campinas, SP: NEPA-UNICAMP. 161p. 2011.

NINDO, C.I., TANG, J. Refractance Window Dehydration Technology: A Novel Contact Drying Method. **Drying Technology**, v.25, n.1, p.37-48, 2007.

ROSENTHAL, A.; SGARBIERI, V.C. Nutritional evaluation of a fresh sweet corn drum drying process. In: Mujumdar AS (ed). **Drying '92**. Elsevier Appl. Sci Publ, Amsterdam, p.1419-1425, 1992.

SAGAR, V.R., SURESH KUMAR, P. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v.47, n.1, p.15-26, 2010.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

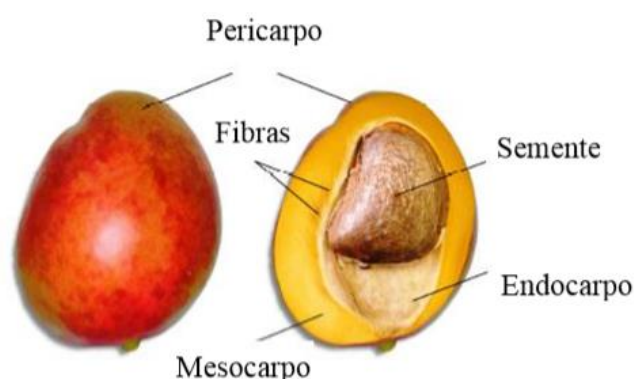
### 2.1 A MANGA COMO MATÉRIA PRIMA

A manga (*Mangifera indica* L.) é um fruto do tipo drupa que pertence à família *Anacardiaceae*, apresentando formas e tamanhos diferentes em função das diversas variedades (MEDINA et al., 1981).

As principais variedades dessa fruta são: Tommy Atkins, Keitt, Kent, Van Dyke, Palmer, Carlota, Espada, Extrema, Maranhão, Rosa, Coité, Lira, Mamão, Ubá e Badhudaran (MAIA, SOUSA & LIMA, 2007).

A manga apresenta uma alta taxa respiratória durante seu processo de maturação, sendo que a intensidade varia principalmente em função da variedade, bem como da temperatura ambiente, sendo considerada, portanto, uma fruta climatérica. Quando colhidas muito verdes, as frutas não amadurecem adequadamente e, muito maduras, implicam em rápida senescência, sendo muito importante a colheita do fruto fisiologicamente desenvolvido. Além disso, durante o período de maturação, a acidez da manga diminui até atingir um teor desejável que, combinado com o teor de açúcar, dá ao produto o sabor característico, que pode mudar de uma variedade para outra (BLEINROTH, 1981).

A Figura 2.1 apresenta de forma ilustrativa as partes estruturais da manga.



**Figura 2.1** Corte transversal com partes estruturais da manga (GUTIÉRREZ apud VAQUIRO, 2015).

É uma fruta de alto valor nutricional, possuindo altas quantidades de sais minerais como potássio, fósforo, cálcio e magnésio, bem como vitaminas A, B<sub>1</sub> (Tiamina) e B<sub>2</sub> (Riboflavina) (NEPA/UNICAMP, 2011). O teor de vitamina C da manga varia de 15 a 60 mg/ 100 g, sendo rica em compostos fenólicos, com grande atividade antioxidante, bem como em carotenoides e fibras solúveis, com ações preventivas a doenças degenerativas. Segundo Mercadante & Rodriguez-Amaya (1998), o principal carotenoide da manga é o  $\beta$ -caroteno, cuja concentração varia de 10-50  $\mu$ g/ 100 g, dependendo da variedade e do estágio de maturação. De acordo com Bleinroth (1981), as propriedades nutricionais da manga podem variar em relação a região de cultivo, práticas culturais, estágio de maturação e variedade.

A maior oferta de manga brasileira ocorre durante os meses de outubro a março (MAIA, SOUSA & LIMA, 2007).

A industrialização da fruta possibilita o consumo durante todo o ano, visto que a safra é relativamente curta. Na forma industrializada, a manga pode ser encontrada em calda ou em polpa, sendo esta empregada na elaboração de polpas concentradas, doces, geleias, sucos e néctares. (MARTIN et al., 1981).

De acordo com a Instrução Normativa nº 01, de 7 de Janeiro de 2000, (Regulamento Técnico para Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade) (BRASIL, 2000), a polpa, ou purê de manga, é definida como um produto não fermentado e não diluído, obtido da parte comestível da manga, através de processo tecnológico adequado, com teor mínimo de sólidos totais de 14 g/ 100g. Além disso, o produto deve ter cor amarela, sabor doce, levemente ácido e próprio da fruta com um aroma característico.

A polpa de manga pode ser produzida durante as épocas de safra, e armazenadas e reprocessadas durante o ano, conforme a demanda do mercado consumidor. Em relação ao reprocesso, esse produto pode ser comercializado para várias empresas que utilizam a polpa como ingrediente em suas formulações, tais como: iogurtes, doces, biscoitos, bolos, sorvetes, refrescos, alimentos infantis, geleias, entre outros (BENEVIDES et al., 2008).

## **2.2 PRODUÇÃO E EXPORTAÇÃO DE MANGA**

Com grande diversidade de climas e cultivos, o agronegócio brasileiro possui a fruticultura como um dos setores de maior destaque. No ranking dos maiores produtores mundiais de frutas, o Brasil se encontra em terceiro lugar, após a China e a Índia, sendo que em 2009, a produção superou 40 milhões de toneladas (IBRAF, 2016).

Em 2015, o Brasil produziu aproximadamente 1 milhão de toneladas de manga, resultado que coloca esta cultura entre as principais do país, com grande importância social e econômica (IBGE, 2015).

Segundo Lima (2015), o Brasil exportou 133 mil toneladas de manga em 2014, gerando uma receita de exportação superior a U\$163 milhões. Esses valores foram ocasionalmente favorecidos com o aumento dos preços internacionais, relacionados à menor disponibilidade do produto no mercado externo. Fatores climáticos foram responsáveis por baixas de produção nos países produtores.

## **2.3 O PROCESSO DE SECAGEM E A PRODUÇÃO DE FRUTAS EM PÓ**

O processo de desidratação (ou secagem) é um dos métodos de conservação mais antigos. Essa tecnologia consiste na aplicação de calor sob condições controladas, capaz de remover por aquecimento, evaporação e sublimação, a maior parte da água livre presente em um alimento. Através da redução da atividade de água, esse processo prolonga a vida útil dos produtos, podendo atingir teores de umidade inferiores a 5% (base úmida) (EVANGELISTA, 2005; FELLOWS, 2006; BARUFFALDI & OLIVEIRA, 1998).

Uma das vantagens do processo de secagem, decorrente da perda de água, é a redução do volume do alimento. Esse fato é importante, tendo em vista os custos na cadeia produtiva, tais como transporte, embalagem e armazenamento. Além disto, o armazenamento dos produtos desidratados pode ser feito à temperatura ambiente (BARUFFALDI & OLIVEIRA, 1998).

Os métodos utilizados para a secagem de alimentos podem ser classificados em função da forma de transferência de calor em: ar aquecido

(calor por convecção), contato com superfície aquecida (calor por condução), calor de fonte radiante, de micro-ondas e dielétrica (EVANGELISTA, 2005).

As indústrias de alimentos apresentam, de maneira geral, uma crescente demanda por produtos secos/desidratados para a adição como ingredientes naturais em formulações. Atualmente, macrotendências importantes são apontadas no consumo de alimentos, dentre essas, a naturalidade e autenticidade. Ambas englobam a substituição/adição de alguns ingredientes, tendo em vista uma maior transparência e clareza dos rótulos dos produtos (CASTILHO et al., 2014).

Segundo Psczloa (2013), o processo de secagem de frutas está sendo “reimaginado” pela indústria de alimentos, visando a obtenção de novos ingredientes e novas oportunidades de uso, possibilitando assim a inovação na oferta de alimentos saudáveis.

Um dos principais processos comerciais para a produção de fruta em pó tem sido a secagem da polpa, ou suco, por atomização (*spray drying*). Alguns estudos são reportados na literatura científica para diferentes frutas: manga (ZOTARELLI et al., 2017); açaí (TONON, BRABET & HUBINGER, 2008); amora-preta (FAZAEI et al., 2012); acerola (RIGHETTO & NETO, 2005); camu-camu (DIB TAXI et al., 2003); cajá (ANSELMO et al., 2006); manga (CANO-CHAUCA et al., 2005); melancia (QUEK, CHOK & SWEDLUND, 2007).

A secagem por atomização é um processo rápido, contínuo, com potencial econômico e pode ser utilizado para a encapsulação de compostos ativos (hidrofílicos e hidrofóbicos) sem degradação térmica devido ao rápido tempo. Apesar das vantagens citadas da tecnologia do *spray drying*, as polpas e sucos de frutas normalmente ricas em açúcares, podem resultar em produtos com alta higroscopicidade, necessitando de coadjuvantes tecnológicos em níveis muitas vezes superiores a 40% (bs), dependendo das condições de processo (FERRARI et al., 2013; SOSNIK & SEREMETA, 2015).

A liofilização é outro importante processo de desidratação de frutas e hortaliças. Essa tecnologia resulta em grandes retenções de qualidade no produto final, porém é uma das mais caras dentre as disponíveis comercialmente (SAGAR & SURESH KUMAR, 2010).

Uma alternativa para a produção de fruta em pó, ou em flocos, é a secagem em secador de tambor, conhecida também por *drum drying*.

## **2.4 O *DRUM DRYING* COMO ALTERNATIVA PARA A PRODUÇÃO DE FRUTAS EM PÓ/FLOCOS**

### **2.4.1 O *drum dryer***

O secador do tipo *drum dryer*, também conhecido como secador de tambor rotativo, é composto por um ou mais cilindros metálicos ocos, aquecidos por vapor, água quente ou outro agente líquido de aquecimento. Nesses equipamentos, os cilindros se movem com velocidades variáveis sobre o eixo horizontal (EVANGELISTA, 2005).

Esse tipo de secador é normalmente utilizado para a secagem de produtos líquidos ou pastosos. A alimentação é feita sobre os rolos do equipamento, e um filme é formado sobre a superfície aquecida. A transferência de calor se dá por condução (DAUD, 2006). A remoção do filme é feita pelo uso de uma lâmina, ou faca, posicionada longitudinalmente.

As principais vantagens do *drum dryer* são: alta eficiência energética; facilidade na secagem de produtos viscosos; facilidade de operação, manutenção e limpeza do equipamento; flexibilidade para produções múltiplas e em diferentes escalas; qualidade do produto final, especialmente quanto à porosidade e solubilidade (TANG, FENG & SHEN, 2003). Entretanto, o processo apresenta algumas desvantagens tais como o alto custo do investimento e da retífica dos cilindros, não sendo adequado para algumas matérias-primas, que, em função, da composição e da viscosidade, escorrem, não formam filmes, colam e/ou queimam. Se o processo não for bem dimensionado, pode haver escurecimento e formação de sabor de “cozido”, bem como perda de nutrientes.

### **2.4.2 Os parâmetros do *drum drying* e o uso de coadjuvantes**

Os principais parâmetros do processo de *drum dryer* são a pressão de vapor, ou seja, a temperatura do cilindro (na faixa de 100 a 170 °C), a taxa de

alimentação (nível de piscina), o espaçamento entre os cilindros, o teor de sólidos do produto a ser seco e a velocidade de rotação. Estas variáveis podem influenciar as propriedades do produto final tais como teor de umidade, tamanho da partícula, densidade, solubilidade, cor, retenção de nutrientes dentre outros (PUA et al., 2010; ROSENTHAL, 1988).

Além disso, normalmente são empregados no *drum dryer* coadjuvantes de processo, nas faixas de 1 a 20% (bs), com o intuito de melhorar as propriedades termoplásticas e higroscópicas da matéria-prima e do produto durante e após a secagem, respectivamente. A literatura científica reporta o uso de amidos (PRANGPRU et al., 2015; TRAVAGLINI et al., 1994), maltodextrinas (PRANGPRU et al., 2015), gomas (PUA et al., 2010), pectinas (KITSON & MACGREGOR, 1982) e monoesterato de glicerila (MSG) (HENIG & MANNHEIM, 1971; TRAVAGLINI et al., 1994), sendo comum o uso de combinações em diferentes proporções. No geral, o emprego dos aditivos aumenta o teor de sólidos da matéria prima, ajudando na formação do filme no secador, bem como no aumento da temperatura de transição vítrea dos produtos obtidos, resultando em maior estabilidade no armazenamento. O uso do MSG, um agente emulsificante não iônico, tem por objetivo melhorar as propriedades térmicas e reológicas da polpa, favorecendo a formação do filme e ajudando no desprendimento do mesmo do cilindro após a secagem (PRANGPRU et al., 2015; USDA, 2015; GARCIA & FRANCO, 2015). Setyadjit & Sukasih (2015), afirmam que os coadjuvantes também proporcionam um efeito protetor contra a desnaturação e perda de compostos naturais durante o processo. De acordo com Jaya & Das (2004), a secagem de polpa de manga é dificultada pela presença de açúcares de baixo peso molecular (frutose, glicose, sacarose) e ácidos presentes na matéria prima, exigindo, na maioria das vezes, o emprego de aditivos.

Varios estudos reportam resultados do uso do cilindro rotativo para a secagem de produtos a base de tubérculos, hortaliças e grãos tais como: batatas (KAKADE, DAS & ALI, 2011; NAYAK et al., 2011); cenoura (ABONYI et al., 2001); milho verde (ROSENTHAL & SGARBIERI, 1992), dentre outros. Por sua vez, não são muitos os trabalhos na literatura científica que abordam a aplicação do *drum dryer* para frutas.

### 2.4.3 O *drum drying* de frutas

Caparino et al. (2012) estudaram diversos processos de secagem de polpa de manga (variedade Philippine Carabao), dentre os quais, a secagem em secadores de cilindro rotativo (*drum dryer*). No estudo, foi empregado um equipamento de dois cilindros, com a temperatura de processo foi fixada em 152 °C, variando o tempo necessário para a obtenção de um pó com 5% de umidade (base seca). Polpa pura de manga (14-15 °Brix) foi alimentada, sem o uso de coadjuvantes, e flocos da fruta foram obtidos com auxílio de raspadores. O produto apresentou uma coloração ligeiramente mais escura do que a obtida nos outros processos estudados (*spray dryer*, *refractance window*, *freeze dryer*). A densidade do pó obtido por *drum drying* foi maior, e a porosidade menor do que as observadas nos outros processos. Por sua vez, a solubilidade da manga em pó obtida por *drum drying* foi significativamente superior ( $p \leq 0,05$ ) a dos outros produtos.

No estudo sobre a desidratação de polpa de jaca por *drum drying*, Pua et al. (2010) empregaram a metodologia de superfície de resposta para estudar o efeito dos parâmetros velocidade de rotação e pressão de vapor nas propriedades físico-químicas do pó. Polpa de jaca foi adicionada de 40% de água, 3% de lecitina de soja e 11% de goma arábica. O purê foi seco em tambor duplo, com espaçamento de 0,03 cm, variando a velocidade de rotação e a pressão de vapor. As respostas investigadas foram teor de umidade, atividade de água, cor, solubilidade e aceitação sensorial do pó. Os resultados mostraram que a melhor condição de processo foi com 336 kPa de pressão de vapor e 1,2 rpm de velocidade de rotação, resultando em um produto com 6% de umidade. A fruta em pó obteve 60% de aceitação sensorial.

Jittanit et al. (2011) reportaram resultados do estudo da desidratação de suco de tamarindo em secador de cilindro duplo. Suco de tamarindo (20 °Brix), obtido do despulpamento com água, foi empregado como matéria-prima. O uso de maltodextrina (10 DE) e goma arábica como coadjuvantes de processo foi avaliado, variando-se as relações mássicas e a temperatura de processo. As seguintes propriedades dos pós foram investigadas: densidade aparente, teor de umidade, atividade de água e solubilidade. Amostras reconstituídas foram avaliadas quanto a cor, pH, teor de sólidos insolúveis e

viscosidade. As temperaturas ótimas de processo estiveram na faixa de 120-140 °C, e a proporção de coadjuvante entre 80 e 140% (base úmida). A fruta em pó obtida com maltodextrina apresentou a maior preferência sensorial em termos de aparência, enquanto que o pó obtido com goma resultou em médias maiores quanto ao sabor e ao aroma. Os resultados indicaram viabilidade técnica da produção do pó de tamarindo para uso como ingrediente em alimentos.

O emprego de *drum dryer* duplo para secagem de cascas de maçã foi investigado por Henriquez et al. (2010). No estudo, um purê das cascas foi obtido por moagem com água e 0,5% de ácido ascórbico, para a inativação enzimática. O efeito de diferentes temperaturas de processo, bem como velocidade de rotação e espaçamento entre os rolos foram avaliados. As condições operacionais determinadas como ótimas para o processo foram 110 °C, 0,15 rpm e 0,2 mm de distância entre os cilindros. Os resultados indicaram baixas perdas nutricionais em termos de compostos fenólicos e fibra dietética, respectivamente de 15% e 17% em base seca.

Travaglini et al. (1994), em estudo sobre a secagem de purê de manga (variedade Tommy Atkins) em secador de cilindro rotativo, verificaram a necessidade da adição de 4% de amido de milho e 1% de monoestearato de glicerila (base seca) à matéria-prima. Os coadjuvantes foram empregados para formação de um filme contínuo do produto seco, evitando que o mesmo se colasse no cilindro, e aumentando assim a eficiência de secagem. Na temperatura estudada de 130 °C, a retenção de ácido ascórbico foi de 92%.

## 2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABONYI, B.I.; FENG, H.; TANG, J.; EDWARDS, C.G.; CHEW, B.P.; MATTINSON, D.S.; FELLMAN, J.K. Quality retention in strawberry and carrot purees dried with refractance window<sup>TM</sup> system. **Journal of Food Science**, v.67, n.2, p.1051-1056, 2001.

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

BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M.N. **Fundamentos de tecnologia de alimentos**. 1ª edição, v.3. Ed Atheneu, São Paulo, 318p, 1998.

BENEVIDES, S.D.; RAMOS, A.F.; STRINGHETA, P.C.; CASTRO, V.C., Qualidade da manga e polpa da manga Ubá. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.28, n.3, p.571-578, 2008.

BLEINROTH, E.W. Matéria-prima. In: MEDINA, J.C.; BLEINROTH, E.W.; MARTIN, Z.D.; QUAST, D.G.; HASHIZUME, T.; FIGUEIREDO, N.M.S.; MORETTI, V.A.; CANTO, W.L.; BICUDO NETO, L. C. **Manga: da cultura ao processamento e comercialização**. Campinas - SP: ITAL, Série frutas tropicais, v.8, 399p. 1981.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Leis, Decretos, etc. Instrução Normativa Nº 1, de 7 de janeiro de 2000. **Regulamento técnico geral para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpa de frutas**. Diário Oficial da União, Nº 6, Brasília, 10 de janeiro de 2000. Seção 1, p.54-58.

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

CAPARINO, O.A.; TANG, J.; NINDO, C.I.; SABLANI, S.S.; POWERS, J.R.; FELLMAN, J.K. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine “Carabao” var.) powder. **Journal of Food Engineering**, v.111, n.1, p.135-148, 2012.

CASTILHO, G. de; REGO, R.A.; JARDIM, D.C.P.; FADINI, A.L.; CRUZ, C.L. de C.V.; SARANTÓPOULOS, C.I.G.L.; RUFFI, C.R.G; NABESHIMA, E.H.; VISSOTTO, F.Z.; DANTAS, F.B.H.; MONTENEGRO, F.M.; ALVIM, I.D.; QUEIROZ, M.B.; AUGUSTO, P.P.C.; LUCCAS, V. As macro tendências dos setores de bakery & confectionary. In: Queiroz, G. de C.; Rego, R.A.; Jardim, D.C.P. **Brasil Bakery & Confectionery Trends 2020**. 390p. 1 edição, Campinas - SP. 2014.

DAUD, W.; RAMLI, W. Drum Dryers. In: MUJUMDAR, A.S. **Handbook of industrial drying**. Cap.9. 3ª edição, Ed. CRC Press, 1348p., 2006.

DIB TAXI, C.M.; MENEZES, H.C.; SANTOS, A.B.; GROSSO, C.R. Study of the microencapsulation of camu-camu (*Myrciaria dubia*) juice. **Journal of Microencapsulation**, v.20, n.4, p.443-448, 2003.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de Alimentos**. 2ª edição. Ed. Atheneu, São Paulo, 690p. 2005.

FAZAEI, M.; EMAM-DJOMEH Z.; ASHTARI, A.K.; OMID, M. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. **Food and Bioproducts Processing**, v.90, n.4, p.667-675, 2012.

FELLOWS, P.J. **Tecnologia do processamento de alimentos - Princípios e prática**. 2ª edição. Ed. Artmed, Porto Alegre, 602p. 2006.

FERRARI, C.C.; GERMER, S.P.M.; ALVIM, I.D.; AGUIRRE, J.M. Storage stability of spray-dried blackberry powder produced with maltodextrin or gum arabic. **Drying Technology**, v.31, n.4, p.470-478, 2013.

GARCIA, M.C.; FRANCO, C.M.L. Effect of glycerol monostearate on the gelatinization behavior of maize starches with different amylose contents. **Starch**, v.67, n. 1-2, p.107-116, 2015.

GUTIÉRREZ, A.M.C. **Desidratação de polpa de manga em leite de espuma com e sem intermitência térmica**. Dissertação de mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos, UNESP - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", São José do Rio Preto – SP. 125p. 2015.

HENIG, Y.; MANNHEIM, C. H. Drum drying of tomato concentrate. **Food Technology**. v.25, n.2, p.59-62, 1971.

HENRÍQUEZ, C.; SPEISKY, H.; CHIFFELLE, I.; VALENZUELA, T.; ARAYA, M.; SIMPSON, R.; ALMONACID, S. Development of an ingredient containing apple peel, as a source of polyphenols and dietary fiber. **Journal of Food science**, v.75, n.6, p.172-181, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA. IBRAF. **Produção brasileira de frutas 2009**. Disponível em: <http://www.ibraf.org.br/estatisticas/Produ%C3%A7%C3%A3o%20Brasileira%20de%20Frutas%202009%20-%20Final.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Produção Agrícola Municipal – Culturas Temporárias e Permanentes - 2015**. Rio de Janeiro. v.42, 57p., 2015.

JAYA, S.; DAS, H. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. **Journal of Food Engineering**, v.63, n.2, p.125-134, 2004.

JITTANIT, W.; CHANTARA-IN, M.; DEYING, T.; RATANAVONG, W. Production of tamarind powder by drum dryer using maltodextrin and arabic gum as adjuncts. **Songklanakarin Journal of Science and Technology**, v.33, n.1, p.33-41, 2011.

KAKADE, R.H.; DAS, H.; ALI, S. Performance evaluation of a double drum dryer for potato flake production. **Journal Food Science Technology**, v.48, n.4, p.432-439, 2011.

KITSON, J.A.; MACGREGOR, D.R. Drying fruit purees on an improved pilot plant drum-dryer. **Journal of Food Technology**, v.17, n.2, p.285-288, 1982.

LIMA, J.R.F. **Comunicado técnico – boletim 164 – Evolução das exportações de Manga e Uva produzidas no Submédio do Vale do São Francisco no período de 2010-2014**. Embrapa, Petrolina. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/139839/1/COT164.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2015.

MAIA, G.A.; SOUSA, P.H.M. de; LIMA, A. da S. **Processamento de sucos de frutas tropicais**. Fortaleza: Edições UFC. 220p. 2007.

MARTIN, Z.J. de; QUAST, D.G.; MEDINA, J.C.; HASHIZUME, T. Processamento: produtos, características e utilização. In: MEDINA, J.C.; BLEINROTH, E.W.; MARTIN, Z.D.; QUAST, D.G.; HASHIZUME, T.; FIGUEIREDO, N.M.S.; MORETTI, V.A.; CANTO, W.L.; BICUDO NETO, L. C. **Manga: da cultura ao processamento e comercialização**. Campinas - SP: ITAL, Série frutas tropicais, v.8, 399p. 1981.

MEDINA, J.C.; BLEINROTH, E.W.; MARTIN, Z.D.; QUAST, D.G.; HASHIZUME, T.; FIGUEIREDO, N.M.S.; MORETTI, V.A.; CANTO, W.L.; BICUDO NETO, L. C.. **Manga: da cultura ao processamento e comercialização**. Campinas - SP: ITAL, Série frutas tropicais, v.8, 399p. 1981.

MERCADANTE, A.Z.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Effects of Ripening, Cultivar Differences, and Processing on the Carotenoid Composition of Mango. **Journal of Agriculture Food Chemistry**, v.46, n.1, p.128-130, 1998.

NAYAK, B.; BERRIOS, J.D.E.J.; POWERS, J.R.; TANG, J.; JI, Y. Colored Potatoes (*Solanum Tuberosum* L.) dried for antioxidant-rich value-added food. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.35, n. 5, p.571-580, 2011.

NEPA/UNICAMP. **Tabela brasileira de composição de alimentos – TACO - Versão II**, 4.ed. rev. e ampl. Campinas, SP: NEPA-UNICAMP. 161p. 2011.

PRANGPRU, N.; JAITO, K.; VANMONTREE, B.; TREEAMNUK, K. Comparing the Efficiency of Two Carrier Types on Drum Drying of Tamarind Juice. **Thai Society of Agricultural Engineering Journal**, v.21, n.1, p.1-7, 2015.

PCZCZOLA, D. E. Reimagining Fruits. **Journal of Food Technology**, v.67, n.8, p.57-64, 2013.

PUA, C.K.; HAMID, N.S.A.; TAN, C.P.; MIRHOSSEINI, H., RAHMAN, R.B.A.; RUSUL, G. Optimization of drum drying processing parameters for production of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) powder using response surface methodology. **LWT - Food Science and Technology**, v.43, n.2, p.343-349, 2010.

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

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

ROSENTHAL, A. **Desenvolvimento e otimização de um processo para produção de flocos de milho verde**. 1988. 188p. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 1988.

ROSENTHAL, A.; SGARBIERI, V.C. Nutritional evaluation of a fresh sweet corn drum drying process. In: Mujumdar AS (ed). **Drying '92**. Elsevier Appl. Sci Publ, Amsterdam, p.1419-1425, 1992.

SAGAR, V.R.; SURESH KUMAR, P. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v.47, n.1, 15-26, 2010.

SETYADJIT; SUKASIH, E. Effect of addition of filler on the production of shallot (*Allium Cepa* Var. *Ascalonicum* L.) powder with drum dryer. **Procedia Food Science**, v.3, p.396-408, 2015.

SOSNIK, A.; SEREMETA, K.P. Advantages and challenges of the spray-drying technology for the production of pure drug particles and drug-loaded polymeric carriers. **Advances in Colloid and Interface Science**, v.223,p.40-54, 2015.

TANG, J.; FENG, H.; SHEN, G-Q. Drum drying. In: **Encyclopaedia of Agricultural and Food and Biological Engineering**. ed. D. R. Heldma. Marcel Dekker, Inc., New York, 2003.

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

TRAVAGLINI, D.A.; CARVALHO, P.R.N.; RUIZ, F.S.; SHIROSE, I. Processamento de flocos de manga em secador do tipo monocilíndrico rotativo. **Coletânea ITAL**, v.24, n.2, p.193-202, 1994.

USDA. United States Department of Agriculture. Glycerids (mono and di) – Handling/Processing. **Technical Evaluation Report**. p.1-14, 2015. Disponível em:<<https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Glycerides%20TR%202015.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2016.

ZOTARELLI, M.F; SILVA, V.M. da, DURIGON, A.; HUBINGER, M.D.; LAURINDO, J.B. Production of mango powder by spray drying and cast-tape drying. **Powder Technology**, v.305, p.447-454, 2017.

**DESEMPENHO DE DIFERENTES COADJUVANTES DE PROCESSO SOBRE  
AS PROPRIEDADES DE POLPA DE MANGA EM PÓ OBTIDAS POR *DRUM*  
*DRYING***

Capítulo submetido na forma de artigo à revista **Drying Technology**, com o título “Performance of different process additives on the properties of mango powder obtained by drum drying”. ID LDRT-2017-0014.

### 3.1 INTRODUÇÃO

A manga é um dos itens mais importantes da fruticultura brasileira, e constitui-se em uma fruta muito nutritiva, com altos teores de compostos fenólicos e de carotenoides, bem como alta atividade antioxidante (MERCADANTE & RODRIGUEZ-AMAYA, 1998; PAZ et al, 2015).

As polpas de frutas desidratadas são muito demandadas pelas indústrias de alimentos para aplicação como ingredientes em diversas formulações, conferindo assim, naturalidade e saudabilidade aos produtos. Além disso, essas matérias primas podem substituir aromas e corantes artificiais de algumas formulações, conferindo características de produto autêntico e de qualidade superior (REGO, RUFFI & AUGUSTO, 2014).

A secagem de polpa/suco por *spray drying* tem sido o principal processo comercial para a obtenção de fruta em pó. Essa tecnologia, apesar das vantagens, tais como: potencial econômico, processo rápido e contínuo e que pode ser utilizado para a encapsulação de compostos ativos sem degradação térmica, apresenta alguns problemas tecnológicos. As matérias-primas ricas em açúcares, tais como os sucos e as polpas de frutas, podem resultar em pós com alta pegajosidade e higroscopicidade no processo. Para amenizar o problema, esse tipo de secagem exige o emprego de agentes carregadores, tais como maltodextrinas, amidos e gomas, em níveis superiores a 40% (bs), dependendo das condições de processo (FERRARI et al., 2013; SOSNIK & SEREMETA, 2015). Outro importante processo de desidratação é a liofilização, porém, o mesmo é mais aplicado para frutas em pedaços, visando à manutenção da forma (SAGAR & SURESH KUMAR, 2010).

Uma alternativa para produção de fruta em pó/flocos é a secagem em *drum dryer*. Esses equipamentos, também conhecidos como secadores de cilindros ou de tambores rotativos, têm sido utilizados na secagem de líquidos, produtos pastosos e viscosos (NINDO & TANG, 2007; AGUIRRE & GASPARINO FILHO, 2002; ROSENTHAL & SGARBIERI, 1992). Uma das grandes vantagens dessa tecnologia é o menor uso de coadjuvantes tecnológicos, resultando em produtos mais concentrados nos compostos naturais da fruta.

Os principais parâmetros de processo do *drum drying* são: temperatura do cilindro (na faixa de 100 a 170 °C), taxa de alimentação, espessura do filme

(abertura entre os cilindros de secagem e aplicação), tempo de residência e o teor de sólidos do produto a ser seco (PUA et al., 2010; BARUFFALDI & OLIVEIRA, 1998).

Normalmente, no *drum drying* de purês de frutas, tendo em vista a melhoria das propriedades termoplásticas da matéria-prima, bem como das propriedades higroscópicas dos pós, são empregados coadjuvantes de processo, nas faixas de 1 a 20% (bs), tais como amidos (PRANGPRU et al., 2015; TRAVAGLINI et al., 1994), maltodextrinas (PRANGPRU et al., 2015), gomas (PUA et al., 2010) e pectinas (KITSON & MACGREGOR, 1982). O emprego dos hidrocoloides tem por objetivo aumentar o teor de sólidos, ajudando na formação do filme no secador, bem como no aumento da temperatura de transição vítrea dos produtos, obtendo assim maior estabilidade no armazenamento. O emprego do MSG, um agente emulsificante não iônico, tem por objetivo melhorar as propriedades térmicas e reológicas da polpa acrescida dos hidrocoloides, melhorando a formação do filme e ajudando no desprendimento do mesmo do cilindro após a secagem (USDA, 2015; GARCIA & FRANCO, 2015).

Em ensaios preliminares realizados nesse estudo, avaliaram-se as variáveis envolvidas no processo de *drum drying* de polpa de manga comercial. Observou-se que o tempo de retenção (ou velocidade do cilindro) e a temperatura da superfície do cilindro (ou pressão de vapor) são os parâmetros mais relevantes. Além disso, verificou-se que o tipo e a concentração dos coadjuvantes de processo influenciam fortemente a formação do filme e suas características.

Por sua vez, a estabilidade da polpa em pó obtida depende, dentre outros fatores, da temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) da mesma. Por outro lado, para o dimensionamento dos processos, o conhecimento do comportamento reológico das polpas reconstituídas é fundamental.

Nesse contexto, o objetivo geral do estudo foi estabelecer o uso de diferentes coadjuvantes de processo do *drum drying* de manga, tendo em vista maiores taxas de secagem e retenções de qualidade da matéria prima, bem como avaliar a temperatura de transição vítrea dos produtos obtidos e o comportamento reológico das polpas reconstituídas.

### 3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Com o intuito de se avaliar a necessidade do uso de coadjuvantes e o desempenho destes em diferentes combinações e concentrações, foram realizados seis ensaios piloto de secagem de polpa de manga por *drum drying*. Para cada formulação, a quantidade de polpa utilizada foi de aproximadamente 20 Kg. Empregou-se por matéria-prima, a polpa de manga comercial congelada (P), produzida com as variedades Tommy Atkins e Ubá (aproximadamente 1:1) (DeMarchi, Brasil), adquirida comercialmente, do mesmo lote, em embalagens de 1 kg. A Tabela 3.1 apresenta as propriedades físico-químicas da polpa de manga utilizada. Com base nos estudos, citados anteriormente, os coadjuvantes de processo avaliados foram: amido regular (A) (Amisol 3408 – Ingredion, Brasil) (teor de umidade aprox. 9%), monoestearato de glicerila (MSG) (Synth, Brasil) (teor de umidade aprox. 2%), maltodextrina 10 DE (M10) (teor de umidade aprox. 2%) e 20 DE (M20) (teor de umidade aprox. 7%) (Ingredion, Brasil). A secagem foi realizada em secador de cilindro rotativo da Planta Piloto de Desidratados do Fruthotec / ITAL. O equipamento utilizado, (Richard Simon & Sons, D139, Inglaterra) é provido de cilindro único, com aquecimento indireto por vapor saturado, e um cilindro aplicador, com área total de secagem de aproximadamente 0,5 m<sup>2</sup>. Para a execução dos ensaios, antes da secagem, a polpa descongelada foi formulada e homogeneizada em moinho coloidal (Meteor, REX 2-AL, Brasil) (aproximadamente 25 °C). Conforme ensaios preliminares, as condições de processo foram fixadas em: temperatura de aproximadamente 150 °C (aprox. 5 kgf/ cm<sup>2</sup>), espaçamento entre cilindros de 0,15 mm, nível de piscina (volume sobre o cilindro aquecido e o cilindro aplicador) de 10 mm ( $\pm$  400 mL) e tempo de residência de 15 segundos. Em cada ensaio, as amostras foram coletadas após um tempo de 5 minutos de operação, tempo considerado suficiente para entrada em regime do processo. A Tabela 3.2 apresenta as combinações e as concentrações dos coadjuvantes utilizados em cada ensaio. As quantidades empregadas foram calculadas com base no teor de sólidos totais da polpa (aproximadamente 14,69%).

**Tabela 3.1** Propriedades físico-químicas da polpa de manga empregada no estudo.

| Propriedade                                         |                 | Método                                     |
|-----------------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------|
| Teor de umidade (%)                                 | 85,31 ± 0,02    | IAL (2008)                                 |
| Atividade de água                                   | 0,994 ± 0,002   | IAL (2008)                                 |
| Sólidos solúveis (°Brix)                            | 13,63 ± 0,05    | IAL (2008)                                 |
| pH                                                  | 4,25 ± 0,02     | IAL (2008)                                 |
| Acidez titulável (g ácido cítrico/ 100 g)           | 0,469 ± 0,029   | IAL (2008)                                 |
| Vitamina C (mg/ 100 g)                              | 10,83 ± 0,07    | IAL (2008)                                 |
| Compostos fenólicos totais (mg ácido gálico/ 100 g) | 101,91 ± 0,17   | Benvenuti et al. (2004)                    |
| Carotenóides totais (mg/ 100 g)                     | 2,21 ± 0,08     | Carvalho, Collins & Rodriguez-Amaya (1992) |
| Beta caroteno (µg/ 100 g)                           | 1012,14 ± 55,66 | Carvalho, Collins & Rodriguez-Amaya (1992) |
| Açúcar redutor (g/ 100 g)                           | 2,75 ± 0,53     | Carvalho et al. (1990)                     |
| Açúcar não redutor (sacarose) (g/ 100 g)            | 8,75            | Carvalho et al. (1990)                     |
| Açúcar total (g/ 100 g)                             | 11,49           | Carvalho et al. (1990)                     |

Metodologia das análises: Anexo 7.1.  
Média ± desvio padrão (n = 3).

**Tabela 3.2** Coadjuvantes de processo empregados nos ensaios de *drum drying* de manga.

| Ensaio | Coadjuvantes             |
|--------|--------------------------|
| 1      | 3% A + 0,5% MSG          |
| 2      | 3% A + 1% M10 + 0,5% MSG |
| 3      | 3% A + 1% M20 + 0,5% MSG |
| 4      | 3% M10 + 0,5% MSG        |
| 5      | 4% A + 1% MSG            |
| 6      | Sem coadjuvante          |

A = amido regular; MSG = monoestearato de glicerila; M10 = maltodextrina 10DE e M20 = maltodextrina 20DE.

Após o *drum drying*, o produto seco obtido foi moído em moinho granulador de faca e martelos (Treu, 74064G, Brasil), utilizando-se a parte do martelo, e empregando-se peneira de 3,2 mm para a obtenção de um pó de granulometria fina e homogênea. As polpas em pó obtidas foram separadas em quantidades suficientes para a realização das análises, e congeladas (aproximadamente -18 °C). Empregou-se embalagem de polietileno de baixa densidade (PEBD), com 0,15 mm de espessura, para cada amostra, e as mesmas foram acondicionadas por outra estrutura, de poliéster/alumínio/polietileno de baixa densidade (PET/Al/PEBD), com espessura nominal total de 70 µm. Utilizou-se a seladora a vácuo (MULTIVAC, P300 MCB01 218021, Brasil) para a selagem da estrutura da embalagem externa.

A Figura 3.1 ilustra o equipamento utilizado para a secagem, e a Figura 3.2 mostra as etapas do preparo da polpa, do processo de secagem e posterior moagem.



**Figura 3.1** Secador de cilindro rotativo da Planta Piloto de Desidratados do Fruthotec / ITAL.



**Figura 3.2** Etapas do preparo da polpa para a obtenção da fruta em pó: a) descongelamento da polpa de manga; b) homogeneização da polpa e dos coadjuvantes; c) secagem da polpa homogeneizada no *drum dryer*; d) moagem do produto seco.

Foram realizadas as seguintes análises com as polpas em pó obtidas no processamento: teor de umidade e atividade de água (IAL, 2008); higroscopicidade (CAI & CORKE, 2000); solubilidade (CANO-CHAUCA et al., 2005); cor instrumental do pó e da polpa reconstituída, empregando-se o colorímetro (Konica - Minolta Sensing Inc., Chromameter CR-400, Japão), programado no sistema CieLab, com calibração do iluminante D65 ( $Y = 93,49$ ;  $x = 0,3160$ ;  $y = 0,3325$ ); compostos fenólicos totais (BENVENUTI et al., 2004); vitamina C, determinada pelo método titulométrico preconizado por Tillmans, e adaptada de Instituto Adolfo Lutz (2008); carotenoides totais e  $\beta$ -caroteno (CARVALHO, COLLINS & RODRIGUEZ-AMAYA, 1992). A polpa reconstituída foi obtida a partir da homogeneização da manga em pó com água destilada, em

instrumento triturador Turrattec (Tecnal, TE-102, Brasil), em quantidades calculadas por balanço de massa, tendo em vista a obtenção de uma polpa com o mesmo teor de sólidos totais da matéria-prima (polpa comercial). As metodologias analíticas estão descritas no Anexo 7.1.

Na análise de cor, obtiveram-se os parâmetros cromáticos  $a^*$  ( $+a^*$  = vermelho e  $-a^*$  = verde),  $b^*$  ( $+b^*$  = amarelo e  $-b^*$  = azul) e luminosidade  $L^*$ . Calculou-se também o Croma (intensidade da cor), e para a polpa reconstituída, obteve-se, a diferença de cor ( $\Delta E$ ) com relação à polpa comercial, de acordo com as Equações (3.1) e (3.2), respectivamente.

$$Croma = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (3.1)$$

$$\Delta E = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta a^*)^2)^{1/2} \quad (3.2)$$

Os percentuais de retenção dos nutrientes no processo foram calculados a partir das concentrações determinadas nos pós e na polpa, ambas em base seca.

A taxa de secagem ( $T_s$ ), expressa em (kg de produto seco/ h m<sup>2</sup>), foi determinada de acordo com a Equação (3.3).

$$T_s = \frac{m_{ps}}{A} \times \frac{60}{\Delta t} \quad (3.3)$$

Onde  $m_{ps}$  = massa de produto seco obtida (kg);  $\Delta t$  = intervalo de tempo das pesagens (5 min) e  $A$  = área de secagem do cilindro (0,5 m<sup>2</sup>).

A temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) dos pós obtidos foi determinada conforme metodologia descrita por Caparino et al. (2012), por calorimetria diferencial de varredura, empregando-se o calorímetro (TA Instruments, TA-MDSC-2920, Estados Unidos da América) com resfriamento controlado por um resfriador mecânico RCS (*Refrigerated Cooling Accessory*), operando com gás nitrogênio a 150 ml/ min.

Avaliou-se também, o comportamento reológico das polpas reconstituídas empregando-se um reômetro Brookfield (Ametek Inc., R/S+ SST, Estados Unidos da América), operado pelo software Rheo 3000, v.1.2. Os ensaios foram efetuados utilizando-se o sistema de medidas de cilindros

concêntricos CCT-45. A temperatura da amostra foi mantida em  $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , por uma camisa localizada ao redor de um cilindro externo, que por sua vez foi acoplado a um banho termostatzado (Marconi, MA-184, Brasil).

As médias das propriedades obtidas experimentalmente foram avaliadas por análise de variância (ANOVA), no nível de 5% de significância ( $p \leq 0,05$ ), empregando-se o teste de Tukey, pelo programa STATISTICA versão 8.0 (Statsoft, Inc., Estados Unidos da América).

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em todos os ensaios realizados no *drum drying* de polpa de manga comercial (aproximadamente 15 °Brix) foi observada a formação de um filme de produto seco na saída do equipamento, conforme ilustrado na Figura 3.2c.

O filme obtido sem o uso de aditivos (ensaio 6), entretanto, se apresentou mais fino e descontínuo em comparação aos demais, embora todas as variáveis de processo estivessem fixas. Segundo Travaglini et al. (1994), a adição de coadjuvantes auxilia nas condições operacionais do secador de tambor rotativo, facilitando assim a remoção do produto na forma de filme. Os autores reportaram, no estudo do *drum drying* de purê de manga, a inviabilidade da remoção do filme sem o uso de aditivos. Segundo os autores, o comportamento se deve à termoplasticidade da matéria-prima quando aquecida. Este fato pode explicar as características, descritas anteriormente, do filme obtido no ensaio 6, realizado sem o emprego de coadjuvantes.

Por sua vez, os filmes formados nos ensaios 1, 2, 3, 4 e 5, realizados com o uso de coadjuvantes, apresentaram ligeiras diferenças de cor e espessura, observadas visualmente.

A Tabela 3.3 apresenta os resultados de umidade e atividade de água (Aa) dos pós obtidos no processo de *drum drying* nos diferentes ensaios.

**Tabela 3.3** Teores de umidade e atividade de água dos pós obtidos no estudo de *drum drying* de manga com diferentes coadjuvantes de processo.

| Ensaio | Teor de umidade (%)      | Atividade de água           |
|--------|--------------------------|-----------------------------|
| 1      | 1,09 ± 0,01 <sup>a</sup> | 0,229 ± 0,006 <sup>a</sup>  |
| 2      | 0,79 ± 0,02 <sup>b</sup> | 0,203 ± 0,004 <sup>bc</sup> |
| 3      | 0,54 ± 0,02 <sup>c</sup> | 0,201 ± 0,006 <sup>bc</sup> |
| 4      | 0,98 ± 0,02 <sup>d</sup> | 0,206 ± 0,009 <sup>b</sup>  |
| 5      | 0,62 ± 0,01 <sup>e</sup> | 0,188 ± 0,002 <sup>c</sup>  |
| 6      | 0,50 ± 0,05 <sup>c</sup> | 0,202 ± 0,002 <sup>bc</sup> |

Ensaio: 1) P + 3% A + 0,5% MSG; 2) P + 3% A + 1% M10 + 0,5% MSG; 3) P + 3% A + 1% M20 + 0,5% MSG; 4) P + 3% M10 + 0,5% MSG; 5) P + 4% A + 1% MSG; 6) P sem aditivos.

P = polpa de manga comercial; A = amido regular; MSG = monoestearato de glicerila; M10 = maltodextrina 10DE e M20 = maltodextrina 20DE.

Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ).

Média ± desvio padrão (n = 3).

Observa-se, na Tabela 3.3, que as médias dos teores de umidade dos produtos dos diferentes ensaios estiveram na faixa de 0,5 a 1%, apresentando diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre as mesmas. O ensaio 6, realizado sem o uso de coadjuvantes, resultou no produto de menor umidade. Esse resultado possivelmente se deve à maior taxa de transferência de calor ocorrida no filme formado neste ensaio, que se apresentou mais fino em relação aos demais, conforme mencionado anteriormente. Por sua vez, os valores médios de atividade de água (Aa) apresentaram diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ), na faixa de 0,20 a 0,23, proporcionando estabilidade microbiológica aos produtos. Não se observa, entretanto, uma relação direta entre os valores de Aa obtidos e os respectivos teores de umidade. Comportamento semelhante a este foi reportado por Jittanit et al. (2011) no *drum drying* de suco de tamarindo com diferentes coadjuvantes. Segundo os autores, o fato se deve às distintas composições dos produtos em pó obtidos.

A Tabela 3.4 apresenta os resultados de taxas de secagem do processo de *drum drying*, bem como algumas propriedades dos pós obtidos nos diferentes ensaios.

**Tabela 3.4** Taxas de secagem, higroscopicidade e solubilidade dos pós obtidos no estudo de *drum drying* de manga com diferentes coadjuvantes de processo.

| Ensaio | Taxa de secagem<br>(kg/ h m <sup>2</sup> ) | Higroscopicidade<br>(%)   | Solubilidade<br>(%)       |
|--------|--------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1      | 8,0 ± 0,23 <sup>a</sup>                    | 26,02 ± 1,20 <sup>a</sup> | 78,69 ± 0,13 <sup>a</sup> |
| 2      | 8,0 ± 0,49 <sup>a</sup>                    | 25,77 ± 1,00 <sup>a</sup> | 78,12 ± 0,52 <sup>a</sup> |
| 3      | 7,9 ± 0,16 <sup>a</sup>                    | 26,58 ± 0,84 <sup>a</sup> | 78,35 ± 0,13 <sup>a</sup> |
| 4      | 7,3 ± 0,10 <sup>ab</sup>                   | 26,50 ± 0,59 <sup>a</sup> | 77,85 ± 0,15 <sup>a</sup> |
| 5      | 7,3 ± 0,60 <sup>ab</sup>                   | 26,52 ± 0,82 <sup>a</sup> | 79,05 ± 0,83 <sup>a</sup> |
| 6      | 6,9 ± 0,20 <sup>b</sup>                    | 27,75 ± 0,19 <sup>a</sup> | 77,88 ± 0,52 <sup>a</sup> |

Ensaio: 1) P + 3% A + 0,5% MSG; 2) P + 3% A + 1% M10 + 0,5% MSG; 3) P + 3% A + 1% M20 + 0,5% MSG; 4) P + 3% M10 + 0,5% MSG; 5) P + 4% A + 1% MSG; 6) P sem aditivos. P = polpa de manga comercial; A = amido regular; MSG = monoestearato de glicerila; M10 = maltodextrina 10DE e M20 = maltodextrina 20DE.

Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ).

Média ± desvio padrão (n = 3).

Verifica-se, na Tabela 3.4, que as taxas médias de secagem (Ts) obtidas nos ensaios realizados com coadjuvantes não apresentaram diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre si, e estiveram na faixa de 7,3 a 8 kg/ h m<sup>2</sup>. O ensaio com a polpa pura (6), por sua vez, resultou na menor taxa de secagem, de aproximadamente 7 kg/ h m<sup>2</sup>. Esse desempenho pode ser atribuído às características do filme formado, conforme anteriormente reportado. Travaglini et al. (1994), no estudo de *drum drying* de purê de manga com 4% de amido de milho e 1% de monoestearato de glicerila (base seca), em diferentes condições de processo, reportaram Ts na faixa de 5 a 6 kg/ h m<sup>2</sup>, valores inferiores aos observados neste estudo. Possivelmente esse resultado se deve às características do purê empregado no estudo, principalmente no que se refere à viscosidade.

Em relação aos valores médios de higroscopicidade dos pós, nota-se, na Tabela 3.4, que não houve diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre os valores dos diferentes ensaios, resultando em uma média geral de 26,5%. A mesma observação pode ser feita para a solubilidade, que resultou na média aproximada de 78%. Caparino et al. (2012), no estudo do *drum drying* de manga sem uso de coadjuvantes, reportaram valores de higroscopicidade e

solubilidade de aproximadamente 20% e 94%, respectivamente. A menor higroscopicidade reportada pelos autores pode estar relacionada ao maior teor de umidade do produto obtido (1,3%), bem como à forma de flocos empregada. Por sua vez, a maior solubilidade obtida certamente se deve ao não uso de coadjuvantes. Cano-Chauca et al. 2005 reportaram em estudo do *spray drying* de suco de manga, uma solubilidade de 72% para o produto adicionado de 12% de maltodextrina e 9 % de celulose (bu). A maior solubilidade encontrada no presente trabalho pode estar relacionada às baixas concentrações de coadjuvantes utilizadas, bem como às características do processo de *drum drying*.

As Tabelas 3.5 e 3.6 apresentam, respectivamente, os resultados das análises de cor da manga em pó e das polpas reconstituídas obtidas. A Figura 3.3 apresenta as imagens dos mesmos.

**Tabela 3.5** Parâmetros de cor da manga em pó obtida no *drum drying* com diferentes coadjuvantes de processo.

| Ensaio | L*                      | a*                     | b*                       | Croma                    |
|--------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1      | 74,3 ± 0,8 <sup>a</sup> | 6,0 ± 0,5 <sup>a</sup> | 64,7 ± 1,0 <sup>a</sup>  | 65,0 ± 1,0 <sup>a</sup>  |
| 2      | 74,5 ± 1,7 <sup>a</sup> | 6,3 ± 1,1 <sup>a</sup> | 64,2 ± 2,2 <sup>a</sup>  | 64,5 ± 2,2 <sup>a</sup>  |
| 3      | 72,0 ± 1,9 <sup>b</sup> | 7,9 ± 1,1 <sup>b</sup> | 67,9 ± 2,0 <sup>b</sup>  | 68,4 ± 2,0 <sup>b</sup>  |
| 4      | 74,0 ± 1,5 <sup>a</sup> | 5,7 ± 0,3 <sup>a</sup> | 61,5 ± 1,0 <sup>c</sup>  | 61,7 ± 1,0 <sup>c</sup>  |
| 5      | 74,8 ± 1,2 <sup>a</sup> | 5,9 ± 0,7 <sup>a</sup> | 63,0 ± 1,1 <sup>ac</sup> | 63,3 ± 1,2 <sup>ac</sup> |
| 6      | 75,5 ± 1,1 <sup>a</sup> | 5,5 ± 0,8 <sup>a</sup> | 61,2 ± 1,4 <sup>c</sup>  | 61,4 ± 1,4 <sup>c</sup>  |

Ensaio: 1) P + 3% A + 0,5% MSG; 2) P + 3% A + 1% M10 + 0,5% MSG; 3) P + 3% A + 1% M20 + 0,5% MSG; 4) P + 3% M10 + 0,5% MSG; 5) P + 4% A + 1% MSG; 6) P sem aditivos.

P = polpa de manga comercial; A = amido regular; MSG = monoestearato de glicerila; M10 = maltodextrina 10DE e M20 = maltodextrina 20DE.

Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ).

Média ± desvio padrão (n = 9).

**Tabela 3.6** Parâmetros de cor da polpa e das polpas reconstituídas a partir dos pós obtidos no *drum drying* de manga com diferentes coadjuvantes de processo.

| Ensaio | L*                        | a*                      | b*                      | Croma                    | Diferença de cor        |
|--------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1      | 49,0 ± 2,0 <sup>a</sup>   | 2,8 ± 0,1 <sup>a</sup>  | 35,4 ± 0,1 <sup>a</sup> | 35,5 ± 0,1 <sup>a</sup>  | 5,5 ± 1,5 <sup>a</sup>  |
| 2      | 49,4 ± 0,2 <sup>ac</sup>  | 2,9 ± 0,1 <sup>a</sup>  | 35,9 ± 0,4 <sup>b</sup> | 36,0 ± 0,4 <sup>b</sup>  | 4,8 ± 0,3 <sup>ab</sup> |
| 3      | 50,1 ± 0,2 <sup>abc</sup> | 3,5 ± 0,1 <sup>bc</sup> | 36,2 ± 0,2 <sup>b</sup> | 36,4 ± 0,2 <sup>c</sup>  | 4,2 ± 0,3 <sup>b</sup>  |
| 4      | 50,8 ± 0,3 <sup>b</sup>   | 3,4 ± 0,2 <sup>bc</sup> | 37,5 ± 0,4 <sup>c</sup> | 37,6 ± 0,4 <sup>d</sup>  | 2,9 ± 0,5 <sup>c</sup>  |
| 5      | 51,2 ± 0,3 <sup>c</sup>   | 3,3 ± 0,4 <sup>b</sup>  | 37,3 ± 0,3 <sup>c</sup> | 37,5 ± 0,3 <sup>d</sup>  | 2,9 ± 0,3 <sup>c</sup>  |
| 6      | 49,9 ± 0,2 <sup>ab</sup>  | 3,7 ± 0,1 <sup>c</sup>  | 36,1 ± 0,2 <sup>b</sup> | 36,3 ± 0,2 <sup>bc</sup> | 4,5 ± 0,2 <sup>b</sup>  |
| P      | 51,9 ± 0,2                | 2,2 ± 0,1               | 39,8 ± 0,5              | 39,9 ± 0,5               | -                       |

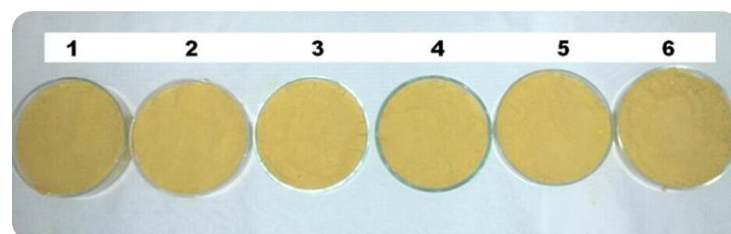
Ensaio: 1) P + 3% A + 0,5% MSG; 2) P + 3% A + 1% M10 + 0,5% MSG; 3) P + 3% A + 1% M20 + 0,5% MSG; 4) P + 3% M10 + 0,5% MSG; 5) P + 4% A + 1% MSG; 6) P sem aditivos.

P = polpa de manga comercial; A = amido regular; MSG = monoestearato de glicerila; M10 = maltodextrina 10DE e M20 = maltodextrina 20DE.

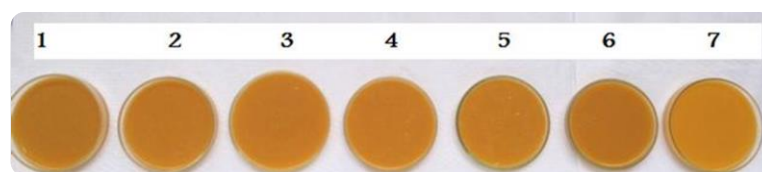
Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ )

P = polpa (matéria-prima).

Média ± desvio padrão (n = 9).



(a)



(b)

**Figura 3.3** Pós de manga (a) obtidos no *drum drying* com diferentes coadjuvantes de processo, e as respectivas polpas reconstituídas (b) (amostra 7 = polpa de manga / matéria-prima).

Na Tabela 3.5 verifica-se que as médias do parâmetro de cor L\* (luminosidade) dos pós obtidos nos diferentes tratamentos não apresentaram

diferenças significativas ( $p > 0,05$ ), com exceção do ensaio 3, significativamente mais escuro que os demais ( $p \leq 0,05$ ). Neste caso, a provável causa foi o emprego da Maltodextrina 20 DE, que possui um maior grau de hidrólise na molécula, e que pode ter provocado um escurecimento não enzimático no processo. Por sua vez, os resultados obtidos do parâmetro  $a^*$ , o componente vermelho da cor, confirmam a observação anterior, uma vez que o ensaio 3 resultou na maior média, significativamente diferente ( $p \leq 0,05$ ) das demais. Segundo Caparino et al. (2012), o escurecimento da polpa de manga observado no *drum drying* se deve às reações que ocorrem entre açúcares redutores e proteínas (Maillard), bem como à caramelização dos açúcares com às altas temperaturas. Em relação ao parâmetro  $b^*$  (amarelo), as médias apresentaram diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ), e o produto do ensaio 3 apresentou o maior valor (aproximadamente 68). A cor amarela é preponderante na polpa de manga, e está relacionada ao teor de carotenoides, principais pigmentos presentes nessa matéria-prima. Ressalta-se, contudo, que as diferenças apontadas na análise instrumental de cor dos pós não foram perceptíveis visualmente, e a Figura 3.3a ilustra a similaridade dos mesmos.

Quanto às polpas reconstituídas, observa-se na Tabela 3.6, que as médias do parâmetro  $L^*$  (luminosidade) apresentaram diferenças significativas entre os ensaios ( $p \leq 0,05$ ), com valores menores do que o observado para a polpa, indicando um ligeiro escurecimento. Por sua vez, as médias do parâmetro  $a^*$  (vermelho) das polpas reconstituídas também apresentaram diferenças estatísticas, com valores significativamente ( $p \leq 0,05$ ) superiores aos obtidos para a polpa. A polpa reconstituída do ensaio sem coadjuvantes (6) apresentou-se mais avermelhada que as demais, e a causa provável foi um maior escurecimento não enzimático com a secagem mais intensa do filme mais fino e descontínuo, conforme anteriormente reportado. Em relação ao parâmetro  $b^*$  (amarelo), todos os ensaios apresentaram médias menores do que o valor obtido para a polpa. Esse comportamento pode estar relacionado a uma possível perda de carotenoides na secagem, provavelmente por processos de degradação e oxidação. O mesmo comportamento foi observado para o Croma. Quanto às diferenças de cor, verifica-se que as maiores médias foram obtidas para os produtos dos ensaios 1, 2, 3 e 6. No entanto, analisando-se as amostras, verificou-se que as polpas reconstituídas dos ensaios 3, 4 e 5

foram as que mais se aproximaram visualmente da polpa comercial. Esta observação está de acordo com os valores médios obtidos para o parâmetro L\* destes produtos, que estiveram mais próximos da média da luminosidade da polpa padrão (Tabela 3.6).

Os resultados revelam que a manga em pó obtida por *drum drying*, nas condições praticadas no estudo, teriam uma boa aplicação na forma de pó, quando são observadas as menores variações de cor entre os produtos. Por outro lado, a aplicação da polpa na forma reconstituída não deve ser descartada, necessitando de um maior aprofundamento para avaliar o comportamento desse ingrediente em diferentes formulações.

As Tabelas 3.7 e 3.8 apresentam os resultados dos nutrientes avaliados nas amostras de manga em pó obtidas nos diferentes ensaios do *drum drying*, bem como as retenções determinadas com relação à polpa.

**Tabela 3.7** Teores de compostos fenólicos totais e vitamina C dos pós obtidos no *drum drying* de manga com diferentes coadjuvantes de processo e as respectivas retenções com relação à polpa.

| Ensaio | Compostos<br>fenólicos totais<br>(mg de ácido<br>gálico/ 100 g) | Retenção de<br>compostos<br>fenólicos<br>totais (%) | Teor de<br>vitamina C<br>(mg/ 100 g) | Retenção de<br>vitamina C (%) |
|--------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| 1      | 582,33 ± 0,00 <sup>a</sup>                                      | 83,93 ± 0,31 <sup>a</sup>                           | 44,97 ± 0,50 <sup>a</sup>            | 61,02 ± 0,68 <sup>a</sup>     |
| 2      | 579,67 ± 0,01 <sup>a</sup>                                      | 83,55 ± 0,99 <sup>a</sup>                           | 29,39 ± 1,01 <sup>b</sup>            | 39,87 ± 1,37 <sup>b</sup>     |
| 3      | 563,16 ± 0,01 <sup>b</sup>                                      | 81,17 ± 1,15 <sup>b</sup>                           | 29,15 ± 0,74 <sup>b</sup>            | 39,54 ± 1,00 <sup>b</sup>     |
| 4      | 552,57 ± 0,00 <sup>b</sup>                                      | 79,64 ± 0,16 <sup>b</sup>                           | 30,25 ± 0,78 <sup>b</sup>            | 41,04 ± 1,05 <sup>b</sup>     |
| 5      | 578,01 ± 0,00 <sup>a</sup>                                      | 83,31 ± 0,43 <sup>a</sup>                           | 29,72 ± 0,60 <sup>b</sup>            | 40,32 ± 0,81 <sup>b</sup>     |
| 6      | 600,73 ± 0,00 <sup>c</sup>                                      | 86,59 ± 0,35 <sup>c</sup>                           | 28,96 ± 0,43 <sup>b</sup>            | 39,29 ± 0,59 <sup>b</sup>     |

Ensaio: 1) P + 3% A + 0,5% MSG; 2) P + 3% A + 1% M10 + 0,5% MSG; 3) P + 3% A + 1% M20 + 0,5% MSG; 4) P + 3% M10 + 0,5% MSG; 5) P + 4% A + 1% MSG; 6) P sem aditivos.

P = polpa de manga comercial; A = amido regular; MSG = monoestearato de glicerila; M10 = maltodextrina 10DE e M20 = maltodextrina 20DE.

Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ).

Os resultados do teor de polifenóis e vitamina C estão expressos em base seca (bs).

Média ± desvio padrão (n = 3).

Polpa de manga comercial como referência para a retenção.

**Tabela 3.8** Teores de carotenoides totais e  $\beta$ -caroteno dos pós obtidos no *drum drying* de manga com diferentes coadjuvantes de processo e as respectivas retenções com relação à polpa.

| Ensaio | Teor de carotenoides totais (mg/ 100 g) | Retenção de carotenoides totais (%) | Teor de $\beta$ -caroteno (mg/ 100 g) | Retenção de $\beta$ -caroteno (%) |
|--------|-----------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| 1      | 14,67 $\pm$ 1,00 <sup>a</sup>           | 97,67 $\pm$ 6,69 <sup>a</sup>       | 6,17 $\pm$ 0,19 <sup>a</sup>          | 89,56 $\pm$ 2,80 <sup>a</sup>     |
| 2      | 13,45 $\pm$ 0,25 <sup>a</sup>           | 89,57 $\pm$ 1,67 <sup>a</sup>       | 6,15 $\pm$ 0,02 <sup>a</sup>          | 89,29 $\pm$ 0,31 <sup>a</sup>     |
| 3      | 13,23 $\pm$ 0,96 <sup>a</sup>           | 88,10 $\pm$ 6,36 <sup>a</sup>       | 5,78 $\pm$ 0,16 <sup>ab</sup>         | 83,82 $\pm$ 2,32 <sup>ab</sup>    |
| 4      | 13,53 $\pm$ 0,26 <sup>a</sup>           | 90,10 $\pm$ 1,72 <sup>a</sup>       | 5,94 $\pm$ 0,19 <sup>ab</sup>         | 86,21 $\pm$ 2,74 <sup>ab</sup>    |
| 5      | 13,78 $\pm$ 0,49 <sup>a</sup>           | 91,75 $\pm$ 3,23 <sup>a</sup>       | 5,73 $\pm$ 0,42 <sup>ab</sup>         | 83,14 $\pm$ 6,14 <sup>ab</sup>    |
| 6      | 13,23 $\pm$ 0,43 <sup>a</sup>           | 88,11 $\pm$ 2,84 <sup>a</sup>       | 5,49 $\pm$ 0,13 <sup>b</sup>          | 79,63 $\pm$ 1,79 <sup>b</sup>     |

Ensaio: 1) P + 3% A + 0,5% MSG; 2) P + 3% A + 1% M10 + 0,5% MSG; 3) P + 3% A + 1% M20 + 0,5% MSG; 4) P + 3% M10 + 0,5% MSG; 5) P + 4% A + 1% MSG; 6) P sem aditivos.

P = polpa de manga comercial; A = amido regular; MSG = monoestearato de glicerila; M10 = maltodextrina 10DE e M20 = maltodextrina 20DE.

Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ).

Os resultados do teor de carotenoides e beta caroteno expressos em base seca (bs).

Média  $\pm$  desvio padrão (n = 3).

Polpa de manga comercial como referência para a retenção.

Observa-se na Tabela 3.7 que as médias dos teores de compostos fenólicos totais dos tratamentos apresentaram diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ), sendo que o ensaio realizado sem coadjuvantes (6) resultou no maior valor. As retenções seguiram o mesmo comportamento e ficaram na faixa de 80 a 87%. Em estudo com *drum drying* de cascas de maçã, Henríquez et al. (2010) reportaram retenções de polifenóis de aproximadamente 60%, atribuindo este resultado à oxidação enzimática e à instabilidade térmica destes compostos. Dentre os ensaios com coadjuvantes, as maiores retenções de polifenóis foram obtidas nos ensaios 1, 2 e 5.

Quanto à vitamina C, verifica-se na Tabela 3.7, que as retenções no processo de *drum drying* de polpa de manga variaram de 39 a 61%. O ensaio 1 resultou no produto de maior teor de retenção desse nutriente, sendo significativamente superior aos demais ( $p \leq 0,05$ ). A menor retenção de vitamina C, aproximadamente 39%, foi observada no ensaio sem o uso de coadjuvantes (6). Esse resultado pode estar relacionado à maior exposição do

nutriente com a formação do filme mais fino e seco, conforme reportado anteriormente. Valdenegro et al. (2013) relataram uma retenção de aproximadamente 76% de vitamina C no *drum dryer* de suco de fisalis a 110 °C. Contudo, este resultado pode ter sido influenciado pela adição de ácido ascórbico à matéria-prima no seu preparo, com o objetivo de evitar o escurecimento enzimático da mesma.

Observa-se, na Tabela 3.8, que os teores de carotenoides totais não apresentaram diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre as médias dos diferentes ensaios, nem tampouco em relação às retenções. A média geral dos teores de carotenoides totais dos produtos em pó obtidos foi de  $13,65 \pm 0,54$  mg/ 100 g, e a retenção média foi de  $90,9 \pm 3,6\%$ , considerada alta para um processo de secagem em escala piloto. Por sua vez, as médias dos teores de  $\beta$ -caroteno apresentaram diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre os ensaios, e as maiores retenções, de aproximadamente 90%, foram observadas nos ensaios 1 e 2. O ensaio realizado sem coadjuvantes (6) apresentou a menor retenção do nutriente, com aproximadamente 80%, e possivelmente a causa tenha sido uma maior oxidação e degradação com a formação do filme mais fino e seco. Sogi, Siddiq & Dolan (2014), reportaram teor de carotenoides totais de aproximadamente 5,2 mg/ 100 g em polpa de manga em pó obtida pelo processo de liofilização de cubos da fruta. Segundo os autores, os teores obtidos pela liofilização foram superiores aos teores verificados na secagem com ar quente e por infravermelho, mostrando um efeito significativo do calor sobre esse parâmetro. Ndawula, Kabasa & Byaruhanga (2004), em estudo sobre a secagem de manga por secador solar, relataram teores de  $\beta$ -caroteno de 0,34 a 1,58 mg/ 100 g no produto final. Os valores encontrados pelos autores se encontram bem abaixo dos obtidos no presente estudo, possivelmente devido à falta de controle dos parâmetros de processo na secagem solar, principalmente quanto ao tempo e à temperatura.

A Tabela 3.9 mostra os valores determinados de temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) e os parâmetros reológicos das polpas reconstituídas para os produtos obtidos nos diferentes ensaios. Os valores de viscosidade aparente ( $\eta_{ap}$ ) são apresentados na taxa de deformação de  $100 \text{ s}^{-1}$ .

**Tabela 3.9** Temperatura de transição vítrea da manga em pó obtida nos diferentes ensaios de *drum drying*, e os parâmetros reológicos e viscosidades aparentes das polpas reconstituídas dos diferentes ensaios.

| Ensaio | Temperatura de transição vítrea (°C) | K (Pa)        | n             | $\eta_{ap}$<br>(100 1/s)<br>(Pa.s) | R <sup>2</sup> | RSD (%) |
|--------|--------------------------------------|---------------|---------------|------------------------------------|----------------|---------|
| P      | -                                    | 5,10 ± 0,1008 | 0,36 ± 0,0021 | 0,27                               | 1,000          | 0,037   |
| 1      | 34,3 ± 9,3                           | 2,19 ± 0,0210 | 0,47 ± 0,0045 | 0,19                               | 1,000          | 0,059   |
| 2      | 28,9 ± 1,4                           | 2,37 ± 0,0389 | 0,45 ± 0,0018 | 0,19                               | 0,999          | 0,115   |
| 3      | 29,0 ± 0,0                           | 2,46 ± 0,0534 | 0,45 ± 0,0045 | 0,20                               | 1,000          | 0,081   |
| 4      | 37,9 ± 9,3                           | 2,73 ± 0,0525 | 0,41 ± 0,0023 | 0,18                               | 0,996          | 0,205   |
| 5      | 35,7 ± 6,9                           | 3,44 ± 0,6423 | 0,40 ± 0,0520 | 0,21                               | 0,996          | 0,176   |
| 6      | 33,8 ± 2,4                           | 3,89 ± 0,0016 | 0,36 ± 0,0031 | 0,20                               | 0,993          | 0,242   |

Ensaio: 1) P + 3% A + 0,5% MSG; 2) P + 3% A + 1% M10 + 0,5% MSG; 3) P + 3% A + 1% M20 + 0,5% MSG; 4) P + 3% M10 + 0,5% MSG; 5) P + 4% A + 1% MSG; 6) P sem aditivos.

P = polpa de manga comercial (matéria-prima); A = amido regular; MSG = monoestearato de glicerila; M10 = maltodextrina 10DE e M20 = maltodextrina 20DE.

K = índice de consistência do fluído; n = índice do comportamento do fluído;  $\eta_{ap}$  = viscosidade aparente.

Verifica-se na Tabela 3.9 que os valores médios da temperatura de transição vítrea (Tg) dos produtos nos diferentes ensaios encontram-se na faixa de aproximadamente 29 a 38 °C. Este resultado deve-se ao alto teor de sólidos da polpa (14,69%), bem como à elevada composição em açúcares e ácidos orgânicos, que apresentam baixa Tg (CAPARINO et al., 2013). Os maiores valores de Tg foram obtidos nos ensaios 1 (3% de amido regular), 4 (3% de maltodextrina 10 DE) e 5 (4% de amido regular), sendo que todos possuíam MSG na formulação. Embora baixos, os valores são superiores à temperatura de 25 °C, recomendada para o armazenamento de alimentos desidratados. O produto obtido com a polpa pura (ensaio 6) apresentou um valor intermediário de Tg, e o comportamento pode ser atribuído ao menor teor de umidade observado nesta amostra (Tabela 3.3). Caparino et al. (2012), no *drum drying* de polpa pura de manga (aproximadamente 16 °Brix), obtiveram Tg média de aproximadamente 28 °C (Aa = 0,17). O valor reportado é menor do que o obtido no presente estudo, provavelmente devido ao fato de não ter sido utilizado coadjuvantes de processo. Tonon et al. (2009), no *spray drying*

de suco de açai, reportaram os seguintes valores de Tg para os pós obtidos com o emprego de maltodextrina 10 e 20 DE respectivamente ( $Aa = 0,0226$ ): 61,53 °C e 57,20 °C. Os elevados valores se devem ao alto percentual de carreador empregado em ambos os ensaios, de aproximadamente 67% sobre a massa de sólidos da polpa.

Em relação ao comportamento reológico, observa-se na Tabela 3.9, que todas as amostras analisadas apresentaram comportamento de um fluido não-Newtoniano, caracterizado como pseudoplástico ( $0 < n < 1$ ), seguindo modelo da Lei da Potência (Ostwald DeWale), com índices de  $R^2 > 0,99$  e  $RDS\% < 0,25\%$  (desvio padrão residual). Comportamentos similares foram reportados por Vidal et al. (2006), em estudo com polpa de manga centrifugada, e por Nambi et al. (2016), com polpas de diferentes cultivares de manga. Nota-se que há uma pequena variação do “n” entre as amostras. Quanto maior o valor deste parâmetro, mais alongado o perfil parabólico da velocidade do fluido na tubulação (Steffe, 1996). Por outro lado, o maior valor de K foi obtido para a polpa (matéria-prima). Este parâmetro representa o índice de consistência do fluido, e em produtos pseudoplásticos, o mesmo deve ser maior do que zero (Steffe, 1996). O valor da viscosidade aparente ( $\eta_{ap}$ ), por sua vez, é uma função da taxa de deformação e da tensão de cisalhamento. Em fluidos pseudoplásticos, a  $\eta_{ap}$  diminui com o aumento da taxa de deformação (Steffe, 1996), comportamento observado em todas as amostras. Ainda na Tabela 3.8, observa-se que os valores de  $\eta_{ap}$  das polpas reconstituídas estão muito próximos entre si, revelando que as concentrações dos diferentes coadjuvantes empregados, nos níveis praticados, não influenciaram a propriedade. Por sua vez, em comparação à polpa (matéria-prima), as viscosidades aparentes dos produtos reconstituídos também estiveram muito próximas. Jittanit et al. (2011), por sua vez, observaram grandes diferenças entre as viscosidades aparentes de sucos reconstituídos de tamarindo em pó obtidos por *drum drying* com maltodextrina 10 DE e goma arábica nos níveis de 60 a 80 % (sobre teores de sólidos). Segundo os autores, as altas viscosidades analisadas, muito superiores às do suco fresco, inviabilizam o emprego do pó obtido para o preparo de sucos instantâneos.

### 3.4 CONCLUSÃO

Esta etapa do trabalho permitiu as seguintes conclusões quanto às variáveis de processo do *drum drying* de manga:

- Em todos os ensaios com coadjuvantes houve a formação de um filme. No entanto, diferentes desempenhos foram observados.
- Na secagem direta da polpa houve a formação de um filme fino e descontínuo, resultando na menor taxa de secagem, bem como baixas retenções de vitamina C, carotenoides totais e  $\beta$ -caroteno.
- Entre os tratamentos realizados com os coadjuvantes, não houve diferenças nos seguintes parâmetros: taxa de secagem, higroscopicidade; solubilidade; retenção de carotenoides e retenção de  $\beta$ -caroteno.
- Os valores determinados de temperatura de transição vítrea (29 a 38 °C) revelam que os produtos obtidos são relativamente estáveis à temperatura recomendada de armazenamento (25 °C).
- Os pós de manga não apresentaram diferenças na cor instrumental, com exceção daquele obtido com maltodextrina 20DE, que resultou em maior escurecimento. No entanto, as polpas reconstituídas apresentaram, visual e instrumentalmente, diferenças de cor com relação à polpa (matéria-prima).
- As polpas reconstituídas apresentaram, assim como a polpa de manga (matéria-prima), comportamento reológico não-Newtoniano (25 °C), representado pelo modelo da Lei da Potência. Os valores de viscosidade aparente das polpas reconstituídas estiveram próximos, indicando que nos níveis empregados, os coadjuvantes influenciaram pouco na propriedade.
- De maneira geral, o emprego da combinação de 3% de amido e 0,5% de monoestearato de glicerila (bs) como coadjuvantes de processo resultou em melhor desempenho em termos de retenção de vitamina C (aproximadamente 61%) e  $\beta$ -caroteno (aproximadamente 90%).

### 3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIRRE, J.M.; GASPARINO FILHO, J. **Desidratação de frutas e hortaliças. Manual Técnico**. Campinas: ITAL, 205p., 2002.

BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M.N. **Fundamentos de tecnologia de alimentos**. 1<sup>a</sup> edição, v.3. Ed Atheneu, São Paulo, 318p, 1998.

BENVENUTI, S.; PELLATI, F.; MELEGARI, M.; BERTELLI, D. Polyphenols, anthocyanins, ascorbic acid, and radical scavenging activity of *Rubus*, *Ribes*, and *Aronia*. **Journal of Food Science**, v.69, n.3, p.164-169, 2004.

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

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

CAPARINO, O.A.; SABLANI, S.S.; TANG, J.; SYAMALADEVI, R.M.; NINDO, C.I. Water sorption, glass transition, and microstructures of refractance window and freeze-dried mango (Philippine "Carabao" Var.) powder. **Drying Technology**, v.31, n.16, p.1969-1078, 2013.

CAPARINO, O.A.; TANG, J.; NINDO, C.I.; SABLANI, S.S.; POWERS, J.R.; FELLMAN, J.K. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine "Carabao" var.) powder. **Journal of Food Engineering**, v.111, n.1, p.135-148, 2012.

CARVALHO, P.R.N.; COLLINS, C.A.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Comparison of provitamin A determination by normal-phase gravity-flow chromatography and reversed phase high performance liquid chromatography. **Chromatographia**, v.33, n.3, p.133-137, 1992.

CARVALHO, C.R.L.; MANTOVANI, D.M.B.; CARVALHO, P.R.N.; MORAES, R.M. **Análises Químicas de Alimentos – Manual Técnico**. Campinas - SP: ITAL, 121p., 1990.

FERRARI, C.C.; GERMER, S.P.M.; ALVIM, I.D.; AGUIRRE, J.M. Storage stability of spray-dried blackberry powder produced with maltodextrin or gum arabic. **Drying Technology**, v.31, n.4, p.470-478, 2013.

GARCIA, M.C.; FRANCO, C.M.L. Effect of glycerol monostearate on the gelatinization behavior of maize starches with different amylose contents. **Starch**, v.67, n. 1-2, p.107-116, 2015.

HENRÍQUEZ, C.; SPEISKY, H.; CHIFFELLE, I.; VALENZUELA, T.; ARAYA, M.; SIMPSON, R.; ALMONACID, S. Development of an ingredient containing apple peel, as a source of polyphenols and dietary fiber. **Journal of Food science**, v.75, n.6, p.172-181, 2010.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. IAL. **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos** - 4ª Edição. 1ª Edição Digital. 2008.

JITTANIT, W.; CHANTARA-IN, M.; DEYING, T.; RATANAVONG, W. Production of tamarind powder by drum dryer using maltodextrin and arabic gum as adjuncts. **Songklanakarin Journal of Science and Technology**, v.33, n.1, p.33-41, 2011.

KITSON, J.A.; MACGREGOR, D.R. Drying fruit purees on an improved pilot plant drum-dryer. **Journal of Food Technology**, v.17, n.2, p.285-288, 1982.

MERCADANTE, A.Z.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Effects of ripening, cultivar differences, and processing on the carotenoid composition of mango. **Journal of Agriculture Food Chemistry**, v.46, n.1, p.128-130, 1998.

NAMBI, V.E.; THANGAVEL, K.; RAJESWAN, K.A.; MANICKAVASAGAN, A.; GEETHA, V. Texture and rheological changes of Indian mango cultivars during ripening. **Postharvest Biology and Technology**, v.117, p.152-160, 2016.

NDAWULA, J.; KABASA, J.D.; BYARUHANGA, Y.B. Alterations in fruit and vegetable  $\beta$ -carotene and vitamin C content caused by open-sun drying, visqueen-covered and polyethylene-covered solar-dryers. **African Health Sciences**, v.4, n.2, p.125-130, 2004.

NINDO, C. I., TANG, J. Refractance Window Dehydration Technology: A Novel Contact Drying Method. **Drying Technology**, v.25, n.1, p.37-48, 2007.

PAZ, M.; GÜLLON, P.; BARROSO, M.F.; CARVALHO, A.P.; DOMINGUES, V.F.; GOMES, A.M.; BECKER, H.; LONGHINOTTI, E.; DELERUE-MATOS, C. Brazilian fruit pulps as functional foods and additives: evaluation of bioactive compounds. **Food Chemistry**, v.172, p.462-468, 2015.

PRANGPRU, N.; JAITO, K.; VANMONTREE, B.; TREEAMNUK, K. Comparing the Efficiency of Two Carrier Types on Drum Drying of Tamarind Juice. **Thai Society of Agricultural Engineering Journal**, v.21, n.1, p.1-7, 2015.

PUA, C.K.; HAMID, N.S.A.; TAN, C.P.; MIRHOSSEINI, H., RAHMAN, R.B.A.; RUSUL, G. Optimization of drum drying processing parameters for production of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) powder using response surface methodology. **LWT - Food Science and Technology**, v.43, n.2, p.343-349, 2010.

REGO, R.A.; RUFFI, C.R.G.; AUGUSTO, P.P.C. Premiunização e experiência. In: Queiroz, G. de C.; Rego, R.A.; Jardim, D.C.P. **Brasil Bakery & Confectionery Trends 2020**. 390p. 1 edição, Campinas - SP. 2014.

ROSENTHAL, A.; SGARBIERI, V.C. Nutritional evaluation of a fresh sweet corn drum drying process. In: Mujumdar AS (ed). **Drying '92**. Elsevier Appl. Sci Publ, Amsterdam, p.1419-1425, 1992.

SAGAR, V.R.; SURESH KUMAR, P. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v.47, n.1, 15-26, 2010.

SOGI, D.S.; SIDDIQ, M.; DOLAN, K.D. Total phenolics, carotenoids and antioxidante properties of Tommy Atkin mango cubes as affected by drying techniques. **LWT - Food Science and Technology**, v.62, n.1, p.564-568, 2014.

SOSNIK, A.; SEREMETA, K.P. Advantages and challenges of the spray-drying technology for the production of pure drug particles and drug-loaded polymeric carriers. **Advances in Colloid and Interface Science**, v.223,p.40-54, 2015.

STEFFE, J.F. **Rheological methods in food process engineering**. East Lansing, Michigan: Freeman Press. 2<sup>a</sup> Edição, 418p. 1996.

TONON, R.V.; BARONI, A.F.; BRABET, C., GIBERT, O.; PALLET, D.; HUBINGER, M.D. Water sorption and glass transition temperature of spray dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice. **Journal of Food Engineering**, v.94, n.3, p.215-221, 2009.

TRAVAGLINI, D.A.; CARVALHO, P.R.N.; RUIZ, F.S.; SHIROSE, I. Processamento de flocos de manga em secador do tipo monocilíndrico rotativo. **Coletânea ITAL**, v.24, n.2, p.193-202, 1994.

USDA. United States Department of Agriculture. Glycerids (mono and di) – Handling/Processing. **Technical Evaluation Report**. p.1-14, 2015. Disponível em:<<https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Glycerides%20TR%202015.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2016.

VALDENEGRO, M.; ALMONACID, S.; HENRÍQUEZ, C.; LUTZ, M.; FUENTES, L.; SIMPSON, R. The Effects of Drying Processes on Organoleptic Characteristics and the Health Quality of Food Ingredients Obtained from Goldenberry Fruits (*Physalis peruviana*). **Scientific Reports**, v.2, n.2, p.1-7, 2013.

VIDAL, J.R.M.B.; SIERAKOWSKI, M.R.; HAMINIUK, C.W.I.; MASSON, M.L. Propriedades reológicas da polpa de manga (*Mangifera indica* L. cv. Keitt) centrifugada. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras - MG, v.30, n.5, p.955-960, 2006.

## **INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS DE PROCESSO NO *DRUM DRYING* DE POLPA DE MANGA**

Esse capítulo será submetido, na forma de artigo, a um periódico de alto impacto da área.

## 4.1 INTRODUÇÃO

A manga possui destaque dentro da fruticultura brasileira, sendo que em 2015 o país produziu aproximadamente 1 milhão de toneladas dessa matéria-prima (IBGE, 2015).

De acordo com Rego (2014), os consumidores, principalmente dos países desenvolvidos, têm optado por produtos mais saudáveis, formulados com ingredientes naturais. Neste contexto, as polpas de frutas em pó/flocos têm sido demandadas pelas indústrias de alimentos para aplicação, como ingrediente, no desenvolvimento de novos produtos, conferindo aos mesmos apelos de saudabilidade e naturalidade. Dentre os processos de secagem de frutas para a produção de pós e/ou flocos, uma das alternativas é a desidratação em secador de cilindro rotativo (*drum dryer*).

O *drum dryer* consiste basicamente em um cilindro de metal com eixo horizontal aquecido internamente com vapor, água quente, ou outro meio de aquecimento. Os equipamentos podem ser providos de cilindro único, ou duplo cilindro (AGUIRRE & GASPARINO FILHO, 2002). Nos diferentes tipos, os cilindros giram a velocidades variáveis, e a secagem é realizada pela aplicação de uma película fina da matéria-prima na forma líquida ou pastosa. A remoção do filme é feita pelo uso de uma lâmina, ou faca, posicionada longitudinalmente.

Os principais parâmetros de processo do *drum drying* são: temperatura do cilindro (na faixa de 100 a 170 °C), taxa de alimentação, espessura do filme (abertura entre os cilindros de secagem e aplicação), tempo de residência e o teor de sólidos do produto a ser seco (PUA et al., 2010; BARUFFALDI & OLIVEIRA, 1998).

Poucos trabalhos sobre o processamento de polpa de fruta por *drum drying* são reportados na literatura técnico-científica.

Travaglini et al. (1994), em estudo de secagem de purê de manga por *drum drying*, variaram as condições de tempo de retenção de 10 a 40 segundos e temperatura de processo de 130 a 150 °C, fixando o espaçamento entre o cilindro de aplicação e o de secagem (0,15 mm), bem como a vazão de alimentação da matéria-prima a ser processada.

Pua et al. (2010) analisaram o efeito das variáveis velocidade de rotação (1 a 3 rpm) e temperatura de processo (pressão de 300 a 440 kPa) no *drum drying* de purê de jaca, incorporado de lecitina de soja e goma arábica como coadjuvantes de processo. Nos ensaios foram fixados os parâmetros de abertura entre os cilindros, em 0,01 polegadas, e o nível de piscina, em 10 cm. O estudo foi embasado na metodologia de superfície de resposta.

Em etapa anterior do presente estudo, foram avaliados os parâmetros envolvidos no processo de *drum drying* de polpa de manga. Observou-se que o tempo de retenção (ou velocidade do cilindro) e a temperatura da superfície do cilindro (ou pressão de vapor) são as variáveis de processo mais relevantes e, em função destas, pode-se obter produtos com características diferentes. Observou-se, também, que maiores retenções de qualidade da matéria-prima e taxas de secagem foram verificadas com o uso de 3% de amido regular e 0,5% de monoestearato de glicerila como coadjuvantes de processo.

Neste contexto, o objetivo do estudo foi determinar as melhores condições para a secagem de polpa de manga por *drum drying*, em termos das taxas de secagem e retenção de qualidade, com relação ao tempo de retenção e temperatura de processo, empregando-se 3% de amido regular e 0,5% de monoestearato de glicerila como coadjuvantes.

## **4.2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.2.1 Estudo para o estabelecimento das melhores condições do drum drying de manga**

Definiu-se o planejamento experimental a partir do delineamento central composto rotacional (CCR), embasado na Metodologia de Superfície de Resposta (BARROS NETO, SCARMINO & BRUNS, 1995). Os fatores empregados foram o tempo de residência (t) e a temperatura de processo (T). Os níveis do delineamento foram definidos a partir dos resultados obtidos nos ensaios preliminares, com base na formação do filme e na secagem do mesmo.

A Tabela 4.1 apresenta o delineamento experimental empregado.

**Tabela 4.1** Níveis codificados e decodificados das variáveis do planejamento experimental do *drum drying* de polpa de manga.

| Ensaio | Tempo de residência (t) | Temperatura (T) | Tempo de residência (s) | Temperatura (°C) |
|--------|-------------------------|-----------------|-------------------------|------------------|
| 1      | -1                      | -1              | 14                      | 124              |
| 2      | 1                       | -1              | 36                      | 124              |
| 3      | -1                      | 1               | 14                      | 146              |
| 4      | 1                       | 1               | 36                      | 146              |
| 5      | 0                       | 0               | 25                      | 135              |
| 6      | 0                       | 0               | 25                      | 135              |
| 7      | 0                       | 0               | 25                      | 135              |
| 8      | 0                       | 0               | 25                      | 135              |
| 9      | -1,41                   | 0               | 9,44                    | 135              |
| 10     | 0                       | 1,41            | 25                      | 150,6            |
| 11     | 1,41                    | 0               | 40,6                    | 135              |
| 12     | 0                       | -1,41           | 25                      | 119,4            |

Variações aproximadas: T ( $\pm 2$  °C) e t ( $\pm 1$  segundo).

#### 4.2.1.1 Ensaios experimentais

Conforme a Tabela 4.1, realizou-se, de forma aleatória, doze ensaios de *drum drying*, sendo que quatro destes foram repetições do ponto central. Por coadjuvantes de processo, empregaram-se 3% de amido regular (A) (Amisol 3408 – Ingredion, Brasil) (teor de umidade aprox. 9%) e 0,5% de monoestearato de glicerila (MSG) (Synth, Brasil) (teor de umidade aprox. 2%), de acordo com o definido na etapa anterior do estudo. Em relação à matéria-prima, utilizou-se polpa de manga comercial congelada (P), produzida com as variedades Tommy Atkins e Ubá (aproximadamente 1:1) (DeMarchi, Brasil), de aproximadamente 15 °Brix, adquirida diretamente do fabricante em embalagens de 1 kg provenientes de um mesmo lote. Em cada ensaio foram empregados aproximadamente 25 kg de polpa. A Tabela 4.2 apresenta as propriedades físico-químicas da polpa de manga utilizada no estudo. As

quantidades de coadjuvantes empregadas foram calculadas com base no teor de sólidos totais da polpa (14,22%).

Para os ensaios de secagem, foi utilizado o secador de cilindro rotativo da Planta Piloto de Desidratados do Fruthotec / ITAL. O equipamento empregado (Richard Simon & Sons, D139, Inglaterra) é provido de cilindro único, com aquecimento indireto por vapor saturado, e um cilindro aplicador, com área total de secagem de aproximadamente 0,5 m<sup>2</sup>. Para a execução dos ensaios, antes da secagem, a polpa descongelada foi formulada e homogeneizada em moinho coloidal (Meteor, REX 2-AL, Brasil) (aproximadamente 25 °C). Fixaram-se as seguintes variáveis do *drum drying*: espaçamento entre cilindros, de 0,15 mm; e o nível de piscina (volume sobre o cilindro aquecido e o cilindro aplicador), de 10 mm ( $\pm$  400 mL). Em cada ensaio, as amostras para as análises foram coletadas após um tempo de 5 a 10 minutos de operação, considerado suficiente para a entrada em regime.

Após o *drum drying*, o produto seco, obtido na forma de filme, foi então floculado em floculador (Fabbe, S508, Brasil), empregando-se peneira com abertura de 2,5 mm. A floculação foi definida para esta etapa do estudo, tendo em vista a obtenção de partículas menos higroscópicas do que os pós produzidos anteriormente. Além disto, os flocos podem ser uma alternativa tecnológica interessante para diferentes aplicações, tais como barras de cereais, drageados e granolas.

Após a floculação, os produtos foram separados em quantidades suficientes para a realização das análises, e congelados (-18 °C). Empregou-se embalagem de polietileno de baixa densidade (PEBD), com 0,15 mm de espessura, para cada amostra, e as mesmas foram acondicionadas por outra estrutura, de poliéster/alumínio/polietileno de baixa densidade (PET/Al/PEBD), com espessura nominal de 70 µm. Utilizou-se a seladora a vácuo (MULTIVAC, P300 MCB01 218021, Brasil) para a selagem da estrutura da embalagem externa.

**Tabela 4.2** Propriedades físico-químicas da polpa de manga empregada no estudo.

| Propriedade                                         |              | Método                                     |
|-----------------------------------------------------|--------------|--------------------------------------------|
| Teor de umidade (%)                                 | 85,78 ± 0,01 | IAL (2008)                                 |
| Sólidos solúveis (°Brix)                            | 13,25 ± 0,10 | IAL (2008)                                 |
| pH                                                  | 4,28 ± 0,03  | IAL (2008)                                 |
| Acidez titulável (g ácido cítrico/ 100 g)           | 0,36 ± 0,03  | IAL (2008)                                 |
| Atividade de água                                   | 0,99 ± 0,00  | IAL (2008)                                 |
| Vitamina C (mg/ 100 g)                              | 6,80 ± 0,14  | IAL (2008)                                 |
| Capacidade antioxidante DPPH (μmol TE/ g)           | 6,06 ± 0,16  | Brand-Williams, Cuvelier & Berset (1995)   |
| Capacidade antioxidante ABTS (μmol TE/ g)           | 10,42 ± 0,07 | Rufino et al. (2007)                       |
| Compostos fenólicos totais (mg ácido gálico/ 100 g) | 85,78 ± 0,01 | Benvenuti et al. (2004)                    |
| Carotenóides totais (mg/ 100 g)                     | 2,31 ± 0,06  | Carvalho, Collins & Rodriguez-Amaya (1992) |
| Beta caroteno (mg/100 g)                            | 0,92 ± 0,08  | Carvalho, Collins & Rodriguez-Amaya (1992) |
| Açúcar redutor (g/ 100 g)                           | 3,30 ± 0,22  | Carvalho et al. (1990)                     |
| Açúcar não redutor (sacarose) (g/ 100 g)            | 9,13         | Carvalho et al. (1990)                     |
| Açúcar total (g/ 100 g)                             | 12,44        | Carvalho et al. (1990)                     |

Metodologia das análises: Anexo 7.1.  
Média ± desvio padrão (n = 3).

#### 4.2.1.2 Métodos analíticos

Os flocos de manga obtidos nos ensaios experimentais foram analisados quanto: teor de umidade e atividade de água (IAL, 2008); higroscopicidade (CAI & CORKE, 2000); solubilidade (CANO-CHAUCA et al., 2005); molhabilidade (VISSOTTO et al., 2010); compostos fenólicos totais (BENVENUTI et al., 2004); vitamina C, determinada empregando-se o método titulométrico preconizado por Tillmans com metodologia adaptada de Instituto Adolfo Lutz (2008); carotenoides totais e  $\beta$ -caroteno (CARVALHO, COLLINS & RODRIGUEZ-AMAYA, 1992); capacidade antioxidante pelos métodos ABTS (RUFINO et al. 2007) e DPPH (BRAND-WILLIAMS, CUVELIER & BERSET (1995); densidade aparente e absoluta (GOULA & ADAMOPOULOS, 2004).

A porosidade ( $\varepsilon$ ) dos produtos floculados foi avaliada através da Equação 4.1, a seguir.

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_{abs}} \quad (4.1)$$

Onde:  $\rho_{ap}$  é a densidade aparente (g/ ml) e  $\rho_{abs}$  é a densidade absoluta (g/ ml) da amostra.

No instrumento colorímetro (Konica-Minolta Sensing Inc., Chromameter CR-400, Japão), programado no sistema CieLab, com calibração do iluminante D65 ( $Y = 93,49$ ;  $x = 0,3160$ ;  $y = 0,3325$ ) foi realizada a análise de cor instrumental dos flocos e da polpa reconstituída. A última foi obtida homogeneizando-se a manga em flocos com água destilada no triturador Turratec (Tecnal, TE-102, Brasil), em quantidades calculadas através de balanço de massa, afim de obter-se uma polpa com o mesmo teor de sólidos totais da polpa. As análises dessa segunda etapa foram realizadas em quadruplicata e as metodologias analíticas estão apresentadas no Anexo 7.1. O percentual de retenção dos nutrientes foi calculado a partir das concentrações determinadas na polpa em flocos e na matéria-prima, ambas em base seca. As taxas de secagem ( $T_s$ ) dos processos (kg de produto seco/ h  $m^2$ ) foram determinadas de acordo com a Equação 4.2.

$$Ts = \frac{m_{ps}}{A} \times \frac{60}{\Delta t} \quad (4.2)$$

Onde  $m_{ps}$  = massa de produto seco obtida (kg);  $\Delta t$  = intervalo de tempo das pesagens (5 min) e  $A$  = área de secagem do cilindro (0,5 m<sup>2</sup>).

A partir dos parâmetros cromáticos  $a^*$  ( $+a^*$  = vermelho e  $-a^*$  = verde) e  $b^*$  ( $+b^*$  = amarelo e  $-b^*$  = azul) e da luminosidade  $L^*$ , foram calculados o Croma (intensidade da cor) bem como o ângulo de tom (Hue), e para a polpa reconstituída, obteve-se também, a diferença de cor ( $\Delta E$ ) com relação à polpa comercial, empregando-se respectivamente as Equações (4.3), (4.4) e (4.5).

$$Croma = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (4.3)$$

$$Hue = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (4.4)$$

$$\Delta E = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta a^*)^2)^{1/2} \quad (4.5)$$

A análise do diâmetro médio e distribuição do tamanho de partículas dos flocos de manga foi realizada pelo método de espalhamento de luz e por peneiramento. A análise por espalhamento de luz foi conduzida no equipamento Partica (Horiba, modelo LA 950 V2, Japão) seguindo metodologia adaptada de Application Notes AN148 (HORIBA Instruments, 2007). O ensaio foi realizado em sextuplicata. Considerando-se o formato irregular dos flocos, optou-se por utilizar as medianas, sendo estas semelhantes aos valores de D50, que representa o percentual acumulado de 50% da distribuição das partículas da amostra.

A análise por peneiramento (granulometria) foi realizada de acordo com o método descrito em AACC (2000), empregando-se as peneiras ABNT 4 (4,75 mm), 6 (3,35 mm), 8 (2,36 mm), 16 (1,18 mm), 20 (0,85 mm), 35 (0,50 mm) e fundo (0,00 mm). O ensaio foi realizado em triplicata. Analisou-se o percentual de flocos em massa retido em cada peneira.

A morfologia dos produtos foi realizada empregando-se um estereomicroscópio (Dimex, MZS-250, Japão) para visualização objetiva de 1 a 4 vezes de aumento, e ocular de 10 vezes de aumento, registrando-se as

imagens com uma câmera (Sony, Cyber-shot DSC-W570, Japão) adaptada ao equipamento.

#### **4.2.1.3 Métodos estatísticos**

As médias das propriedades determinadas experimentalmente foram tratadas a partir de análises de regressão múltipla, para a obtenção de superfícies de resposta, empregando-se o Programa STATISTICA versão 8.0 (Statsoft, Inc., Estados Unidos da América). Foram considerados válidos os modelos, cujo ajuste inicial, com todos os termos, obtiveram regressões com  $R^2$  superior a 0,70 e F calculado ( $F_c$ ) superior ao F tabelado ( $F_{tab}$ ), no nível de 5% de significância ( $p \leq 0,05$ ). Posteriormente, foram eliminados os termos não significativos dos modelos considerados válidos.

### **4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A Tabela 4.3 apresenta os valores experimentais médios das propriedades cujos ajustes ao modelo matemático proposto foram considerados válidos no planejamento experimental do *drum drying* de polpa de manga.

**Tabela 4.3** Resultados experimentais médios do teor de umidade e do teor de carotenoides totais dos flocos de manga, bem como dos parâmetros  $a^*$ , Hue e  $\Delta E$  da cor das polpas reconstituídas.

| Ensaio | Teor de umidade (%) | Teor de carotenoides totais (mg/100 g) (bs) | $a^*$       | Hue          | $\Delta E$  |
|--------|---------------------|---------------------------------------------|-------------|--------------|-------------|
| 1      | 2,53 ± 0,02         | 15,23 ± 0,15                                | 2,74 ± 0,22 | 85,73 ± 0,32 | 3,69 ± 0,43 |
| 2      | 2,06 ± 0,05         | 14,80 ± 0,35                                | 3,22 ± 0,31 | 85,07 ± 0,51 | 3,28 ± 0,37 |
| 3      | 1,22 ± 0,01         | 14,08 ± 0,15                                | 3,90 ± 0,13 | 83,92 ± 0,24 | 3,96 ± 0,40 |
| 4      | 0,74 ± 0,08         | 13,94 ± 0,28                                | 4,31 ± 0,18 | 82,76 ± 0,33 | 7,35 ± 0,30 |
| 5      | 1,29 ± 0,04         | 15,19 ± 0,02                                | 3,68 ± 0,09 | 84,42 ± 0,25 | 3,20 ± 0,53 |
| 6      | 1,22 ± 0,09         | 14,45 ± 0,34                                | 3,23 ± 0,23 | 84,86 ± 0,36 | 4,74 ± 0,44 |
| 7      | 1,37 ± 0,02         | 14,31 ± 0,28                                | 3,76 ± 0,17 | 84,06 ± 0,28 | 4,31 ± 0,23 |
| 8      | 1,22 ± 0,01         | 14,33 ± 0,34                                | 3,70 ± 0,14 | 84,17 ± 0,23 | 4,62 ± 0,52 |
| 9      | 2,13 ± 0,08         | 14,51 ± 0,22                                | 3,05 ± 0,31 | 83,33 ± 0,31 | 0,84 ± 0,22 |
| 10     | 0,97 ± 0,07         | 13,53 ± 0,38                                | 4,20 ± 0,17 | 85,67 ± 0,41 | 4,78 ± 0,38 |
| 11     | 1,55 ± 0,03         | 13,89 ± 0,46                                | 3,57 ± 0,03 | 84,30 ± 0,04 | 4,77 ± 0,28 |
| 12     | 3,04 ± 0,07         | 15,76 ± 0,58                                | 3,46 ± 0,12 | 84,73 ± 0,20 | 3,05 ± 0,34 |

Hue = ângulo de tom das polpas reconstituídas;  $\Delta E$  = diferença de cor das polpas reconstituídas;  $a^*$  (+ $a^*$  = vermelho e - $a^*$  = verde).

Teor de umidade: média ± desvio padrão (n = 4).

Teor de carotenoides totais: média ± desvio padrão (n = 3).

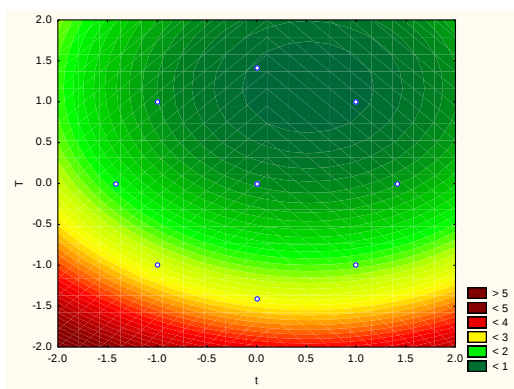
Parâmetros de cor: média ± desvio padrão (n = 9).

A Tabela 4.4 apresenta os resultados das regressões múltiplas consideradas válidas, e a Figura 4.1 apresenta as curvas de contorno das superfícies de resposta obtidas.

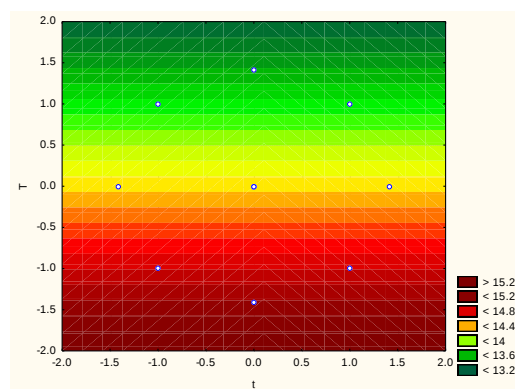
**Tabela 4.4** Resultados das análises de regressão múltipla das variações do teor de umidade e do teor de carotenoides totais dos flocos de manga, bem como dos parâmetros  $a^*$ , Hue e  $\Delta E$  da cor das polpas reconstituídas.

| Propriedades                         | $R^2$ | $F_c$ | $F_{tab}$ | Equação da Superfície de Resposta                   | Número |
|--------------------------------------|-------|-------|-----------|-----------------------------------------------------|--------|
| Teor de umidade (%)                  | 0,96  | 47,05 | 4,12      | $U = 1,271 - 0,443t + 0,427t^2 - 1,389T + 0,590T^2$ | (4.6)  |
| Carotenoides totais (bs) (mg/ 100 g) | 0,73  | 27,25 | 4,96      | $C_{totais} = 14,500 - 1,290T$                      | (4.7)  |
| $a^*$                                | 0,73  | 11,96 | 4,26      | $a^* = 3,567 + 0,407t + 0,826T$                     | (4.8)  |
| Hue                                  | 0,76  | 14,58 | 4,26      | $Hue = 84,419 - 0,941t - 1,523T$                    | (4.9)  |
| $\Delta E$                           | 0,72  | 6,95  | 4,07      | $\Delta E = 4,048 + 2,136t + 1,696T + 1,895Tt$      | (4.10) |

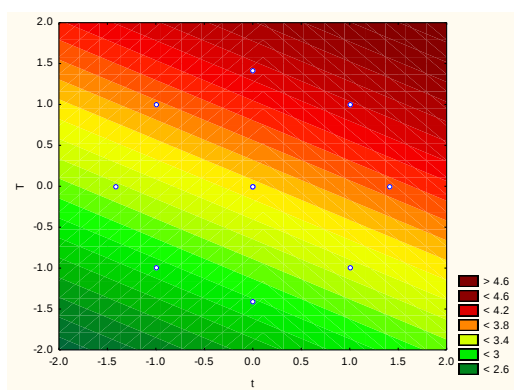
$F_c$  = F calculado;  $F_{tab}$  = F tabelado ( $p \leq 0,05$ );  $R^2$  = coeficiente de determinação; T = temperatura codificada; t = tempo codificado;  $C_{totais}$  = teor de carotenoides totais dos flocos; Hue = ângulo de tom das polpas reconstituídas;  $\Delta E$  = diferença de cor das polpas reconstituídas.



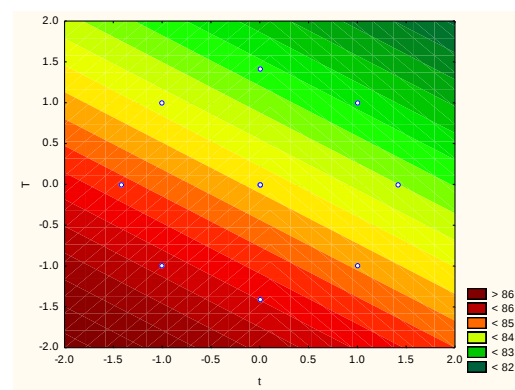
(a)



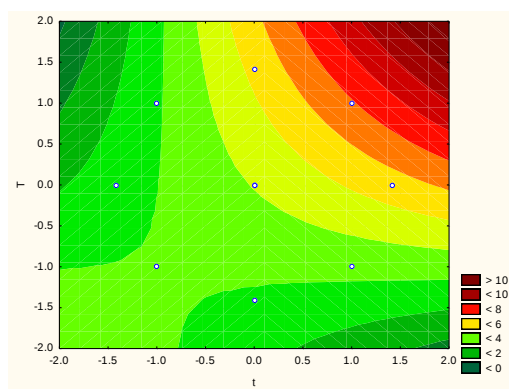
(b)



(c)



(d)



(e)

**Figura 4.1** Curvas de contorno das superfícies de resposta obtidas: (a) teor de umidade dos flocos (%); (b) teor de carotenoides totais dos flocos (mg/ 100 g); (c) parâmetro  $a^*$  de cor das polpas reconstituídas; (d) ângulo de tom (Hue) das polpas reconstituídas; (e) diferença de cor das polpas reconstituídas ( $\Delta E$ ).

Não foram obtidos modelos válidos, de acordo com os critérios estabelecidos, para as seguintes respostas investigadas: parâmetros de cor dos flocos ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , Croma e Hue), taxa de secagem, atividade de água,

higroscopicidade, densidade aparente, densidade absoluta, porosidade, solubilidade, molhabilidade, teor de vitamina C, atividade antioxidante pelos métodos ABTS e DPPH, compostos fenólicos totais, teor de  $\beta$ -caroteno, diâmetro médio de partículas e granulometria.

Verifica-se na Tabela 4.4 que a Equação 4.6, referente ao teor de umidade dos flocos, é um modelo quadrático, com forte influência do tempo e da temperatura. Segundo a equação, a temperatura exerce maior efeito na resposta, uma vez que o termo quadrático desta variável possui coeficiente maior. Segundo o modelo, condições de temperaturas e tempos de residência altos, acima do ponto central, resultam nos menores valores de umidade. A Equação 4.7, por sua vez, mostra que os teores de carotenoides dependem apenas da temperatura de processo, de forma linear. Na Figura 4.1b verifica-se que processos com temperaturas inferiores a 135 °C, independentemente dos tempos de residência, resultam em maiores teores do componente. Pua et al. (2010), na otimização do *drum drying* de polpa de jaca, verificaram que maiores temperaturas de processo resultam em menores valores de umidade, enquanto que o aumento da velocidade do cilindro, isto é, menores tempos de residência, levaram a teores de umidade mais altos. Nas melhores condições de processo, ou seja, tempo de residência de 1 a 3 rpm e temperatura de 133 a 146 °C, os autores encontraram um teor de umidade em torno de 5 a 10%. Os valores obtidos foram maiores do que os encontrados no presente estudo (faixa de 1 a 3%, aproximadamente).

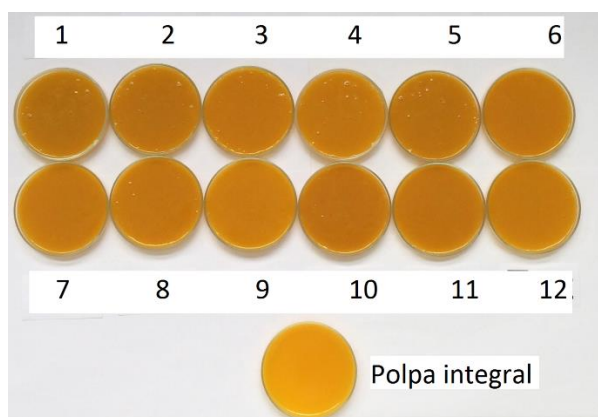
Quanto ao parâmetro de cor  $a^*$  (vermelho) da polpa reconstituída, a Equação 4.8 descreve um modelo de variação linear com a temperatura de processo e tempo de residência, com preponderância do primeiro fator. Segundo o modelo, ilustrado na Figura 4.1c, quanto maior o tempo e a temperatura de processo, maior é o valor do parâmetro  $a^*$ , ou seja, mais avermelhado ficará o produto. Segundo Caparino et al. 2012, o desenvolvimento da cor vermelha na secagem pode estar relacionado ao escurecimento não enzimático (reação de Maillard), bem como à caramelização dos açúcares.

A Equação 4.9 mostra que o ângulo de tom da polpa reconstituída, ou Hue, depende linearmente dos dois fatores avaliados, com maior efeito da temperatura de processo. Hue igual a 90° representa a cor amarela pura, e

valor igual a 0°, representa o vermelho puro. A Figura 4.1d mostra que valores menores de tempo e de temperatura resultam em polpas reconstituídas mais amareladas, com Hue mais próximo de 90°. Por outro lado, tempos e temperaturas maiores resultam em polpas reconstituídas mais avermelhadas, com Hue mais afastado de 90°. A causa provável deste comportamento são as reações do escurecimento não enzimático (Maillard).

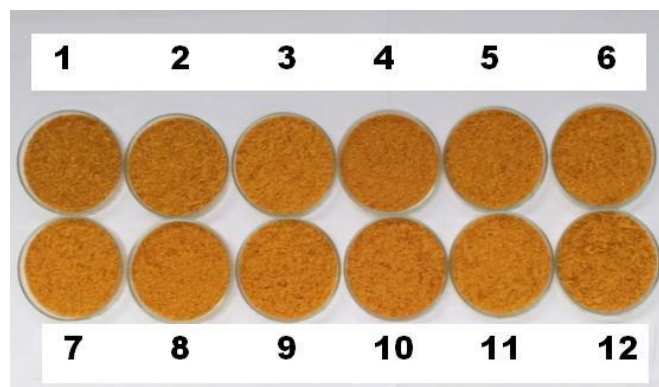
Por sua vez, a Equação 4.10 revela que o modelo obtido para a diferença de cor ( $\Delta E$ ) da polpa reconstituída apresenta os termos lineares de cada variável, bem como o termo combinado das mesmas. Observa-se, na Figura 4.1e, que tempos e temperaturas menores resultam em menor diferença de cor da polpa reconstituída com relação à polpa. Tempos e temperaturas de processo maiores, por sua vez, resultam, possivelmente em função do escurecimento não enzimático e da caramelização de açúcares, em maior alteração da cor.

A Figura 4.2 mostra a imagem das polpas reconstituídas obtidas nos diferentes ensaios.



**Figura 4.2** Polpa de manga (matéria-prima) e polpas reconstituídas nos diferentes ensaios.

Em relação à Figura 4.2, observa-se que, no geral, as polpas reconstituídas são mais escuras que a polpa de manga (matéria-prima). Dentre as polpas obtidas, a do ensaio 9 se destaca com coloração ligeiramente mais clara do que as demais. A Figura 4.3 ilustra os flocos obtidos no estudo. As Tabelas 4.5 e 4.6 apresentam os resultados médios dos parâmetros de cor dos flocos.



**Figura 4.3** Flocos de manga obtidos nos diferentes ensaios.

**Tabela 4.5** Parâmetros L\*, a\* e b\* de cor dos flocos de manga.

| Ensaio    | L*           | a*           | b*           |
|-----------|--------------|--------------|--------------|
| <b>1</b>  | 52,93 ± 2,52 | 13,40 ± 1,06 | 68,72 ± 3,98 |
| <b>2</b>  | 58,84 ± 0,85 | 12,87 ± 0,28 | 70,02 ± 1,23 |
| <b>3</b>  | 58,50 ± 1,75 | 12,21 ± 0,39 | 68,46 ± 1,18 |
| <b>4</b>  | 56,50 ± 1,23 | 14,09 ± 0,36 | 66,33 ± 1,09 |
| <b>5</b>  | 59,26 ± 0,89 | 13,61 ± 0,46 | 70,61 ± 1,25 |
| <b>6</b>  | 56,65 ± 2,58 | 12,69 ± 0,36 | 69,05 ± 1,00 |
| <b>7</b>  | 57,36 ± 1,73 | 13,25 ± 0,45 | 67,18 ± 2,16 |
| <b>8</b>  | 57,75 ± 1,30 | 13,79 ± 0,47 | 69,19 ± 1,90 |
| <b>9</b>  | 58,18 ± 1,10 | 13,42 ± 0,43 | 69,09 ± 1,30 |
| <b>10</b> | 58,28 ± 1,85 | 13,97 ± 0,60 | 67,87 ± 2,50 |
| <b>11</b> | 59,14 ± 1,29 | 12,76 ± 0,52 | 68,45 ± 1,79 |
| <b>12</b> | 56,52 ± 0,84 | 12,40 ± 0,59 | 67,43 ± 1,39 |

L\* = luminosidade; a\* (+a\* = vermelho e -a\* = verde); b\* (+b\* = amarelo e -b\* = azul).  
Média ± desvio padrão (n = 9).

**Tabela 4.6** Parâmetros Croma e Hue de cor dos flocos de manga.

| Ensaio    | Croma        | Hue          |
|-----------|--------------|--------------|
| <b>1</b>  | 70,01 ± 4,09 | 78,98 ± 0,41 |
| <b>2</b>  | 71,19 ± 1,23 | 79,58 ± 0,22 |
| <b>3</b>  | 69,54 ± 1,21 | 79,89 ± 0,24 |
| <b>4</b>  | 67,81 ± 1,09 | 78,01 ± 0,30 |
| <b>5</b>  | 71,91 ± 1,28 | 79,09 ± 0,27 |
| <b>6</b>  | 70,21 ± 1,02 | 79,59 ± 0,25 |
| <b>7</b>  | 68,48 ± 2,20 | 78,84 ± 0,17 |
| <b>8</b>  | 70,55 ± 1,92 | 78,73 ± 0,30 |
| <b>9</b>  | 70,38 ± 1,31 | 79,00 ± 0,33 |
| <b>10</b> | 69,29 ± 2,53 | 78,36 ± 0,39 |
| <b>11</b> | 69,63 ± 1,81 | 79,44 ± 0,38 |
| <b>12</b> | 68,56 ± 1,44 | 79,58 ± 0,37 |

Média ± desvio padrão (n = 9).

Ao contrário do esperado, observa-se na Tabela 4.5 que o produto do ensaio 1, realizado na menor combinação das variáveis tempo e temperatura (-1, -1), resultou no menor valor de L\*, mais escuro. O fato pode ser devido ao maior teor de umidade desta amostra (vide Figura 4.1a). Com relação ao parâmetro a\*, o tratamento 4, realizado na condição combinada de tempo e temperatura mais alta (+1, +1), resultou no produto de cor mais avermelhada. Com relação ao parâmetro b\*, o tratamento 4, realizado na combinação mais extrema de tempo e temperatura, resultou no produto menos amarelo. Este fato pode ser atribuído à maior degradação dos pigmentos da manga. O resultado está de acordo com a variação do teor de carotenoides totais obtidos (Equação 4.7), ilustrado na Figura 4.1b. Por outro lado, o tratamento 5, conduzido nas condições intermediárias de tempo e temperatura, ou seja o ponto central (0, 0), resultou na cor amarela mais intensa, ou seja, com maior preservação dos pigmentos. Caparino et al. (2012), no *drum drying* de polpa pura de manga, obteve um valor de b\* de aproximadamente 37, ou seja, um produto menos amarelo em relação ao produto do presente estudo, com valores de b\* na faixa de 66 a 70. Os diferentes valores podem estar relacionados às características das matérias-primas empregadas nos diferentes estudos. No entanto, a maior

intensidade da cor amarela do presente estudo pode ter sido resultado do uso de coadjuvantes de processo, pois segundo Setyadjit & Sukasih (2015), os mesmos proporcionam um efeito protetor aos compostos naturais durante a secagem no *drum drying*.

De acordo com a Tabela 4.6, os valores calculados de Croma seguiram mesma tendência dos parâmetros  $a^*$  e  $b^*$ . Quanto ao parâmetro Hue, os tratamentos 2, 3, 6, 11 e 12, se apresentaram com valores maiores, ou seja, com flocos mais amarelados.

A Tabela 4.7 apresenta os resultados médios das taxas de secagem determinadas nos diferentes ensaios de *drum drying*, bem como das atividades de água e higroscopicidade dos flocos de manga obtidos.

**Tabela 4.7** Taxas de secagem, atividade de água e higroscopicidade dos flocos de manga.

| Ensaio | Taxa de secagem<br>(kg/ h m <sup>2</sup> ) | Atividade de<br>água | Higroscopicidade<br>(%) |
|--------|--------------------------------------------|----------------------|-------------------------|
| 1      | 5,34 ± 0,18                                | 0,269 ± 0,001        | 24,72 ± 0,12            |
| 2      | 2,52 ± 0,25                                | 0,314 ± 0,003        | 24,72 ± 0,16            |
| 3      | 6,00 ± 0,05                                | 0,272 ± 0,003        | 23,35 ± 0,18            |
| 4      | 4,14 ± 0,00                                | 0,327 ± 0,001        | 22,95 ± 0,17            |
| 5      | 3,42 ± 0,15                                | 0,320 ± 0,002        | 25,60 ± 0,13            |
| 6      | 5,15 ± 0,12                                | 0,341 ± 0,001        | 24,05 ± 0,08            |
| 7      | 4,94 ± 0,09                                | 0,240 ± 0,001        | 24,55 ± 0,15            |
| 8      | 4,98 ± 0,08                                | 0,341 ± 0,005        | 23,75 ± 0,14            |
| 9      | 4,86 ± 0,10                                | 0,319 ± 0,002        | 21,39 ± 0,02            |
| 10     | 4,28 ± 0,13                                | 0,309 ± 0,001        | 24,90 ± 0,13            |
| 11     | 5,67 ± 0,03                                | 0,312 ± 0,003        | 21,91 ± 0,08            |
| 12     | 1,70 ± 0,39                                | 0,335 ± 0,004        | 21,54 ± 0,10            |

Média ± desvio padrão (n = 4).

De acordo com a Tabela 4.7, verifica-se que a taxa de secagem (Ts) variou de aproximadamente 2,00 a 6,00 kg/ h m<sup>2</sup>. O menor valor obtido para esse parâmetro, referente ao ensaio 12, provavelmente está relacionado à baixa temperatura de secagem (119,4 °C), sendo esta correspondente a um

ponto axial do planejamento experimental (0, -1,41). Nestas condições, com baixa temperatura, e um tempo de residência intermediário, o filme formado apresentou falhas, reduzindo o rendimento ( $T_s$ ). Além disso, verifica-se que o teor de umidade deste produto esteve na maior faixa, de 3%, de acordo com a Figura 4.1a. Em estudo de *drum drying* de purê de manga com 4% de amido e 1% de monoestearato de glicerila, em diferentes condições de processo, Travaglini et al. (1994) reportaram taxa de secagem entre 4 e 6 kg/ h m<sup>2</sup>, ou seja, valores dentro da faixa observada no presente estudo.

A média geral da atividade de água dos produtos obtidos foi de  $0,31 \pm 0,03$  (Tabela 4.7). Estes valores de atividade de água revelam que os flocos obtidos apresentam segurança quanto à estabilidade microbiológica (LABUZA, 1968). Da mesma forma, Jittanit et al. (2011), em estudo de *drum drying* de suco de tamarindo obtiveram atividade de água em torno de 0,30 para os produtos com o uso de maltodextrina (40% base úmida).

Verifica-se, na Tabela 4.7, que a higroscopicidade dos flocos variou de aproximadamente 21 a 26%. Em estudo de *drum drying* de manga, sem o uso de coadjuvantes, Caparino et al. (2012) obtiveram flocos com higroscopicidade de 21,10%, estando de acordo com os resultados obtidos no presente trabalho. Por outro lado, Zotarelli (2014) reportou higroscopicidade de aproximadamente 24% em manga em pó obtida por *spray drying* com maltodextrina 10 DE como agente carreador, estando dentro da faixa determinada nesse estudo.

A Tabela 4.8 apresenta os resultados médios da densidade aparente, da densidade absoluta e da porosidade dos flocos de manga obtidos nos diferentes ensaios de *drum drying*.

**Tabela 4.8** Densidade aparente, absoluta e porosidade dos flocos de manga.

| <b>Ensaio</b> | <b>Densidade<br/>aparente (g/ mL)</b> | <b>Densidade<br/>absoluta (g/ mL)</b> | <b>Porosidade (%)</b> |
|---------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| <b>1</b>      | 0,528 ± 0,003                         | 1,20 ± 0,03                           | 56,04 ± 1,14          |
| <b>2</b>      | 0,468 ± 0,004                         | 1,09 ± 0,01                           | 56,61 ± 0,72          |
| <b>3</b>      | 0,407 ± 0,005                         | 1,14 ± 0,01                           | 64,35 ± 0,34          |
| <b>4</b>      | 0,434 ± 0,002                         | 1,11 ± 0,02                           | 60,74 ± 0,94          |
| <b>5</b>      | 0,485 ± 0,013                         | 1,09 ± 0,01                           | 56,82 ± 1,45          |
| <b>6</b>      | 0,439 ± 0,005                         | 1,16 ± 0,01                           | 62,60 ± 0,39          |
| <b>7</b>      | 0,449 ± 0,004                         | 1,10 ± 0,01                           | 60,49 ± 1,22          |
| <b>8</b>      | 0,511 ± 0,008                         | 1,10 ± 0,01                           | 53,16 ± 1,16          |
| <b>9</b>      | 0,488 ± 0,005                         | 1,14 ± 0,02                           | 57,21 ± 1,23          |
| <b>10</b>     | 0,466 ± 0,005                         | 1,08 ± 0,01                           | 57,49 ± 0,92          |
| <b>11</b>     | 0,412 ± 0,003                         | 1,08 ± 0,03                           | 61,78 ± 1,02          |
| <b>12</b>     | 0,453 ± 0,004                         | 1,11 ± 0,01                           | 59,39 ± 0,56          |

Média ± desvio padrão (n = 4).

De acordo com a Tabela 4.8, verifica-se que a densidade aparente apresentou variação de aproximadamente 0,41 a 0,53 g/ mL. Nota-se que os ensaios 1 e 8 apresentaram os maiores valores. O resultado indica que os flocos obtidos nestes ensaios tiveram uma acomodação melhor na proveta durante o procedimento analítico, provavelmente em função do formato dos mesmos. Sogi, Siddiq & Dolan (2014), em estudo da secagem de manga em secador de bandeja, reportaram densidade aparente de 0,44 g/ mL para os produtos após moagem. O valor reportado se encontra na faixa obtida no presente estudo.

Em relação à densidade absoluta (Tabela 4.8), observa-se que as médias dos diferentes produtos variaram de 1,08 g/ mL (ensaios 10 e 11) a 1,20 g/ mL (ensaio 1). Analisando-se a Figura 4.1a, verifica-se que os pontos referentes aos ensaios 10 (0; +1,41) e 11 (+1,41; 0) apresentaram um teor de umidade de até 2%, enquanto o ensaio 1 (-1; -1) resultou próximo a 3%. A densidade absoluta dos flocos está relacionada também ao teor de umidade dos mesmos.

O conhecimento da densidade dos alimentos é muito importante para o processamento, dimensionamento de embalagens, armazenamento e transporte. A densidade absoluta corresponde à densidade real do sólido, desconsiderando os espaços entre as partículas, enquanto que a densidade aparente leva em conta todos os espaços intersticiais. Quanto menor a densidade aparente, maior a quantidade de ar ocluso entre as partículas e, assim, maior a probabilidade de ocorrer reações de oxidação no produto durante seu armazenamento, podendo reduzir a sua vida de prateleira. Além disso, menor densidade aparente implica maior volume de embalagem (LEWIS, 1987).

A porosidade está relacionada com a densidade aparente, uma vez que esta propriedade mede a fração do volume total ocupado pelo ar, sendo especialmente importante no caso de produtos susceptíveis a reações de oxidação. Maiores valores de porosidade indicam a presença de um maior número de espaços vazios entre as partículas, o que implica maior quantidade de oxigênio disponível para as reações de degradação (LEWIS, 1987). De acordo com a Tabela 4.8 houve uma variação da porosidade de 53 a 64% com diferenças significativas entre as amostras ( $p \leq 0,05$ ).

A Tabela 4.9 apresenta a solubilidade e a molhabilidade dos flocos de manga obtidos nos diferentes ensaios de *drum drying*.

**Tabela 4.9** Solubilidade e molhabilidade dos flocos de manga.

| Ensaio | Solubilidade (%) | Molhabilidade (s) |
|--------|------------------|-------------------|
| 1      | 82,56 ± 0,05     | 15 ± 0,6          |
| 2      | 78,42 ± 0,05     | 29 ± 1,0          |
| 3      | 78,39 ± 0,04     | 38 ± 1,5          |
| 4      | 77,69 ± 0,34     | 16 ± 1,2          |
| 5      | 78,51 ± 0,15     | 32 ± 0,6          |
| 6      | 78,06 ± 0,14     | 39 ± 1,5          |
| 7      | 78,33 ± 0,04     | 33 ± 1,7          |
| 8      | 78,27 ± 0,04     | 24 ± 0,0          |
| 9      | 78,32 ± 0,04     | 20 ± 0,6          |
| 10     | 78,60 ± 0,12     | 34 ± 0,6          |
| 11     | 78,32 ± 0,03     | 34 ± 1,7          |
| 12     | 78,40 ± 0,08     | 22 ± 0,6          |

Média ± desvio padrão (n = 4).

Verifica-se na Tabela 4.9 que a solubilidade dos flocos do *drum drying* de manga variaram de aproximadamente 78% (ensaio 4) a 83% (ensaio 1). No ensaio 1, realizado na menor combinação tempo e temperatura de processo (-1; -1), o produto obtido resultou na maior solubilidade. Por outro lado, no ensaio 4, realizado na maior combinação de tempo e temperatura de processo (+1; +1), a solubilidade determinada foi a menor. Possivelmente as condições extremas de processo nesse ensaio levaram à degradação de compostos naturais da polpa, diminuindo a solubilidade do produto seco obtido. Cano-Chauca et al. 2005, em estudo do *spray drying* de suco de manga (aproximadamente 12 °Brix), com combinação de diferentes coadjuvantes de processo e concentrações, reportaram valores de solubilidade de 72% (quando adicionado à polpa 12% de maltodextrina e 9% de celulose base úmida) e 31% (quando adicionado à polpa 12% de amido ceroso e 9% de celulose - base úmida). Os autores observaram que a solubilidade de seus produtos diminuiu em função da concentração de celulose, e que os amidos empregados apresentaram baixa solubilidade em água fria (entre 35 e 40%). Por outro lado, no presente trabalho, os valores de solubilidade foram consideravelmente superiores aos obtidos por Cano-Chauca et al. 2005, o que pode ser atribuído a

baixa concentração de amido e monoestearato de glicerila empregados no *drum dryer*.

Em relação à molhabilidade, observam-se na Tabela 4.9, tempos variando de 15 s (ensaio 1) a 39 s (ensaio 6). A molhabilidade é definida pela habilidade do pó em ser penetrado pela água. Ferrari et al. (2012), em estudo da secagem de polpa de amora preta por *spray drying*, reportaram valores de molhabilidade de aproximadamente 82 e 134 segundos para produtos obtidos respectivamente com o uso de maltodextrina e goma arábica como carreadores.

A Tabela 4.10 apresenta os teores de vitamina C dos flocos de manga obtidos nos diferentes ensaios de *drum drying* e as respectivas retenções.

**Tabela 4.10** Teores de vitamina C e respectivas retenções nos flocos de manga.

| Ensaio | Teor de vitamina C<br>(mg/ 100 g) | Retenção de vitamina<br>C (%) |
|--------|-----------------------------------|-------------------------------|
| 1      | 34,68 ± 0,42                      | 72,50 ± 0,89                  |
| 2      | 23,10 ± 0,61                      | 48,29 ± 1,27                  |
| 3      | 31,03 ± 0,37                      | 64,87 ± 0,77                  |
| 4      | 35,96 ± 1,08                      | 75,17 ± 2,26                  |
| 5      | 30,88 ± 0,03                      | 64,54 ± 0,05                  |
| 6      | 27,98 ± 0,60                      | 58,48 ± 1,25                  |
| 7      | 29,27 ± 0,33                      | 61,18 ± 0,70                  |
| 8      | 27,29 ± 0,89                      | 57,05 ± 1,87                  |
| 9      | 35,01 ± 0,48                      | 73,17 ± 1,01                  |
| 10     | 24,32 ± 0,73                      | 50,84 ± 1,52                  |
| 11     | 30,96 ± 0,62                      | 64,71 ± 1,29                  |
| 12     | 32,92 ± 0,67                      | 68,81 ± 1,40                  |

Os resultados do teor de vitamina C estão expressos em base seca (bs).

Média ± desvio padrão (n = 4).

Polpa de manga comercial como valor de referência para a retenção.

De acordo com a Tabela 4.10, verifica-se que as amostras apresentaram teor de vitamina C variando de aproximadamente 23 mg/ 100 g (ensaio 2) a 36 mg/ 100 g (ensaio 4), com retenções de 48% a 75%

respectivamente. Os valores obtidos se aproximam do reportado por Bezerra et al. (2011), na secagem de polpa de manga Tommy Atkins em estufa a vácuo, de aproximadamente 36 mg/ 100 g. Observa-se que no ensaio 2 (+1, -1) e no ensaio 4 (+1, +1), o tempo de residência foi o mesmo, de 36 segundos, porém as temperaturas estiveram em 124 e 146 °C, respectivamente. Entretanto a retenção de vitamina C foi maior no ensaio realizado a 146 °C (aproximadamente 75%). Esses resultados, aparentemente discrepantes, podem estar relacionados a outros fatores do processamento, como por exemplo, o descongelamento e o preparo da polpa para a secagem.

A Tabela 4.11 apresenta os teores de atividade antioxidante determinados pelos métodos ABTS e DPPH, com respectivas retenções nos flocos de manga obtidos no *drum drying*.

**Tabela 4.11** Teores de atividade antioxidante pelos métodos de ABTS e DPPH com respectivas retenções nos flocos de manga.

| Ensaio | Atividade                                           | Retenção de                             | Atividade                                           | Retenção de                             |
|--------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------|
|        | Antioxidante -<br>ABTS<br>( $\mu\text{mol TE/ g}$ ) | Atividade<br>Antioxidante -<br>ABTS (%) | Antioxidante<br>- DPPH<br>( $\mu\text{mol TE/ g}$ ) | Atividade<br>Antioxidante -<br>DPPH (%) |
| 1      | 67,76 $\pm$ 1,38                                    | 92,51 $\pm$ 1,89                        | 43,79 $\pm$ 0,46                                    | 102,31 $\pm$ 1,07                       |
| 2      | 74,90 $\pm$ 0,37                                    | 102,27 $\pm$ 0,51                       | 42,17 $\pm$ 0,64                                    | 98,55 $\pm$ 1,51                        |
| 3      | 75,12 $\pm$ 0,81                                    | 102,57 $\pm$ 1,10                       | 42,72 $\pm$ 1,28                                    | 99,83 $\pm$ 2,99                        |
| 4      | 69,48 $\pm$ 0,69                                    | 94,87 $\pm$ 0,94                        | 42,96 $\pm$ 0,24                                    | 100,38 $\pm$ 0,55                       |
| 5      | 57,44 $\pm$ 1,02                                    | 78,42 $\pm$ 1,40                        | 41,20 $\pm$ 0,11                                    | 96,28 $\pm$ 0,26                        |
| 6      | 62,85 $\pm$ 0,41                                    | 85,80 $\pm$ 0,56                        | 40,38 $\pm$ 0,46                                    | 94,37 $\pm$ 1,07                        |
| 7      | 57,19 $\pm$ 0,26                                    | 78,08 $\pm$ 0,36                        | 38,62 $\pm$ 0,53                                    | 90,25 $\pm$ 1,25                        |
| 8      | 65,17 $\pm$ 1,71                                    | 88,98 $\pm$ 2,34                        | 41,18 $\pm$ 0,32                                    | 96,23 $\pm$ 0,74                        |
| 9      | 70,28 $\pm$ 1,25                                    | 95,96 $\pm$ 1,70                        | 39,01 $\pm$ 0,89                                    | 91,17 $\pm$ 2,07                        |
| 10     | 68,75 $\pm$ 0,44                                    | 93,87 $\pm$ 0,61                        | 40,34 $\pm$ 1,21                                    | 94,28 $\pm$ 2,83                        |
| 11     | 69,99 $\pm$ 0,27                                    | 95,56 $\pm$ 0,37                        | 41,31 $\pm$ 0,51                                    | 96,55 $\pm$ 1,19                        |
| 12     | 71,75 $\pm$ 0,17                                    | 97,96 $\pm$ 0,23                        | 43,55 $\pm$ 0,92                                    | 101,77 $\pm$ 2,14                       |

Os resultados da capacidade antioxidante tanto por ABTS como DPPH estão expressos em base seca (bs).

TE = trolox equivalente

Média  $\pm$  desvio padrão (n = 4).

Polpa de manga comercial como valor de referência para a retenção.

Verifica-se na Tabela 4.11, que a atividade antioxidante obtida pelo método ABTS variou de aproximadamente 57 a 75 ( $\mu\text{mol TE/ g}$ ), apresentando retenções na acima do que 78%. Os menores resultados foram obtidos em dois ensaios do ponto central (5 e 7). Por outro lado, os ensaios 6 e 8, também pontos centrais, apresentaram valores de altas retenções da atividade antioxidante. A incongruência dos resultados pode ser devido à imprecisões/sensibilidade do método analítico.

Observa-se na Tabela 4.11 que a atividade antioxidante obtida pelo método DPPH variou em torno de 39 a 44 ( $\mu\text{mol TE/ g}$ ) apresentando retenções acima de 90%.

Sogi, Siddiq & Dolan (2014), em estudo sobre a secagem de cubos de manga em secador de bandeja, também reportaram atividades antioxidantes

diferentes em função dos métodos analíticos empregados: 80 ( $\mu\text{mol TE/ g}$ ) pelo método ABTS; 75 ( $\mu\text{mol TE/ g}$ ) pelo método DPPH. Os autores também obtiveram resultados maiores pelo método ABTS em comparação ao DPPH.

A Tabela 4.12 apresenta os teores dos compostos fenólicos totais e de  $\beta$ -caroteno e as respectivas retenções nos flocos de manga para os diferentes ensaios de *drum drying*.

**Tabela 4.12** Teores de compostos fenólicos totais,  $\beta$ -caroteno e respectivas retenções dos flocos de manga.

| Ensaio | Compostos<br>fenólicos totais<br>(mg ácido<br>gálico/ 100 g) | Retenção de<br>compostos<br>fenólicos totais<br>(%) | Teor de $\beta$ -<br>caroteno<br>(mg/ 100 g) | Retenção de $\beta$ -<br>caroteno (%) |
|--------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------|
| 1      | 503,49 $\pm$ 0,27                                            | 100,04 $\pm$ 0,01                                   | 7,57 $\pm$ 0,28                              | 108,68 $\pm$ 3,98                     |
| 2      | 488,18 $\pm$ 6,61                                            | 100,60 $\pm$ 1,36                                   | 6,82 $\pm$ 0,08                              | 97,87 $\pm$ 1,18                      |
| 3      | 494,53 $\pm$ 2,64                                            | 101,91 $\pm$ 0,55                                   | 5,91 $\pm$ 0,12                              | 84,92 $\pm$ 1,66                      |
| 4      | 507,87 $\pm$ 2,08                                            | 104,66 $\pm$ 0,43                                   | 6,24 $\pm$ 0,22                              | 89,55 $\pm$ 3,16                      |
| 5      | 507,21 $\pm$ 1,16                                            | 104,53 $\pm$ 0,24                                   | 7,32 $\pm$ 0,16                              | 105,07 $\pm$ 2,27                     |
| 6      | 492,56 $\pm$ 0,96                                            | 101,51 $\pm$ 0,20                                   | 6,54 $\pm$ 0,31                              | 93,88 $\pm$ 4,41                      |
| 7      | 477,05 $\pm$ 0,57                                            | 98,31 $\pm$ 0,12                                    | 6,71 $\pm$ 0,15                              | 96,32 $\pm$ 2,17                      |
| 8      | 477,13 $\pm$ 1,29                                            | 98,33 $\pm$ 0,26                                    | 6,01 $\pm$ 0,01                              | 86,27 $\pm$ 0,11                      |
| 9      | 482,07 $\pm$ 0,52                                            | 99,34 $\pm$ 0,11                                    | 6,71 $\pm$ 0,15                              | 96,35 $\pm$ 2,21                      |
| 10     | 492,07 $\pm$ 1,10                                            | 101,40 $\pm$ 0,23                                   | 7,05 $\pm$ 0,08                              | 101,30 $\pm$ 1,16                     |
| 11     | 562,47 $\pm$ 8,86                                            | 115,91 $\pm$ 1,82                                   | 6,49 $\pm$ 0,01                              | 93,17 $\pm$ 0,21                      |
| 12     | 518,82 $\pm$ 2,41                                            | 106,92 $\pm$ 0,50                                   | 7,61 $\pm$ 0,07                              | 109,22 $\pm$ 1,01                     |

Os resultados dos compostos fenólicos totais e teor de beta caroteno expressos em base seca (bs).

Média  $\pm$  desvio padrão (n = 4).

Polpa de manga comercial como valor de referência para a retenção.

Na Tabela 4.12 observa-se que os compostos fenólicos totais variaram de aproximadamente 477 a 518 (mg ácido gálico/ 100 g), com retenções acima de 95%. Sogi, Siddiq & Dolan (2014), em estudo da secagem de cubos de manga *Tommy Atkins* em secador de bandeja, encontraram concentrações de fenólicos acima de 900 mg ácido gálico/ 100 g nos produtos obtidos. As

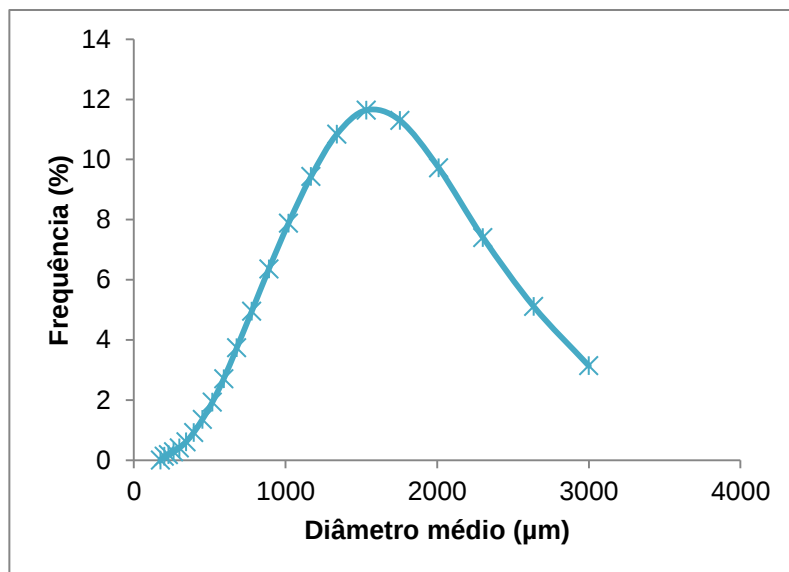
diferenças nos valores com os obtidos no presente estudo podem estar relacionadas a diferenças de processos e qualidade das matérias-primas empregadas.

Verifica-se na Tabela 4.12 que o  $\beta$ -caroteno variou na faixa de aproximadamente 6 a 7,6 (mg/ 100 g), apresentando retenções acima de 85%. Por outro lado, Zotarelli et al. (2017), em um trabalho com polpa de manga produzida por *spray drying* com maltodextrina como agente carreador, reportaram perdas de 60% de carotenoides. Pode-se dizer, portanto, que no presente trabalho as retenções do nutriente foram relativamente altas.

Com relação a alguns valores de retenção de atividade antioxidante, polifenóis e beta caroteno superiores a 100% (Tabelas 4.11 e 4.12), provavelmente durante o processo de secagem por *drum dryer* houve a formação de compostos intermediários da reação de Maillard, o que pode ter interferido nos resultados das análises de atividade antioxidante e compostos fenólicos. Por sua vez, no caso da determinação de beta caroteno, os erros médios são proporcionalmente maiores devido aos baixos valores encontrados (na faixa de aproximadamente 6 a 8 mg/ 100 g).

Quanto à análise de distribuição do tamanho de partículas por espalhamento de luz, a Figura 4.4 apresenta, a título de exemplo, uma curva de distribuição determinada para os flocos de manga do ensaio 7 (Tabela 4.1). A Tabela 4.13 apresenta os diâmetros médios dos flocos obtidos por espalhamento de luz nos diferentes ensaios realizados.

Quanto à análise de distribuição do tamanho de partículas realizada por peneiramento (granulometria), a Tabela 4.14 apresenta os resultados obtidos com os flocos de manga dos diferentes ensaios.



**Figura 4.4** Curva de distribuição do tamanho das partículas por espalhamento de luz do produto obtido no ensaio 7.

**Tabela 4.13** Diâmetro médio dos flocos de manga obtidos nos diferentes ensaios (espalhamento de luz).

| Ensaio | Diâmetro médio de partículas (mm)* |
|--------|------------------------------------|
| 1      | 1,33 ± 0,21                        |
| 2      | 1,12 ± 0,21                        |
| 3      | 1,08 ± 0,06                        |
| 4      | 1,09 ± 0,04                        |
| 5      | 1,14 ± 0,05                        |
| 6      | 1,13 ± 0,06                        |
| 7      | 1,27 ± 0,04                        |
| 8      | 1,16 ± 0,04                        |
| 9      | 1,40 ± 0,18                        |
| 10     | 1,20 ± 0,04                        |
| 11     | 1,17 ± 0,03                        |
| 12     | 1,25 ± 0,08                        |

Média ± desvio padrão (n = 6).

\* D<sub>50</sub> = mediana.

**Tabela 4.14** Percentual de massa retida por peneira na análise de granulometria dos flocos de manga dos diferentes ensaios (peneiramento).

| <b>Peneira</b>   | <b>1</b>    | <b>2</b>    | <b>3</b>    | <b>4</b>     | <b>5</b>     | <b>6</b>     | <b>Fundo</b> |
|------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <i>Mesh (mm)</i> | 4,75        | 3,35        | 2,36        | 1,18         | 0,85         | 0,50         | 0,00         |
| Ensaio           | (%)         |             |             |              |              |              |              |
| 1                | 0,00 ± 0,00 | 0,08 ± 0,09 | 0,31 ± 0,05 | 22,59 ± 3,89 | 41,57 ± 2,41 | 18,48 ± 1,89 | 16,76 ± 4,76 |
| 2                | 0,10 ± 0,05 | 0,12 ± 0,06 | 0,44 ± 0,03 | 22,98 ± 0,05 | 45,85 ± 1,28 | 19,37 ± 0,62 | 11,45 ± 1,63 |
| 3                | 0,19 ± 0,01 | 0,60 ± 0,19 | 2,15 ± 0,52 | 44,20 ± 1,76 | 37,05 ± 0,65 | 9,85 ± 0,79  | 6,55 ± 1,04  |
| 4                | 0,12 ± 0,07 | 0,10 ± 0,04 | 0,52 ± 0,07 | 21,66 ± 0,22 | 46,82 ± 0,42 | 17,82 ± 0,18 | 13,31 ± 0,23 |
| 5                | 0,18 ± 0,06 | 0,24 ± 0,05 | 0,08 ± 0,11 | 21,43 ± 0,96 | 44,69 ± 0,47 | 18,69 ± 0,55 | 15,07 ± 0,51 |
| 6                | 0,15 ± 0,13 | 0,03 ± 0,02 | 0,07 ± 0,03 | 20,33 ± 0,20 | 46,99 ± 0,48 | 18,42 ± 0,26 | 13,48 ± 1,18 |
| 7                | 0,00 ± 0,00 | 0,07 ± 0,04 | 0,07 ± 0,07 | 28,71 ± 1,06 | 46,29 ± 1,06 | 14,53 ± 0,35 | 9,98 ± 1,68  |
| 8                | 0,09 ± 0,03 | 0,02 ± 0,02 | 0,13 ± 0,06 | 25,61 ± 0,40 | 45,08 ± 0,73 | 16,95 ± 0,14 | 11,77 ± 1,02 |
| 9                | 0,10 ± 0,15 | 0,22 ± 0,18 | 1,43 ± 0,23 | 38,01 ± 2,64 | 44,87 ± 0,64 | 10,80 ± 1,39 | 4,56 ± 1,70  |
| 10               | 0,04 ± 0,02 | 0,13 ± 0,04 | 0,61 ± 0,22 | 25,77 ± 1,16 | 41,82 ± 1,35 | 16,74 ± 0,32 | 15,16 ± 2,26 |
| 11               | 0,11 ± 0,14 | 0,06 ± 0,02 | 0,48 ± 0,07 | 27,69 ± 0,93 | 48,21 ± 0,31 | 14,36 ± 0,49 | 9,74 ± 0,82  |
| 12               | 0,13 ± 0,01 | 0,55 ± 0,10 | 0,27 ± 0,19 | 34,65 ± 2,31 | 43,82 ± 1,32 | 12,89 ± 0,65 | 8,23 ± 2,02  |

Média ± desvio padrão (n = 3).

Observa-se que a curva da Figura 4.4 apresenta um comportamento monomodal de distribuição, embora a mesma tenha sido interrompida em 3 mm, limite máximo de detecção do equipamento empregado na análise. De acordo com a Tabela 4.13, verifica-se que o diâmetro médio das partículas, variou de 1,08 mm (ensaio 3) a 1,40 mm (ensaio 9). O resultado mostra uma variação importante nas dimensões dos flocos.

Quanto ao resultado da análise de granulometria dos flocos (Tabela 4.14), verifica-se que as peneiras 4 (1,18 mm) e 5 (0,85 mm) apresentaram um maior percentual de retenção de flocos, com média aproximada de 28% (peneira 4) e 44% (peneira 5). No entanto, a retenção de partículas na peneira de abertura menor ( $< 0,85$  mm), assim como no fundo, não foi desprezível: aproximadamente 27%. Por outro lado, a presença de partículas maiores ( $> 1,18$  mm) foi pequena (aproximadamente 0,8%). Esse comportamento difere do obtido na análise de dimensões de partículas, que segue uma distribuição normal, conforme anteriormente discutido. Fazendo-se um cálculo das medianas acumuladas dos resultados de granulometria (valores não apresentados), verificou-se que os flocos apresentam dimensões entre 0,85 e 1,18 mm, ou seja, menores daquelas obtidas pela outra análise. Os diferentes resultados podem estar relacionados às diferentes formas de medição e imprecisões dos métodos, além do formato das partículas obtidas.

Correlacionando os resultados de diâmetro médio de partículas, apresentados na Tabela 4.13, com os resultados de umidade ilustrados na Figura 4.1a, é possível fazer algumas considerações. O ensaio 3 (-1; +1) resultou em flocos com baixo teor de umidade (aproximadamente 1%) e com o menor diâmetro médio (1,08 mm). Por sua vez, o ensaio 9 (-1,41; 0) resultou em um teor de umidade alto (aproximadamente 2%), e o maior diâmetro médio (1,40 mm). Esses dados revelam que na etapa de floculação, possivelmente o produto do ensaio 3, mais seco, quebrou-se mais facilmente, resultando em partículas menores. Por sua vez, no ensaio 9, o produto mais úmido, quebrou-se com menos facilidade na floculação, resultando em um produto com dimensões maiores.

Relacionando-se o diâmetro médio de partículas com a molhabilidade dos flocos, apresentada na Tabela 4.8, observa-se que no ensaio 1, obteve-se o menor tempo de molhabilidade (15 segundos) e um dos maiores diâmetros

de partícula (1,33 mm) (Tabela 4.13). Ao contrário, no ensaio 6, verificou-se um dos menores diâmetros (1,13 mm), e o maior tempo de molhabilidade (39 segundos) (Tabela 4.9). Os resultados estão coerentes com o reportado por Vissoto et al. (2006). Segundo os autores, a molhabilidade pode estar relacionada a fatores físicos, principalmente tamanho e forma das partículas. A molhabilidade é favorecida pelo espaço intersticial apresentado por partículas grandes e de formato irregular. Os produtos em pó, com menores dimensões, apresentam baixa molhabilidade, e tendem a formar grumos durante a adição e mistura com a água.

A Figura 4.5 apresenta, a título de exemplo, a imagem obtida no ensaio de morfologia dos flocos do ensaio 1. Observa-se a grande irregularidade da amostra em termos de formato e dimensões. Os flocos obtidos nos outros ensaios apresentaram comportamento semelhante. O fato corrobora os resultados, previamente apresentados e discutidos, das análises de distribuição de tamanho de partículas.



**Figura 4.5** Imagem obtida na análise de morfologia dos flocos do ensaio 1.

#### **4.4 CONCLUSÃO**

Esta etapa do trabalho permitiu as seguintes conclusões quanto às condições de processo do *drum drying* de manga:

- Foram obtidos modelos de superfície de resposta para a variação de algumas propriedades dos flocos obtidos com relação à temperatura de

processo e tempo de residência, a saber: teor de umidade e teor de carotenoides totais dos flocos, além de parâmetros de cor tais como o  $a^*$  (verde/vermelho), ângulo de tom e diferença de cor da polpa reconstituída, com  $0,72 \leq R^2 \leq 0,96$  e  $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$  de 1,71 a 11,42.

- Não houve um ajuste satisfatório do modelo de superfície de resposta para outras propriedades dos flocos tais como: parâmetros de cor dos flocos ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , Croma e Hue), taxa de secagem, atividade de água, higroscopicidade, densidade aparente, densidade absoluta, porosidade, solubilidade, molhabilidade, teor de vitamina C, atividade antioxidante pelos métodos ABTS e DPPH, compostos fenólicos totais, teor de  $\beta$ -caroteno, distribuição de tamanho de partículas e granulometria.

- Temperaturas de processo superiores a 135 °C e tempos de residência maiores do que 25 segundos resultaram em flocos mais secos (umidade de aproximadamente 1%). Por outro lado, nessas condições, a coloração da polpa reconstituída resultou mais avermelhada, com menor intensidade da cor amarela, e apresentando maior diferença de cor em relação à polpa.

- Em relação à cor dos flocos, a análise de variância revelou que a condição combinada de tempo e temperatura mais elevada (36 segundos e 146 °C) resultou em flocos com coloração mais avermelhada e menos amarelada.

- Em relação à taxa de secagem, observaram-se menores valores em combinações de temperaturas e tempos de residência menores ( $T < 135$  °C e  $t < 25$  segundos), bem como produtos mais úmidos.

- Os valores de higroscopicidade, solubilidade e molhabilidade dos flocos obtidos variaram respectivamente de 21 a 26%, 78 a 83% e 15 a 39 segundos. Essas faixas de valores são superiores aos reportados na literatura para outros processos de obtenção de fruta em pó.

- O diâmetro médio dos flocos de manga obtidos por *drum drying*, determinados pelos métodos de espalhamento de luz e por peneiramento, varia de 0,85 a 1,40 mm.

- Os ensaios de morfologia mostram que os flocos obtidos pelo processo apresentam formatos irregulares e tamanhos diversos, corroborando

os resultados obtidos nos ensaios de granulometria e distribuição e tamanho de partículas.

- Conclui-se que, em termos gerais, as melhores condições do processo de *drum drying* de polpa de manga são tempos de residência na faixa de 10 a 25 segundos, e temperatura de processo na faixa de 120 a 135 °C. Nessas condições, há uma melhor preservação da qualidade da matéria-prima, bem como boas taxas de secagem, e os flocos resultam em um teor de umidade entre 2 e 5%, aceitável em termos tecnológicos e de estabilidade no armazenamento.

#### 4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC - **American Association of Cereal Chemist** – 10<sup>a</sup> edição. Março, v.1, 2000.

AGUIRRE, J.M.; GASPARINO FILHO, J. **Desidratação de frutas e hortaliças. Manual Técnico**. Campinas: ITAL, 205p., 2002.

BARROS NETO, B.; SCARMINO, I.S.; BRUNS, R.E. **Planejamento e Otimização de Experimentos**. 2<sup>a</sup> edição. Campinas - SP: Editora da Unicamp, 299p., 1995.

BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M.N. **Fundamentos de tecnologia de alimentos**. 1<sup>a</sup> edição, v.3. Ed Atheneu, São Paulo, 318p, 1998.

BENVENUTI, S.; PELLATI, F.; MELEGARI, M.; BERTELLI, D. Polyphenols, anthocyanins, ascorbic acid, and radical scavenging activity of *Rubus*, *Ribes*, and *Aronia*. **Journal of Food Science**, v.69, n.3, p.164-169, 2004.

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

BRAND-WILIANS, W.; CUVELIER, M.E.; BERSET, C. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie – Food Science and Technology**, v.28, n.1, p.25-30, 1995.

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

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

CAPARINO, O.A.; TANG, J.; NINDO, C.I.; SABLANI, S.S.; POWERS, J.R.; FELLMAN, J.K. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine “Carabao” var.) powder. **Journal of Food Engineering**, v.111, n.1, p.135-148, 2012.

CARVALHO, P.R.N.; COLLINS, C.A.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Comparison of provitamin A determination by normal-phase gravity-flow chromatography and reversed phase high performance liquid chromatography. **Chromatographia**, v.33, n.3, p.133-137, 1992.

CARVALHO, C.R.L.; MANTOVANI, D.M.B.; CARVALHO, P.R.N.; MORAES, R.M. **Análises Químicas de Alimentos – Manual Técnico**. Campinas - SP: ITAL, 121p., 1990.

FERRARI, C.C.; GERMER, S.P.M.; AGUIRRE, J.M. Effects of spray-drying conditions on the physicochemical properties of blackberry powder. **Drying Technology**, v.30, n.2, p.154-163, 2012.

GOULA, A.M.; ADAMOPOULOS, K.G. Spray drying of tomato pulp: Effect of feed concentration. **Drying Technology**, v.22, n.10, p.2309-2330, 2004.

HORIBA INSTRUMENTS. Monitoring coffee grinding with laser diffraction particle size analyses. **Applications Note AN148 – Coffe**. 2007. Disponível em: <<http://www.horiba.com/la-960/application-notes/>>. Acesso em: 11 out. 2016.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. IAL. **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos** - 4ª Edição. 1ª Edição Digital. 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Produção Agrícola Municipal – Culturas Temporárias e Permanentes - 2015**. Rio de Janeiro. v.42, 57p., 2015.

JITTANIT, W.; CHANTARA-IN, M.; DEYING, T.; RATANAVONG, W. Production of tamarind powder by drum dryer using maltodextrin and arabic gum as adjuncts. **Songklanakarin Journal of Science and Technology**, v.33, n.1, p.33-41, 2011.

LABUZA, T.P. Sorption phenomena in foods. **Food Technology**, v.22, n.3, p.263-272, 1968.

LEWIS, M.J. **Physical properties of foods and food processing systems**. Chichester: Ellis Horwood Ltda, p.51-64. 1987.

PUA, C.K.; HAMID, N.S.A.; TAN, C.P.; MIRHOSSEINI, H., RAHMAN, R.B.A.; RUSUL, G. Optimization of drum drying processing parameters for production of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) powder using response surface methodology. **LWT - Food Science and Technology**, v.43, n.2, p.343-349, 2010.

REGO, R.A. Os fatores de influência dos mercados de Bakery & Confectionery. In: Queiroz, G. de C.; Rego, R.A.; Jardim, D.C.P. **Brasil Bakery & Confectionery Trends 2020**. 390p. 1ª edição, Campinas – SP. 2014.

RUFINO, M.S.M.; ALVES, R.E.; BRITO, E.S. de; MORAES, S.M. de; SAMPAIO, C. de G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F.G. Metodologia Científica: Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS<sup>•+</sup>. **Comunicado Técnico Embrapa Agroindústria Tropical**, Fortaleza – CE, Julho, 2007.

SETYADJIT; SUKASIH, E. Effect of Addition of Filler on the Production of Shallot (*Allium Cepa* Var. *Ascalonicum* L.) Powder with Drum Dryer. **Procedia Food Science**, v.3, p.396-408, 2015.

SOGI, D.S.; SIDDIQ, M.; DOLAN, K.D. Total phenolics, carotenoids and antioxidante properties of Tommy Atkin mango cubes as affected by drying techniques. **LWT - Food Science and Technology**, v.62, n.1, p.564-568, 2014.

TRAVAGLINI, D.A.; CARVALHO, P.R.N.; RUIZ, F.S.; SHIROSE, I. Processamento de flocos de manga em secador do tipo monocilíndrico rotativo. **Coletânea ITAL**, v.24, n.2, p.193-202, 1994.

VISSOTTO, F.Z.; JORGE, L.C.; MAKITA, G.T.; RODRIGUES, M.I.; MENEGALLI, F.C. Influence of the process parameters and sugar granulometry on cocoa beverage powder steam agglomeration. **Journal of Food Engineering**, v.97, n.3, p.283-291, 2010.

VISSOTTO, F.Z.; MONTENEGRO, F.M.; SANTOS, J.M. dos; OLIVEIRA, S.J.R. de. Avaliação da influência dos processos de lecitinação e de aglomeração nas propriedades físicas de achocolatado em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas – SP, v.26, n.3, p.666-671, 2006.

ZOTARELLI, M.F. **Produção e caracterização de manga desidratada em pó por diferentes processos de secagem**. 2014. 165 p. Tese (doutorado) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2014.

ZOTARELLI, M.F; SILVA, V.M. da, DURIGON, A.; HUBINGER, M.D.; LAURINDO, J.B. Production of mango powder by spray drying and cast-tape drying. **Powder Technology**, v.305, p.447-454, 2017.

## 5 CONCLUSÕES GERAIS

O estudo revelou que o tempo de retenção (ou velocidade do cilindro de secagem), a temperatura da superfície do cilindro (ou pressão de vapor), e o tipo e a concentração de coadjuvantes de processo, são os parâmetros mais relevantes do *drum drying* de polpa comercial de manga.

No *drum drying* da polpa pura, houve formação de um filme fino e descontínuo, resultando em baixas taxas de secagem, bem como baixas retenções de nutrientes. Por outro lado, houve melhor formação de filme no *drum drying* da polpa acrescida de coadjuvantes de processo. Diferentes desempenhos foram observados de acordo com o aditivo empregado: amido regular, maltodextrina 10DE, maltodextrina 20DE e monoestearato de glicerila.

Não houve influência dos coadjuvantes investigados, nos níveis empregados, nos seguintes parâmetros e propriedades do pó: taxa de secagem, higroscopicidade; solubilidade; retenção de carotenoides e retenção de  $\beta$ -caroteno.

Praticamente também não houve influência dos coadjuvantes investigados, nos níveis empregados, na cor dos pós obtidos. No entanto, as polpas reconstituídas a partir destes pós apresentaram diferenças de cor em relação à polpa pura (matéria-prima), observadas visualmente e instrumentalmente.

De maneira geral, o emprego da combinação de 3% de amido e 0,5% de monoestearato de glicerila (bs) como coadjuvantes do *drum drying* de polpa de manga resultou em melhor desempenho em termos de retenção de vitamina C e  $\beta$ -caroteno.

No *drum drying* de polpa de manga (com 3% de amido e 0,5% de monoestearato de glicerila – base seca), algumas propriedades dos flocos obtidos foram influenciadas, nas faixas investigadas, pelas variáveis temperatura de processo e tempo de residência: teor de umidade, teor de carotenoides totais, e os parâmetros de cor da polpa reconstituída  $a^*$ , ângulo de tom (Hue) e diferença de cor com relação à polpa pura (matéria-prima). As variações dessas propriedades foram descritas por modelos matemáticos cujos parâmetros de ajuste variaram de:  $R^2$  de 0,72 a 0,96 e  $F_{calculado}/F_{tabelado}$  de 1,71 a 11,42.

Em termos gerais, as melhores condições do processo do *drum drying* de polpa de manga, determinadas pela combinação dos modelos obtidos, são tempos de residência na faixa de 10 a 25 segundos, e temperatura de processo na faixa de 120 a 135 °C. Nessas condições, há uma melhor preservação da qualidade da matéria-prima, principalmente em termos do teor de carotenoides totais (retenção de aproximadamente 91%) e consequentemente da cor da fruta, e o teor de umidade é de 2%.

Além disto, os ensaios experimentais de *drum drying* de polpa de manga comercial que foram realizados nessas condições ótimas, apresentaram os seguintes resultados: retenção de  $\beta$ -caroteno e de compostos fenólicos totais de aproximadamente 100%, retenção de atividade antioxidante de aproximadamente 88% pelo método ABTS e de aproximadamente 96% pelo método DPPH. Os flocos de manga obtidos nessas condições apresentaram propriedades tecnológicas interessantes, em comparação a outros processos, tais como baixa higroscopicidade (aproximadamente 24%), alta solubilidade (aproximadamente 79%) e alta molhabilidade (aproximadamente 26 segundos).

O estudo, portanto, mostrou que é possível obter pó/flocos de manga com alta qualidade no *drum drying* de polpa comercial, empregando-se baixa concentração de coadjuvantes, e resultando em um produto com alta retenção de qualidade. Além disso, o produto obtido pelo processo apresenta grande apelo de naturalidade, e pode ser empregado como ingrediente em formulações de barras de cereais, produtos de panificação, snacks, drageados, e outros.

## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Conforme citado, esse estudo faz parte do projeto financiado pela Fapesp (nº 2015/12303-3), e no referido projeto estão sendo investigados os seguintes aspectos: estabilidade dos flocos obtidos no armazenamento controlado; aplicação dos flocos obtidos no desenvolvimento de novos produtos.

Dessa forma, ficam as seguintes sugestões para futuros trabalhos:

- Estudar a eficiência energética e os custos do *drum drying* de polpa de manga;
- Estudar o desempenho de diferentes embalagens para o armazenamento dos flocos de manga obtidos pelo processo;
- Estudar a estabilidade dos produtos desenvolvidos com os flocos de manga obtidos pelo processo;
- Estudar a aplicação da polpa de manga reconstituída a partir dos flocos obtidos pelo processo;
- Estudar o *drum drying* de outras polpas de frutas.

## 7 ANEXOS

### 7.1 ANEXO 1

#### Metodologias Analíticas

**Teor de sólidos solúveis (°Brix):** foi determinado por refratômetro portátil digital de 0 a 85°Brix (Atago, PAL-A B225259, Japão), utilizando a polpa à temperatura ambiente (25 °C), segundo metodologia descrita em Instituto Adolfo Lutz (2008).

**pH:** foi determinado em pHmetro (Digimed, DM 20, Brasil), utilizando a polpa a 25°C segundo metodologia descrita em Instituto Adolfo Lutz (2008).

**Atividade de água:** foi determinada por higrômetro digital (Decagon Devices Inc, Aqualab 3 TE, Estados Unidos da América), a  $25 \pm 0,3$  °C, segundo metodologia descrita em Instituto Adolfo Lutz (2008).

**Acidez titulável:** foi determinada empregando-se metodologia descrita em Instituto Adolfo Lutz (2008), com auxílio do pHmetro (Digimed, DM 20, Brasil) e do agitador magnético (IKA, C-MAGHS7 07.268724, Alemanha).

**Vitamina C:** foi determinada empregando-se o método titulométrico preconizado por Tillmans com metodologia adaptada de Instituto Adolfo Lutz (2008), que se baseia na redução do indicador 6-diclorofenolindofenol-sódio (DCFI) pelo ácido ascórbico. Para a homogeneização da polpa com ácido oxálico, utilizou-se o instrumento triturador (TECNAL, TE-102, Brasil) por noventa segundos. Para a completa dissolução do indicador foi utilizado banho de ultrassom sem aquecimento (UNIQUE, USC-1400 2015120101, Brasil) por oito minutos. O DCFI em meio básico ou neutro possui coloração azul, em meio ácido é rosa e incolor na forma reduzida.

**Umidade:** para a determinação da umidade utilizou-se uma adaptação do método do Instituto Adolfo Lutz (2008), empregando a secagem em estufa a

vácuo (Heraeus, RVT 360, Alemanha) com auxílio de bomba de vácuo (Nova Instruments, NI1613 14101046, Brasil) em temperatura de 70 °C por vinte e quatro horas.

**Compostos fenólicos totais:** foram determinados de acordo com adaptação do método de espectrofotometria de Folin Ciocalteau, descrito por Benvenuti et al. (2004). Tanto para a polpa de manga integral como para os pós/flocos obtidos por *drum drying* realizou-se extração sequencial tripla com acetona 70% para um volume final de 100 mL. Para a homogeneização da amostra com a acetona utilizou-se o instrumento triturador (TECNAL, TE-102, Brasil) por noventa segundos, seguido de filtração a vácuo com auxílio de bomba (Cole Parmer, DAA Shown, Estados Unidos da América). A leitura da absorbância das amostras foi realizada em comprimento de onda de 750 nm no espectrofotômetro (Agilent Technologies, Cary 60 MY13110012, Estados Unidos da América). A curva padrão foi obtida a partir de uma solução contendo 0,1 g de ácido gálico para um volume de 100 mL com água destilada, fazendo-se diluições para obter as seguintes concentrações finais: 40; 80; 120; 160 e 200 µmol.

**Açúcares totais, não redutores e redutores:** foram determinados pelo método de Munson e Walker, descrito por Carvalho et al. (1990). Fundamenta-se na redução de íons de cobre bivalente em meio básico pelos açúcares redutores. A glicose e frutose (monossacarídeos) são açúcares redutores capazes de se oxidarem na presença de agentes oxidantes em soluções alcalinas. Os reagentes usados na execução da análise foram Fehling A e B.

**Teor de carotenoides (beta-caroteno):** foram avaliados segundo Carvalho, Collins e Rodriguez-Amaya (1992). Os carotenoides contidos em cerca de 1 g de produto foram extraídos com 30 mL acetona em desintegrador (Marconi, MA 102, Brasil), de forma sequencial, até a amostra ficar de coloração amarelo palha ou incolor. Os pigmentos foram transferidos para éter de petróleo e o volume ajustado para 50 mL. Na quantificação dos carotenoides foi utilizado um espectrofotômetro (Varian, Cary 50, Estados

Unidos da América), no comprimento de onda de máxima absorção do  $\beta$ -caroteno (453 nm) e a quantificação com uso do coeficiente de absorção de 2592. A detecção e quantificação do  $\beta$ -caroteno foi por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) em sistema de eluição isocrático, com fase móvel composta por acetonitrila:metanol:acetato de etila:triethylamina (72,95:20:07:0,05, v/v/v/v), vazão de 1,5 mL min<sup>-1</sup>, e monitoração a 450 nm. No estudo foi utilizado cromatógrafo (Agilent, Infinity 1260, Estados Unidos da América), coluna analítica (Merck, LiChrospher 100 RP-18. 125 x 4 mm, 5  $\mu$ m, Estados Unidos da América) e padronização externa com  $\beta$ -caroteno (Sigma-Aldrich, C4582, Estados Unidos da América).

**Atividade antioxidante:** na primeira fase do estudo, a atividade antioxidante foi determinada segundo a metodologia modificada de Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995), que se baseia em um decréscimo da absorbância na captura do radical 2,2-difenil-1-picril-hidrazila (DPPH) por antioxidantes. Nesse método, foi realizada leitura das amostras em espectrofotômetro (Agilent Technologies, Cary 60 MY13110012, Estados Unidos da América) utilizando-se comprimento de onda de 515 nm e metanol 80% como branco. A curva de calibração foi feita empregando solução de Trolox (25 mg/ 50 mL) com metanol 80% nas seguintes diluições: 50; 100; 200; 400; 600 e 800  $\mu$ mol. Na segunda etapa, foi realizada também, a análise pela captura do radical 2,2'-azino-bis(ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico), sal diamônio (ABTS<sup>•+</sup>), determinada no mesmo espectrofotômetro, porém com leitura da absorbância em um comprimento de onda de 734 nm, utilizando álcool etílico PA como branco, de acordo com adaptação da metodologia proposta por Rufino et al. (2007). A curva de calibração foi feita empregando solução de Trolox (25 mg/ 50 mL) com metanol 80% nas seguintes diluições: 50, 200, 500, 1000 e 1500  $\mu$ M.

Em ambos os métodos, foi realizada extração sequencial tripla das amostras com acetona 70%, para volume final de 100 mL. Para a homogeneização das amostras utilizou-se instrumento triturador (TECNAL, TE-102, Brasil) por noventa segundos, seguido de filtração a vácuo com auxílio de bomba (Cole Parmer, DAA Shown, Estados Unidos da América).

**Cor instrumental:** realizou-se a análise de cor por leitura direta no instrumento colorímetro (Konica-Minolta Sensing Inc., Chromameter CR-400, Japão), programado no sistema CieLab. Os parâmetros avaliados foram L\* (Luminosidade), a\* (+a\*=vermelho e -a\*=verde) e b\* (+b\*=amarelo e -b\*=azul). Calculou-se também o Croma (C), ângulo de tom (Hue) e diferença de cor da matéria-prima ( $\Delta E$ ) a partir das Equações 6.1, 6.2 e 6.3.

$$C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (6.1)$$

$$H = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (6.2)$$

$$\Delta E = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta a^*)^2)^{1/2} \quad (6.3)$$

Além da cor da polpa e dos produtos obtidos, foi realizada também a cor da polpa de manga reconstituída a partir do pó/flocos obtidos no *drum drying*, com adaptação do método de Caparino et al. (2012). Essa metodologia adaptada consistiu em reconstituir as polpas desidratadas para as mesmas características de umidade e teor de sólidos da polpa de manga inicial. Para isso realizou-se cálculos com balanços de massa e balanços de componentes para determinar as quantidades de polpa em pó/flocos e água necessárias. Nos cálculos, considerou-se o teor de sólidos totais da polpa de manga do drum drying, incluindo o aditivo. Para a leitura no colorímetro, homogeneizou-se a água com os produtos em instrumento triturador (TECNAL, TE-102, Brasil) por 2 minutos.

**Higroscopicidade:** a higroscopicidade foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Cai & Corke (2000), com algumas modificações. O método consiste na adição de cerca de 1 g de amostra em um recipiente hermético contendo uma solução saturada de NaCl (umidade relativa de 75,29%) a 25 °C e, após uma semana, as amostras foram pesadas e a higroscopicidade expressa como g de água adsorvida por 100 g de massa seca da amostra.

**Densidade aparente e absoluta:** a densidade aparente ( $\rho_{ap}$ ) foi determinada em uma proveta graduada de 10 mL, através da massa de

amostra ocupada no volume máximo da proveta, segundo metodologia adaptada de Goula & Adamopoulos (2004), enquanto que a determinação da densidade absoluta ( $\rho_{abs}$ ) das amostras foi realizada a 25 °C em um picnômetro, usando etanol como líquido imiscível.

**Porosidade:** a porosidade ( $\varepsilon$ ) dos produtos em pó foi avaliada através da Equação 6.4, a seguir.

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_{abs}} \quad (6.4)$$

Onde:  $\rho_{ap}$  é a densidade aparente (g/ ml) e  $\rho_{abs}$  é a densidade absoluta (g/ ml) da amostra.

**Solubilidade:** foi determinada de acordo com o método de Eastmane Moore (1984), citado por Cano-Chauca et al. (2005). O método consiste na adição de 1 g de amostra em um tubo da centrífuga (Beckman, avanti J-25, Estados Unidos da América) contendo 100 mL de água destilada, operando com agitação magnética (IKA, C-MAGHS7 07.268724, Alemanha) a alta velocidade por 5 minutos, seguida por uma centrifugação a 3000 xg, também por 5 minutos. Posteriormente, uma alíquota de 25 mL do sobrenadante foi retirada e levada à estufa (Solab, SL 104/27, Brasil) a 105 °C, por 5 horas. A solubilidade foi calculada pela diferença de peso.

**Molhabilidade:** a molhabilidade foi analisada de acordo com adaptação do método descrito por Vissotto et al. (2010), considerando o tempo necessário para 7,0 g de amostra submergir por completo em 400 g de água destilada com temperatura entre 23 e 25 °C.

#### ***Diâmetro médio e distribuição do tamanho de partículas:***

**a) Espalhamento de luz:** a análise da polpa floculada foi realizada por difração a laser no equipamento Partica (Horiba, modelo LA 950 V2, Japão) no Cereal Chocotec ITAL seguindo metodologia adaptada de Application Notes AN148 (HORIBA Instruments, 2007).

**b) Peneiramento (granulometria):** as análises de granulometria foram realizadas de acordo com método descrito em AACC (2000), empregando-se o agitador de peneira (Produtest, n 3878, Brasil), com peneiras de diferentes aberturas (*mesh*), sendo estas com padrão ABNT 4; 6; 8; 16; 20 e 35. Utilizou-se aproximadamente 10 gramas de amostras floculadas que permaneceram no agitador durante 1 minuto.

**Morfologia dos flocos:** a morfologia dos flocos foi realizada por metodologia adaptada de Alvim et al. 2013, empregando-se o estereomicroscópio (Dimex, MZS-250, Japão) para visualização objetiva de 1 a 4 vezes de aumento e ocular de 10 vezes de aumento. As imagens foram capturadas com a câmera digital (Sony, Cyber-shot DSC-W570, Japão) adaptada ao estereomicroscópio.

**Temperaturas de transição vítrea:** as análises foram realizadas por calorimetria diferencial de varredura, conforme metodologia descrita por Caparino et al. (2012). O calorímetro empregado (TA Instruments, TA-MDSC-2920, Estados Unidos da América) possui resfriamento controlado por um resfriador mecânico RCS (*Refrigerated Cooling Accessory*), operando com gás nitrogênio a 150 ml/ min. A calibração do equipamento foi feita com Índio ( $T_{\text{fusão}} = 156,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) e também uma verificação com azobenzol ( $T_{\text{fusão}} = 68,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), utilizando hélio como gás de purga, com vazão constante de 25 ml/ min. Cerca de 10 mg de amostra foram colocadas em cápsulas de alumínio (20  $\mu\text{L}$ ), lacradas hermeticamente e analisadas, utilizando uma cápsula vazia como referência. Inicialmente, a amostra foi resfriada até  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , mantida nessa temperatura por 10 min e em seguida, aquecida até  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ , à taxa constante de  $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . Duas corridas foram realizadas, para reduzir a entalpia de relaxação dos pós amorfos. As análises foram realizadas em duplicata e os dados analisados utilizando o software Universal Analysis 2.6 (TA Instruments, Estados Unidos da América).

**Comportamento reológico:** as análises foram conduzidas com a matéria-prima (polpa integral) e com as polpas reconstituídas. A reconstituição foi realizada no triturador Turratec (Tecnal, TE-102, Brasil), misturando o pó

com água destilada, em quantidades calculadas por balanço de massa, para a obtenção de uma polpa com o mesmo teor de sólidos da polpa pura (melhor explicado na metodologia de cor instrumental). Empregou-se um reômetro Brookfield (Ametek Inc., R/S+ SST, Estados Unidos da América), operado pelo software Rheo 3000, v.1.2. Os ensaios foram efetuados utilizando-se o sistema de medidas de cilindros concêntricos CCT-45. A temperatura da amostra foi mantida em  $25 \pm 0,5$  °C, por uma camisa localizada ao redor de um cilindro externo, que por sua vez foi acoplado a um banho termostatizado (Marconi, MA-184, Brasil). O tempo de análise de cada ensaio foi de 10 minutos, sendo que nos cinco minutos iniciais, foi aplicada uma taxa de deformação crescente de 5 a  $700 \text{ s}^{-1}$ . Em seguida, a taxa variou de maneira decrescente por mais cinco minutos, entre  $700$  a  $5 \text{ s}^{-1}$ . Em ambas as curvas foram obtidos 300 pontos de viscosidade aparente. Os ensaios foram realizados em duplicata.

O modelo da Lei da Potência (Equação 6.5) foi ajustado aos dados experimentais, através da estimativa dos parâmetros reológicos K e n. Os valores de viscosidade aparente ( $\eta_{ap}$ ) foram calculados na taxa de deformação de  $100 \text{ s}^{-1}$  conforme Equação 6.6.

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (6.5)$$

$$\eta_{ap} = K\dot{\gamma}^{n-1} \quad (6.6)$$

$\tau$  = Tensão de cisalhamento (Pa)

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

K = Índice de consistência do fluido (Pa)

n = Índice do comportamento do fluído (adimensional)

$\eta_{ap}$  = viscosidade aparente

O coeficiente de correlação ( $R^2$ ), e o desvio padrão residual (RSD, *residual standard deviation*) foram utilizados para avaliar o ajuste do modelo matemático. Para o cálculo do RSD foram empregados os valores da tensão de cisalhamento experimentais ( $\tau_i$ ) e preditas pelo modelo ( $\tau_{pi}$ ), e o número de pontos experimentais (N), conforme a Equação 6.7. A Equação 6.8 mostra o cálculo do valor de RSD em porcentagem em relação a média dos valores

experimentais da tensão de cisalhamento ( $\bar{\tau}_l$ ). Valores de RSD < 10% indicam boa capacidade de predição da equação ajustada (ATALA, 2001).

$$RSD = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (\tau_i - \tau_{pi})^2}}{N} \quad (6.7)$$

$$RSD(\%) = \frac{RSD}{\bar{\tau}_l} * 100 \quad (6.8)$$

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC - **American Association of Cereal Chemist** – 10<sup>a</sup> edição. Março, v.1, 2000.

ALVIM, D.I.; SOUZA, F.S.; KOURY, I.P.; JURT, T.T.; DANTAS, F.B.H. Use of the spray chilling method to deliver hydrophobic components: physical characterization of microparticules. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.33, supl.1, p.34-39, 2013.

BENVENUTI, S.; PELLATI, F.; MELEGARI, M.; BERTELLI, D. Polyphenols, anthocyanins, ascorbic acid, and radical scavenging activity of *Rubus*, *Ribes*, and *Aronia*. **Journal of Food Science**, v.69, n.3, p.164-169, 2004.

BRAND-WILIANS, W.; CUVELIER, M.E.; BERSET, C. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie – Food Science and Technology**, v.28, n.1, p.25-30, 1995.

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

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

CAPARINO, O.A.; TANG, J.; NINDO, C.I.; SABLANI, S.S.; POWERS, J.R.; FELLMAN, J.K. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine “Carabao” var.) powder. **Journal of Food Engineering**, v.111, n.1, p.135-148, 2012.

CARVALHO, P.R.N.; COLLINS, C.A.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Comparison of provitamin A determination by normal-phase gravity-flow chromatography and reversed phase high performance liquid chromatography. **Chromatographia**, v.33, n.3, p.133-137, 1992.

CARVALHO, C.R.L.; MANTOVANI, D.M.B.; CARVALHO, P.R.N.; MORAES, R.M. **Análises Químicas de Alimentos – Manual Técnico**. Campinas - SP: ITAL, 121p., 1990.

GOULA, A.M.; ADAMOPOULOS, K.G. Spray drying of tomato pulp: Effect of feed concentration. **Drying Technology**, v.22, n.10, p.2309-2330, 2004.

HORIBA INSTRUMENTS. Monitoring coffee grinding with laser diffraction particle size analyses. **Applications Note AN148 – Coffe**. 2007. Disponível em: <<http://www.horiba.com/la-960/application-notes/>>. Acesso em: 11 out. 2016.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. IAL. **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos** - 4ª Edição. 1ª Edição Digital. 2008.

RUFINO, M.S.M.; ALVES, R.E.; BRITO, E.S. de; MORAES, S.M. de; SAMPAIO, C. de G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F.G. Metodologia Científica: Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS<sup>•+</sup>. **Comunicado Técnico Embrapa Agroindústria Tropical**, Fortaleza – CE, Julho, 2007.

VISSOTTO, F.Z.; JORGE, L.C.; MAKITA, G.T.; RODRIGUES, M.I.; MENEGALLI, F.C. Influence of the process parameters and sugar granulometry on cocoa beverage powder steam agglomeration. **Journal of Food Engineering**, v.97, n.3, p.283-291, 2010.

## 7.2 ANEXO 2

### Trabalhos apresentados em congressos

NERY, V.S.; TONIN, I.P.; SOUZA, E.C.G.; FERRARI, C.C.; GERMER, S.P.M. Desidratação de polpa de manga em secador de cilindro rotativo (*drum drying*): tipos de coadjuvantes, variáveis de processo e propriedades físicas dos flocos. In: 10º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2016, 2016, Campinas.

TONIN, I.P.; FERRARI, C.C.; BERTO, M.I.; OLIVEIRA, K.L.; SILVA, V.M.; GERMER, S.P.M. Comportamento reológico e temperatura de transição vítrea da polpa de manga produzida por *drum drying*. In: XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos (CBCTA), 2016, Gramado.

GERMER, S.P.M.; TONIN, I.P.; FERRARI, C.C.; SILVA, M.G.; NERY, V.S.; SOUZA, E.C.G. Drum drying of mango pulp as an alternative to produce fruit powder: performance of different additives. In: IFT16 - IFT Annual Meeting & Food Expo, 2016, Chicago, p. 60-60.

### Artigo submetido para publicação em periódico internacional

TONIN, I.P.; FERRARI, C.C.; SILVA, M.G.; BERTO, M.I.; OLIVEIRA, K.L.; SILVA, V.M.; GERMER, S.P.M. Performance of different process additives on the properties of mango powder obtained by drum drying. (submetido para a *Drying Technology*, janeiro 2017).

**Resumo submetido para o Congresso IFT Annual Meeting & Food Expo, a ser realizado em Las Vegas, EUA, junho 2017.**

GERMER, S.P.M.; TONIN, I.P.; FERRARI, C.C.; SILVA, M.G.; NERY, V.S.; SOUZA, E.C.G. Drum drying of mango pulp as an alternative to produce fruit flakes: optimization of the process conditions.