



INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
Centro de Tecnologia de Frutas e Hortaliças - Fruthotec

CAETANO AFONSO LANZONI TROIANI

**INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS DE PROCESSO NA SECAGEM DE CASCAS
DE MANGA EM SECADOR DE CILINDRO ROTATIVO (*DRUM DRYER*) E
AVALIAÇÃO DO INGREDIENTE FUNCIONAL OBTIDO**

CAMPINAS

2020

CAETANO AFONSO LANZONI TROIANI

**INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS DE PROCESSO NA SECAGEM DE CASCAS
DE MANGA EM SECADOR DE CILINDRO ROTATIVO (*DRUM DRYER*) E
AVALIAÇÃO DO INGREDIENTE FUNCIONAL OBTIDO**

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

Aluno: Caetano Afonso Lanzoni Troiani

Orientador: Sílvia Pimentel Marconi Germer

Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação defendida pelo aluno Caetano Afonso Lanzoni Troiani e orientado pela Prof.(a) Dr.(a) Sílvia Pimentel Marconi Germer.

CAMPINAS

2020

Agência(s):

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.

Nº do proc.: 2018-17957-0.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Bibliotecária Lucilene Paulina da Silva CRB/8 - 8507

Biblioteca Central do ITAL - Instituto de Tecnologia de Alimentos.

T845i Troiani, Caetano Afonso Lanzoni.

Influência das variáveis de processo na secagem de cascas de manga em secador de cilindro rotativo (*drum dryer*) e avaliação do ingrediente funcional obtido. Caetano Afonso Lanzoni Troiani / Dissertação de mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos. - Campinas, SP: ITAL, 2020.

77 f.

Orientadora: Profa. Dra. Silvia Pimentel Marconi Germer.

1. *Mangifera indica* L. 2. Variedades. 3. Propriedades físico-químicas. 4. Propriedades Tecnológicas. 5. Subproduto. I. Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL). Centro de Tecnologia de Frutas e Hortaliças (Fruthotec). II. Troiani, Caetano Afonso Lanzoni. III. Título.

Título em inglês: Influence of process variables on drum drying of mango peel and the evaluation of obtained functional ingredient.

Key-words: *Mangifera indica* L.; varieties; physical-chemical properties; technological properties; by-product.

Titulação: Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Banca Examinadora: Prof^a. Dr^a. Silvia Pimentel Marconi Germer (orientadora)

Prof^a. Dr^a. Regina Kitagawa Grizotto (membro titular)

Prof^a. Dr^a. Cristhiane Caroline Ferrari (membro titular)

Prof^a. Dr^a. Gisele Anne Camargo (membro suplente)

Data da Defesa: 31/03/2020.

Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

BANCA EXAMINADORA

Este exemplar corresponde à redação final da Dissertação de Mestrado defendida por Caetano Afonso Lanzoni Troiani, aprovada pela Comissão Julgadora em 31/03/2020.

Prof.(a) Dr.(a) Silvia Pimentel Marconi Germer
Instituto de Tecnologia de Alimentos – ITAL
(Presidente)

Dr.(a) Regina Kitagawa Grizotto
Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios - APTA
(titular)

Dr.(a) Cristhiane Caroline Ferrari
Instituto de Tecnologia de Alimentos – ITAL
(titular)

Dr.(a) Gisele Anne Camargo
Instituto de Tecnologia de Alimentos – ITAL
(suplente)

A ata de defesa de dissertação de mestrado com as respectivas assinaturas dos membros da banca encontra-se arquivada junto à documentação do aluno.

DEDICATÓRIA

Ao meu filho, que dá sentido a cada momento da minha vida e mantém meus passos no caminho da motivação.

AGRADECIMENTOS

Os desafios do projeto não seriam superados e a conclusão desta dissertação não seria possível sem o apoio de tantas pessoas que, com amizade e dedicação, contribuíram para a realização deste estudo.

Agradeço a Deus, pelas bênçãos concedidas ao longo da vida e por guiar meus passos pelo melhor caminho.

Aos meus pais pelo apoio incondicional, sempre dando suporte as minhas decisões, muitas vezes tornando fácil algo que parecia impossível. À minha irmã, sobrinha e demais familiares, que torceram por mim.

À minha esposa Ana Leticia pelos conselhos e por dividir suas experiências de quem já passou por essa fase da pós-graduação. Obrigado por estar ao meu lado em mais esse momento especial da minha vida. Por sempre estar à disposição para contribuir com o que fosse necessário, dando provas de companheirismo e cumplicidade. Te amo!

Ao longo dessa jornada nós, eu e minha esposa, fomos presenteados com algo que deu ainda mais sentido ao trabalho e às nossas vidas, que veio para engrandecer os desafios e abrilhantar ainda mais essa conquista. Então não posso deixar de agradecer ao meu filho, Mateus, pelo incentivo que me transmitia a cada sorriso, beijo e abraço. Papai te ama muito!

À Prof^a Dr^a Silvia Pimentel Marconi Germer, por ter me acolhido como seu aluno e aceitado o desafio da orientação deste projeto. Serei sempre grato pelo seu tempo dedicado às correções, à busca por metodologias e à discussão dos resultados. Obrigado por, com paciência e sabedoria, lapidar minha escrita e me guiar até aqui, sempre buscando me tornar um profissional ainda mais preparado para os próximos passos da vida acadêmica.

À Elaine Souza pela dedicação em acompanhar grande parte das análises e auxiliar no processamento, sempre pronta para ajudar no que fosse necessário. Obrigado por toda a experiência de laboratório compartilhada nesse período.

Aos colegas do grupo de pesquisa, Murilo Victoria, Leticia Menezes e Paula Antonioli pela parceria durante as análises no laboratório e processamentos na planta-piloto.

Ao FRUTHOTEC/ITAL e seus colaboradores, em especial a Dona Elza, ao Sr. João e ao Marcos, que atuaram e contribuíram diretamente com as análises e os ensaios de secagem.

À banca examinadora de qualificação e defesa, Dr.(a) Cristhiane Caroline Ferrari e Dr.(a) Regina Kitagawa Grizotto, pelas sugestões de melhorias e pelo tempo dispensado à avaliação.

À Dr.(a) Izabela Alvim, do CEREAL CHOCOTEC/ITAL pela disponibilidade em realizar a análise de tamanho de partículas e pela atenção em discutir os resultados com muita paciência.

A secretária do Programa de Pós-Graduação do Instituto de Tecnologia de Alimentos, Elenice, que sempre atendeu prontamente meus chamados e respondeu rapidamente meus e-mails.

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

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Aos meus colegas da Turma de 2018 do curso de mestrado *stricto sensu* em Ciência e Tecnologia de Alimentos do ITAL pelas experiências divididas em sala de aula e visitas técnicas.

Aos meus colegas de trabalho do Centro de Ciências da Natureza da UFSCar – Campus Lagoa do Sino, em especial ao Thiago Calsolari, por me incentivarem a cursar uma pós-graduação, sempre prontos para me substituir em minhas eventuais ausências. Agradeço também ao Prof. Dr. Luiz Manoel de Moraes Camargo Almeida e à Prof^a Dr^a Julianna Rondineli Carmassi por compreender a importância dessa pós-graduação e me conceder todos os afastamentos solicitados durante esse período.

E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que esse projeto fosse idealizado, executado, escrito e apresentado.

RESUMO

A manga é um fruto tropical, com grande produção no Brasil, sendo destinada principalmente para o mercado interno. A industrialização, por sua vez, gera um resíduo altamente nutritivo, porém pouco aproveitado. O processo de secagem em cilindro rotativo (*drum drying*) se apresenta como alternativa para a estabilização das cascas, principal subproduto. Nesse contexto, o objetivo do estudo foi estabelecer as melhores condições do *drum drying* de cascas de manga para a obtenção de um ingrediente funcional, determinando suas características físico-químicas e tecnológicas. Inicialmente foram avaliadas as cascas das variedades Palmer, Keitt, Haden e Espada Vermelha. A variedade Palmer reuniu as melhores condições, tendo em vista o *drum drying*, com alta capacidade antioxidante, baixo teor de açúcares redutores, e elevados teores de vitamina C e compostos fenólicos. Realizaram-se ensaios de secagem com um purê de cascas de manga (Palmer), obtido por trituração/homogeneização com adição de água (1,2 kg de água: 1 kg de cascas) e coadjuvantes de processo: amido regular (5% b.s.) e monoestearato de glicerila (1% b.s.). Empregou-se um delineamento fatorial 2^2 , com repetições no ponto central, tendo por variáveis independentes a temperatura de processo (T) (130,6-146,4°C) e o tempo de residência (t) (14-28 segundos), avaliando-se o fluxo de massa. Os filmes secos foram floculados e analisados quanto a propriedades físico-químicas. A partir de regressões múltiplas foram obtidos modelos matemáticos para: teor de umidade ($R^2 = 0,93$); parâmetro cromático a^* (verde/vermelho) ($R^2 = 0,83$); fluxo de massa ($R^2 = 0,88$). Determinou-se, a partir dos modelos, a região de melhor condição de processo ($138,4 \leq T \leq 146,4^\circ\text{C}$ e $14 \leq t \leq 21$ segundos). Um novo ensaio foi realizado, em condição inserida nessa região ($T = 146,4^\circ\text{C}$ e $t = 15,4$ segundos), e os flocos analisados quanto a propriedades físico-químicas e tecnológicas. Os flocos obtidos apresentaram as seguintes características/teores: umidade = 0,79%; carotenoides totais = 19,16 mg/ 100 g b.s.; β -caroteno = 7,52 mg/ 100 g b.s.; compostos fenólicos = 3082,82 mg AGE/ 100 g b.s. e capacidade antioxidante de 340 $\mu\text{mol TE/ g b.s.}$. O produto apresentou altos teores de fibras alimentares, 22,09 g/ 100 g b.s., e de minerais, podendo ser considerado rico em cobre, cromo, magnésio, manganês e selênio, bem como fonte de cálcio e ferro. O produto apresentou, relativamente, baixo índice de higroscopicidade, de 18,4 g/ 100 g, e valores moderados de índice de absorção de água, de 3,67 g/ g, e solubilidade, de 67,81%. O ingrediente obtido tem potencial para ser empregado como ingrediente na formulação de novos produtos alimentícios.

Palavras-chave: *Mangifera indica* L.; variedades; propriedades físico-químicas; propriedades tecnológicas; subproduto.

ABSTRACT

Mango is a tropical fruit with large production in Brazil destined mainly for the domestic market. Industrialization generates a highly nutritious residue, but little used. The drum drying is an alternative process for the stabilization of the peels, which is the main by-product. In this context, the objective of the study was to establish the best drum drying conditions for mango peels to obtain a functional ingredient and to determine its physicochemical and technological characteristics. Palmer, Keitt, Haden and Espada Vermelha varieties were initially evaluated. Palmer variety provided the best conditions, regarding the drum drying, with high antioxidant capacity, low content of reducing sugars, and high levels of vitamin C and phenolic compounds. Drying tests were performed with a mango peel puree (Palmer), obtained by grinding/homogenization with addition of water (1.2 kg of water: 1 kg of peels) and process coadjuvants: regular starch (5% d.b.) and glyceryl monostearate (1% d.b.). A 2² factorial design was used with repetitions at the central point with process temperature (T) (130.6-146.4°C) and residence time (t) (14-28 seconds) as independent variables, evaluating the mass flow. The dry films were flocculated and analyzed for physicochemical properties. From multiple regressions, mathematical models were obtained for: moisture content ($R^2 = 0.93$); color parameter a^* (green/red) ($R^2 = 0.83$); mass flow ($R^2 = 0.88$). The region with the best process condition ($138.4 \leq T \leq 146.4^\circ\text{C}$ and $14 \leq t \leq 21$ seconds) was determined from the models. A new test was performed, in a condition within this region ($T=146.4^\circ\text{C}$ and $t=15.4$ seconds), and the flakes were analyzed for physicochemical and technological properties. The obtained flakes presented the following characteristics/contents: moisture content = 0.79%; total carotenoids = 19.16 mg/100 g d.b.; β -carotene = 7.52 mg/100 g d.b.; phenolic compounds = 3082.82 mg GAE/100 g d.b. and antioxidant capacity of 340 $\mu\text{mol TE/g d.b.}$. The product had high levels of dietary fibers, 22.09 g/100 g db, and minerals, and might be considered rich in copper, chromium, magnesium, manganese and selenium, as well as source of calcium and iron. The product presented relatively low hygroscopicity, of 18.4 g/100 g, and moderate values of water absorption index, of 3.67 g/g low solubility, of 67.81%. The ingredient obtained can be used in the formulation of new food products.

Keywords: *Mangifera indica* L.; varieties; physicochemical properties; technological properties; by-product.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	OBJETIVO	3
2.1	Objetivo geral	3
2.2	Objetivos específicos	3
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1	A manga como matéria-prima	5
3.2	Produção e mercado de mangas no Brasil e no mundo	7
3.3	A secagem de frutas e hortaliças	8
3.4	<i>Drum drying</i> de resíduos de frutas e hortaliças	10
3.5	Os coadjuvantes de processo	13
4.	MATERIAL E MÉTODOS	15
4.1	Estudo da caracterização de cascas de manga de diferentes variedades industriais tendo em vista o <i>drum drying</i>	15
4.1.1	Matéria-prima	15
4.1.2	Preparo das amostras	15
4.1.3	Análises físico-químicas	17
4.1.4	Análise estatística	18
4.2	Estudo do <i>drum drying</i> de cascas de manga	18
4.2.1	Matéria-prima e coadjuvantes de processo	18
4.2.2	Processo de preparo do purê de cascas	18
4.2.3	Ensaio de secagem	19
4.2.4	Análise estatística	22
4.3	Estudo da caracterização do produto final obtido na região de melhor condição de processo quanto às propriedades físicas, químicas e tecnológicas ..	23
4.4	Metodologia analítica	23

4.4.1	Teor de sólidos solúveis (°Brix)	23
4.4.2	Atividade de água	24
4.4.3	Teor de umidade	24
4.4.4	Cor instrumental	24
4.4.5	Teor de açúcares redutores e totais	25
4.4.6	Teor de Vitamina C.....	26
4.4.7	Teor de compostos fenólicos	26
4.4.8	Teor de carotenoides totais e quantificação do β -caroteno	27
4.4.9	Atividade antioxidante.....	27
4.4.10	Teor de fibras alimentares totais, solúveis, insolúveis.....	28
4.4.11	Teor de minerais.....	28
4.4.12	Índice de solubilidade e índice de absorção de água.....	29
4.4.13	Índice de higroscopicidade	29
4.4.14	Densidade aparente e densidade absoluta.....	30
4.4.15	Diâmetro médio, distribuição de tamanho e <i>span</i>	30
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
5.1	Caracterização de cascas de manga de diferentes variedades industriais tendo em vista o <i>drum drying</i>	31
5.2	Estudo do <i>drum drying</i> de cascas de manga	44
5.2.1	Caracterização da matéria-prima.....	44
5.2.2	Ensaio preliminares de <i>drum drying</i> de cascas de manga	46
5.2.3	Estudo das melhores condições do <i>drum drying</i>	48
5.3	Caracterização do produto final obtido na região de melhor condição de processo quanto às propriedades físicas, químicas e tecnológicas.....	56
5.3.1	Propriedades físicas e químicas dos flocos de casca de manga obtidos na região de melhor condição de processo.....	56

5.3.2	Propriedades tecnológicas dos flocos de casca de manga obtidos na região de melhor condição de processo.....	63
6.	CONCLUSÕES	67
7.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	69
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

SUMÁRIO DE TABELAS

Tabela 4.1. Níveis codificados e decodificados das variáveis de processo no delineamento fatorial do <i>drum drying</i> de cascas de manga.....	21
Tabela 5.1. Rendimentos de cascas das diferentes variedades de manga obtidos no descascamento, sem e com o tratamento térmico.....	31
Tabela 5.2. Atividade de água, teor de umidade, teor de sólidos totais e teor de açúcares redutores e totais das cascas das variedades de manga estudadas, nas diferentes etapas de preparo.....	33
Tabela 5.3. Parâmetros de cor instrumental (L^* , a^* , b^* , C^* e Hue) das cascas das variedades de manga estudadas, nas diferentes etapas de preparo.....	35
Tabela 5.4. Teores de vitamina C, compostos fenólicos e capacidade antioxidante das cascas das variedades de manga estudadas, nas diferentes etapas de preparo.	38
Tabela 5.5. Teores de carotenoides totais e β -caroteno das cascas in natura das variedades estudadas.	41
Tabela 5.6. Teores de fibras alimentares das cascas in natura das variedades estudadas.	42
Tabela 5.7. Teores de minerais das cascas in natura das variedades de manga estudadas.	43
Tabela 5.8. Propriedades físicas e químicas das cascas branqueadas de manga, variedade Palmer, empregadas no estudo do <i>drum drying</i>	45
Tabela 5.9. Condições de processo empregadas nos ensaios do <i>drum drying</i> para confirmação dos limites do delineamento experimental e definição da operação de fragmentação.	46
Tabela 5.10. Índices de higroscopicidade dos produtos obtidos nas operações de fragmentação dos diferentes ensaios de <i>drum drying</i>	47
Tabela 5.11. Teores de umidade, valores do parâmetro cromático a^* dos flocos de cascas de manga e fluxo de massa dos ensaios de secagem do delineamento experimental.....	49
Tabela 5.12. Resultados das análises de regressão múltipla das variações do teor de umidade, do parâmetro a^* de cor instrumental e do fluxo de massa no <i>drum drying</i> de cascas de manga.....	49

Tabela 5.13. Parâmetros de cor instrumental (L*, b*, C* e Hue) dos flocos de cascas de manga obtidos nos ensaios de secagem do delineamento experimental.	53
Tabela 5.14. Teores de vitamina C, compostos fenólicos, carotenoides e β -caroteno dos flocos de casca de manga obtidos nos ensaios de secagem do delineamento experimental.....	54
Tabela 5.15. Atividade de água e capacidade antioxidante dos flocos de casca de manga obtidos nos ensaios de secagem do delineamento experimental.	55
Tabela 5.16. Teor de umidade, atividade de água e cor dos flocos de casca de manga obtidos no ensaio de <i>drum drying</i> realizado na região de melhor condição de processo.	56
Tabela 5.17. Teores de vitamina C, compostos fenólicos, carotenoides, β -caroteno e capacidades antioxidante dos flocos de cascas de manga do ensaio realizado na região de melhor condição do <i>drum drying</i> , e respectivas retenções em relação às cascas branqueadas.	58
Tabela 5.18. Teores de fibras alimentares e teores de minerais dos flocos de casca de manga obtidos no ensaio de <i>drum drying</i> na região de melhor condição de processo.	61
Tabela 5.19. Propriedades tecnológicas do produto obtido no ensaio de <i>drum drying</i> de cascas de manga na região de melhor condição de processo.	63

SUMÁRIO DE FIGURAS

Figura 3.1. Ilustração das partes estruturais da manga - corte transversal.....	5
Figura 3.2. Esquema do <i>drum dryer</i> : (a) cilindro duplo e (b) cilindro simples...	11
Figura 4.1. Variedades de frutos in natura: (a) Palmer, (b) Keitt, (c) Haden, (d) Espada Vermelha.	17
Figura 4.2. Etapas de preparo das amostras: (a) tratamento térmico, (b) descascamento e (c) trituração.	17
Figura 4.3. Homogeneização do purê de cascas de manga em moinho coloidal.	19
Figura 4.4. Equipamento <i>drum dryer</i> empregado no estudo.....	20
Figura 4.5. Representação do sistema CieLab: (a) espaço de cores $L^*a^*b^*$, (b) parâmetros de cor.....	25
Figura 5.1. Fotos dos produtos obtidos com o filme seco do ensaio 1 após as operações de fragmentação: (a) floculação e (b) moagem.	47
Figura 5.2. Curvas de contorno das superfícies de resposta obtidas no <i>drum drying</i> de cascas de manga: (a) teor de umidade, (b) parâmetro cromático a^* , (c) fluxo de massa.....	50
Figura 5.3. Distribuição do tamanho de partículas dos flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i>	66

1. INTRODUÇÃO

Das frutas tropicais produzidas no Brasil, a manga é uma das mais importantes para a agricultura e para a economia, sendo que a maior parte da produção é destinada ao mercado interno, como fruto de mesa, ou na forma de produtos processados, como polpas e sucos. Em 2018 mais de um milhão de toneladas de mangas foram produzidas em todo território nacional, com destaque para as variedades Palmer e Tommy Atkins, que juntas somam cerca de 80% de toda a produção (KIST et al., 2018).

A fruta é muito apreciada pelo sabor e aroma agradáveis, além de apresentar elevado valor nutricional e alto teor de fibras, vitaminas e minerais (NEPA/UNICAMP, 2011). No processamento de polpa e suco de manga, aproximadamente 50% da massa da fruta não é aproveitada, gerando grande quantidade de resíduo sólido, constituído principalmente por cascas e caroços (ANDRÉ et al., 2014). Esses resíduos orgânicos devem ser deslocados para longe das unidades de processamento, por razões sanitárias, agregando custos ao processo, bem como riscos ambientais (VIEIRA et al., 2009).

As tendências nacionais e globais apontam para um aumento de consumo de produtos mais saudáveis, práticos, com apelo de sustentabilidade, e, ainda, que proporcionem uma boa experiência sensorial (FIESP/ITAL, 2010). Crescem, também, as investigações sobre o papel dos compostos bioativos nos alimentos, evidenciando seus benefícios à saúde humana (CROZIER; JAGANATH; CLIFFORD, 2009).

A busca por uma alimentação saudável, aliada ao avanço tecnológico do processamento de alimentos, tem colocado o aproveitamento integral das frutas e hortaliças no foco de vários estudos (GERMER et al., 2018). As partes convencionalmente não comestíveis dessas matérias-primas são ricas em nutrientes tais como compostos antioxidantes e fibras, e sua incorporação à alimentação humana pode trazer uma série de benefícios à saúde (MASIBO; HE, 2009; CORREIA et al., 2012; COELHO et al., 2019).

Os compostos bioativos, tais como carotenoides, antocianinas e vitamina C, entre outros presentes na casca da manga, conferem sua

capacidade antioxidante, e, assim como os altos teores de fibras alimentares, tornam o aproveitamento desse subproduto interessante (AJILA et al., 2007).

A secagem surge como alternativa para a conservação dos resíduos do processamento de frutas, pois esses subprodutos são altamente perecíveis. Contudo é necessário avaliar a tecnologia a ser aplicada em termos das características da matéria-prima e do produto desejado, bem como os custos envolvidos (ANDRÉ et al., 2014). Algumas técnicas de secagem possíveis são a secagem com ar quente, a secagem por atomização (*spray drying*), a liofilização (*freeze drying*) e a secagem por cilindro rotativo (*drum drying*) (SAGAR; KUMAR, 2010).

O *drum drying* aparece como alternativa a ser avaliada. De maneira geral, o processo envolve menores custos operacionais e resulta em boa manutenção de aroma e sabor. É um processo com alta eficiência energética, de fácil operação, manutenção e limpeza, com flexibilidade para múltiplas produções, em diferentes escalas, resultando em um produto de alta qualidade (TONIN, 2017). O *drum drying* é uma tecnologia muito aplicada para a secagem de produtos pastosos, como purês de tubérculos, e mais recentemente, polpas de frutas. No entanto, poucos estudos reportam o uso do *drum drying* para resíduos de frutas e hortaliças (HENRÍQUEZ et al., 2014; GALAZ et al., 2017).

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Nesse contexto, o objetivo do estudo foi estabelecer as melhores condições do *drum drying* de cascas de manga para a obtenção de um ingrediente funcional desidratado, bem como determinar as características físicas, químicas e tecnológicas do produto obtido.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar as cascas de quatro variedades de mangas, tendo em vista a produção de “purês” para o *drum drying*, a fim de comparar suas características e estabelecer aquela mais adequada para a realização do estudo em questão.
- Verificar a influência dos parâmetros do *drum drying*, em específico o binômio temperatura de processo e tempo de residência, tendo em vista a obtenção de um ingrediente funcional desidratado com maior conservação dos parâmetros de qualidade da matéria-prima e maior fluxo de massa.
- Caracterizar o ingrediente funcional desidratado obtido no processo de *drum drying* quanto à suas propriedades físicas, químicas e tecnológicas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A manga como matéria-prima

A manga (*Mangifera indica* Linnaeus) teve origem na região Indo-Birmana. Da família das Anacardiaceae, as mangueiras são árvores de climas subtropicais, sendo que de quatro a seis anos após o plantio começam a apresentar os primeiros frutos (MASIBO; HE, 2009). Hoje a manga é um dos frutos tropicais mais importantes e tem seu cultivo difundido em várias partes do mundo (RAMOS; SOUSA; BENEVIDES, 2004).

O fruto é climatérico, apresentando elevada taxa respiratória durante seu processo de maturação, período no qual a acidez diminui e o teor de açúcar se eleva, resultando em seu sabor característico. No momento da colheita, os frutos devem estar fisiologicamente desenvolvidos, caso contrário não terão um processo adequado de amadurecimento. Por outro lado, se colhidos maduros demais, os mesmos chegarão rapidamente à senescência (BLEINROTH, 1981).

A Figura 3.1 ilustra a manga e suas partes estruturais.

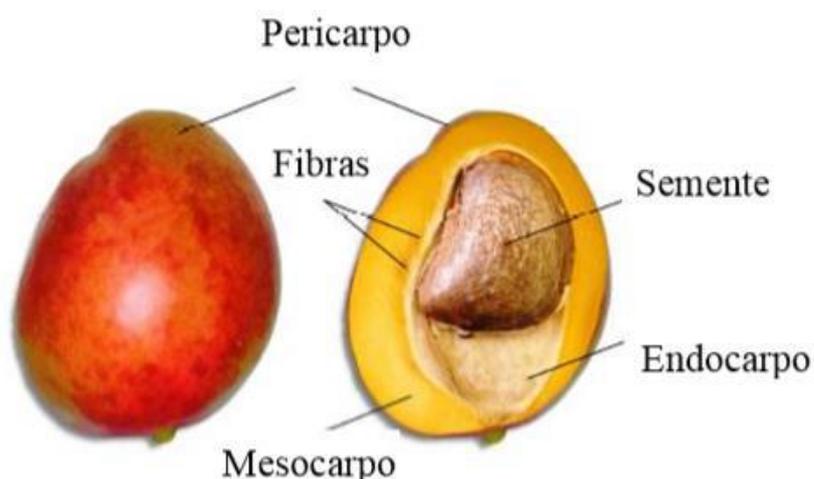


Figura 3.1. Ilustração das partes estruturais da manga - corte transversal (GUTIÉRREZ, 2015).

Com alto valor nutricional, a fruta apresenta quantidades elevadas de potássio, fósforo, magnésio e cálcio, assim como vitaminas A, B₁ (tiamina), B₂ (riboflavina) e C, sendo que o teor pode variar de acordo com a variedade, o estágio de maturação, a região e as práticas de cultivo (NEPA/UNICAMP, 2011).

Em geral, mangas também apresentam grande quantidade de fibras alimentares e compostos bioativos como carotenoides, principalmente β -caroteno, e compostos fenólicos, como mangiferina, catequina, quercetina, kaempferol, ácido gálico e ácido benzoico, que promovem a saúde humana, auxiliando na prevenção de doenças degenerativas (COELHO et. al., 2019).

A *American Association Cereal Chemistry* (AACC) define fibra alimentar como:

A parte comestível das plantas ou carboidratos análogos que são resistentes à digestão e à absorção no intestino delgado humano, com fermentação total ou parcial no intestino grosso. Fibras alimentares incluem polissacarídeos, oligossacarídeos, lignina, e substâncias associadas às plantas. Fibras alimentares promovem efeitos fisiológicos benéficos, incluindo laxação, e/ou atenuação do colesterol do sangue, e/ou atenuação da glicose do sangue (AACC, 2001).

Os compostos bioativos são agentes fitoquímicos que auxiliam na promoção da saúde, atuando em processos metabólicos do organismo como a inibição ou indução de enzimas, além de exercer atividade antioxidante (CORREIA et al., 2012). Esses compostos não têm valores de ingestão diária recomendada por órgãos de saúde, pois não são considerados compostos essenciais, como as vitaminas. Entre os grupos de compostos bioativos podemos citar flavonoides e carotenoides, que são naturalmente encontrados em produtos vegetais como as frutas e hortaliças, despertando grande interesse de pesquisadores (NUNES, 2019).

Agentes antioxidantes foram definidos por Halliwell e Gutteridge (1989) como “qualquer substância que, em baixas concentrações comparadas ao substrato oxidável, é capaz de inibir ou diminuir significativamente a oxidação deste substrato”.

Compostos fenólicos são agentes antioxidantes amplamente encontrados em produtos vegetais, principalmente em frutas. São moléculas que possuem pelo menos um anel aromático ligado a uma hidroxila, que proporcionam a habilidade de capturar radicais livres, atuando de diferentes formas, como agente quelante de íons metálicos, diminuindo a concentração de oxigênio, entre outras (GARCIA-SALAS et al., 2010).

3.2 Produção e mercado de mangas no Brasil e no mundo

O Brasil ocupa posição de destaque no cenário mundial de produção de frutas, e a diversidade de solo e clima do país contribui de maneira relevante para que o setor de fruticultura seja um dos segmentos econômicos mais importantes do agronegócio brasileiro. Brasil, China e Índia colhem o equivalente a 40% da produção mundial de frutas e grande parte da produção nacional é escoada ao mercado de frutas processadas (FREIRE, 2018).

Segundo o anuário brasileiro de Horti & Fruti de 2019, o Brasil ocupa a sétima colocação entre os maiores produtores de manga do mundo. O último levantamento consolidado pelo IBGE informa que o Brasil produziu 1.087.091 toneladas de manga, em 2018. A fruta está presente em quase todas as regiões do país, sendo que São Paulo ocupa a terceira posição entre as regiões que mais produzem mangas, com 8,5 mil hectares plantados (KIST et al., 2018).

A maior parte da produção nacional é destinada ao mercado interno, principalmente para consumo in natura, com média de 4,34 kg per capita em 2018. No cenário de exportações, a manga apresenta a maior receita brasileira de frutas frescas, atingindo US\$ 177,3 milhões e embarcando 170,5 mil toneladas de manga em 2018, tendo como principal cliente a União Europeia, seguida dos Estados Unidos da América e outros países europeus (KIST et al., 2018).

Por se tratar de uma cultura sazonal com período de colheita curto, no Brasil entre os meses de outubro e março, bem como de um produto altamente perecível, o aproveitamento industrial da produção de manga é uma forma de evitar perdas, preservando seus componentes nutricionais (RAMOS; SOUSA; BENEVIDES, 2004). O processamento industrial mais comum é a produção de polpa ou suco concentrado, que por sua vez, fornece matéria-prima para a indústria de alimentos na elaboração de outros produtos (PEDRASSOLLI; HOMEM JÚNIOR; PANDOLFI, 2015)

A manga é um fruto com grande potencial de uso nas várias fases de sua maturação. Produtos como polpa, suco, néctar, geleia, fatias em calda, alimentos infantis, e até mesmo vinho, são fabricados a partir da fruta madura. Alguns produtos podem ser elaborados com o fruto ainda verde, como picles e *chutney* (RAVANI; JOSHI, 2013). O processamento de polpas e sucos possibilita

que derivados de frutas regionais sejam consumidos em outras partes do país e do mundo, onde questões climáticas ou falta de áreas produtivas não permitem a produção da matéria-prima (FREIRE, 2018).

As variedades de manga mais consumidas no mercado de mesa são Tommy Atkins, Palmer, Haden e Keitt. Porém essas variedades também fazem parte da lista daquelas aproveitadas pelas indústrias, além das variedades Ubá, Espada, Bourbon, Rosa e outras. No aproveitamento industrial algumas características são importantes, tais como os altos teores de sólidos totais e solúveis, ausência de fibras e altos rendimentos de polpa (RAMOS; SOUSA; BENEVIDES, 2004).

A manga é constituída de 12 a 15% de cascas (pericarpo) e de 15 a 20% de semente, resultando em um grande volume de resíduo sólido na sua industrialização. Para evitar prováveis impactos ambientais, esse resíduo deve receber destino e tratamento adequados, agregando custos ao processo (ANDRÉ et al., 2014; VIEIRA et al., 2009). Por outro lado, estudos apontam alto valor nutricional nesses resíduos, principalmente na casca. Portanto, o aproveitamento desse subproduto daria um destino mais nobre ao resíduo, solucionando o problema da disposição dos mesmos.

Resultados apresentados por Marques et al. (2010) mostraram que as cascas da manga Tommy Atkins apresentam maiores teores de minerais, proteínas, fibras e amido em comparação com a polpa. Outros autores reportaram, para outras variedades de manga, que as cascas são ricas em fibras alimentares e compostos com atividade antioxidante (AJILA; PRASADA RAO, 2013; BERARDINI et al., 2005). Ajila et al. (2007) apontaram a possibilidade do uso de antioxidantes naturais extraídos das cascas de manga, em substituição aos antioxidantes sintéticos, tais como o butil-hidroxitolueno (BHT) e o butil-hidroxianisol (BHA), que apresentam possíveis efeitos deletérios à saúde (CHEN; PEARSON; GRAY, 1992).

3.3 A secagem de frutas e hortaliças

Frutas e hortaliças são fontes de nutrientes essenciais como minerais, fibras e vitaminas, porém são sazonais e altamente perecíveis e seu consumo in natura pode se tornar limitado por questões logísticas e temporais. Uma

alternativa para manter a disponibilidade destes alimentos durante todo o ano é sua comercialização na forma desidratada (FREIRE, 2018).

A secagem é uma alternativa de manejo pós-colheita, principalmente em países em que a estrutura logística não conta com uma boa cadeia de frio (SAGAR; KUMAR, 2010). Grabowski, Marcotte e Ramaswamy (2003) apontaram que mais de 20% dos cultivos perecíveis passam por processos de secagem a fim de promover segurança alimentar, aumentando a vida útil desses produtos.

A secagem é um método muito antigo de conservação de alimentos e se baseia no fornecimento de calor para promover a retirada de parte da água livre por evaporação ou sublimação. O processo pode trazer os seguintes benefícios: redução de peso e volume no transporte; redução da atividade de água do produto e aumento da sua vida útil; minimização dos impactos ambientais resultantes da redução do uso de embalagens; possibilidade de armazenamento em temperatura ambiente (TONIN, 2017). Além disso, o processo de secagem pode estabilizar e concentrar os compostos bioativos, aumentando o valor nutricional por unidade de massa seca, entre outros (TONIN, 2017). Por conveniência, produtos secos são amplamente utilizados nas formulações industriais (GERMER et al., 2018). No entanto, para que os nutrientes continuem disponíveis, as tecnologias de secagem não devem expor às matérias-primas a condições severas de processo. Além disso, os processos devem ser economicamente viáveis.

Os principais métodos de secagem são: secagem com ar quente em secadores de armários ou bandejas, secagem por aspersão (*spray drying*), secagem em cilindros rotativos (*drum drying*), liofilização (*freeze drying*) e secagem em leito de jorro. Além disso, atualmente algumas tecnologias emergentes estão sendo investigadas para serem empregadas em combinação aos processos tradicionais de secagem, tendo em vista melhorar a eficiência dos mesmos, tais como micro-ondas, ultrassom e campo elétrico pulsante (SAGAR; KUMAR, 2010).

Ajila et al. (2010) avaliaram o efeito da incorporação de cascas de manga, obtidas em secador de bandeja (50°C) e moídas, na formulação de amostras de macarrão em diferentes proporções (2,5; 5,0 e 7,5%). Os autores relataram que o aumento do teor do ingrediente favoreceu o conteúdo nutricional, bem como a atividade antioxidante. O emprego também melhorou a firmeza do

produto, característica atribuída ao aumento de fibra alimentar na composição. A incorporação de até 5% de cascas de manga em pó na formulação, segundo os autores, não resultou em diferenças sensoriais com relação à textura, cor e sabor.

Os resíduos do processamento de frutas e hortaliças carregam não só nutrientes e agentes bioativos, mas também enzimas e uma carga microbiana que pode contribuir com a degradação dos mesmos. O processo de secagem estabiliza os biocompostos, promovendo a inativação enzimática e tornando o produto menos susceptível ao crescimento de microrganismos. Porém os compostos bioativos são, em sua maioria, sensíveis ao calor e o dimensionamento do processo de secagem deve ser adequado para preservar a atividade desses nutrientes (GALAZ et al., 2017).

Ao secar cascas e sementes de manga em três condições diferentes (liofilização, ar estático a 70°C e ar forçado a 70°C), Dorta, Lobo e Gonzáles (2012) avaliaram, dentre outros resultados, o efeito dos processos sobre a atividade antioxidante dos produtos. Os autores notaram que a liofilização não modificou a atividade antioxidante das amostras. Porém, a secagem com ar forçado pode ter favorecido a oxidação de polifenóis e contribuído para a diminuição da capacidade antioxidante das sementes.

3.4 *Drum drying* de resíduos de frutas e hortaliças

Até a chegada dos processos de atomização, secadores de cilindro rotativo (*drum dryer*) eram muito utilizados na obtenção de produtos secos a partir de alimentos líquidos e pastosos. Industrialmente o *drum drying* é ainda muito aplicado, principalmente na secagem de purês de hortaliças, de produtos lácteos e de cereais matinais (GERMER et al., 2018).

Os purês destinados ao *drum drying* são produzidos nas etapas que antecedem a secagem, e normalmente são acrescidos de coadjuvantes de processo, que ajudam na formação do filme e no descolamento do mesmo do cilindro. Os coadjuvantes podem ainda suplementar alguma deficiência nutricional da matéria-prima (MONTE et al., 2014).

O *drum drying* de polpas de frutas permite o emprego de baixas concentrações de coadjuvantes de processos, de 1 e 20% em base seca, em comparação a outros processos tais como o *spray drying* (TONIN, 2017).

Desenvolvidos no início do século XX, os secadores de cilindro rotativo foram descritos em detalhes por Tang, Feng e Shen (2003). São classificados em simples ou duplos, formados respectivamente por um ou dois cilindros, posicionados na horizontal e aquecidos internamente por vapor. O equipamento conta ainda com um cilindro aplicador, responsável pelo dimensionamento da espessura da camada e pela aplicação do produto úmido, além de um sistema raspador que irá fazer a retirada do produto seco na forma de filme após o mesmo ter completado três quartos de volta. Existem ainda exemplares de secadores a vácuo, que permitem temperaturas de secagem menores, porém esta aplicação está limitada a produtos com alto valor agregado ou que não podem ser produzidos por técnicas economicamente mais viáveis.

A Figura 3.2 apresenta o *drum dryer* esquematizado, mostrando os pontos de alimentação e coleta do produto seco.

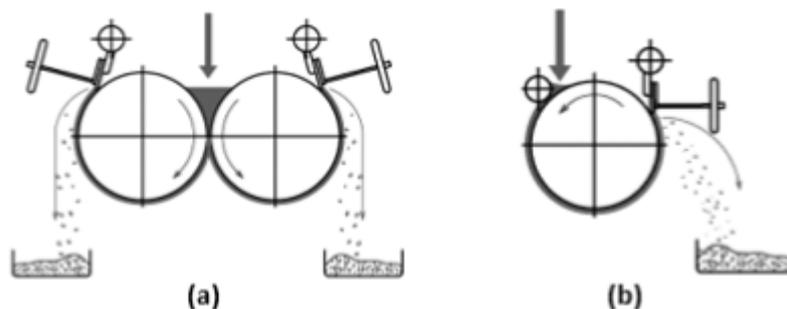


Figura 3.2. Esquema do *drum dryer*: (a) cilindro duplo e (b) cilindro simples (KATSURAGI INDUSTRY, 2018).

Segundo Tang, Feng e Shen (2003) o *drum drying* apresenta vantagens como: capacidade de secar produtos com alta viscosidade, como pastas e gelatinas; flexibilidade para processar diversos produtos em pequena escala; a facilidade na incorporação de coadjuvantes de processo durante a fabricação do purê de secagem; obtenção de produtos com porosidade elevada devido à ebulição do purê quando em contato com o cilindro, contribuindo com a reidratação, entre outras.

Porém o processo apresenta algumas desvantagens, tais como: dificuldade na formação de filme, dependendo da composição do produto; problemas na retirada do filme de produtos obtidos a partir de matéria-prima com alto teor de açúcares; alterações de cor e sabor em produtos devido a queima

durante o contato com o cilindro; além de ser contraindicado para produtos salgados ou corrosivos, podendo haver danificação do cilindro.

O desempenho do processo está relacionado a variáveis controladas durante a operação, dentre as quais: a pressão de vapor, que resultará na temperatura da superfície do cilindro, entre 100 e 170°C (PUA et al., 2010; KAKADE; DAS; ALI, 2011; HENRIQUEZ et al., 2014; CHIA; CHONG, 2015); a velocidade de rotação do cilindro ou tempo de residência, que irá determinar o tempo de contato entre o produto e o cilindro; a espessura da camada aplicada sobre o cilindro; o nível de piscina, que está relacionado com a taxa de alimentação; e o teor de sólidos do material a ser seco (TANG; FENG; SHEN, 2003; GERMER et al., 2018; TONIN et al., 2018).

O *drum drying* tem sido alvo de pesquisas porque apresenta bons resultados ao secar produtos tais como as frutas e hortaliças, mesmo operando em temperaturas elevadas, pois o tempo de exposição do produto às condições de secagem é muito curto. Porém alterações físico-químicas podem ocorrer, como reações de escurecimento não enzimáticas (caramelização e Maillard) e redução do teor de compostos sensíveis ao calor, tais como vitamina C, carotenoides e compostos fenólicos (GALAZ et al., 2017).

A literatura traz resultados de estudos de *drum drying* com matérias-primas a base de hortaliças, como a cenoura (ABONYI et al., 2002), bem como grãos, como o milho verde (ROSENTHAL; SGARBIERI, 1992) e tubérculos, como a batata (KAKADE; DAS; ALI, 2011). Porém são poucos os trabalhos desenvolvidos com purês de frutas, e menos ainda com resíduos agroindustriais.

Os efeitos de dois coadjuvantes (maltodextrina e amido modificado) foram comparados por Prangpru et al. (2015) no *drum drying* de suco de tamarindo, que observaram que a adição de maltodextrina resultava em um produto com melhor qualidade. O método de superfície de resposta foi utilizado por Pua et al. (2010) para otimizar a produção de jaca em pó por *drum drying*. Os pesquisadores relataram que a temperatura do cilindro (pressão de vapor) e o tempo de residência (velocidade de rotação) são parâmetros que exercem grande influência sobre o processo de secagem.

Galaz et al. (2017) obtiveram resultados positivos no estudo da secagem de cascas de romã em secador de cilindro rotativo duplo sem uso de coadjuvantes de processo, reportando que a capacidade antioxidante e os teores

de polifenóis não diminuíram significativamente nas temperaturas testadas (100, 110 e 120°C).

Henríquez et al. (2014) realizaram estudo sobre a cinética de degradação de compostos fenólicos em cascas de maçã, quando submetidas ao *drum drying*, em diferentes temperaturas (110, 120, 130 e 140°C), com tempo de residência de 250 segundos. Os autores observaram que a degradação dos compostos apresentou comportamento de primeira ordem, sendo que a maior temperatura apresentou, conforme esperado, a menor retenção.

3.5 Os coadjuvantes de processo

O uso de coadjuvantes não está ligado apenas aos rendimentos e à eficiência de um processo de secagem, mas tem grande influência, dentre outros aspectos, nas propriedades termoplásticas da matéria-prima, bem como na estabilidade do produto final. Os principais aditivos empregados no *drum drying* são gomas (PUA et al., 2010), amido (PRANGPRU et al., 2015; GERMER et al., 2018; TONIN et al., 2018; VICTORIA et al., 2018), monoesterato de glicerila (MSG) (PRANGPRU et al., 2015; GERMER et al., 2018; TONIN et al., 2018; VICTORIA et al., 2018) e maltodextrina (PRANGPRU et al., 2015; TONIN et al., 2018).

O amido é interessante no *drum drying* porque é pré-gelatinizado durante o processo, facilitando a formação do filme e auxiliando na reidratação do produto obtido (NUNES, 2019). Outro aditivo muito empregado no processo é o monoesterato de glicerila (MSG), que auxilia na formação do filme e evita sua aderência no tambor, facilitando a remoção do mesmo (GERMER et al., 2018).

Victoria et al. (2018) estudaram o preparo do purê de cascas de manga Tommy Atkins para o *drum drying*, avaliando o uso ou não de coadjuvantes. Os autores verificaram a necessidade de adição de água na trituração das cascas em liquidificador industrial, em 1,20 kg de água: kg de cascas. Na sequência, o purê foi homogeneizado em moinho coloidal. O estudo constatou que houve um maior fluxo de massa e um maior rendimento no *drum drying* com o emprego de amido regular (5% b.s.) e monoestearato de glicerila (1% b.s.) como coadjuvantes.

Os resíduos, assim como os frutos utilizados nos processos industriais, apresentam teores elevados de ácidos orgânicos e açúcares, principalmente os

redutores, devido ao estágio avançado de maturação em que normalmente as matérias-primas são empregadas. Essas moléculas apresentam baixo peso molecular, resultando em produtos com alto índice de higroscopicidade e baixa temperatura de transição vítrea (T_g). O uso de coadjuvantes de processo se apresenta também como alternativa para melhorar essas propriedades, pois normalmente tem alto peso molecular, elevando a T_g e melhorando a estabilidade dos pós e flocos durante o armazenamento (JAYA; DAS, 2004).

4. MATERIAL E MÉTODOS

Para atender aos objetivos específicos estabelecidos, o estudo foi dividido nas seguintes etapas: 1) Estudo da caracterização de cascas de manga de diferentes variedades industriais tendo em vista o *drum drying*; 2) Estudo do *drum drying* de cascas de manga; 3) Estudo da caracterização do produto final obtido na região de melhor condição de processo quanto às propriedades físicas, químicas e tecnológicas.

4.1 Estudo da caracterização de cascas de manga de diferentes variedades industriais tendo em vista o *drum drying*

Nessa etapa, foi avaliado o desempenho de quatro variedades de manga, dentre aquelas empregadas na produção de polpa, tendo em vista a produção de um purê para *drum drying*.

4.1.1 Matéria-prima

Foram avaliadas as cascas de quatro variedades de manga: Palmer, Keitt, Haden e Espada Vermelha. Os frutos, adquiridos no mercado de Campinas-SP, eram provenientes do vale de Rio São Francisco (safra 2018). Todas as variedades empregadas no estudo se encontravam em estágio de maturação ideal para o consumo e o armazenamento foi feito a temperatura ambiente em local fresco e arejado até o uso. Os frutos foram selecionados, empregando apenas aqueles livres de defeitos fisiológicos e danos físicos.

4.1.2 Preparo das amostras

Foram avaliadas as cascas dos frutos em três etapas diferentes do processo: cascas em seu estado natural, aqui denominadas “in natura”, cascas após tratamento térmico, aqui denominadas “branqueadas”; e purê preparado para o *drum drying*. As etapas de preparo das amostras seguiram metodologia adaptada de Victoria et al. (2018), que desenvolveram um processo de preparo do purê de cascas de manga (variedade Tommy Atkins) para o *drum drying*. Os frutos (Figura 4.1) passaram por lavagem em água corrente, seguida por imersão

em solução de cloro ativo (150 ppm) por 10 minutos. Na sequência alguns frutos foram separados para obtenção das amostras in natura, que foram reservadas para análise. O restante foi submetido a um tratamento térmico, com água em ebulição (aproximadamente 97°C) durante 90 segundos (Figura 4.2a), simulando etapa realizada na produção industrial de polpa. O objetivo do tratamento é facilitar o descascamento e o despulpamento. As cascas de todos os frutos foram retiradas manualmente (Figura 4.2b) com o auxílio de facas de aço inoxidável, sendo feita uma raspagem com colheres de aço para que uma maior quantidade de polpa fosse removida.

Uma parte das cascas que passou pelo tratamento térmico foi reservada para análise (cascas branqueadas). Outra parte foi triturada em liquidificador de bancada (Arno, MAGC, Brasil), conforme ilustra a Figura 4.2c. Aproximadamente 250 g de casca foram trituradas com adição de 300 g de água, por 150 segundos. A etapa de trituração para obtenção do purê foi realizada no menor tempo possível, visando minimizar a possível degradação dos componentes nutricionais da matéria-prima, uma vez que essa etapa gera calor e incorpora oxigênio.

Após o preparo, as amostras foram separadas e embaladas hermeticamente em sacos plásticos de polietileno de baixa densidade (PEBD) com 0,15 mm de espessura, em quantidade suficiente para as análises propostas. Amostras destinadas às análises de vitamina C, compostos fenólicos, carotenoides totais e β -caroteno foram acondicionados em estruturas de poliéster/alumínio/polietileno de baixa densidade (PET/Al/PEBD) com espessura de 70 μ m. Todas as amostras foram armazenadas em freezer (-18°C) até o momento da análise.

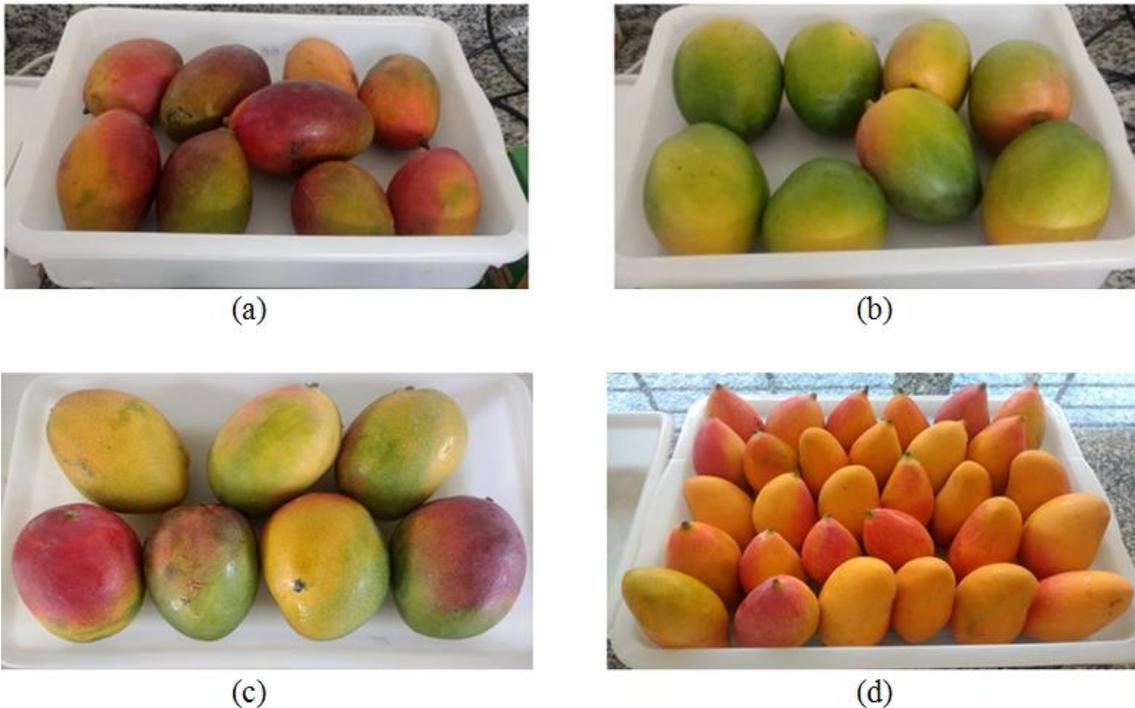


Figura 4.1. Variedades de frutos in natura: (a) Palmer, (b) Keitt, (c) Haden, (d) Espada Vermelha.

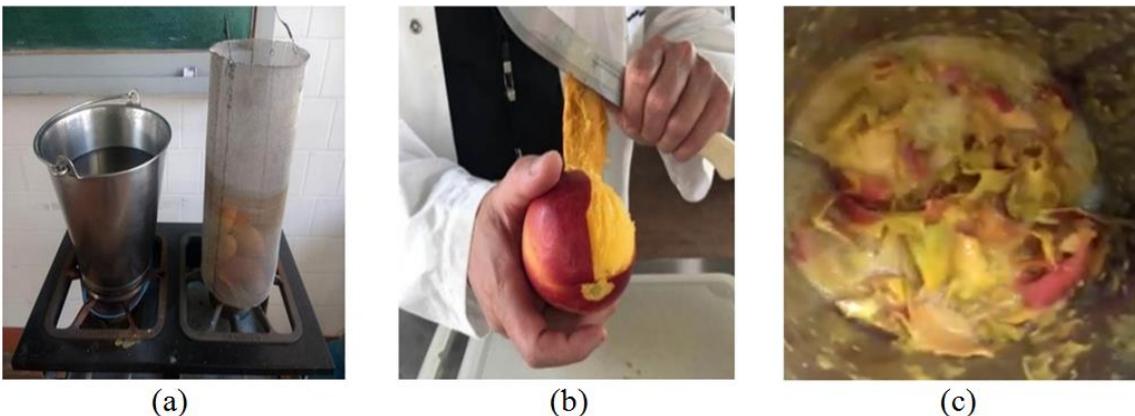


Figura 4.2. Etapas de preparo das amostras: (a) tratamento térmico, (b) descascamento e (c) trituração.

4.1.3 Análises físico-químicas

As análises físico-químicas realizadas nesta etapa foram: atividade de água; teor de umidade; cor instrumental; teores de açúcares redutores, não redutores e totais; capacidade antioxidante (DPPH e ABTS⁺); teor de vitamina C; teor de compostos fenólicos; teor de minerais; teor de fibras alimentares totais, solúveis e insolúveis; teor de carotenoides totais e quantificação de β -caroteno. Também foi determinado o teor de sólidos solúveis das polpas dos frutos e observados os rendimentos de cascas in natura e branqueadas, determinados

em relação à massa inicial de frutas. As metodologias analíticas estão descritas no item 4.4.

4.1.4 Análise estatística

As médias analíticas obtidas nas análises físico-químicas das amostras de casca de manga foram avaliadas estatisticamente, por meio de análise de variância (ANOVA) e pelo teste de Tukey a 5% de significância ($p \leq 0,05$), utilizando o software estatístico Statistica® versão 8.0 (Statsoft Inc., Estados Unidos da América).

4.2 Estudo do *drum drying* de cascas de manga

Esta etapa teve seu planejamento experimental desenvolvido para atender ao segundo objetivo específico do estudo.

4.2.1 Matéria-prima e coadjuvantes de processo

A escolha da variedade de manga empregada nessa etapa foi feita em função das características físicas, químicas e nutricionais avaliadas durante a primeira etapa do estudo.

Aproximadamente 600 kg de manga Palmer foram adquiridos no comércio de Campinas-SP, de um mesmo produtor do vale do Rio São Francisco (safra 2019). Os coadjuvantes de processo empregados no *drum drying* do purê de cascas de manga foram amido regular (Amisol 3408), adquirido da empresa Ingredion Brasil Indústria e Comércio Ltda (Brasil), e monoestearato de glicerila, adquirido da empresa Labsynth Produtos para Laboratórios Ltda (Brasil).

4.2.2 Processo de preparo do purê de cascas

A etapa de preparo do purê para os ensaios de secagem levou quatro dias. Em cada dia de preparo, parte das frutas foi selecionada (aproximadamente 150 kg) conforme o estágio de maturação mais avançado, e processada de acordo com a metodologia de Victoria et al. (2018), descrita no item 4.1.2.

Após o descascamento, parte das cascas branqueadas foi reservada para as análises, quais sejam: teor de umidade; atividade de água; teor de

vitamina C; teor de compostos fenólicos; teor de carotenoides totais; teor de β -caroteno; capacidade antioxidante (DPPH e ABTS⁺) e cor instrumental, conforme metodologias descritas no item 4.4.

A trituração foi realizada em liquidificador industrial com rotação de 3.500 r.p.m. (Skymesen, modelo 1560791, Brasil), com aproximadamente 2,5 kg de casca e 3,0 kg de água em cada batelada, por 150 segundos.

O purê obtido foi dividido em embalagens plásticas de polietileno de baixa densidade (PEBD) com 0,15 mm de espessura, contendo aproximadamente 6 kg. As embalagens com o purê foram armazenadas em freezer a -18°C até a realização dos ensaios de secagem.

4.2.3 Ensaios de secagem

Para cada dia de ensaio de secagem as embalagens de purê foram selecionadas aleatoriamente em quantidade suficiente e armazenadas de véspera (aproximadamente 24 horas) em caixas de isopor para garantir um descongelamento lento, na ausência de luz.

Após o descongelamento o purê passou por uma homogeneização por aproximadamente cinco minutos em moinho coloidal (Meteor, REX 2-AL, Brasil) (Figura 4.4) com vazão de 2.000 L/ h. Nessa etapa foram incorporados os coadjuvantes de processo, 5% (b.s.) de amido regular e 1% (b.s.) de monoestearato de glicerila, visando melhorar as características termoplásticas do filme no secador.



Figura 4.3. Homogeneização do purê de cascas de manga em moinho coloidal.

Os ensaios de secagem foram realizados no secador de cilindro rotativo da Planta Piloto de Desidratados do Fruthotec/ITAL. O *drum dryer* (Richard Simon & Sons, D139, Inglaterra) é um modelo piloto, de cilindro único (Figura 4.5), aquecido internamente com vapor saturado, totalizando 0,5 m² de área de secagem.



Figura 4.4. Equipamento *drum dryer* empregado no estudo.

Baseado no estudo de *drum drying* de polpa de manga, conduzido por Tonin (2017), algumas variáveis de processo foram fixadas: 10 mm de nível de piscina (± 400 mL) e 0,15 mm de espaçamento entre o cilindro de secagem e os cilindros aplicadores. Foi respeitado um tempo de 3 minutos para as amostragens e determinações após o início de cada ensaio, considerando o tempo necessário para que o processo entrasse em regime.

O planejamento experimental foi definido a partir de um delineamento fatorial 2² (duas variáveis independentes em dois níveis) com adição de pontos centrais (3), baseado na Metodologia de Superfície de Resposta (MSR) (RODRIGUES; IEMMA, 2014). Os fatores, ou variáveis de processo empregadas foram: temperatura de processo, que é relacionada à pressão de vapor, e tempo de residência, relacionada à velocidade de rotação do cilindro. A Tabela 4.1 apresenta os valores (níveis) das variáveis independentes de processo empregadas em cada ensaio.

Tabela 4.1. Níveis codificados e decodificados das variáveis de processo no delineamento fatorial do *drum drying* de cascas de manga.

Ensaio	Temperatura (T)	Tempo de residência (t)	Temperatura (°C) / Pressão de Vapor (kgf/cm ²)	Tempo de residência (s)
1	-1	-1	130,6 / 3,8	14
2	1	-1	146,4 / 4,4	14
3	-1	1	130,6 / 3,8	28
4	1	1	146,4 / 4,4	28
5	0	0	138,4 / 4,1	21
6	0	0	138,4 / 4,1	21
7	0	0	138,4 / 4,1	21

As faixas dos parâmetros de processo têm por base os ensaios conduzidos por Victoria et al. (2018), bem como estudo do *drum drying* de polpa de manga, descrito por Tonin (2017).

Foram conduzidos, preliminarmente, dois ensaios de secagem combinando os limites propostos no delineamento em dois binômios (130,6°C/ 28 s e 146,4°C/ 14 s), tendo por objetivo observar a formação de filme nessas condições, bem como definir a operação de fragmentação a ser adotada. Para isso parte dos filmes secos de cada ensaio foi floculado em floculador (Fabbe, S508, Brasil) com peneira de 2,5 mm e parte foi moído em moinho granulador de facas e martelos (Treu, 74064G, Brasil) com abertura de 3,2 mm. Foi analisado o índice de higroscopicidade de cada uma das amostras obtidas nesses ensaios.

Posteriormente os ensaios do delineamento foram realizados. Os ensaios foram conduzidos em dois dias consecutivos, de forma aleatória, empregando aproximadamente 10 kg de purê de cascas de manga em cada um.

Durante cada ensaio foi determinado, em triplicata, o fluxo de massa, segundo a equação 4.1.

$$FM = \frac{m}{A.t} \quad (\text{Eq. 4.1})$$

Onde: FM = fluxo de massa, em kg/ h m²;
m = massa de produto obtida durante o tempo de análise, em kg;
A = área de secagem, em m²;
t = tempo de análise, em horas.

Os filmes de cascas de manga obtidos nos ensaios de secagem passaram por floculação, com peneira de abertura de 2,5 mm, uma vez que essa

operação apresentou o melhor índice de higroscopicidade, conforme será apresentado no item 5.2.2.

As amostras foram divididas, embaladas hermeticamente e acondicionadas à temperatura ambiente em sacos plásticos de polietileno de baixa densidade (PEBD) com 0,15 mm de espessura, em quantidade suficiente para a realização das seguintes análises físico-químicas: atividade de água, teor de umidade, cor instrumental, capacidade antioxidante (DPPH e ABTS⁺), teor de vitamina C, teor de compostos fenólicos, teor de carotenoides totais e teor de β-caroteno. Amostras destinadas às análises de vitamina C, compostos fenólicos, carotenoides totais e β-caroteno foram acondicionados em estruturas de poliéster/alumínio/polietileno de baixa densidade (PET/Al/PEBD) com espessura de 70 μm. As metodologias analíticas estão descritas no item 4.4.

4.2.4 Análise estatística

Conforme já mencionado, as variáveis independentes do delineamento experimental foram a temperatura de processo e o tempo de residência. As respostas do delineamento experimental foram o fluxo de massa médio obtido em cada ensaio, bem como os resultados médios das análises físico-químicas realizadas com os produtos obtidos (item 4.2.3).

As respostas foram analisadas através de regressões múltiplas pelo modelo matemático apresentado na expressão 4.2, empregando-se o Programa Statistica[®] versão 8.0 (Statsoft Inc., Estados Unidos da América).

$$y = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_2 t + \beta_{12} Tt \quad (\text{Eq. 4.2})$$

Onde: y = resposta avaliada.

T = temperatura de processo codificada.

t = tempo de residência codificado.

βx = parâmetros do modelo de regressão.

Os modelos que apresentaram, no ajuste inicial com todos os termos, regressões com coeficiente de determinação (R²) superior a 0,80, e ao menos uma variável independente significativa, no nível de 5% de significância, foram considerados válidos. Na sequência foram eliminados os termos que não apresentaram significância. Os modelos que obtiveram F calculado (F_{calc})

superior ao F tabelado (F_{tab}) e não apresentaram falta de ajuste, no nível de significância de 5%, foram considerados válidos (RODRIGUES; IEMMA, 2014).

4.3 Estudo da caracterização do produto final obtido na região de melhor condição de processo quanto às propriedades físicas, químicas e tecnológicas

Foi realizada uma análise dos modelos matemáticos obtidos, com ajuda das curvas de contorno, para o estabelecimento de uma região de melhor condição de trabalho. Procurou-se, nessa análise, obter condições de processo nas quais as perdas de qualidade da matéria-prima seriam minimizadas, bem como maximizado o fluxo de massa.

Um novo ensaio foi conduzido, em triplicata, seguindo a metodologia dos ensaios anteriores (item 4.2.3), utilizando a mesma matéria-prima em uma das condições de processo inserida na região determinada. Foi determinado o fluxo de massa, em triplicata, em cada uma das repetições do ensaio de secagem.

Os produtos obtidos nesses ensaios foram floculados, embalados e acondicionados, conforme os produtos obtidos nos ensaios anteriores (item 4.2.2), e encaminhados para as seguintes análises físico-químicas: atividade de água; teor de umidade; cor instrumental; capacidade antioxidante (DPPH e ABTS⁺); teor de vitamina C; teor de compostos fenólicos; teor de carotenoides totais; teor de β -caroteno; teor de fibras alimentares totais, solúveis e insolúveis e teor de minerais.

Foram realizadas análises tecnológicas com a mistura dos produtos secos obtidos nas replicatas dos ensaios de secagem, sendo: índice de solubilidade, índice de absorção de água, índice de higroscopicidade, densidade aparente, densidade absoluta e distribuição do tamanho de partículas. As metodologias dessas análises estão descritas no item 4.4.

4.4 Metodologia analítica

4.4.1 Teor de sólidos solúveis (°Brix)

A determinação do teor de sólidos solúveis foi feita em triplicata com refratômetro portátil digital de 0 a 85°Brix (Atago, PAL-A B225259, Japão)

utilizando o suco dos frutos in natura à temperatura ambiente (25°C) obtido por filtração em algodão, de acordo com metodologia descrita em I. A. L. (2008) para produtos de frutas (315/IV).

4.4.2 Atividade de água

A determinação da atividade de água foi realizada em triplicata utilizando o higrômetro digital (Decagon Devices Inc, Aqualab 3 TE, Estados Unidos da América) a $25 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$, conforme descrito em I. A. L. (2008).

4.4.3 Teor de umidade

Para determinação de umidade, feita em triplicata, cerca de 10 g de cada amostra foram submetidas à secagem em estufa a vácuo (Heraeus, RVT 360, Alemanha), com auxílio de bomba de vácuo (Nova Instruments, NI1613 14101046, Brasil), sob temperatura de 70°C, por 24 horas, segundo metodologia (013/IV) adaptada de I. A. L. (2008).

4.4.4 Cor instrumental

A determinação da cor foi feita por leitura direta em colorímetro (Konica-Minolta Sensing Inc., Chromameter CR-400, Japão) programado no sistema CieLab, utilizando o espaço de cores $L^*a^*b^*$ (Figura 4.5a).

Para a análise dos frutos inteiros e dos purês para *drum drying* (acondicionados em tubos de ensaio) foram realizadas 20 leituras em diversos pontos das cascas de diferentes frutos do lote, em função da heterogeneidade natural da matéria-prima. Já para a análise dos flocos obtidos nos ensaios de secagem foram realizadas nove leituras com as amostras acondicionadas em uma placa de Petri.

Os valores de a^* correspondem ao eixo de cores entre o verde e o vermelho e os valores de b^* correspondem ao eixo de cores entre o azul e o amarelo, já os valores de L^* correspondem a luminosidade da amostra, no eixo de cores entre o branco e o preto. Os valores de saturação, chamada de croma (C^*), serão obtidos conforme a equação 4.3 e o ângulo de tom (Hue) conforme

as equações 4.4a, 4.4b, 4.4c. Enquanto C^* representa a intensidade de cor da amostra, Hue permite avaliar a tonalidade da coloração (Figura 4.5b).

$$C^* = \sqrt{((a^*)^2 + (b^*)^2)} \quad (\text{Eq. 4.3})$$

$$\text{Hue} = \begin{cases} \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) & , a^* > 0 \\ 90^\circ & , a^* = 0 \\ 180^\circ + \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) & , a^* < 0 \end{cases} \quad \begin{matrix} (\text{Eq. 4.4a}) \\ (\text{Eq. 4.4b}) \\ (\text{Eq. 4.4c}) \end{matrix}$$

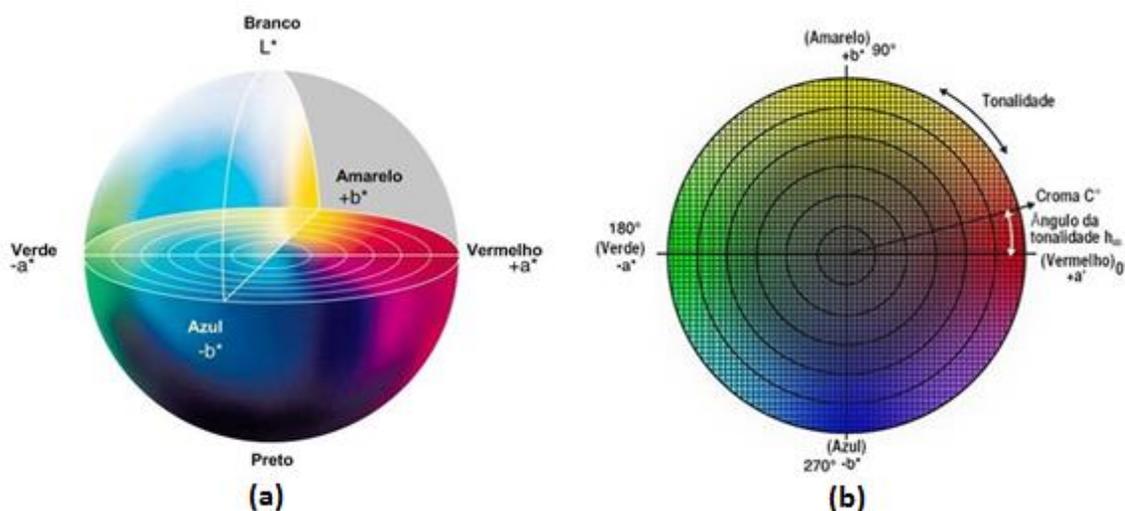


Figura 4.5. Representação do sistema CieLab: (a) espaço de cores $L^*a^*b^*$, (b) parâmetros de cor.

Fonte: www.konicaminolta.com.br. Acesso em 13/09/2018.

4.4.5 Teor de açúcares redutores e totais

Os teores de açúcares foram determinados em triplicata pelo método de Munson e Walker, detalhado por Carvalho et al. (1990). O método baseia-se na redução de íons de cobre bivalente pelos açúcares redutores em meio básico.

Foi realizada extração em água morna e as amostras foram tratadas com ferrocianeto de potássio 0,25 M e acetato de zinco 1 M. Após promover a reação de oxidação com solução de Fehling em ebulição por dois minutos, filtrou-se a vácuo em cadinhos previamente tarados, a fim de reter completamente o precipitado de óxido cuproso, que foram levados à estufa (Heraeus, RVT 360, Alemanha) a 105°C e a massa de CuO_2 foi obtida após uma hora. A quantidade

de glicose correspondente foi determinada por interpolação dos valores apresentados pela Tabela de Hammond. Os açúcares invertidos foram determinados da mesma maneira, porém antes da reação de oxidação é necessário promover a reação de inversão acidificando o meio em banho-maria (70°C) por cinco minutos, esfriando rapidamente e elevando o pH a 4 com uso de hidróxido de sódio 35%.

O teor de açúcares não redutores é determinado por diferença entre os açúcares invertidos e os redutores, com fator de correção de 0,95. Já o teor de açúcares totais é determinado pela soma das médias de açúcares redutores e não redutores.

4.4.6 Teor de Vitamina C

Para determinação do teor de vitamina C, em quadruplicata, foi empregado, após extração prévia com ácido oxálico 2%, o método titulométrico de Tillmans adaptado de I. A. L. (2008) (método 365/IV), que se baseia na redução do 6-diclorofenolindofenol-sódio (DCFI) pelo ácido ascórbico.

4.4.7 Teor de compostos fenólicos

O teor de compostos fenólicos foi determinado em quadruplicata por espectrofotometria, seguindo o método de *Folin-Ciocalteu*, descrito por Benvenuti et al. (2004). O método utiliza acetona 70% para extração dos compostos de forma sequencial tripla, com auxílio de triturador (TECNAL, TE-102, Brasil) para homogeneização da amostra por 90 segundos, seguido por filtração a vácuo com auxílio de bomba (Cole Parmer, DAA Shown, Estados Unidos da América), ajustando o volume final de extrato para 100 mL. A curva padrão de ácido gálico foi feita com concentrações entre 40 e 200 µg/ mL e as leituras da absorbância foram realizadas em um comprimento de onda de 750 nm em espectrofotômetro (Agilent Technologies, Cary 60 MY13110012, Estados Unidos da América).

4.4.8 Teor de carotenoides totais e quantificação do β -caroteno

A avaliação do teor de carotenoides foi realizada, em duplicata, por espectrofotometria, atingindo comprimento de onda de absorção máxima do β -caroteno (453 nm), utilizando coeficiente de absorção de 2592, adaptado do método descrito por Carvalho, Collins e Rodriguez-Amaya (1992).

Os carotenoides presentes em 1 g de amostra foram extraídos com 30 mL de acetona, de forma sequencial, com auxílio de um desintegrador (Marconi, MA 102, Brasil), até que a amostra apresentasse coloração entre palha e branco. Os pigmentos foram transferidos para 50 mL de éter de petróleo e seguiram para leitura em espectrofotômetro (Varian, Cary 50, Estados Unidos da América).

Cromatografia líquida de alta eficiência foi utilizada para a quantificação, em duplicata, do β -caroteno, em sistema de eluição isocrático, com fase móvel formada por acetonitrila:metanol:acetato de etila:triethylamina (72,95:20:07:0,05, v/v/v/v), com vazão de 1,5 mL/ min e monitoração a 450 nm. Foram utilizados cromatógrafo (Agilent, Infinity 1260, Estados Unidos da América), coluna analítica (Merck, LiChrospher 100RP-18. 125 x 4 mm, 5 μ m, Estados Unidos da América) e padronização externa com β -caroteno (Sigma-Aldrich, C4582, Estados Unidos da América), segundo método descrito por Tonin (2017).

4.4.9 Atividade antioxidante

A atividade antioxidante foi avaliada, em quadruplicata, segundo dois métodos: o primeiro método é baseado em decréscimo de absorbância a 515 nm, causado pela captura do radical 2,2-difenil-1-picril-hidrazila (DPPH) em metanol 80%, pelos antioxidantes presentes, determinada por espectrofotômetro (Agilent Technologies, Cary 60 MY13110012, Estados Unidos da América), segundo metodologia adaptada de Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995), com curva de calibração feita com solução de Trolox (25 mg/ 50 mL) em metanol 80% nas diluições de 50; 100; 200; 400; 600 e 800 μ mol/ L.

Já o segundo método, proposto por Rufino et al. (2007), se baseia na inibição da absorbância do cátion-radical 2,2'-azino-bis (ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico), sal diamônio (ABTS⁺) em álcool etílico absoluto, com leitura da absorbância em um comprimento de onda de 734 nm, determinada também por espectrofotometria, com curva de calibração feita com

solução de Trolox (25 mg/ 50 mL) em metanol 80% nas diluições de 50; 200; 500; 1000 e 1500 $\mu\text{mol/L}$.

A extração de compostos para o procedimento de ambos os métodos foi feita de forma sequencial tripla, utilizando acetona 70%. As amostras foram homogeneizadas em triturador (TECNAL, TE-102, Brasil) por 90 segundos, filtradas a vácuo com auxílio de bomba (Cole Parmer, DAA Shown, Estados Unidos da América) e o volume final foi ajustado para 100 mL.

4.4.10 Teor de fibras alimentares totais, solúveis, insolúveis

O teor de fibras solúveis, insolúveis e totais foi determinado, em duplicata, segundo o método enzimático-gravimétrico adaptado de Prosky et al. (1992), onde as amostras previamente moídas são submetidas à digestão enzimática com amilase, protease e amiloglicosidase, respectivamente, sendo que em cada etapa da digestão o pH e a temperatura são ajustados e é mantida agitação para melhorar a eficiência.

O resíduo da digestão é ou imediatamente filtrado para se obter a fração insolúvel ou sofre precipitação com uso de etanol para se obter o teor de fibras totais. A fração solúvel é determinada por diferença entre as duas frações descritas anteriormente. Cada resíduo passou por análise de cinzas e proteínas para que os teores de fibras determinados fossem corrigidos. As análises foram realizadas em duplicata, totalizando quatro, além das provas em branco.

4.4.11 Teor de minerais

Para a determinação dos minerais foi utilizado o método de preparo de amostras empregando a digestão ácida em sistema fechado assistido por de micro-ondas (HORWITZ, 2010), onde foram pesados entre 250 e 500 mg das amostras em copos de teflon, adicionados 8,0 mL de ácido nítrico 65% purificado por destilação *sub-boiling* e 2,0 mL de peróxido de hidrogênio 30% (Merck, Alemanha). A digestão foi realizada num digestor de micro-ondas (Start D, Milestone, Itália) usando seis estágios com aplicação de 1000 W de potência: (1) 5 minutos até 70°C; (2) 2 minutos à 70°C; (3) 3 minutos até 120°C; (4) 2 minutos à 120°C; (5) 10 minutos até 170°C; (6) 15 minutos à 170°C e, por fim, 30 minutos de ventilação. O conteúdo digerido foi diluído para 25 mL utilizando água

deionizada por osmose reversa (Gehaka, Brasil). As análises foram realizadas em triplicata e os resultados foram subtraídos dos brancos analíticos.

A quantificação dos minerais foi realizada usando um espectrômetro de emissão ótica com fonte de plasma com acoplamento indutivo (Agilent Technologies, modelo 5100 VDV ICP OES, Japão), usando as visões axial e radial, equipado com uma fonte de radiofrequência (RF) de estado sólido de 27 MHz, composto por um detector óptico sequencial, uma bomba peristáltica, uma câmara de nebulização ciclônica de duplo passo e um nebulizador concêntrico *seaspray*. O sistema utiliza como gás de plasma o argônio líquido com pureza mínima de 99,996% (Air Liquide, Brasil). A quantificação dos elementos inorgânicos foi realizada em condições otimizadas de fluxo de argônio, potência e comprimentos de onda. Curvas analíticas multielementares foram preparadas por diluição sucessiva de soluções-padrão de concentração de 10.000 mg/ L (Merck, Alemanha), de 1.000 e de 100 mg/ L (Specsol-Quimlab, Brasi) para os elementos estudados em solução de ácido clorídrico 5% (v/v).

4.4.12 Índice de solubilidade e índice de absorção de água

Para a determinação do índice de solubilidade foi adicionado em um tubo de centrífuga (Beckman, avanti J-25, Estados Unidos da América) previamente tarado 1 g de amostra e 30 mL de água destilada. O tubo foi agitado em agitador de tubos (Art Lab, HS22, Brasil) por 30 minutos, seguida de centrifugação a 3000 xg por 10 minutos. Então todo sobrenadante foi drenado e uma alíquota de 10 mL foi colocada em estufa (Solab, SL 104/27, Brasil) por 5 horas a 105°C e o resíduo do tubo é pesado. O índice de solubilidade, expresso em porcentagem, e a capacidade de absorção de água, expressa em g/ g, foram obtidos por diferença de peso, segundo o método adaptado de Eastmane Moore (1984), citado por Cano-Chauca et al. (2005). As análises foram realizadas em quadruplicata.

4.4.13 Índice de higroscopicidade

A análise, realizada em quadruplicata, consiste em acondicionar 1 g de amostra em um recipiente hermeticamente fechado contendo solução saturada de NaCl, que mantém a umidade relativa em 75,29% a 25°C, e, após uma

semana, retirar e pesar as amostras. O índice de higroscopicidade, expresso em g de água adsorvida por 100 g de massa seca de amostra, foi determinado a partir de metodologia adaptada de Cai e Corke (2000).

4.4.14 Densidade aparente e densidade absoluta

Adaptando a metodologia de Goula e Adamopoulos (2004), a densidade aparente foi determinada, em quadruplicata, verificando a massa de amostra que ocupa o volume máximo de uma proveta graduada de 10 mL.

A densidade absoluta, realizada em quadruplicata, foi obtida a 25°C, em picnômetros previamente tarados e secos, pesando 2 g de amostra diretamente na vidraria, utilizando etanol como líquido imiscível, conforme descrito em I. A. L. (2008).

4.4.15 Diâmetro médio, distribuição de tamanho e *span*

O diâmetro médio (D_{50}) e a distribuição do tamanho de partículas foram obtidos por difração a laser utilizando o equipamento Partica (Horiba, modelo LA 950 V2, Japão), em via úmida, com dispersão em álcool etílico absoluto, seguindo a metodologia proposta por Alvim et al. (2016), realizando seis leituras.

O *span* foi obtido através da equação 4.5, onde os valores de D_{10} e D_{90} , que representam os diâmetros de partículas da amostra referentes as frequências acumuladas de 10% e 90%, respectivamente, foram fornecidos pelo equipamento.

$$IPD = (D_{90} - D_{10})/D_{50} \quad (\text{Eq. 4.5})$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização de cascas de manga de diferentes variedades industriais tendo em vista o *drum drying*

O estágio de maturação dos frutos nos ensaios de caracterização foi estimado pelo teor de sólidos solúveis da polpa. Os seguintes teores foram observados: $20,3 \pm 0,1^{\circ}\text{Brix}$ na variedade Palmer, $18,0 \pm 0,1^{\circ}\text{Brix}$ na variedade Keitt, $17,3 \pm 0,3^{\circ}\text{Brix}$ na variedade Haden e $17,1 \pm 0,3^{\circ}\text{Brix}$ na variedade Espada Vermelha. Sugai (2002) reportou valores inferiores de teores de sólidos solúveis para sete variedades de manga (Amarelinha, Extrema, Haden, Rubi, Sabina, Ubá e Ubari) cultivadas em Lavras-MG, na faixa de $10,9^{\circ}\text{Brix}$ (Haden) a $16,8^{\circ}\text{Brix}$ (Ubá). O resultado obtido no presente trabalho sugere que os frutos empregados estavam em estágio adiantado de maturação, portanto, apropriados para a produção industrial de polpa.

A Tabela 5.1 apresenta os rendimentos obtidos no descascamento dos frutos, sem e com o tratamento térmico.

Tabela 5.1. Rendimentos de cascas das diferentes variedades de manga obtidos no descascamento, sem e com o tratamento térmico.

Variedades	Sem tratamento térmico (%)	Com tratamento térmico (%)
Palmer	13,19	12,15
Keitt	13,31	12,01
Haden	13,53	11,61
Espada Vermelha	13,66	11,09

Rendimento calculado em relação à massa inicial de frutas.

Os rendimentos de cascas apresentados pelas variedades estudadas foram muito semelhantes, tanto no descascamento dos frutos in natura, quanto naqueles que passaram por tratamento térmico. Os valores de rendimento de cascas dos frutos in natura estão dentro da faixa reportada por André et al. (2014), de 12 a 15%. Por sua vez, o menor rendimento observado nos frutos branqueados é devido a uma maior eficiência na separação entre cascas e polpa após o tratamento térmico. Essa operação é praticada na indústria e tem por objetivo uma maior produção de polpa.

A atividade de água, o teor de umidade, o teor de sólidos totais e o teor de açúcares redutores e totais das cascas das variedades estudadas, nas diferentes etapas de preparo, estão apresentados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2. Atividade de água, teor de umidade, teor de sólidos totais e teor de açúcares redutores e totais das cascas das variedades de manga estudadas, nas diferentes etapas de preparo.

		Palmer	Keitt	Haden	Espada Vermelha
Atividade de água	In natura	0,985 ± 0,002 ^{b;B,C}	0,982 ± 0,002 ^{c;C}	0,989 ± 0,001 ^{b;A,B}	0,992 ± 0,001 ^{b;A}
	Branqueada	0,975 ± 0,001 ^{c;B}	0,986 ± 0,001 ^{b;A}	0,988 ± 0,001 ^{b;A}	0,989 ± 0,001 ^{c;A}
	Purê	0,996 ± 0,001 ^{a;A}	0,996 ± 0,001 ^{a;A}	0,998 ± 0,002 ^{a;A}	0,997 ± 0,001 ^{a;A}
Teor de umidade (%)	In natura	73,97 ± 0,42 ^{b;C}	75,37 ± 0,15 ^{b;B}	76,28 ± 0,13 ^{b;A}	76,51 ± 0,27 ^{b;A}
	Branqueada	71,02 ± 0,24 ^{c;C}	74,72 ± 0,03 ^{c;A}	73,94 ± 0,19 ^{c;B}	73,76 ± 0,20 ^{c;B}
	Purê	90,69 ± 0,40 ^{a;A}	88,63 ± 0,34 ^{a;B}	88,22 ± 0,12 ^{a;B}	87,96 ± 0,09 ^{a;B}
Teor de sólidos totais (%)	In natura	26,03 ± 0,42 ^{b;A}	24,63 ± 0,15 ^{b;B}	23,72 ± 0,13 ^{b;C}	23,49 ± 0,27 ^{b;C}
	Branqueada	28,98 ± 0,24 ^{a;A}	25,28 ± 0,03 ^{a;C}	26,06 ± 0,19 ^{a;B}	26,24 ± 0,20 ^{a;B}
	Purê	9,31 ± 0,40 ^{c;B}	11,37 ± 0,34 ^{c;A}	11,78 ± 0,12 ^{c;A}	12,04 ± 0,09 ^{c;A}
Teor de açúcares redutores (g/ 100 g b.s.)	In natura	12,47 ± 0,38 ^{b;C}	25,06 ± 2,12 ^{a;A}	18,56 ± 2,10 ^{a;B}	9,35 ± 0,45 ^{a;C}
	Branqueada	15,39 ± 1,13 ^{a;B}	21,27 ± 0,55 ^{b;A}	14,56 ± 0,51 ^{b;B}	9,48 ± 0,33 ^{a;C}
	Purê	11,92 ± 0,06 ^{b;B}	18,60 ± 0,10 ^{b;A}	15,22 ± 0,11 ^{b;A}	9,72 ± 1,72 ^{a;B}
Teor de açúcares totais (g/ 100 g b.s.)	In natura	36,70 ± 0,39 ^{a;A}	50,40 ± 0,74 ^{a;A}	53,58 ± 0,67 ^{a;A}	39,43 ± 2,87 ^{a;A}
	Branqueada	48,82 ± 3,46 ^{a;A}	46,97 ± 2,19 ^{a;A}	41,28 ± 1,66 ^{a;A}	33,02 ± 7,44 ^{a;A}
	Purê	58,18 ± 3,41 ^{a;A}	42,52 ± 4,28 ^{a;A}	57,09 ± 19,29 ^{a;A}	35,76 ± 6,94 ^{a;A}

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna representam diferença significativa entre os tratamentos de uma mesma variedade de manga ($p \leq 0,05$), pelo teste de Tukey.

Letras maiúsculas diferentes na mesma linha representam diferença significativa entre as variedades de manga em um mesmo tratamento ($p \leq 0,05$), pelo teste de Tukey.

A alta atividade de água das amostras evidencia que as cascas são altamente susceptíveis ao crescimento microbiano. Nesse contexto, o aproveitamento do resíduo gerado do processamento de polpa de manga deve ser rápido, evitando assim sua deterioração. Por outro lado, na impossibilidade disso, o transporte e o armazenamento das cascas devem ser refrigerados, implicando custos maiores.

Nota-se, na Tabela 5.2, que houve um decréscimo significativo ($p \leq 0,05$) do teor de umidade da casca, em todas as variedades, com o tratamento térmico. Possivelmente, o resultado se deve, conforme anteriormente já colocado, ao descascamento realizado, que resultou em menor massa de polpa aderida à casca, uma vez que a polpa da fruta apresenta valor de umidade mais elevado do que a casca. Segundo Marques et al. (2010), a polpa de manga Tommy Atkins apresentou teor de umidade de aproximadamente 82%, enquanto a casca 79%.

A partir da análise estatística, verificou-se que a variedade Palmer apresentou teor de sólidos totais significativamente superior ($p \leq 0,05$) às demais variedades nas amostras de cascas in natura e branqueadas. Conforme esperado, os teores de sólidos totais dos purês são significativamente inferiores aos determinados nas cascas, uma vez que foi feita adição de água às cascas no preparo do mesmo.

No geral, frutos mais maduros e, portanto, com maiores teores de sólidos solúveis, principalmente açúcares, são empregados no processamento industrial, tendo em vista maiores rendimentos e melhor desempenho sensorial (RAVANI; JOSHI, 2013). No entanto, a presença de açúcares redutores, tais como glicose e frutose, pode prejudicar propriedades tecnológicas de produtos desidratados, tais como o índice de higroscopicidade (JAYA; DAS, 2004). Observa-se na Tabela 5.2, que as cascas in natura e os purês das variedades Keitt e Haden apresentaram os maiores teores de açúcares redutores, com diferença significativa das demais variedades ($p \leq 0,05$), enquanto a variedade Espada Vermelha apresentou os menores teores, em todas as etapas do processo.

A Tabela 5.3 mostra os parâmetros de cor instrumental (L^* , a^* , b^* , C^* e Hue) obtidos na avaliação das cascas das variedades estudadas, nas diferentes etapas de preparo para *drum drying*.

Tabela 5.3. Parâmetros de cor instrumental (L*, a*, b*, C* e Hue) das cascas das variedades de manga estudadas, nas diferentes etapas de preparo.

		Palmer	Keitt	Haden	Espada Vermelha
L*	In natura	43,47 ± 6,83 ^{c;C}	54,89 ± 4,86 ^{b;B}	56,60 ± 8,86 ^{a;B}	65,25 ± 4,07 ^{a;A}
	Branqueada	48,36 ± 5,68 ^{b;C}	59,80 ± 6,48 ^{a;B}	55,71 ± 6,13 ^{a;B}	66,76 ± 4,20 ^{a;A}
	Purê	53,11 ± 2,47 ^{a;A,B}	48,95 ± 0,90 ^{c;B}	54,42 ± 0,51 ^{a;A}	53,12 ± 0,62 ^{b;A,B}
a*	In natura	15,00 ± 12,53 ^{a;A}	-12,00 ± 5,61 ^{b;C}	-0,75 ± 12,98 ^{a;B}	20,88 ± 5,39 ^{a;A}
	Branqueada	17,65 ± 8,10 ^{a;A}	-2,49 ± 4,04 ^{a;B}	4,47 ± 9,57 ^{a;B}	13,33 ± 5,05 ^{a;A}
	Purê	7,09 ± 1,16 ^{b;A}	-3,40 ± 0,36 ^{a;B}	-1,35 ± 0,32 ^{a;B}	9,62 ± 0,49 ^{a;A}
b*	In natura	29,18 ± 9,95 ^{b;C}	37,92 ± 8,66 ^{a;B}	36,60 ± 11,51 ^{a;B}	53,13 ± 2,53 ^{a;A}
	Branqueada	33,05 ± 8,12 ^{b;B}	39,46 ± 6,35 ^{a;B}	36,72 ± 10,21 ^{a;B}	53,93 ± 6,21 ^{a;A}
	Purê	50,56 ± 4,04 ^{a;A}	35,35 ± 1,30 ^{a;C}	38,90 ± 0,71 ^{a;B,C}	44,89 ± 1,04 ^{b;A,B}
C*	In natura	35,42 ± 8,30 ^{b;B}	40,29 ± 7,94 ^{a;B}	39,23 ± 9,55 ^{a;B}	57,34 ± 2,17 ^{a;A}
	Branqueada	38,77 ± 5,16 ^{b;B}	39,76 ± 6,17 ^{a;b;B}	38,66 ± 7,91 ^{a;B}	55,90 ± 4,86 ^{a;A}
	Purê	51,07 ± 4,07 ^{a;A}	35,52 ± 1,30 ^{b;B}	38,93 ± 0,71 ^{a;B}	45,91 ± 1,06 ^{b;A}
Hue	In natura	62,26 ± 22,87 ^{b;C}	108,04 ± 10,82 ^{a;A}	87,72 ± 24,67 ^{a;B}	68,60 ± 5,56 ^{b;C}
	Branqueada	61,03 ± 15,69 ^{b;C}	93,89 ± 6,53 ^{b;A}	80,83 ± 19,23 ^{a;A,B}	75,68 ± 6,85 ^{a;B}
	Purê	82,02 ± 1,15 ^{a;B,C}	95,51 ± 0,60 ^{b;A}	91,99 ± 0,46 ^{a;A,B}	77,90 ± 0,55 ^{a;C}

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna representam diferença significativa entre os tratamentos de uma mesma variedade de manga ($p \leq 0,05$), pelo teste de Tukey.

Letras maiúsculas diferentes na mesma linha representam diferença significativa entre as variedades de manga em um mesmo tratamento ($p \leq 0,05$), pelo teste de Tukey.

Observa-se, na Tabela 5.3, que o tratamento térmico conferiu um aumento significativo ($p \leq 0,05$) de luminosidade (L^*) para as cascas das variedades Palmer e Keitt, proporcionando maior brilho às mesmas.

As variedades Palmer e Espada Vermelha apresentaram tons avermelhados significativamente ($p \leq 0,05$) mais intensos ($a^* > 0$) que as demais variedades em todas as etapas, enquanto as cascas in natura da variedade Keitt apresentaram tons mais esverdeados ($a^* < 0$).

Coloração amarelada mais intensa ($b^* > 0$) foi observada nas cascas da variedade Espada Vermelha, com diferença significativa ($p \leq 0,05$) das demais variedades nas amostras in natura e branqueadas. Já os purês das variedades Palmer e Espada Vermelha apresentaram tons de amarelo significativamente superiores ($p \leq 0,05$) aos purês das demais variedades.

Benevides et al. (2008) afirmam que em mangas, os valores elevados do parâmetro cromático b^* (azul-amarelo) sugerem a prevalência de carotenoides sobre outros pigmentos.

Quanto aos resultados de C^* , observa-se que o purê obtido com as cascas da variedade Palmer apresentou aumento significativo ($p \leq 0,05$) de intensidade de cor, quando comparado às cascas in natura e branqueadas. Esse comportamento não foi observado nas outras variedades avaliadas. Os purês das variedades Palmer e Espada Vermelha apresentaram maior intensidade de cor (C^*), significativamente diferentes ($p \leq 0,05$) das demais.

Os resultados de ângulo de tom (Hue) dos purês mostram, por sua vez, que após a trituração, a tonalidade convergiu para uma coloração mais amarelada, em todas as variedades. O comportamento provavelmente esteja relacionado à pequena quantidade de polpa ainda aderida às cascas. No entanto, apenas na variedade Palmer houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre a casca branqueada e o purê.

Tonin (2017) reportou, em um estudo sobre o *drum drying* de polpa de manga, os seguintes parâmetros aproximados de cor para a matéria-prima: $L^* = 49,9$; $a^* = 3,7$; $b^* = 36$; $C^* = 36,3$. Os valores se aproximam das propriedades dos purês de cascas das variedades de manga apresentados nas Tabelas 5.3. Esse comportamento sugere que o produto seco em cilindro rotativo a partir das cascas das variedades investigadas possivelmente venha a apresentar uma

coloração semelhante a do produto da secagem de polpa de manga pelo mesmo processo.

Os resultados das análises de teores de vitamina C e compostos fenólicos e de capacidade antioxidante, obtidos pelos dois métodos de quantificação, das cascas das variedades estudadas, nas diferentes etapas de preparo, estão apresentados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4. Teores de vitamina C, compostos fenólicos e capacidade antioxidante das cascas das variedades de manga estudadas, nas diferentes etapas de preparo.

		Palmer	Keitt	Haden	Espada Vermelha
Vitamina C (mg/ 100 g b.s.)	In natura	430,31 ± 1,05 ^{b;A}	156,54 ± 0,80 ^{c;C}	193,86 ± 1,41 ^{a;B}	143,47 ± 0,73 ^{c;D}
	Branqueada	417,04 ± 1,50 ^{c;A}	180,01 ± 1,28 ^{a;C}	30,51 ± 0,67 ^{b;D}	200,87 ± 1,25 ^{a;B}
	Purê	552,75 ± 1,89 ^{a;A}	159,84 ± 0,00 ^{b;B}	11,87 ± 0,00 ^{c;D}	154,85 ± 2,71 ^{b;C}
Compostos fenólicos (mg AGE/ 100 g b.s.)	In natura	3053,14 ± 88,90 ^{c;C}	2620,54 ± 48,48 ^{b;D}	3350,04 ± 97,55 ^{b;B}	5462,24 ± 67,17 ^{b;A}
	Branqueada	4823,66 ± 58,04 ^{b;C}	3023,41 ± 106,29 ^{a;D}	5364,57 ± 64,55 ^{a;A}	5060,95 ± 33,47 ^{c;B}
	Purê	6679,44 ± 145,53 ^{a;A}	2761,75 ± 89,77 ^{b;D}	5279,17 ± 115,02 ^{a;C}	6385,44 ± 56,71 ^{a;B}
Capacidade antioxidante ABTS⁺ (μmol TE/ g b.s.)	In natura	274,94 ± 11,33 ^{b;B}	266,96 ± 5,13 ^{b;B}	301,68 ± 12,43 ^{b;B}	450,82 ± 6,33 ^{b;A}
	Branqueada	336,85 ± 13,84 ^{a;B,C}	314,70 ± 6,49 ^{a;C}	374,62 ± 15,40 ^{a;B}	472,82 ± 7,46 ^{b;A}
	Purê	208,00 ± 47,34 ^{c;B,C}	259,17 ± 9,78 ^{b;B}	164,40 ± 37,42 ^{c;C}	547,24 ± 36,65 ^{a;A}
Capacidade antioxidante DPPH (μmol TE/ g b.s.)	In natura	276,36 ± 7,60 ^{b;C}	250,14 ± 8,73 ^{b;D}	303,23 ± 8,34 ^{b;B}	554,87 ± 5,18 ^{b;A}
	Branqueada	262,68 ± 2,51 ^{b;C}	275,35 ± 4,58 ^{a;B,C}	292,13 ± 2,79 ^{b;B}	576,32 ± 19,95 ^{b;A}
	Purê	432,53 ± 9,68 ^{a;B}	268,55 ± 15,06 ^{b;D}	341,86 ± 7,65 ^{a;C}	722,46 ± 15,96 ^{a;A}

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna representam diferença significativa entre os tratamentos de uma mesma variedade de manga ($p \leq 0,05$), pelo teste de Tukey.

Letras maiúsculas diferentes na mesma linha representam diferença significativa entre as variedades de manga em um mesmo tratamento ($p \leq 0,05$), pelo teste de Tukey.

Observa-se na Tabela 5.4 que a variedade Palmer apresentou, nas diferentes etapas, teor de vitamina C significativamente superior ($p \leq 0,05$) em comparação as demais variedades. Silva et al. (2009) reportaram teor de vitamina C de 15,7 mg/ 100 g, em base úmida, para a polpa da mesma variedade, utilizando o mesmo método de quantificação. No presente trabalho, o teor de vitamina C em base úmida da casca in natura da variedade Palmer é de aproximadamente 112 mg/ 100 g. O resultado mostra, portanto, que o teor de vitamina C da casca dessa variedade é muito superior ao teor da polpa.

Observa-se que houve uma redução significativa ($p \leq 0,05$) do teor de vitamina C nas cascas da variedade Haden no preparo do purê, diferentemente das demais. Possivelmente, suas estruturas vegetais, bem como sua composição, não ofereceram proteção suficiente à molécula de vitamina C contra a oxidação e a degradação nos processos de branqueamento e trituração.

A variedade Palmer apresentou aumento significativo ($p \leq 0,05$) do teor de vitamina C com o preparo do purê, em relação as cascas in natura e branqueadas, diferentemente das demais variedades. Possivelmente o comportamento se deve a maior disponibilização dos constituintes com a quebra das estruturas celulares, além de maior facilidade de extração nos procedimentos analíticos (SANTOS; SILVA, 2008).

Quanto aos compostos fenólicos, observa-se que as cascas branqueadas apresentaram teor significativamente superior ($p \leq 0,05$) quando comparado com as cascas in natura, com exceção da variedade Espada Vermelha. Tal comportamento pode ser devido à provável disponibilização dos compostos com o branqueamento térmico, facilitando a extração dos mesmos no procedimento analítico, conforme já comentado para outros constituintes. Apenas a variedade Keitt apresentou redução significativa ($p \leq 0,05$) do teor dos compostos fenólicos com o preparo do purê, possivelmente devido a reações de oxidação enzimáticas e/ou degradação térmica (HENRÍQUEZ et al., 2010).

Apesar das cascas in natura da variedade Espada Vermelha apresentar teor de compostos fenólicos significativamente superior ($p \leq 0,05$) às demais variedades, após as etapas de preparo, o teor do purê da variedade Palmer foi significativamente superior ($p \leq 0,05$) aos dos outros purês. Nessa variedade pode ter ocorrido maior formação e menor degradação desses compostos durante as etapas de branqueamento e trituração. Germer et al. (2018)

reportaram teor de compostos fenólicos de aproximadamente 606 mg AGE/ 100 g b.s. em polpa comercial de manga obtida das variedades Tommy Atkins e Ubá, empregando o mesmo método de quantificação. O valor é muito inferior, portanto, aos resultados apresentados para as cascas das variedades de manga avaliadas nas diferentes etapas do presente estudo.

A variedade Espada Vermelha apresentou a maior capacidade antioxidante, significativamente superior ($p \leq 0,05$) as demais variedades, em todas as etapas do processo. Quando quantificada pelo método ABTS⁺ a capacidade antioxidante apresentou aumento significativo ($p \leq 0,05$) com o branqueamento nas variedades Palmer, Keitt e Haden. No entanto, quando a capacidade antioxidante foi quantificada pelo método DPPH houve aumento significativo ($p \leq 0,05$) com o preparo do purê nas variedades Palmer, Haden e Espada Vermelha. Possivelmente durante essas etapas do processo tenha ocorrido uma disponibilização de agentes precursores, formando novas moléculas antioxidantes (QUE et al., 2008).

Sampaio et al. (2019) reportaram os seguintes valores de capacidade antioxidante para cascas de manga utilizando o método DPPH: 631,89 $\mu\text{mol TE/ g b.s.}$ para a variedade Coité; 478,11 $\mu\text{mol TE/ g b.s.}$ para a variedade Mallika; 439,95 $\mu\text{mol TE/ g b.s.}$ para a variedade Rosa; e 402,06 $\mu\text{mol TE/ g b.s.}$ para a variedade Tommy Atkins.

Germer et al. (2018) reportaram, para polpa de manga comercial obtida das variedades Tommy Atkins e Ubá, os seguintes valores de capacidade antioxidante: 73,27 $\mu\text{mol TE/ g b.s.}$ (ABTS⁺); 42,61 $\mu\text{mol TE/ g b.s.}$ (DPPH). Os valores são inferiores aos resultados apresentados para as cascas das variedades de manga avaliadas nas diferentes etapas desse estudo.

A Tabela 5.5 apresenta os resultados dos teores de carotenoides totais e β -caroteno das cascas in natura das variedades estudadas.

Tabela 5.5. Teores de carotenoides totais e β -caroteno das cascas in natura das variedades estudadas.

Variedades	Carotenoides totais (mg/ 100 g b.s.)	β-caroteno (mg/ 100 g b.s.)
Palmer	9,78 \pm 1,01 ^b	2,76 \pm 0,13 ^c
Keitt	15,80 \pm 0,16 ^b	6,02 \pm 0,41 ^b
Haden	12,21 \pm 0,79 ^b	4,59 \pm 0,46 ^{b,c}
Espada Vermelha	46,34 \pm 5,85 ^a	26,37 \pm 1,46 ^a

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna representam diferença significativa entre as variedades de manga ($p \leq 0,05$), pelo teste de Tukey.

As cascas da variedade Espada Vermelha apresentaram teores de carotenoides totais e β -caroteno significativamente superiores ($p \leq 0,05$) aos apresentados pelas demais variedades. Conforme anteriormente mostrado (Tabela 5.3), as cascas in natura da variedade Espada Vermelha apresentaram o parâmetro cromático b^* (azul/amarelo) significativamente superior ($p \leq 0,05$) ao observado para as demais variedades. O comportamento, portanto, corrobora a observação anteriormente feita, de que o valor do parâmetro cromático b^* está relacionado a predominância desses pigmentos. Ajila et al. (2007) quantificaram carotenoides totais em cascas de variedades de mangas verdes e maduras típicas da Índia. Os autores observaram em cascas verdes das variedades Raspuri e Badami teores inferiores aos obtidos no presente estudos, de 7,35 e 8,1 mg/ 100 g b.s., respectivamente. Entretanto, para as cascas dos frutos maduros da variedade Raspuri, o trabalho reportou teor de carotenoides totais de 43,6 mg/ 100 g b.s., semelhante ao determinado para a variedade Espada Vermelha.

As cascas da variedade Espada Vermelha apresentaram teor de β -caroteno em base úmida de 6,19 mg/ 100 g. O valor é superior ao reportado por Mata et al. (2011) na polpa de frutos maduros da variedade Ubá, de 3,57 mg/ 100 g, em base úmida. Esses resultados reforçam a afirmação inicial de que as cascas de manga apresentam maiores quantidades de compostos bioativos do que a polpa da fruta.

A Tabela 5.6 apresenta os teores de fibras totais, solúveis e insolúveis das cascas in natura das variedades de manga estudadas.

Tabela 5.6. Teores de fibras alimentares das cascas in natura das variedades estudadas.

Variedades	Fibras totais (g/ 100 g b.s.)	Fibras solúveis (g/ 100 g b.s)	Fibras insolúveis (g/ 100 g b.s.)
Palmer	35,00 ± 0,27 ^b	19,67 ± 0,27 ^{a,b}	15,33 ± 0,00 ^c
Keitt	32,24 ± 0,57 ^c	15,45 ± 0,49 ^c	16,79 ± 0,09 ^b
Haden	35,60 ± 0,21 ^b	20,85 ± 0,09 ^a	14,76 ± 0,30 ^c
Espada Vermelha	39,43 ± 0,66 ^a	19,22 ± 0,51 ^b	20,20 ± 0,15 ^a

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna representam diferença significativa entre as variedades de manga ($p \leq 0,05$), pelo teste de Tukey.

As cascas da variedade Espada Vermelha se destacaram com o teor de fibras totais significativamente superior ($p \leq 0,05$) ao das demais variedades, enquanto que as cascas da variedade Keitt apresentaram o menor teor desses compostos. Sánchez-Camargo et al. (2019) reportaram teor de fibras totais de 35,6 g/ 100 g b.s. em cascas de manga da variedade Sugar, provenientes de resíduos industriais, valores próximos aos teores obtidos para as cascas das variedades Palmer e Haden. As cascas das variedades de manga avaliadas no presente estudo apresentaram teores de fibras totais superiores aos reportados por Marques et al. (2010) para polpa de manga da variedade Tommy Atkins, de 18,33 g/ 100 g b.s..

O teor de fibras insolúveis apresentado pelas cascas da variedade Espada Vermelha é significativamente superior ($p \leq 0,05$) ao das demais variedades. Por sua vez, a variedade Haden apresentou o maior teor de fibras solúveis, apesar de não apresentar diferença significativa ($p \geq 0,05$) da variedade Palmer. A variedade Keitt apresentou o menor teor de fibras solúveis.

A Tabela 5.7 apresenta o teor de minerais determinados nas cascas in natura das variedades de manga estudadas.

Tabela 5.7. Teores de minerais das cascas in natura das variedades de manga estudadas.

Minerais (mg/ 100 g b.s.)	Variedades			
	Palmer	Keitt	Haden	Espada Vermelha
Cálcio	259,97 ± 2,21 ^c	275,05 ± 3,91 ^b	194,82 ± 1,07 ^d	303,73 ± 2,27 ^a
Cobre	0,27 ± 0,01 ^c	0,74 ± 0,01 ^a	0,18 ± 0,01 ^d	0,56 ± 0,01 ^b
Ferro	1,34 ± 0,02 ^a	1,08 ± 0,01 ^c	0,85 ± 0,01 ^d	1,21 ± 0,01 ^b
Fósforo	71,66 ± 0,25 ^c	80,20 ± 0,31 ^b	64,27 ± 0,42 ^d	84,57 ± 0,22 ^a
Magnésio	144,2 ± 0,9 ^a	97,2 ± 1,4 ^c	75,0 ± 0,2 ^d	124,4 ± 0,8 ^b
Manganês	4,81 ± 0,03 ^a	3,32 ± 0,02 ^c	2,44 ± 0,02 ^d	4,14 ± 0,03 ^b
Potássio	1339,4 ± 16,1 ^a	1089,7 ± 10,6 ^c	1021,1 ± 4,8 ^d	1255,1 ± 10,7 ^b
Sódio	4,68 ± 0,94 ^a	4,97 ± 0,32 ^a	2,04 ± 0,30 ^b	6,41 ± 0,29 ^a
Zinco	0,40 ± 0,01 ^b	0,30 ± 0,00 ^c	0,55 ± 0,03 ^a	0,52 ± 0,00 ^a

Letras minúsculas diferentes na mesma linha representam diferença significativa entre as variedades de manga ($p \leq 0,05$), pelo teste de Tukey.

Observa-se que, para todas as variedades avaliadas, os minerais com maior presença nas cascas são, por ordem decrescente: potássio, cálcio, magnésio e fósforo. A variedade Haden apresentou teor significativamente inferior ($p \leq 0,05$) ao das demais variedades para todos os minerais analisados, exceto zinco.

Marques et al. (2010) avaliaram os teores de minerais presentes na polpa e nas cascas de manga Tommy Atkins. Os autores reportaram que, exceto para ferro e zinco, os teores dos minerais nas cascas são superiores em comparação aos teores da polpa. Por sua vez, o teor de potássio, determinado pelos autores nas cascas de manga Tommy Atkins, de 826,53 mg/ 100 g, estimados em base seca, é inferior aos teores apresentados pelas variedades avaliadas no presente estudo. Já os teores de magnésio e fósforo reportados pelos autores nas cascas de manga Tommy Atkins, de 105,07 e 82,30 mg/ 100 g, respectivamente, estimados em base seca, se aproximam aos obtidos no presente estudo. Os teores de cálcio e sódio, no entanto, de 347,70 e 175,92 mg/ 100 g, respectivamente, estimados em base seca a partir dos valores reportados pelos autores para cascas de manga Tommy Atkins, são superiores aos obtidos no presente trabalho. As diferenças podem ser atribuídas à maior ou menor disponibilidade de minerais durante o plantio, pela adubação ou

naturalmente presentes no solo. O regime de chuvas da região dos diferentes pomares também pode influenciar no teor de minerais dos frutos (MARTINS; FARIA; FARIAS, 2010; FREIRE 2018). Além disso, alguns processos pós-colheita das frutas, tais como lavagem com detergente e sanitização com água clorada (hipoclorito de sódio), podem levar a ganhos de sódio.

Verificaram-se, portanto, nessa etapa do estudo, as características das cascas de diferentes variedades de manga, tendo em vista a obtenção de purês para a secagem em secador de cilindro rotativo (*drum drying*). Os resultados mostraram diferenças entre as variedades estudadas, tanto de composição, como de parâmetros de qualidade. Contudo, todas as variedades apresentaram cascas com elevados teores de fibras e de minerais, bem como de compostos com características antioxidantes, como vitamina C e compostos fenólicos. As cascas da variedade Palmer se destacaram quanto ao teor de vitamina C e de compostos fenólicos, além de apresentar bons resultados quanto aos teores de fibras e minerais. O purê dessa variedade apresentou teores relativamente baixos de açúcares redutores, característica essa, conforme anteriormente comentado, interessante no processo de secagem devido ao menor desenvolvimento de escurecimento não enzimático (reações de Maillard). Além disso, a variedade Palmer é uma das mais empregadas nos processos industriais. Pelo exposto a variedade Palmer foi escolhida para a continuidade do estudo.

5.2 Estudo do *drum drying* de cascas de manga

5.2.1 Caracterização da matéria-prima

Os resultados da caracterização físico-química das cascas branqueadas da variedade Palmer que foram empregadas no estudo do *drum drying* estão apresentados na Tabela 5.8.

Tabela 5.8. Propriedades físicas e químicas das cascas branqueadas de manga, variedade Palmer, empregadas no estudo do *drum drying*.

Propriedade	
Teor de umidade (%)	70,85 ± 0,15
Atividade de água	0,983 ± 0,002
Vitamina C (mg/ 100 g b.s.)	204,31 ± 0,99
Compostos fenólicos (mg AGE/ 100 g b.s.)	3073,76 ± 64,07
Carotenoides (mg/ 100 g b.s.)	17,98 ± 0,58
β-caroteno (mg/ 100 g b.s.)	6,13 ± 0,16
Capacidade antioxidante (μmol TE/ g b.s.)	
ABTS⁺	349,28 ± 53,75
DPPH	337,32 ± 7,33
Parâmetros de cor	
L*	55,29 ± 3,45
a*	9,19 ± 5,54
b*	39,67 ± 5,74
C*	41,14 ± 5,25
Hue	76,92 ± 8,84

AGE = ácido gálico equivalente.

TE = trolox equivalente.

O teor de umidade e a atividade de água das cascas de mangas empregadas nessa fase do estudo estão próximos dos valores obtidos na etapa anterior para a mesma variedade, apresentados na Tabela 5.2. Quanto à cor, observa-se nas Tabelas 5.3 e 5.8, que o lote empregado nessa fase apresentou cascas ligeiramente mais claras ($>L^*$), menos avermelhadas ($<a^*$) e mais amareladas ($>b^*$).

Por outro lado, os teores de vitamina C e de compostos fenólicos das cascas de manga dessa etapa do estudo estão inferiores, em aproximadamente 50%, aos valores apresentados pelas cascas branqueadas da mesma variedade na caracterização anterior (Tabela 5.4).

As cascas de manga branqueadas destinadas ao processamento apresentaram teores aproximadamente duas a três vezes maiores de carotenoides totais e β-caroteno, respectivamente, em comparação as cascas in natura da variedade Palmer na etapa anterior do estudo (Tabela 5.5). Esse fato

pode estar relacionado com a diferença entre as safras ou estágio de maturação dos frutos empregados nas análises.

Observa-se que os valores de capacidade antioxidante apresentados pelas cascas branqueadas do presente estudo estão ligeiramente superiores aos determinados nas cascas branqueadas da mesma variedade no estudo anterior (Tabela 5.4), quando comparados por métodos de análise. As diferenças podem estar relacionadas a fatores como o estágio de maturação dos frutos, as condições climáticas e de solo da produção agrícola ou mesmo a diferenças inerentes ao processo de preparo.

5.2.2 Ensaios preliminares de *drum drying* de cascas de manga

Conforme descrito no item 4.2.2, inicialmente foram conduzidos dois ensaios de *drum drying*, com o objetivo de se confirmar a formação do filme seco nos limites das faixas propostas no delineamento experimental (Tabela 4.1). Objetivou-se, também nesta etapa, definir a melhor operação de fragmentação do filme seco.

A Tabela 5.9 apresenta as condições de processo empregadas nos ensaios.

Tabela 5.9. Condições de processo empregadas nos ensaios do *drum drying* para confirmação dos limites do delineamento experimental e definição da operação de fragmentação.

Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo de residência (s)
1	130,6	28
2	146,4	14

Observou-se nos dois ensaios a formação de um filme seco contínuo. O resultado validou, portanto, a escolha das faixas das variáveis (tempo de residência e temperatura de processo) do delineamento experimental proposto. Os filmes obtidos em ambos os ensaios foram submetidos às operações de floculação e de moagem, conforme descrito no item 4.2.2, totalizando quatro produtos. O índice de higroscopicidade foi adotado como critério de escolha da operação de fragmentação.

A Figura 5.1 apresenta, a título de ilustração, os produtos obtidos após fragmentação do filme seco do ensaio 1, e a Tabela 5.10 mostra os resultados dos índices de higroscopicidade dos produtos finais obtidos.

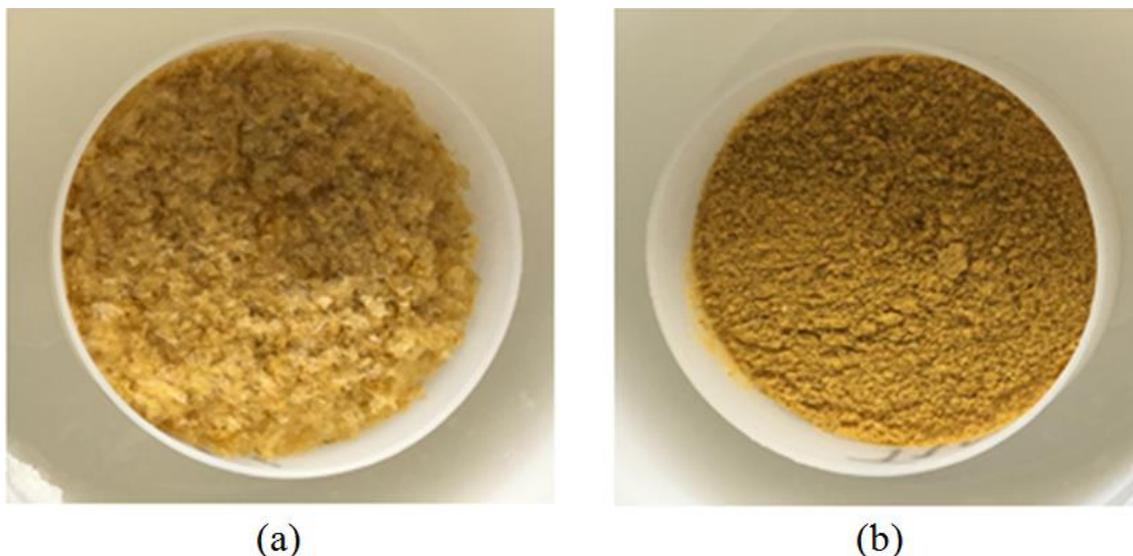


Figura 5.1. Fotos dos produtos obtidos com o filme seco do ensaio 1 após as operações de fragmentação: (a) floculação e (b) moagem.

Tabela 5.10. Índices de higroscopicidade dos produtos obtidos nas operações de fragmentação dos diferentes ensaios de *drum drying*.

Operação de fragmentação	Índice de higroscopicidade (g/ 100 g)	
	Ensaio 1	Ensaio 2
Floculação	16,60 ± 0,0042 ^b	18,82 ± 0,0015 ^b
Moagem	18,38 ± 0,0026 ^a	19,94 ± 0,0021 ^a

Teor de umidade do filme seco: Ensaio 1 = 2,76 ± 0,05%; Ensaio 2 = 3,78 ± 0,04%. Letras diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas ($p \leq 0,05$), pelo teste de Tukey.

Comparando-se os resultados de cada ensaio, observa-se que as amostras moídas apresentaram índices de higroscopicidade significativamente superiores ($p \leq 0,05$). Esse fato pode ser atribuído à maior área superficial das partículas obtidas por moagem, o que possivelmente resultou em uma maior absorção de água no equilíbrio das mesmas com o ambiente empregado na análise (umidade relativa de 75,29% a 25°C). Pelo exposto, a floculação parece ser mais vantajosa por resultar em um produto mais estável quanto ao ganho de umidade do ambiente.

Tonin (2017) reportou, para flocos de polpa de manga obtidos por *drum drying* sem o uso de aditivos, índice de higroscopicidade de 27,75%. Caparino et al. (2012), por sua vez, obtiveram o valor de 20,1% para essa propriedade, em polpa de manga em pó, obtida por *drum drying* sem uso de aditivos. Os resultados de higroscopicidade obtidos no presente trabalho, portanto, se mostraram inferiores aos reportados pelos dois estudos. O comportamento pode estar relacionado aos diferentes teores de açúcares das matérias-primas empregadas nos diferentes estudos, uma vez que esse constituinte contribui para o aumento da higroscopicidade, conforme anteriormente comentado. Além disso, a presença de amido nos produtos do presente estudo, empregado como coadjuvante de processo do *drum drying*, certamente contribuiu para a diminuição da higroscopicidade dos mesmos.

Pelo exposto, definiu-se para a continuidade do estudo, tendo em vista uma maior estabilidade dos produtos secos finais, a adoção da floculação para a fragmentação dos filmes obtidos nos ensaios de *drum drying*.

5.2.3 Estudo das melhores condições do *drum drying*

A Tabela 5.11 apresenta os valores das propriedades avaliadas no delineamento experimental do *drum drying* de cascas de manga, cujas variações foram modeladas matematicamente, de acordo com o critério adotado (item 4.2.4): teor de umidade, parâmetro cromático a^* (verde/vermelho) e fluxo de massa. As regressões das outras respostas avaliadas não resultaram em modelos matemáticos válidos e seus resultados estão apresentados e discutidos posteriormente.

Tabela 5.11. Teores de umidade, valores do parâmetro cromático a^* dos flocos de cascas de manga e fluxo de massa dos ensaios de secagem do delineamento experimental.

Ensaio	Teor de umidade (%)	a^*	Fluxo de massa (kg/ h m ²)
1	4,40 ± 0,04	3,53 ± 0,06	5,86 ± 0,07
2	2,37 ± 0,04	4,96 ± 0,44	5,81 ± 0,08
3	2,26 ± 0,03	5,85 ± 0,37	4,35 ± 0,13
4	1,45 ± 0,04	6,49 ± 0,23	4,24 ± 0,33
5	2,47 ± 0,04	5,25 ± 0,21	4,44 ± 0,17
6	2,31 ± 0,01	4,22 ± 0,29	5,01 ± 0,10
7	1,99 ± 0,02	5,53 ± 0,32	5,02 ± 0,11

A Tabela 5.12 apresenta os resultados das regressões múltiplas consideradas válidas. A Figura 5.2 mostra as curvas de contorno das superfícies de resposta obtidas.

Tabela 5.12. Resultados das análises de regressão múltipla das variações do teor de umidade, do parâmetro a^* de cor instrumental e do fluxo de massa no *drum drying* de cascas de manga.

Resposta	R ²	F _{calc}	F _{tab}	Equação da Superfície de Resposta
Teor de umidade	0,93	12,14	6,94	U = 2,464 - 0,710T - 0,765t (Eq. 5.1)
a^*	0,83	8,22	6,61	$a^* = 5,119 + 0,963t$ (Eq. 5.2)
Fluxo de massa	0,88	36,17	6,61	FM = 4,961 - 0,770t (Eq. 5.3)

R² = coeficiente de determinação; F_{calc} = F calculado; F_{tab} = F tabelado (p ≤ 0,05); T = temperatura codificada; t = tempo codificado; U = teor de umidade; FM = Fluxo de massa.

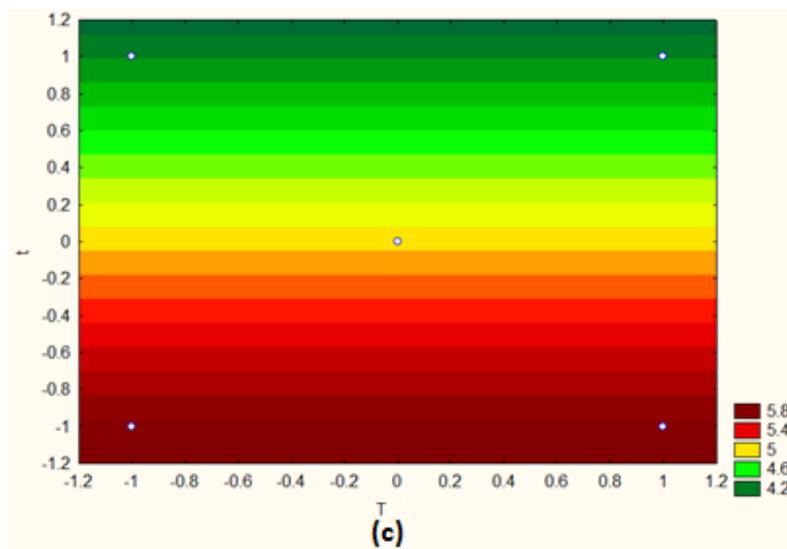
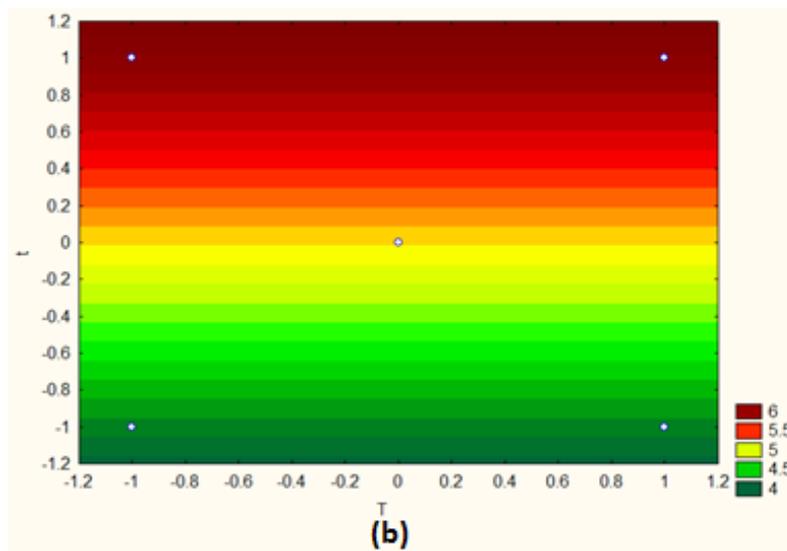
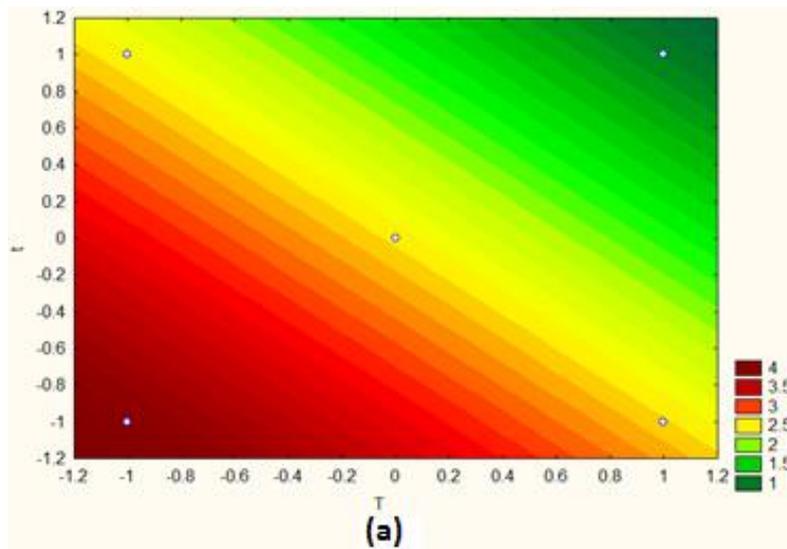


Figura 5.2. Curvas de contorno das superfícies de resposta obtidas no *drum drying* de cascas de manga: (a) teor de umidade, (b) parâmetro cromático a^* , (c) fluxo de massa.

De acordo com a Tabela 5.12, os valores de R^2 variaram entre 0,83 a 0,93 e podem ser considerados altos, em se tratando de um estudo realizado em planta piloto. Os modelos obtidos para o teor de umidade e para o parâmetro cromático a^* não são preditivos, pois para tal, o F_{calc} deveria ser de quatro a cinco vezes superior ao F_{tab} (BOX & WETZ, 1973). Por sua vez, o modelo obtido para o fluxo de massa pode ser considerado preditivo, uma vez que o F_{calc} é aproximadamente seis vezes maior que o valor do F_{tab} . Ainda assim, é possível fazer uma análise conjunta dos modelos, tendo em vista a definição de uma região de melhor condição de trabalho (RODRIGUES; IEMMA, 2014).

A equação 5.1, referente à variação do teor de umidade do produto final descreve um modelo de variação linear sem o termo de interação das variáveis. As duas variáveis (T , t) apresentam influência negativa sobre a resposta. Observa-se que o efeito do tempo de residência (t) tem uma ligeira preponderância sobre o teor de umidade em comparação à temperatura de processo (T). A Figura 5.2a mostra a curva de contorno da superfície gerada pelo modelo em questão. Observa-se que quanto maior o valor de temperatura de processo e de tempo de residência, menor o teor de umidade do produto final. O mesmo foi reportado por Tonin (2017) no estudo do *drum drying* de polpa de manga a partir de um delineamento central composto rotacional (DCCR). Segundo os autores, um produto mais seco é obtido com a combinação de maiores tempos de residência e maiores temperaturas de processo.

A equação 5.2, refere-se ao comportamento do parâmetro de cor a^* (verde/vermelho) dos flocos. O modelo obtido revela que apenas o tempo de residência (t) tem influência, de forma linear, sobre a cor vermelha (a^*) do produto final. Observou-se na Figura 5.2b que quanto menor o tempo de residência, menor o valor do parâmetro de cor a^* , independentemente da temperatura de processo. Por outro lado, quanto maior o parâmetro de cor a^* , mais avermelhado é o produto da secagem. Essa alteração de cor, conforme comentado anteriormente, pode estar associada a reações de escurecimento não enzimáticas, como reações de Maillard ou caramelização dos açúcares durante a secagem (CAPARINO et al., 2012).

O comportamento do fluxo de massa com relação às variáveis de processo é descrito pela equação 5.3. A equação mostra que apenas o tempo de residência (t) exerce influência sobre o fluxo de massa, de maneira linear e

negativa. A Figura 5.2c, que ilustra a curva de contorno da superfície de resposta obtida com o modelo, mostra que o fluxo de massa aumenta quando aplicado um tempo de residência menor, sem qualquer interferência da temperatura de processo. Os valores de fluxo de massa obtidos no presente estudo estão dentro da faixa reportada por Travaglini et al. (1994) no *drum drying* de polpa de manga (entre 4 e 6 kg/ h m²).

Analisando-se conjuntamente as curvas de contorno das superfícies de resposta obtidas (Figura 5.2), verifica-se que teores de umidade menores são obtidos com temperaturas elevadas e tempos de residência longos. Por outro lado, valores menores do parâmetro a* de cor e maiores fluxos de massa são obtidos com tempos de residência mais curtos. Teores de umidade menores do que 5% são desejáveis para produtos secos, tendo em vista sua maior estabilidade (VITÓRIA et al.; 2018). Por outro lado, espera-se que o produto em questão não tenha coloração avermelhada, pois conforme anteriormente mencionado, o comportamento pode estar relacionado à ocorrência de reações de escurecimento não enzimáticas durante a secagem. É desejável ainda, que o *drum drying* apresente um alto fluxo de massa, visando maior agilidade na execução dos processos. Verifica-se, portanto, que o quadrante compreendido pelas faixas $0,0 \leq T \leq 1,0$ e $-1,0 \leq t \leq 0,0$ reúne condições de processo que combinam a obtenção de um produto com baixos teores de umidade (< 5%), baixos valores do parâmetro a* (produto menos vermelho) e maior fluxo de massa.

Para continuidade do estudo, tendo em vista a caracterização do produto, definiu-se uma condição de processo inserida na região anteriormente determinada como de melhor condição de trabalho para a realização de um novo ensaio: T = 1,0 e t = -0,8 (temperatura de 146,4°C e tempo de residência de 15,4 segundos). Nessa condição os valores determinados pelos modelos de teor de umidade, parâmetro de cor a* e fluxo de massa seriam: 2,37%, 4,35, 5,58 kg/ h m², respectivamente. Os resultados estão apresentados e discutido no item 5.3.

As variações de outras respostas do delineamento experimental, conforme anteriormente apresentado, não obtiveram modelos matemáticos válidos, a saber: atividade de água; parâmetros de cor L*, b*, C* e Hue; teor de vitamina C; teor de compostos fenólicos; teor de carotenoides totais; teor de β -caroteno e capacidade antioxidante (ABTS⁺ e DPPH). Tonin (2017) também não

obteve modelos matemáticos válidos para algumas propriedades ao utilizar a metodologia de superfície de resposta no *drum drying* de polpa de manga.

A Tabela 5.13 apresenta os valores dos parâmetros de cor instrumental (exceto a*) dos flocos de casca de manga obtidos nos ensaios do delineamento experimental do presente trabalho.

Tabela 5.13. Parâmetros de cor instrumental (L*, b*, C* e Hue) dos flocos de cascas de manga obtidos nos ensaios de secagem do delineamento experimental.

Ensaio	L*	b*	C*	Hue
1	67,58 ± 0,76	45,03 ± 1,09	45,17 ± 1,09	85,51 ± 0,13
2	65,57 ± 1,30	44,94 ± 1,30	45,22 ± 1,33	83,70 ± 0,42
3	63,88 ± 1,10	47,83 ± 1,84	48,18 ± 1,87	83,04 ± 0,23
4	62,93 ± 0,92	43,80 ± 1,24	44,28 ± 1,26	81,57 ± 0,13
5	64,37 ± 0,95	44,26 ± 0,91	44,57 ± 0,92	83,24 ± 0,21
6	66,61 ± 0,62	47,26 ± 1,26	47,45 ± 1,27	84,89 ± 0,25
7	60,71 ± 1,11	42,30 ± 1,09	42,66 ± 1,11	82,55 ± 0,32

Média ± desvio padrão (n = 9).

Observa-se na Tabela 5.13 que as variações dos parâmetros de cor foram baixas entre os testes, menores do que 13%. Pode-se dizer que a variação das condições de processo não influenciou essas propriedades, na faixa de variação do delineamento. Esse comportamento explica a falta de ajuste do modelo matemático proposto. No entanto, algumas observações podem ser feitas para um melhor entendimento do processo.

Os valores do parâmetro b* obtidos no presente estudo, na faixa aproximada de 42 a 48, são inferiores aos valores reportados por Tonin (2017) no *drum drying* de polpa comercial de manga, de aproximadamente 66 a 71. O resultado indica que os flocos de casca de mangas obtidos no presente estudo apresentaram coloração amarela menos intensa do que o produto do *drum drying* de polpa de manga.

Quanto à luminosidade, observa-se que os valores variaram de aproximadamente 60 a 68, superiores aos valores reportados por Tonin (2017) para polpa de manga em flocos, de 52 a 60. Caparino et al. (2012) produziram manga em pó (variedade Carabao), utilizando quatro métodos de secagem,

incluindo *drum drying*. Os produtos apresentaram parâmetros de cor L* entre 38 (*drum drying*) e 44 (*Refractance Window® drying*), aproximadamente. Portanto, os flocos de casca de manga obtidos no presente estudo se apresentaram mais claros do que dos trabalhos citados com polpa de manga.

O valor de Hue variou de aproximadamente 82 a 86 nos produtos obtidos nos ensaios do delineamento. Os valores se assemelham aos reportados por Tonin (2017) em ensaios de *drum drying* de polpa comercial de manga, de aproximadamente 83 e 86. Caparino et al. (2012), por sua vez, reportaram Hue de aproximadamente 79,27 no *drum drying* de polpa de manga sem o uso de aditivos. Sabe-se que quanto maior o ângulo de tom no quadrante vermelho-amarelo ($0^\circ \leq \text{Hue} \leq 90^\circ$), ou seja, mais próximo de 90° , mais amarelo é o produto. Menores valores de Hue, ou seja, cor mais próxima do vermelho, pode indicar ocorrência de reações de escurecimento não enzimáticas.

A Tabela 5.14 apresenta os teores de vitamina C, compostos fenólicos, carotenoides e β -caroteno dos flocos de casca de manga obtidos nos ensaios do delineamento experimental.

Tabela 5.14. Teores de vitamina C, compostos fenólicos, carotenoides e β -caroteno dos flocos de casca de manga obtidos nos ensaios de secagem do delineamento experimental.

Ensaio	Vitamina C (mg/ 100 g b.s.)	Compostos fenólicos (mg AGE/ 100 g b.s.)	Carotenoides totais (mg/ 100 g b.s.)	β-caroteno (mg/ 100 g b.s.)
1	81,04 ± 2,35	3070,52 ± 42,42	13,83 ± 0,99	7,36 ± 0,14
2	84,65 ± 1,03	3193,60 ± 59,70	15,35 ± 0,96	7,89 ± 0,43
3	87,08 ± 2,05	2841,72 ± 269,61	15,95 ± 0,98	7,86 ± 0,28
4	85,22 ± 0,88	3154,24 ± 183,03	15,74 ± 0,09	7,33 ± 0,05
5	59,30 ± 1,71	3096,17 ± 13,67	16,44 ± 0,08	7,59 ± 0,01
6	93,38 ± 2,93	2931,47 ± 67,43	13,53 ± 0,71	6,98 ± 0,15
7	66,40 ± 3,95	3038,87 ± 19,91	15,20 ± 0,26	7,36 ± 0,20

AGE = ácido gálico equivalente.

Observa-se na Tabela 5.14 que o teor de compostos fenólicos, carotenoides totais e β -caroteno apresentaram baixa variação com a alteração das condições de processo nas faixas praticadas, menores do que 22%. Pode-

se dizer, portanto, que a variação das condições de processo, nas faixas praticadas, não influencia as propriedades em questão.

O teor de vitamina C apresentou elevada variação, de 57%, em especial nos pontos centrais do delineamento. Esse comportamento pode ser atribuído à degradação do composto nas etapas preliminares da secagem, devido à alta sensibilidade do mesmo ao calor, à luz e à presença de oxigênio (SANTOS; SILVA, 2008).

A Tabela 5.15 apresenta os resultados da atividade de água e da capacidade antioxidante, analisada pelos métodos ABTS⁺ e DPPH, dos flocos de cascas de manga obtidos nos ensaios do delineamento experimental.

Tabela 5.15. Atividade de água e capacidade antioxidante dos flocos de casca de manga obtidos nos ensaios de secagem do delineamento experimental.

Ensaio	Atividade de água	Capacidade Antioxidante ($\mu\text{mol TE/ g b.s.}$)	
		ABTS ⁺	DPPH
1	0,319 \pm 0,001	335,32 \pm 6,25	297,31 \pm 3,49
2	0,271 \pm 0,001	359,08 \pm 11,65	300,74 \pm 8,84
3	0,262 \pm 0,002	334,83 \pm 25,48	293,61 \pm 3,66
4	0,255 \pm 0,003	361,67 \pm 21,05	306,72 \pm 5,59
5	0,295 \pm 0,001	341,99 \pm 20,10	305,17 \pm 4,26
6	0,259 \pm 0,002	309,00 \pm 4,18	286,81 \pm 1,87
7	0,289 \pm 0,002	359,82 \pm 9,26	308,66 \pm 2,70

TE = trolox equivalente.

Observa-se na Tabela 5.15 que a variação da atividade de água e da capacidade antioxidante foi baixa entre os ensaios, menores do que 25%. Pode-se dizer, portanto, que a variação das condições de processo, nas faixas praticadas, não influencia as propriedades em questão.

Os valores de atividade de água dos produtos obtidos ficaram entre 0,255 e 0,319. Henriquez et al. (2010) reportaram, na secagem de cascas de maçã em *drum dryer*, atividade de água de aproximadamente 0,2.

A faixa de capacidade antioxidante apresentada pelos produtos do delineamento experimental foi de 309 a 362 $\mu\text{mol TE/ g b.s.}$ pelo método ABTS⁺, e de 286 a 309 $\mu\text{mol TE/ g b.s.}$ pelo método DPPH. Tonin (2017) obteve na

secagem de polpa de manga em *drum dryer* produtos com capacidade antioxidante menores do que os valores observados para a casca de manga em flocos obtida no presente estudo, entre 57 e 76 $\mu\text{mol TE/ g b.s.}$ pelo método ABTS⁺ e 38 e 44 $\mu\text{mol TE/ g b.s.}$ pelo método DPPH.

5.3 Caracterização do produto final obtido na região de melhor condição de processo quanto às propriedades físicas, químicas e tecnológicas

De acordo com o descrito no item 4.3, foi realizado um ensaio de *drum drying* em uma condição de processo inserida na melhor região de trabalho, anteriormente determinada: tempo de residência de 15,4 segundos e temperatura de processo de 146,4°C (4,4 kgf/ cm²). O processo foi realizado em triplicata com a mesma matéria-prima empregada nos ensaios do delineamento experimental, determinando-se o fluxo de massa de cada ensaio. O produto final foi analisado quanto às suas propriedades físicas, químicas e tecnológicas.

5.3.1 Propriedades físicas e químicas dos flocos de casca de manga obtidos na região de melhor condição de processo

A Tabela 5.16 apresenta o teor de umidade, atividade de água e os parâmetros de cor do produto obtido no ensaio.

Tabela 5.16. Teor de umidade, atividade de água e cor dos flocos de casca de manga obtidos no ensaio de *drum drying* realizado na região de melhor condição de processo.

Propriedade	
Teor de umidade (%)	0,79 ± 0,07
Atividade de água	0,209 ± 0,004
Parâmetros de cor	
L*	68,20 ± 0,14
a*	2,43 ± 0,11
b*	48,93 ± 1,56
C*	48,99 ± 1,56
Hue	87,15 ± 0,12

Observa-se na Tabela 5.16, que o teor de umidade obtido nesse ensaio (0,79%) foi menor do que o estimado pelo modelo (2,37%) apresentado na Tabela 5.12. O comportamento se repetiu para o parâmetro a^* , pois o produto desse ensaio ficou menos vermelho (2,43) do que o valor estimado pelo modelo (4,35). As diferenças podem ser atribuídas a variações entre os processos que resultaram em um produto mais seco e com menor alteração da cor, tais como: tempo de descongelamento, tempo de homogeneização em moinho coloidal, temperatura do purê na alimentação do *drum drying*, temperatura e umidade relativa do ambiente. Importante lembrar que os modelos matemáticos obtidos para o teor de umidade e para o parâmetro a^* de cor, conforme anteriormente comentado, não são preditivos, portanto, diferenças entre valores preditos e experimentais são esperadas.

Por outro lado, o fluxo de massa determinado nos ensaios de *drum drying* foi de 5,09 kg/ h m². O valor também foi ligeiramente menor que o valor estimado pelo modelo matemático, de 5,58 kg/ h m². Germer et al. (2018) reportaram fluxo de massa entre 1,70 e 6,00 no estudo do *drum drying* de polpa de manga empregando a metodologia de superfície de resposta.

A atividade de água do produto do ensaio realizado foi de 0,209, portanto inferior à faixa de 0,259 a 0,319, determinada nos ensaios do delineamento (Tabela 5.15). O resultado era esperado, uma vez que o teor de umidade também foi menor, conforme mencionado anteriormente.

O ângulo de tom se apresentou mais elevado (87,15) em relação aos valores calculados nos ensaios do delineamento, que variaram de 81,57 a 85,51 (Tabela 5.13), portanto mais próximo do amarelo puro. Atribui-se esse fato a coloração vermelha (a^*) menos intensa, conforme anteriormente comentado. Além disso, o valor do parâmetro b^* do produto desse ensaio (48,93) esteve superior aos valores obtidos nos ensaios do delineamento, de 42 a 48 (Tabela 5.13). O produto desse ensaio apresentou o parâmetro L^* igual a 68,20, ligeiramente superior à faixa obtida nos ensaios do delineamento, de 60,71 a 67,58 (Tabela 5.13), indicando um produto mais claro.

A Tabela 5.17 apresenta, para o produto obtido no ensaio realizado dentro da região de melhor condição do *drum drying*, os teores de vitamina C, compostos fenólicos, carotenoides, β -caroteno, bem como as capacidades antioxidantes, obtidas pelos dois métodos analíticos. A tabela mostra também as

retenções dos nutrientes e a manutenção da capacidade antioxidante em relação às cascas de manga branqueadas, utilizadas como matéria-prima (Tabela 5.8).

Tabela 5.17. Teores de vitamina C, compostos fenólicos, carotenoides, β -caroteno e capacidades antioxidante dos flocos de cascas de manga do ensaio realizado na região de melhor condição do *drum drying*, e respectivas retenções em relação às cascas branqueadas.

Propriedade		Retenção (%)*
Vitamina C (mg/ 100 g b.s.)	80,90 \pm 1,99	39,60 \pm 0,98
Compostos fenólicos (mg AGE/ 100 g b.s.)	3082,82 \pm 45,08	100,29 \pm 1,47
Carotenoides (mg/ 100 g b.s.)	19,16 \pm 0,35	106,58 \pm 1,97
β-caroteno (mg/ 100 g b.s.)	7,52 \pm 0,13	122,67 \pm 2,06
Capacidade antioxidante (μ mol TE/ g b.s.)		
ABTS⁺	343,89 \pm 20,02	98,46 \pm 5,73
DPPH	340,44 \pm 6,20	100,93 \pm 1,84

*referente às cascas de manga branqueadas utilizadas como matéria-prima.

O teor de vitamina C dos flocos obtidos no ensaio realizado, de 80,90 mg/ 100 g b.s., foi semelhante ao valor obtido na etapa anterior (Tabela 5.14), e superior aos valores reportados por Tonin et al. (2018), de aproximadamente 30 mg/ 100 g b.s., no *drum drying* de polpa de manga. Observa-se que houve uma baixa retenção de vitamina C no processo, de apenas 40%. O comportamento pode ser atribuído à termossensibilidade da vitamina C, que normalmente é oxidada e degradada nos processos que envolvem aquecimento, como a secagem (SANTOS; SILVA, 2008). Tonin (2017), no *drum drying* de polpa de manga com adição de 3% de amido e 0,5% de MSG reportou maior retenção do composto, de até 75%. A diferença pode estar relacionada com a composição das diferentes matérias-primas, polpa e cascas de manga, assim como com as etapas de preparo.

Os flocos de casca de manga obtidos no ensaio realizado apresentaram teor de compostos fenólicos de 3082,82 mg AGE/ 100 g b.s., dentro da faixa de teores apresentada nos ensaios do delineamento experimental (Tabela 5.14), de 2840 a 3200 mg AGE/ 100 g b.s.. O teor de compostos fenólicos dos flocos de casca de manga obtido no presente estudo é cinco vezes superior ao valor reportado por Tonin et al. (2018) em flocos de polpa de manga, obtido por *drum*

drying, de 578,01 mg AGE/ 100 g b.s.. Observa-se que a retenção dos compostos fenólicos foi de aproximadamente 100%. O resultado pode ser atribuído, conforme já comentado, à possibilidade de formação de precursores de compostos fenólicos nas reações de escurecimento não enzimático (Maillard) nas temperaturas altas da secagem (FERREIRA, 2015).

O teor de carotenoides totais dos flocos de casca de manga obtidos no presente ensaio, de 19,16 (mg/ 100 g b.s.), é superior aos teores apresentados pelos produtos dos ensaios do delineamento experimental (Tabela 5.14), na faixa de 14 a 16 mg/ 100 g b.s.. Possivelmente, o maior teor de carotenoides observado no presente ensaio esteja relacionado ao menor volume de purê de cascas preparado para a secagem. Os carotenoides são compostos sensíveis à oxidação, e uma maior agilidade no processo experimental favorece a retenção dos mesmos. Germer et al. (2018) reportaram teores inferiores de carotenoides no *drum drying* de polpa de manga, de 14 e 16 mg/ 100 g b.s. aproximadamente.

O teor de β -caroteno apresentado pelos flocos de casca de manga obtidos no presente ensaio, de 7,52 mg/ 100 g b.s., estão dentro da faixa de valores apresentada na etapa anterior do estudo, de aproximadamente 7 a 8 mg/ 100 g b.s. (Tabela 5.14). O teor obtido também se aproxima dos valores reportados por Tonin et al. (2018) no *drum drying* de polpa de manga, na faixa de 6 e 8 mg/ 100 g b.s..

As retenções de carotenoides totais e β -caroteno, calculadas em relação às cascas branqueadas, foram superiores a 100%. Atribui-se o resultado à maior disponibilização desses compostos com a trituração no processo de preparo do purê de cascas destinado ao *drum drying*. Por outro lado, Zotarelli et al. (2017) observaram retenção de apenas 40% de carotenoides em *spray drying* de polpa de manga. Nesse caso, a diferença pode estar relacionada com o processo de secagem, uma vez que o *spray drying* produz partículas menores, com maior área superficial e, conseqüentemente, maior exposição dos componentes à oxidação.

A capacidade antioxidante avaliada pelo método ABTS⁺ nos flocos obtidos no presente ensaio, de aproximadamente 344 μ mol TE/ g b.s. resultou próxima aquela apresentada na etapa do delineamento experimental (Tabela 5.15), na faixa de 309 a 359 μ mol TE/ g b.s.. No entanto, quando avaliada pelo método DPPH, a capacidade antioxidante do produto do presente ensaio

apresentou um resultado ligeiramente superior, de 340,44 $\mu\text{mol TE/ g b.s.}$, do que a faixa de 286 a 309 $\mu\text{mol TE/ g b.s.}$ observada na etapa anterior. Tonin (2017), reportaram atividades antioxidantes de 57 a 75 $\mu\text{mol TE/ g}$ e de 40 a 44 $\mu\text{mol TE/ g}$, pelos métodos de ABTS⁺ e DPPH respectivamente, para polpa de manga em flocos obtida por *drum drying*. Os teores são de cinco a sete vezes menores que aqueles determinados nos flocos de casca de manga, conforme a Tabela 5.17.

Os flocos de cascas de manga, obtidos no ensaio de *drum drying* realizado na região de melhor condição de trabalho, apresentaram uma manutenção de aproximadamente 100% da capacidade antioxidante da matéria-prima. Conforme mencionado anteriormente, compostos com atividade antioxidante podem ter sido formados durante o processo de secagem pelas reações de escurecimento não enzimático (Maillard), compensando a eventual desnaturação no processo (YILMAZ; TOLEDO, 2005).

A Tabela 5.18 apresenta o teor de fibras alimentares (totais, solúveis e insolúveis) e o teor de minerais dos flocos de casca de manga obtidos no ensaio realizado.

Tabela 5.18. Teores de fibras alimentares e teores de minerais dos flocos de casca de manga obtidos no ensaio de *drum drying* na região de melhor condição de processo.

Teor de fibras alimentares (g/ 100 g b.s.)	
Fibras totais	22,09 ± 0,21
Fibras solúveis	12,96 ± 0,21
Fibras insolúveis	9,13 ± 0,00
Teor de minerais (mg/ 100 g b.s.)	
Cálcio	272,69 ± 0,96
Cobre	2,88 ± 0,07
Crômio	0,13 ± 0,00
Ferro	3,46 ± 0,08
Fósforo	55,51 ± 0,52
Magnésio	116,77 ± 0,85
Manganês	6,37 ± 0,08
Potássio	1467,82 ± 26,10
Sódio	9,24 ± 0,29
Selênio	0,03 ± 0,00
Zinco	0,50 ± 0,04

Os flocos de casca de manga obtidos no ensaio realizado apresentaram um teor de fibras alimentares totais menor do que daquele determinado anteriormente para cascas in natura de manga Palmer, de acordo com a Tabela 5.6, de 35 g/ 100 g b.s.. O comportamento pode estar relacionado à variabilidade das frutas, uma vez que foram empregadas diferentes safras de mangas nas duas fases do estudo.

As fibras alimentares são divididas em insolúveis e solúveis. As fibras insolúveis, como a lignina, agem melhorando o trânsito intestinal, uma vez que tem a capacidade de reter líquidos e aumentar o bolo fecal. Já as fibras solúveis, como a pectina, quando ingeridas, formam um gel que retarda o esvaziamento gástrico, fornecendo a sensação de saciedade. Além disso, as fibras solúveis contribuem na retenção de moléculas de açúcar e gordura no bolo fecal, reduzindo os níveis de glicemia e colesterol do sangue, além de atuarem como prebióticos, estimulando o crescimento de colônias benéficas no cólon (SOUSA et al., 2019).

O valor diário de referência (VDR) de fibras alimentares é de 25 g a cada 2.000 kcal consumidas (ANVISA, 2003). O consumo de 150 g de um produto enriquecido com 30% dos flocos de casca de manga poderia, portanto, suprir em aproximadamente 40% a ingestão recomendada de fibras alimentares.

A RDC nº 360, ANVISA (2003), que dispõe sobre o Regulamento Técnico “Rotulagem Nutricional de Alimentos Embalados”, define as informações obrigatórias que devem constar em rótulos de produtos alimentícios. Esta resolução deixa a declaração de minerais e vitaminas como facultativa, desde que esteja presente no produto em quantidade igual ou superior a 5% da Ingestão Diária Recomendada (IDR) e define, em seus anexos, a IDR de cada um destes componentes. Por sua vez, o Regulamento Técnico “Informação Nutricional Complementar”, RDC nº 54, ANVISA (2012), considera como fonte de minerais produtos que contenham 15% da (IDR) daquele composto. Segundo o regulamento, para ser considerado rico em um determinado mineral ou vitamina, o produto deve conter no mínimo 30% de sua IDR.

Os elementos minerais são essenciais para o organismo, como na regulação da pressão osmótica, manutenção do equilíbrio ácido-base e regulação da atividade de algumas enzimas (ANDRADE; BARROS; TAKASE, 2003). O potássio, mineral que aparece em maior concentração no produto, regula a atividade neuromuscular e promove o crescimento celular, evitando câibras, fadiga e sensação de fraqueza. Cálcio e magnésio são importantes em atividades hormonais e sua deficiência pode causar problemas de saúde, como a osteoporose. O sódio, através da bomba de sódio/potássio, é essencial no transporte e na absorção de nutrientes pelas células, como glicose e aminoácidos (SHILS et al., 2003; CARDOSO, 2006).

Portanto, de acordo com os valores apresentados na Tabela 5.18 e as normativas citadas, os flocos de casca de manga podem ser considerados ricos em cobre, cromo, magnésio, manganês e selênio. Os mesmos podem ser considerados, ainda, fonte de cálcio e ferro.

A recomendação de ingestão diária de sódio para adultos saudáveis é de, no máximo, 2.000 mg por dia, segundo a Organização Mundial da Saúde. Portanto considera-se que o ingrediente obtido apresenta níveis seguros de sódio (WHO, 2003).

5.3.2 Propriedades tecnológicas dos flocos de casca de manga obtidos na região de melhor condição de processo

A Tabela 5.19 apresenta os resultados das análises tecnológicas realizadas com os flocos de cascas de manga obtidos no ensaio realizado.

Tabela 5.19. Propriedades tecnológicas do produto obtido no ensaio de *drum drying* de cascas de manga na região de melhor condição de processo.

Propriedade	
Índice de solubilidade (%)	67,81 ± 0,37
Índice de absorção de água (g/ g)	3,67 ± 0,07
Índice de higroscopicidade (g/ 100 g)	18,40 ± 0,20
Densidade (g/ mL)	
Aparente	0,11 ± 0,01
Absoluta	1,54 ± 0,02
Diâmetro médio (µm)	
D ₁₀	417,01 ± 29,07
D ₅₀ *	938,44 ± 53,22
D ₉₀	1659,54 ± 145,00
<i>span</i>	1,32 ± 0,07

*D₅₀ = mediana da distribuição do tamanho de partículas.

O índice de solubilidade dos flocos de cascas de manga, de aproximadamente 68%, é inferior ao valor reportado por Germer et al. (2018), de aproximadamente 80%, para flocos de polpa de manga obtidos no *drum drying*, com adição de amido (3% b.s.) e MSG (0,5% b.s.). O menor valor de solubilidade do produto do presente estudo pode estar relacionado aos maiores teores de coadjuvantes empregados no processo em questão (5% de amido e 1% de MSG, em base seca), bem como às diferenças entre os constituintes das matérias-primas, principalmente o teor de fibras. O teor de fibras alimentares de polpa de manga é de aproximadamente 2 g/ 100 g, em base úmida (NEPA/UNICAMP, 2011), enquanto que o teor de fibras totais de cascas de manga Palmer, de acordo com a determinação da primeira etapa do estudo, é de aproximadamente 9 g/ 100 g, em base úmida. Parte das fibras alimentares das frutas, conforme já comentado, são fibras insolúveis, constituídas principalmente por celuloses, portanto, insolúveis em água (MATTOS; MARTINS, 2000; UCHOA et al., 2008).

Martínez et al. (2012) definiram o índice de absorção de água (IAA) como a capacidade de um substrato em reter água quando exposto à compressão ou centrifugação, atribuindo essa propriedade principalmente às fibras alimentares insolúveis presentes no produto. Os autores avaliaram a absorção de água de um concentrado de fibras obtido a partir da secagem do resíduo do processamento de uma unidade industrial de manga, reportando um valor de aproximadamente 6,4 g/ g. O valor é superior ao IAA obtido pelo produto do presente estudo, de aproximadamente 3,7 g/ g. O comportamento pode estar associado às relações entre os teores de fibras insolúveis (FI) e fibras solúveis (FS) apresentadas pelos diferentes produtos. Enquanto os flocos avaliados no presente estudo apresentaram uma relação FI/FS de 0,71 (Tabela 5.18), Martínez et al. (2012) obtiveram uma relação de 1,5, ou seja, um produto com proporcionalmente mais fibras insolúveis do que fibras solúveis.

Os flocos de cascas de manga obtidos no presente estudo apresentaram índice de higroscopicidade (IH) de aproximadamente 18,4 g/ 100 g. O valor se aproxima do IH apresentado pelos flocos obtidos no ensaio 2 da etapa de definição do processo de fragmentação (Tabela 5.10), de 18,8 g/ 100 g, executado em condições semelhantes. Caparino et al. (2012) reportaram IH de aproximadamente 20 g/ 100 g para polpa de manga em pó obtida por *drum drying*, sem o uso de coadjuvantes. Por sua vez, Tonin et al. (2018) reportaram IH de aproximadamente 28 g/ 100 g para flocos de polpa de manga obtidos por *drum drying*, sem o uso de aditivos. O menor valor apresentado pelo produto do presente estudo pode estar relacionado ao emprego de coadjuvantes de processo, bem como aos menores teores de açúcares da matéria-prima, principalmente açúcares redutores que, conforme comentado anteriormente, contribuem para o aumento do índice de higroscopicidade de produtos secos (JAYA; DAS, 2004). O teor de açúcares totais da casca da variedade Palmer é de 36,7 g/ 100 g b.s, apresentado anteriormente na Tabela 5.2, enquanto Tonin (2017) reportou, para a polpa de manga, um teor de açúcares totais de 87,5 g/ 100 g, estimado em base seca.

A densidade absoluta (DA) apresentada pelos flocos foi de 1,54 g/ mL. Tonin (2017) reportou valores de DA entre 1,08 e 1,16 g/ mL nos ensaios de um estudo do *drum drying* de polpa de manga com 3% de amido e 0,5% de MSG (b.s.). Possivelmente, o maior valor da DA dos flocos obtidos no presente estudo

se deve aos maiores percentuais de coadjuvantes de processo empregados, bem como aos maiores teores de fibras presentes na matéria-prima. Conforme anteriormente citado, as cascas da manga apresentam mais fibras alimentares do que sua polpa. Por sua vez, Zotarelli et al. (2017) reportaram, no estudo do *spray drying* de polpa de manga empregando maltodextrina como coadjuvante, uma DA de $1,64 \pm 0,02$ g/mL, valor superior ao obtido no presente estudo. Nesse caso, o tipo de processo, os teores de coadjuvantes empregados, bem como os constituintes da matéria-prima podem explicar as diferenças.

Quanto à densidade aparente (DAP), o valor obtido para os flocos de casca de manga foi de aproximadamente 0,11 g/ mL. Prangpru et al. (2015) relataram densidades aparentes entre 0,60 e 1,06 g/ mL para o produto do *drum drying* de suco de tamarindo, empregando diferentes teores de coadjuvantes (amido modificado e maltodextrina). Tonin (2017), por sua vez, reportaram valores entre 0,40 e 0,53 g/ mL no *drum drying* de polpa de manga, com o emprego de 3% de amido e 0,5% de MSG. Cai e Corke (2000), no estudo do *spray drying* de amaranto, empregando agentes carreadores em diferentes concentrações, obtiveram valores de DAP entre 0,52 e 0,67 g/ mL. O valor da propriedade, portanto, varia muito entre os estudos. Uma das prováveis razões desse comportamento é o método analítico empregado, uma vez que os procedimentos resultam em diferentes níveis de compactação do produto, a depender da vibração empregada ou da distância de derramamento do produto no recipiente de análise. O fato dificulta a comparação entre resultados de diferentes estudos.

A porosidade, por sua vez, é uma propriedade obtida a partir dos valores de densidade absoluta e aparente. Pelo fato do valor de densidade aparente ser um parâmetro muito variável entre os estudos apresentados na literatura, a comparação da porosidade fica, também, prejudicada.

O diâmetro médio de partícula (D_{50}) dos flocos de casca de manga (teor de umidade de 0,79%) foi de aproximadamente 938 μ m. Germer et al. (2018), por sua vez, reportaram diâmetro médio de 1250 μ m para os flocos de polpa de manga (teor de umidade de 3,04%) obtidos por *drum drying*. Ambos os estudos empregaram o mesmo processo de fragmentação (floculação) e a mesma abertura de peneira, de 2,5 mm. A diferença observada pode ser atribuída aos diferentes teores de umidade do filme, uma vez que o processo de floculação,

neste caso representado pela quebra do filme formado no *drum drying*, é facilitado para produtos mais secos, resultando em partículas de menor tamanho.

A Figura 5.3 ilustra a curva de distribuição do tamanho de partículas dos flocos de cascas de manga obtidos no ensaio realizado.

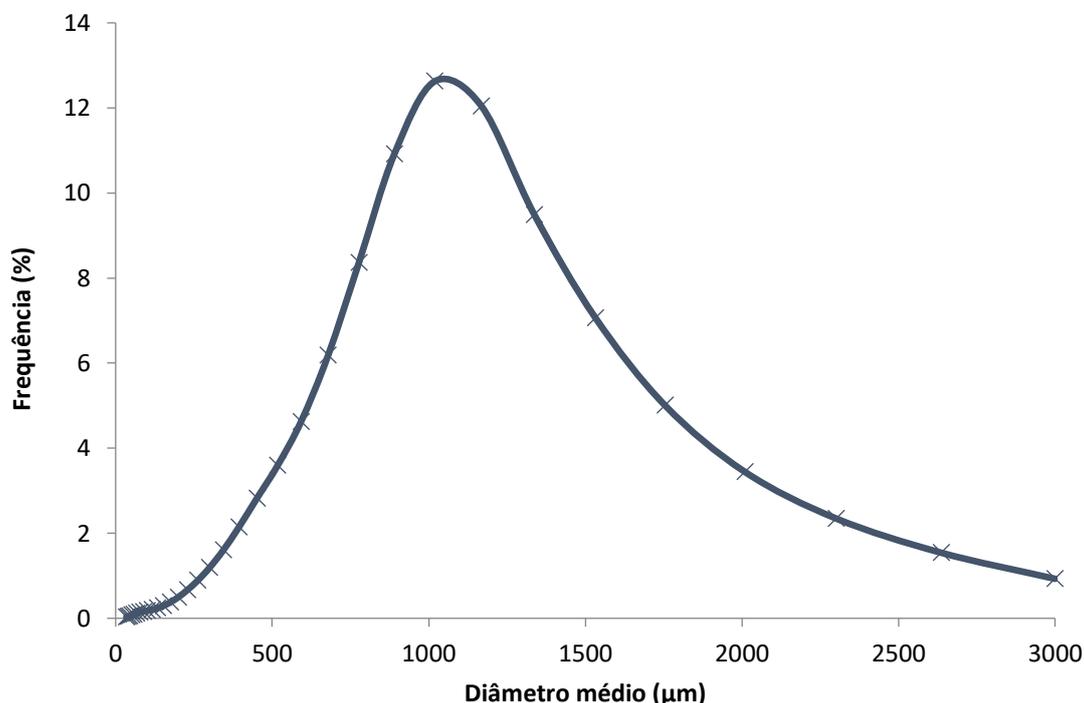


Figura 5.3. Distribuição do tamanho de partículas dos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*.

Observa-se na Figura 5.3 que os flocos apresentaram uma distribuição monomodal, evidenciando que a amostra tem característica homogênea quanto à distribuição do tamanho de partículas. Nunes (2019) observou comportamento semelhante na distribuição do tamanho de partículas de flocos de polpa de jabuticaba obtidos por *drum drying*.

O *span*, calculado para o produto, a partir dos valores de D_{10} e D_{90} , pela equação 4.5, foi de 1,32. A propriedade está relacionada à variação de tamanho das partículas da amostra. Um valor elevado de *span* indica que a amostra possui uma alta variedade de tamanho entre suas partículas menores e maiores. Devido ao processo de fragmentação realizado (floculação), um valor elevado de *span* era esperado, quando comparado com amostras obtidas por outros processos, tais como a moagem.

6. CONCLUSÕES

- O estudo mostrou ser possível a obtenção de purês de casca de manga, a partir das variedades Palmer, Keitt, Haden e Espada Vermelha, tendo em vista a secagem em secador de cilindro rotativo. As diversas variedades resultaram em purês de diferentes características físico-químicas.

- A variedade Palmer reuniu as melhores características, tendo em vista o *drum drying*, tais como: maior teor de sólidos totais, elevados teores de nutrientes e baixas concentrações de açúcares.

- A partir de um delineamento fatorial 2², com repetição no ponto central, tendo a temperatura de processo (T) e o tempo de residência (t) como variáveis independentes, obtiveram-se modelos matemáticos válidos para o fluxo de massa na secagem ($R^2 = 0,88$), bem como para o teor de umidade ($R^2 = 0,93$) e o parâmetro cromático a^* (verde/vermelho) ($R^2 = 0,83$) dos flocos obtidos.

- A partir da análise conjunta dos modelos, determinou-se uma região de melhor condição de processo, tendo em vista um maior fluxo de massa na secagem, menor teor de umidade do produto final e menor parâmetro de cor vermelha (a^*). Essa região compreende a combinação das seguintes condições de processo: $138,4 \leq T \leq 146,4^\circ\text{C}$ e $14 \leq t \leq 21$ segundos.

- Em novo ensaio de *drum drying* realizado em uma condição inserida nessa região ($T = 146,4^\circ\text{C}$ e $t = 15,4$ segundos), obteve-se um ingrediente com altos teores de compostos fenólicos (aproximadamente 3083 mg AGE/ 100 g b.s.), bem como de potássio (aproximadamente 1468 mg/ 100 g b.s.) e fibras alimentares (aproximadamente 22 g/ 100 g b.s.).

- O produto obtido apresentou baixo índice de higroscopicidade (aproximadamente 18 g/ 100 g), e índice de absorção de água (aproximadamente 4 g/g) e de solubilidade (aproximadamente 68%) medianos.

- O estudo mostrou, portanto, ser possível a obtenção de um ingrediente desidratado com alta qualidade nutricional, a partir das cascas de manga, pelo processo de *drum drying*. Pelas suas características, o ingrediente obtido pode ser aplicado pela indústria de alimentos na formulação de produtos

tais como *snacks*, barras de cereais, massas alimentícias, chocolate, recheios, e misturas para panificação.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em complementação ao presente trabalho, as seguintes avaliações podem ser realizadas futuramente: estudo da eficiência energética do *drum drying* de cascas de manga; estudo da viabilidade econômica do processo produtivo; estabilidade do ingrediente obtido; desempenho de diferentes embalagens durante seu armazenamento; aplicação do ingrediente no desenvolvimento de novos produtos e sua aceitação sensorial.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC - AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. The Definition of Dietary Fiber. **Cereal Foods World**, v. 46, n. 3, p. 112-126, 2001.

ABONYI, B. I. et al. Quality retention in strawberry and carrot purees dried with refractance window™ system. **Journal of Food Science**, v. 67, n. 3, p. 1051-1056, 2002.

AHMAD-QASEM, M. H. et al. Influence of air temperature on drying kinetics and antioxidant potential of olive pomace. **Journal of Food Engineering**, v. 119, n. 3, p. 516-524, 2013.

AJILA, C. M. et al. Bioactive compounds and antioxidant potential of mango peel extract. **Food Chemistry**, v. 105, n. 3, p. 982-988, 2007.

AJILA, C. M. et al. Mango peel powder: a potential source of antioxidant and dietary fiber in macaroni preparations. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 11, n. 1, p. 219-224, 2010.

AJILA, C. M.; PRASADA RAO, U. J. S. Mango peel dietary fibre: composition and associated bound phenolics. **Journal of Functional Foods**, v. 5, n. 1, p. 444-450, 2013.

ALVIM I. D. et al. Comparison between the spray drying and spray chilling microparticles contain ascorbic acid in a baked product application. **LWT – Food Science and Technology**, v. 65, p. 689-694, 2016.

ANDRADE, E. C. B.; BARROS, A. M.; TAKASE, I. Avaliação da solubilidade de cobre e zinco em caldos de leguminosas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 23, n. 3, p. 386-388, 2003.

ANDRÉ, A. M. M. C. N. et al. Análise e comparação dos modelos matemáticos da secagem do resíduo de manga “Tommy Atkins”. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 5, p. 1-6, 2014.

BENEVIDES, S. D. et al. Qualidade da manga e polpa da manga Ubá. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 571-578, 2008.

BENVENUTI, S. et al. 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.

BERARDINI, N. et al. Utilization of mango peels as a source of pectin and polyphenolics. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 6, n. 4, p. 442-452, 2005.

BLEINROTH, E. W. Matéria-prima. In: MEDINA, J. C. (Ed.). **Manga: da cultura ao processamento e comercialização**. Campinas: ITAL, v. 8, 1981. 399 p.

BOX, G. E. P.; WETZ, J. Criteria for judging adequacy of estimation by an approximate response function. **University of Wisconsin Technical Report**, Madison, n. 9, 1973. 95 p.

BRAND-WILIANS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995.

BRASIL. Resolução da Diretoria Colegiada nº 360, de 23 de dezembro de 2003. Dispõe sobre o regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados. **Diário Oficial da União nº 251**, de 26 de dezembro de 2003.

BRASIL. Resolução da Diretoria Colegiada nº 054, de 12 de novembro de 2012. Dispõe sobre o regulamento técnico sobre informação nutricional complementar. **Diário Oficial da União nº 218**, de 12 de novembro de 2012.

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. et al. 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. 6, n. 4, p. 420-428, 2005.

CAPARINO, O. A. et al. 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.

CARDOSO, M. A. **Nutrição humana: nutrição e metabolismo**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006, 376 p.

CARVALHO, C. R. L. et al. **Análises Químicas de Alimentos – Manual Técnico**. Campinas: ITAL, 1990, 121 p.

CARVALHO, P. R. N.; COLLINS, C. H.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Comparison of provitamin A determination by normal-phase gravity-flow column chromatography and reversed-phase high performance liquid chromatography. **Chromatographia**, v. 33, n. 3-4, p. 133-137, 1992.

CHEN, C., PEARSON, A. M., GRAY, J. I. Effects of synthetic antioxidants (BHA, BHT and PG) on the mutagenicity of IQ-like compounds. **Food Chemistry**, v. 43, n. 3, p. 177-183, 1992.

CHIA, S. L.; CHONG, G. H. Effect of drum drying on physico-chemical characteristics of dragon fruit peel (*Hylocereus polyrhizus*). **International Journal of Food Engineering**, v. 11, n. 2, p. 285-293, 2015.

COELHO, E. M. et al. Bioactive compounds and antioxidant activity of mango peel liqueurs (*Mangifera indica* L.) produced by different methods of maceration. **Antioxidants**, v. 8, n. 4, p. 102-112, 2019.

CORREIA, R. T. et al. Bioactive compounds and phenolic-linked functionality of powdered tropical fruit residues. **Food Science and Technology International**, v. 18, n. 6, p. 539-547, 2012.

CROZIER, A.; JAGANATH, I. B.; CLIFFORD, M. N. Dietary phenolics: chemistry, bioavailability and effects on health. **Natural Product Reports**, v. 26, n. 8, p. 1001-1043, 2009.

DORTA, E.; LOBO, M. G., GONZÁLEZ, M. Using drying treatments to stabilise mango peel and seed: effect on antioxidant activity. **Food Science and Technology**, v. 45, n. 2, p. 261-268, 2012.

FERREIRA, Renata Linhares. **Avaliação dos processos de secagem e de extração de compostos antioxidantes em farinha de resíduos de frutas e hortaliças**. Rio de Janeiro, 2015. 115 p. Dissertação de mestrado em alimentos e nutrição, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, 2015.

FIESP/ITAL - FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO/INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. **Brasil Food Trends 2020**. São Paulo, 2010. 173 p.

FREIRE, J. T. (Ed.). **Tópicos em secagem de produtos naturais**. 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/326753256>. Acesso em: 12 set. 2018.

GALAZ, P. et al. Effect of drum drying temperature on drying kinetic and polyphenol contents in pomegranate peel. **Journal of Food Engineering**, v. 208, p. 19-27, 2017.

GARCIA-SALAS, P. et al. Phenolic compound extraction systems for fruit and vegetables samples. **Molecules**, v. 15, n. 12, p. 8813-8826, 2010.

GERMER, S. P. M. et al. Influence of process variables on the drum drying of mango pulp. **Drying Technology**, v. 36, n. 12, p. 1488-1500, 2018.

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.

GRABOWSKI, S., MARCOTTE, M., RAMASWAMY, H. S. Drying of fruits, vegetables, and spices. In: CHAKRAVERTY, A. (Ed.). **Handbook of postharvest technology: cereals, fruits, vegetables, tea, and spices**. Nova York: Marcel Dekker, 2003. cap. 23, p. 653-695.

GUTIÉRREZ, Ana María Chaux. **Desidratação de polpa de manga em leito de espuma com e sem intermitência térmica**. São José do Rio Preto, 2015. 125 p. Dissertação de mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos, Instituto de

Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", 2015.

HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J. M. C. **Free radicals in biology and medicine**. 2 ed. Oxford: Clarendon press, 1989.

HENRÍQUEZ, C. et al. 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.

HENRÍQUEZ, C. et al. Kinetic modeling of phenolic compound degradation during drum-drying of apple peel by-products. **Journal of Food Engineering**, v. 143, p. 146-153, 2014.

HORWITZ, W. (Ed). **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 18. ed., 3 rev. Gaithersburg: AOAC, 2010. cap. 50, p.15-18.

I.A.L. - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4 ed. São Paulo. 2008.

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.

KIST, B. B. et al. Manga. In: **Anuário Brasileiro de Horti & Fruti**. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2018, p. 72-75, 2018.

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

KATSURAGI INDUSTRY. Osaka, Japão. Disponível em: <http://www.katsuragi.co.jp/en/index.html>. Acesso em: 19 de dezembro de 2018.

MARQUES, A. et al. Composição centesimal e de minerais de casca e polpa de manga (*Mangifera indica* L.) cv. Tommy Atkins. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 4, p. 1206-1210, 2010.

MARTÍNEZ, R. et al. Chemical, technological and in vitro antioxidant properties of mango, guava, pineapple and passion fruit dietary fibre concentrate. **Food Chemistry**, v. 135, n. 3, p. 1520-1526, 2012.

MARTINS, C. R.; FARIA, J. L. C.; FARIAS, R. M. Sistemas de produção de macieiras influenciam o teor dos nutrientes no solo, no tecido foliar e na fruta. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, v. 17, n. 1, p. 14-26, 2010.

MASIBO, M.; HE, Q. Mango bioactive compounds and related nutraceutical properties - a review. **Food Reviews International**, v. 25, n. 4, p. 346-370, 2009.

MATA, G. M. S. C. et al. Teores de β -caroteno e vitamina C durante o amadurecimento da manga "UBÁ" (*Mangifera indica* L. var. Ubá). **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 70, n. 2, p. 225-229, 2011.

MATTOS, L. L.; MARTINS, I. S. Consumo de fibras alimentares em população adulta. **Revista Saúde Pública**, v. 34, n. 1, p. 50-55, 2000.

MONTE, M. L. et al. Secagem de pasta de vegetais enriquecida de sangue bovino: avaliação das propriedades funcionais e nutricionais das proteínas. In: COBEQ 2014 - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 20. **Anais...** Florianópolis: 2014.

NEPA/UNICAMP - NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ALIMENTAÇÃO/UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. **Tabela brasileira de composição de alimentos – TACO - Versão II**, 4.ed. rev. e ampl. Campinas: NEPA-UNICAMP. 161p. 2011.

NUNES, Larissa Peixoto. **Produção de flocos de jabuticaba por drum drying: desempenho de diferentes coadjuvantes de processo e estabilidade**. Campinas, 2019. 112 p. Dissertação de mestrado em ciência e tecnologia de alimentos, Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2019.

OLIVEIRA, A. C. et al. Fontes vegetais naturais de antioxidantes. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 689-702, 2009.

PEDRASSOLLI, I. M.; HOMEM JUNIOR, A. C.; PANDOLFI, M. A. C. Aproveitamento dos resíduos de manga das agroindústrias. In: SIMTEC – SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA DA FATEC, 3., 2015, Taquaritinga. **Anais eletrônicos...** Taquaritinga, 2015. Disponível em: www.fatectq.edu.br/simte. Acesso em: 16 mar. 2018.

PRANGPRU, N. et al. 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.

PROSKY, L. et al. Determination of insoluble and soluble dietary fibers in foods and food products. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, v. 75, n. 2, p. 360-367, 1992.

PUA, C. K. et al. 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.

QUE, F. et al. Comparison of hot air-drying and freeze-drying on the physicochemical properties and antioxidant activities of pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch.) flours. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 43, n. 7, p. 1195-1201, 2008.

RAMOS, A. M.; SOUSA, P. H. M.; BENEVIDES, S. D. Tecnologia de industrialização da manga. In: ROZANE, D. E. (Ed.). **Manga - Produção integrada , industrialização e comercialização**. Viçosa: Suprema, 2004. p. 571-604.

RAVANI, A.; JOSHI, D. C. Mango and it's by product utilization – a review. **Trends in Post Harvest Technology**, v. 1, n. 1, p. 55-67, 2013.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F.. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**. 3. ed. Campinas: Casa do Espírito Amigo Fraternidade, Fé e Amor, 2014. 357 p.

ROSENTHAL, A.; SGARBIERI, V. C. Nutritional evaluation of a fresh sweet corn drum drying process. In: MUJUMDAR, A. S. (Ed.). **Drying' 92**. Amsterdam: Elsevier, 1992, p.1419-1425.

RUFINO, M. S. M. et al. **Metodologia científica**: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. Fortaleza: EMBRAPA, 2007.

SAGAR, V .R.; KUMAR, P. S. 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.

SAMPAIO, C. G. et al. Chromium (VI) remediation in aqueous solution by waste products (peel and seed) of mango (*Mangifera indica* L.) cultivars. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 6, p. 5588-5600, 2019.

SÁNCHEZ-CAMARGO, A. P. et al. Valorisation of mango peel: proximate composition, supercritical fluid extraction of carotenoids, and application as an antioxidant additive for an edible oil. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 152, 104574, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2019.104574>.

SANTOS, P. H. S.; SILVA, M. A. Retention of vitamin C in drying processes of fruits and vegetables - a review. **Drying Technology**, v. 26, n. 12, p. 1421-1437, 2008.

SHILS, M. E. et al. **Tratado de nutrição moderna na saúde e na doença**. 9. ed. São Paulo: Manole, 2003.

SILVA, D. F. P. et al. Caracterização de frutos de 15 cultivares de mangueira na Zona da Mata mineira. **Revista Ceres**, v. 56, n. 6, p. 783-789, 2009.

SOUSA, V. B. B. et al. Constipação intestinal em crianças e a importância das fibras alimentares: uma revisão da literatura. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, v. 21, p. e561, 2019.

SUGAI, Aurea Yuki. **Processamento descontínuo de purê de manga (*Mangifera indica* Linn.), variedade Haden: estudo da viabilidade do**

produto para pronto consumo. São Paulo, 2002. 82f. Dissertação de mestrado em engenharia, Escola Politécnica da Universidade Estadual de São Paulo, Departamento de Engenharia Química, 2002.

TANG, J.; FENG, H.; SHEN, G. Q. Drum drying. In: HELDMAN, D. R. (Ed.) **Encyclopedia of Agricultural, Food and Biological Engineering.** Nova York: Marcel Dekker, 2003.

TONIN, Isabela Portelinha. **Desidratação de polpa de manga em secador de cilindro rotativo (*drum drying*): variáveis de processo.** Campinas, 2017. 99 p. Dissertação de mestrado em ciência e tecnologia de alimentos, Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2017.

TONIN, I. P. et al. Performance of different process additives on the properties of mango powder obtained by drum drying. **Drying Technology**, v. 36, n. 3, p. 355-365, 2018.

TRAVAGLINI, D. A. et al. Processamento de flocos de manga em secador do tipo monocilíndrico rotativo. In: **Coletânea ITAL**, v. 24, n. 2, p. 193-202, 1994.

UCHOA, A. M. A. et al. Parâmetros físico-químicos, teor de fibra bruta e alimentar de pós alimentícios obtidos de resíduos de frutas tropicais. **Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, v. 15, n. 2, p. 58-65, 2008.

VICTORIA, M. S. et al. Desidratação de cascas de manga por *drum drying*. CIIC 2018 - Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica, 12., 2018, Campinas. **Anais...**Campinas: 2018.

VIEIRA, P. A. F. et al. Caracterização química do resíduo do processamento agroindustrial da manga (*Mangifera indica* L.) var. Ubá. **Alimentos e Nutrição**, v. 20, n. 4, p. 617-623, 2009.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases.** Report of a Joint WHO/FAO Expert Consultation. Technical report series n. 916. Genebra: WHO; 2003. Disponível em: <https://www.who.int/dietphysicalactivity/publications/trs916/download/en/>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2020.

YILMAZ, Y.; TOLEDO, R. Antioxidant activity of water-soluble Maillard reaction products. **Food Chemistry**, v. 93, n. 2, p. 273-278, 2005.

ZOTARELLI, M. F. et al. Production of mango powder by spray drying and cast-tape drying. **Powder Technology**, v.305, p.447-454, 2017.