

Raquel da Silva Simão

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE SNACKS DE MANGA
EM FORMA DE FILMES, OBTIDOS POR *CAST-TAPE DRYING***

Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. João Borges Laurindo

Coorientadora: Dra. Jaqueline Oliveira de Moraes

Florianópolis
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Simão, Raquel da Silva

Produção e caracterização de snacks de manga em
forma de filmes, obtidos por cast-tape drying /
Raquel da Silva Simão ; orientador, João Borges
Laurindo, coorientadora, Jaqueline Oliveira de
Moraes, 2018.

134 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia de Alimentos, Florianópolis,
2018.

Inclui referências.

1. Engenharia de Alimentos. 2. Cast-tape drying.
3. Snack de manga. 4. Amido. 5. Leathers. I.
Laurindo, João Borges. II. Moraes, Jaqueline
Oliveira de. III. Universidade Federal de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Alimentos. IV. Título.

“PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE SNACKS DE MANGA EM FORMA DE FILMES, OBTIDOS POR CAST-TAPE DRYING”

Por

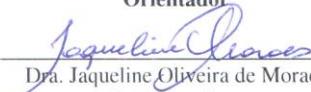
Raquel da Silva Simão

Dissertação julgada para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Alimentos**, área de Concentração de **Desenvolvimento de Processos da Indústria de Alimentos**, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina.



Prof. Dr. João Borges Laurindo

Orientador



Dra. Jaqueline Oliveira de Moraes

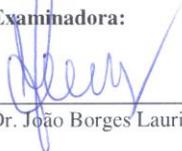
Coorientadora



Prof. Dr. Bruno Augusto Mattar Cardofo

Coordenador

Banca Examinadora:



Prof. Dr. João Borges Laurindo



Profa. Dra. Renata Amboni



Prof. Dr. Germán Ayala Valencia

Florianópolis, 12 de março de 2018.

*Dedico este trabalho à minha família
e aos meus amigos.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado sabedoria, saúde e graça para concluir este trabalho. Agradeço-o por estar comigo em todos os momentos da minha vida e pelas pessoas maravilhosas que Ele colocou em meu caminho.

Aos meus pais, Silvia e Joel, por me darem todo carinho, amor, compreensão e incentivo para alcançar todos os meus objetivos. E, além disso, por não me deixarem desistir nos momentos mais difíceis.

À minha coorientadora, Jaqueline, por todo o apoio, amizade e conselhos durante esse período de mestrado. Agradeço por me ajudar a perceber o quanto gosto da pesquisa!

Ao meu orientador, Professor João Borges Laurindo, pela orientação, contribuições para este estudo e oportunidades proporcionadas para meu crescimento pessoal e profissional.

À Ana Paula e ao Pastor Demétrius por toda a amizade, apoio e conselhos em todos os momentos.

Ao Gilson, à Jô, à Bela e ao Samuel pela amizade e por serem sempre prestativos, não medindo esforços para me ajudar.

Aos amigos do laboratório de Propriedades Físicas de Alimentos (PROFI), em especial, a Paula, a Gabriela, a Emanuelle, a Ana Caroline, a Laura, o Ricardo e a Pamela pela amizade, pelos conhecimentos transmitidos e pelos momentos descontraídos. À Suélen pela amizade e ajuda nos experimentos.

Aos demais colegas do PROFI, que de alguma forma contribuíram para a realização deste estudo.

Aos amigos e aos familiares por todo apoio e carinho que me deram durante esses anos.

À banca examinadora pela disposição, correções e sugestões.

À CAPES pela concessão da bolsa e a oportunidade de estudo.

“...e deu-lhe o nome de Ebenézer,
dizendo: Até aqui o Senhor nos
ajudou.”
I Samuel 7:12

RESUMO

A manga é uma fruta muito apreciada mundialmente, devido à sua cor, sabor e valor nutricional atraentes aos consumidores. Porém, apresenta elevada perecibilidade, indicando a necessidade de processos que aumentem sua vida útil, agreguem valor, e, além disso, diversifiquem a opção de consumo dessa fruta. O *cast-tape drying* (CTD) é um processo de secagem que possibilita a desidratação de alimentos termossensíveis, pois utiliza temperaturas moderadas e tempos de processo relativamente curtos. Neste trabalho, estudou-se o desenvolvimento de *snacks* de manga em forma de filmes, com e sem adição de amido de mandioca pré-gelatinizado, por CTD. Espalhou-se a suspensão com 3 mm de espessura sobre o suporte de *Teflon*, e vapor foi usado como fonte de aquecimento para a secagem. Para a caracterização da suspensão quanto ao comportamento reológico, utilizou-se polpa de manga pura e com adição de amido em três concentrações diferentes (1, 3 e 5 g amido seco/100 g polpa de manga seca). Todas as suspensões apresentaram comportamento pseudoplástico, tornando-as aptas para espalhamento em CTD. A viscosidade aparente das suspensões apresentou uma tendência em aumentar com o aumento da concentração. As suspensões foram secas a 98 °C e as curvas de secagem foram determinadas, não apresentando diferença significativa entre as taxas de secagem. Os *snacks* de manga, obtidos a partir da polpa de manga sem amido e com 5% de amido, foram caracterizados quanto à umidade, atividade de água, espessura, cor, carotenoides totais, propriedades mecânicas e microestrutura. Além disso, a estabilidade dessas duas formulações foi avaliada em relação ao condicionamento em diferentes UR. Isotermas de sorção de umidade, crescimento de fungos durante armazenamento, textura dos *snacks* por análise instrumental (mecânica e acústica) e análise sensorial de aceitabilidade e preferência foram avaliadas. O filme de manga com 5% de amido apresentou uma menor tensão de ruptura em comparação ao filme de manga sem amido. Em UR de 64,8% não houve crescimento de fungos visíveis a olho nu em cinco meses de armazenamento. A isoterma de sorção de umidade das amostras foi característica de produtos higroscópicos. O aumento da umidade dos produtos apresentou efeito negativo em todos os parâmetros sensoriais avaliados, sendo que as amostras armazenadas em UR de 22,5% apresentaram aceitabilidade elevada. A intenção de compra teve alta correlação com a textura dos produtos ($r = 0,998$), sendo a crocância o principal atributo referenciado pelos avaliadores. Portanto, a secagem por CTD resulta em *snacks* de

manga de alta qualidade, em tempos de secagem curtos, sendo uma alternativa viável para aplicação industrial.

Palavras-chave: Secagem. *Cast-tape drying*. *Snack* de manga. Amido. *Leathers*. Textura.

ABSTRACT

Mango is a fruit much appreciated worldwide due to its color, flavor and nutritional value attractive to consumers. However, mangoes are quite perishable, then industrial processing can be used to extend their shelf life, besides that, add value and diversify fruit consumption options. Cast-tape drying (CTD) is a drying process that enables dehydration thermosensible foods, because used moderate temperatures and relatively short process time. In this study, investigated the development of mango snacks in form films, with and without the addition of pregelatinized cassava starch, by CTD. Film-forming suspension was spread with 3 mm of thickness over the Teflon film and steam was used as heating source for the drying. Pure mango pulp and with addition of starch in three concentrations different (1, 3 and 5 g dry starch/100 g dry mango pulp) were used for characterization of suspension in respect to rheological behavior. The suspensions were characterized as pseudoplastic fluids, becoming suitable for spreading in CTD. Apparent viscosity tended to increase with increasing starch concentration. Suspensions were dried to 98 °C and the evolutions of the moisture were determined, and the drying rates not shown significant difference. Mango films obtained from mango pulp without starch and with 5% of starch were characterized as to moisture, water activity, thickness, color, total carotenoids, mechanical properties and microstructure. Besides that, stability these two formulations were evaluated in relation to storage in RH different. Moisture isotherm sorption, fungal growth during storage, snacks texture by instrumental analysis (mechanical and acoustic) and sensorial analysis of acceptability and preference were evaluated. The addition of starch in mango film reduced tensile stress at rupture comparing to mango film without starch. In RH of 64.8% there was no fungal growth visible to the naked eye during five months of storage. The moisture isotherm sorption of the samples was characteristic of hygroscopic products. Increase in the humidity of products showed negative effect in all sensory parameters analyzed, being that the samples conditioned at 22.5% of RH presented good acceptability. Purchase intent correlated very well with the texture ($r = 0.998$), being the crispness the principal attribute referenced by panelists. Therefore, the drying by CTD result in mango of high quality, in very short drying times, and it's a viable alternative for industrial application.

Keywords: Drying. Cast-tape drying. Mango snack. Starch. Leathers. Texture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura dos polissacarídeos que compõem o grânulo de amido.....	37
Figura 2 – Curvas típicas de secagem convectiva.	39
Figura 3 – Velocidade relativa de reações em função da a_w	52
Figura 4 – Isotherma típica de sorção.	53
Figura 5 – Tipos de isotherma de sorção.....	54
Figura 6 – Aparato experimental do CTD.....	59
Figura 7 – Posições dos termopares (T1, T2, T3, T4, T5 e T6) para determinação da temperatura das suspensões.....	60
Figura 8 – Posições dos termopares (T7, T8, T9, T10, T11 e T12) para determinação da temperatura do ar de secagem.	61
Figura 9 – Posição do anemômetro (V1, V2, V3 e V4) para medição da velocidade do ar durante a secagem.	62
Figura 10 – Amostras retiradas em três regiões distintas para obtenção das curvas de secagem em tempos pré-determinados.	62
Figura 11 – Esquema do corpo de prova.....	65
Figura 12 – <i>Snacks</i> de manga elaborados para as análises sensoriais e para o teste instrumental acústico-mecânico.	69
Figura 13 – Equipamento utilizado para a análise instrumental acústico-mecânica dos <i>snacks</i> de manga.	70
Figura 14 – Curvas de escoamento das polpas de manga com diferentes concentrações de amido. Aumento da taxa de cisalhamento (■); Diminuição da taxa de cisalhamento (□).....	74
Figura 15 – Viscosidade aparente em função da taxa de cisalhamento das suspensões. Aumento da taxa de cisalhamento (■); Diminuição da taxa de cisalhamento (□).....	75
Figura 16 – Evolução temporal da umidade, em base seca, das polpas de manga com e sem adição de amido durante a secagem por CTD, realizada em triplicata.....	77
Figura 17 – Evolução temporal da atividade de água das polpas de manga com e sem adição de amido durante a secagem por CTD, realizada em triplicata.....	77
Figura 18 – Dados experimentais da variação da umidade, em base seca, com o tempo para as polpas de manga com e sem adição de amido, ajustados linearmente. Taxa constante (Δ); Taxa decrescente (■).	79
Figura 19 – Evolução temporal da temperatura das suspensões (termopares: T1, T2, T3, T4, T5 e T6), do ar (termopares: T7, T8, T9, T10, T11 e T12), da superfície inferior do suporte teflonado (termopares:	

T13, T14, T15 e T16) e da água de aquecimento (termopares: T17 e T18).	82
Figura 20 – Imagens termográficas da evolução da temperatura da polpa de manga sem amido durante a secagem por CTD, nos tempos de: (a) 0; (b) 1 min; (c) 4 min; (d) 6 min; (e) 8 min; (f) 12 min e (g) 18 min.....	84
Figura 21 – Imagens termográficas da evolução da temperatura da polpa de manga com 5% de amido durante a secagem por CTD, nos tempos de: (a) 0; (b) 1 min; (c) 4 min; (d) 6 min; (e) 8 min; (f) 12 min e (g) 18 min.	85
Figura 22 – Perfil de velocidade do ar durante o processo de secagem das polpas de manga sem amido e com 5% de amido. V1 (■); V2 (●); V3 (▲); V4 (x).	87
Figura 23 – Imagens dos filmes de manga sem amido (a) e com adição de 5% de amido (b).	87
Figura 24 – Micrografias dos filmes de manga sem amido e com adição de 5% de amido: Superfície em contato com o suporte de secagem; Superfície exposta ao ar de secagem; e Fratura dos filmes.....	88
Figura 25 – Imagens dos filmes de manga sem amido e com 5% de amido, para as direções paralela e perpendicular ao espalhamento, após o teste de resistência à propagação do rasgo.	91
Figura 26 – Isotermas de sorção de umidade – Ajuste de GAB aos dados experimentais de umidade de equilíbrio versus atividade de água dos filmes de manga com e sem amido.	95
Figura 27 – Amostras de filmes de manga sem amido condicionadas a 25 °C e em umidades relativas entre 64,8 e 90,8% e o desenvolvimento de bolores.....	97
Figura 28 – Amostras de filmes de manga com 5% de amido condicionadas a 25 °C e em umidades relativas entre 64,8 e 90,8% e o desenvolvimento de bolores.....	97
Figura 29 – Frequência das ordens das amostras de snacks de manga sem amido e com 5% de amido, condicionados em umidades relativas diferentes.....	100
Figura 30 – Frequência dos valores da escala estruturada verbal de 5 pontos atribuídos pelos provadores à intenção de compra dos snacks de manga.	102
Figura 31 – Força (linha preta) e Nível de Pressão Sonoro (SPL, linha cinza) versus tempo durante o teste de corte das amostras de snacks de manga com e sem amido, condicionadas em diferentes umidades relativas.	104

Figura 32 – Biplot da PCA dos parâmetros acústicos, mecânicos e sensoriais dos snacks de manga..... 107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais países produtores de manga no ano de 2016.....	35
Tabela 2 – Composição média da manga var. Tommy Atkins por 100 g de parte comestível.....	36
Tabela 3 – Trabalhos encontrados na literatura sobre frutas em forma de filmes.....	43
Tabela 4 – Atividade de água de soluções salinas saturadas a 25 °C..	67
Tabela 5 – Umidades relativas obtidas através de soluções salinas saturadas a 25 °C.....	68
Tabela 6 – Parâmetros reológicos do modelo de Ostwald e as viscosidades aparentes na taxa de cisalhamento de 8 s ⁻¹ das suspensões.....	76
Tabela 7 – Teor de umidade e atividade de água das polpas de manga com diferentes concentrações de amido usadas na secagem por CTD..	76
Tabela 8 – Taxa de secagem e coeficiente de correlação (R ²) das amostras de polpa de manga com diferentes concentrações de amido secas por CTD.....	80
Tabela 9 – Capacidades evaporativas das polpas de manga sem amido e com 5% de amido durante a secagem.	80
Tabela 10 – Espessura dos filmes de manga com e sem amido.	89
Tabela 11 – Tensão de ruptura, alongamento na ruptura e módulo de Young dos filmes de manga com e sem amido, com cortes realizados na direção paralela ao espalhamento (PA) e na direção perpendicular ao espalhamento (PE).....	90
Tabela 12 – Força média de resistência ao rasgamento dos filmes de manga sem amido e com adição de amido com cortes na direção paralela ao espalhamento (PA) e na direção perpendicular ao espalhamento (PE).	91
Tabela 13 – Parâmetros de cor (L*, a* e b*) e índice de escurecimento (IE) dos filmes de manga com e sem amido com suas superfícies expostas ao ar de secagem e em contato com o suporte de secagem.	93
Tabela 14 – Carotenoides totais presentes na polpa e nos filmes de manga com e sem amido e a retenção de carotenoides nos filmes após o processamento por CTD.....	94
Tabela 15 – Parâmetros estimados do modelo de GAB para os filmes de manga com e sem amido elaborados por CTD.....	96
Tabela 16 – Umidade e atividade de água dos snacks de manga.	98
Tabela 17 – Soma das ordens para os snacks de manga sem amido e com 5% de amido, condicionados em diferentes umidades relativas.	99

Tabela 18 – Resultados do teste de aceitação dos snacks de manga sem amido e com adição de 5% de amido, condicionados em três umidades relativas diferentes.	101
Tabela 19 – Parâmetros de cor (L^* , a^* e b^*) dos snacks de manga sem amido e com adição de 5% de amido, condicionados em três umidades relativas diferentes.	103
Tabela 20 – Valores médios dos parâmetros obtidos no teste instrumental acústico-mecânico.....	106
Tabela 21 – Matrix do coeficiente de correlação entre as variáveis analisadas, determinada com base no PCA.....	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANOVA	Análise de variância
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CAR	Carotenoides totais
CEPSH/UFSC	Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Santa Catarina
CTD	<i>Cast-tape drying</i>
FAOSTAT	Divisão de estatística da <i>Food and Agriculture Organization</i>
GAB	Guggenheim-Anderson-de Boer
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LCME	Laboratório Central de Microscopia Eletrônica
MANGA_AM_0	Polpa de manga sem adição de amido
MANGA_AM_1	Polpa de manga com 1 g amido seco/100 g polpa de manga seca
MANGA_AM_3	Polpa de manga com 3 g amido seco/100 g polpa de manga seca
MANGA_AM_5	Polpa de manga com 5 g amido seco/100 g polpa de manga seca
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
RW	<i>Refractance Window®</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

$A_{1\text{ cm}}^{1\%}$	Absortividade do β -caroteno em éter de petróleo	
a^*	Cromaticidade de a^*	
A_{bs}	Absorbância	
a_w	Atividade de água	
b^*	Cromaticidade de b^*	
C	Constante de Guggenheim	
CE	Capacidade evaporativa	$\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-1}$
dX/dt	Taxa de secagem	$\text{kg kg}^{-1} \text{h}^{-1}$
IE	Índice de escurecimento	
K	Constante de GAB	
K	Índice de consistência	Pa s^n
L	Espessura de espalhamento da suspensão	M
L^*	Luminosidade	
M	massa da amostra	G
N	Índice de comportamento de escoamento	Adimensional
P	Pressão de vapor da água no alimento	Pa
P_o	Pressão de vapor d água pura	Pa
R^2	Coefficiente de correlação	
$RMSE$	Raiz do erro médio quadrático	
SPL	Nível de pressão sonora	dB
SPL_{10}	Média do nível de pressão sonora dos 10 maiores picos	dB
$SPL_{\text{máx}}$	Nível de pressão sonora do pico máximo	dB
T	Temperatura	$^{\circ}\text{C}$
UR	Umidade relativa do ar	$\%$
V	Volume da diluição	mL
X_{bs}	Umidade em base seca	g g^{-1}
X_{bu}	Umidade em base úmida	g g^{-1} ou kg kg^{-1}
X_c	Umidade crítica	g g^{-1}

X_{eq}	Umidade de equilíbrio	$g\ g^{-1}$
X_m	Umidade da monocamada	$g\ g^{-1}$
Y	Módulo de Young	MPa/%
ε	Emissividade	
ε_{rup}	Alongamento na ruptura	%
ρ	Massa específica da suspensão	$kg\ m^{-3}$
σ	Tensão de cisalhamento	Pa
σ_{rup}	Tensão de ruptura	MPa
$\dot{\gamma}$	Taxa de cisalhamento	s^{-1}
η_{ap}	Viscosidade aparente	Pa.s

SUMÁRIO

DIAGRAMA CONCEITUAL DO TRABALHO	29
1 INTRODUÇÃO.....	31
1.1 OBJETIVOS.....	32
1.1.1 Objetivo geral.....	32
1.1.2 Objetivos específicos.....	32
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	35
2.1 MANGA E SUA PRODUÇÃO.....	35
2.1.1 Manga variedade Tommy Atkins.....	36
2.2 AMIDO.....	36
2.3 SECAGEM.....	37
2.3.1 Fundamentos da secagem	38
2.4 PROCESSO DE SECAGEM POR ESPALHAMENTO	40
2.4.1 <i>Cast-tape drying (CTD)</i>	40
2.5 FRUTAS EM FORMA DE FILMES	41
2.6 ATIVIDADE DE ÁGUA.....	51
2.7 ISOTERMAS DE SORÇÃO DE UMIDADE	52
2.8 ANÁLISE SENSORIAL	54
2.9 TEXTURA.....	55
3 MATERIAL E MÉTODOS	57
3.1 MATÉRIA-PRIMA	57
3.2 PREPARO DAS SUSPENSÕES.....	57
3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS SUSPENSÕES FORMADORAS DE FILMES	57
3.3.1 Comportamento reológico	57
3.4 PROCESSO DE SECAGEM.....	58
3.4.1 Aparato experimental.....	58
3.4.2 Condições de secagem	59
3.4.3 Evolução da temperatura das suspensões durante a secagem	59
3.4.4 Evolução temporal da temperatura do ar de secagem, da superfície inferior do suporte e da água.....	61
3.4.5 Velocidade do ar de secagem	61
3.4.6 Cinética de secagem.....	62
3.4.7 Umidade.....	62
3.4.8 Atividade de água	63
3.4.9 Capacidade evaporativa (CE).....	63

3.5	CARACTERIZAÇÃO DOS SNACKS DE MANGA EM FORMA DE FILME	63
3.5.1	Avaliação subjetiva	63
3.5.2	Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	63
3.5.3	Espessura	64
3.5.4	Propriedades mecânicas	64
	3.5.4.1 Ensaio de tração	64
	3.5.4.2 Ensaio de resistência à propagação do rasgo	64
3.5.5	Análise de cor.....	65
3.5.6	Carotenoides totais.....	66
3.5.7	Isoterma de sorção de umidade.....	66
3.5.8	Análise de crescimento de fungos.....	67
3.5.9	Análises sensoriais	68
3.5.10	Teste instrumental acústico-mecânico para avaliação da textura	69
3.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	71
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	73
4.1	COMPORTAMENTO REOLÓGICO DAS SUSPENSÕES ...	73
4.2	EVOLUÇÃO DA UMIDADE, DA ATIVIDADE DE ÁGUA E DA TAXA DE SECAGEM DURANTE O PROCESSO DE CTD	76
4.3	CAPACIDADE EVAPORATIVA.....	80
4.4	EVOLUÇÃO TEMPORAL DA TEMPERATURA DAS SUSPENSÕES, DO AR DE SECAGEM, DA SUPERFÍCIE INFERIOR DO SUPORTE E DA ÁGUA DE AQUECIMENTO	81
4.5	PERFIL DE VELOCIDADE DO AR DE SECAGEM	86
4.6	CARACTERIZAÇÃO DOS SNACKS DE MANGA EM FORMA DE FILME	87
4.6.1	Avaliação subjetiva	87
4.6.2	Microscopia eletrônica de varredura.....	88
4.6.3	Espessura	88
4.6.4	Propriedades mecânicas	89
4.6.5	Análise de cor.....	92
4.6.6	Carotenoides totais.....	94
4.6.7	Isoterma de sorção de umidade.....	95
4.6.8	Análise de crescimento de fungos.....	96
4.6.9	Análises sensoriais	98
4.6.10	Cor das amostras após condicionamento em diferentes UR	103
4.6.11	Medidas instrumentais acústico-mecânicas da crocância	104

4.6.12	Correlação entre os resultados das análises sensorial e instrumental	107
5	CONCLUSÃO.....	111
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	113
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
	APÊNDICE A – FICHA DA AVALIAÇÃO SENSORIAL DE ACEITAÇÃO DOS SNACKS DE MANGA	129
	APÊNDICE B – FICHA DA AVALIAÇÃO SENSORIAL DE INTENÇÃO DE COMPRA DOS SNACKS DE MANGA	130
	APÊNDICE C – FICHA DO TESTE DE PREFERÊNCIA DOS SNACKS DE MANGA	131
	ANEXO A – APROVAÇÃO DO PARECER PELO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA.....	132

DIAGRAMA CONCEITUAL DO TRABALHO

PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE *SNACKS* DE MANGA EM FORMA DE FILMES, OBTIDOS POR *CAST-TAPE DRYING*

Por quê?

- Frutas apresentam vida útil reduzida. A redução da atividade de água por meio da secagem é uma alternativa para aumentar a vida útil desses produtos, assim como para agregar valor a eles;
- *Snacks* de frutas podem ser saudáveis e convenientes, de acordo com as tendências mundiais de consumo de alimentos;
- O processo de secagem de alimentos por *cast-tape drying* pode formar filmes de frutas e apresenta curtos tempos de secagem, da ordem de 15-20 minutos.

Quem já fez?

- A maioria dos estudos sobre a produção de frutas em forma de filmes utiliza a secagem convectiva;
- O processo de secagem por *cast-tape drying* geralmente é utilizado para obtenção de pós e fatias desidratadas de frutas e vegetais.

Hipóteses

- É possível produzir filmes a partir de polpa de manga e de polpa de manga com adição de amido, usando o processo de *cast-tape drying*. Esses filmes são estáveis em faixas intermediárias de UR e podem ser consumidos como *snacks*.

O que foi feito

- Produção de filmes a partir de polpa de manga, com diferentes concentrações de amido, elaborados por *cast-tape drying*;
- Caracterização do processo a partir das curvas de secagem das polpas e misturas;
- Caracterização dos filmes quanto às suas características gerais (avaliação subjetiva), umidade, atividade de água, espessura, propriedades mecânicas, cor, carotenoides totais e microestrutura;
- Caracterização dos *snacks* de manga após condicionamento em diferentes UR por: Isoterma de sorção de umidade, análise visual do crescimento de fungos, análises sensoriais e medidas instrumentais acústico-mecânicas.

Respostas

- Melhores condições experimentais de secagem, considerando menor tempo de secagem, melhor manuseabilidade e aceitabilidade.

1 INTRODUÇÃO

A manga é uma fruta muito apreciada mundialmente, pois possui cor, sabor e valor nutricional atraentes aos consumidores. Segundo a FAOSTAT (2018), a produção mundial de manga no ano de 2016 foi de aproximadamente 46,5 milhões de toneladas, concentrada nos países de clima tropical e subtropical. O Brasil foi o sétimo maior produtor, com aproximadamente 1,42 milhões de toneladas. As mangas apresentam alta perecibilidade, reduzindo sua vida útil. O processo de secagem é uma alternativa para aumentar a vida útil dessas frutas, agregar valor e ajudar na redução de perdas pós-colheita. Ao selecionar um processo de secagem, fatores como o tipo de produto a ser seco, as propriedades desejadas para o produto final e a tolerância do produto às temperaturas do processo devem ser considerados, a fim de preservar grande parte das propriedades nutricionais e características sensoriais do produto (RAHMAN e PERERA, 2007). O desenvolvimento de *snacks* de manga em forma de filmes pode ser uma alternativa tecnológica e de agregação de valor, além de diversificar as opções de consumo dessa fruta (CONCHA-MEYER et al., 2016).

O processo mais utilizado para produção de frutas em forma de filmes é a secagem convectiva ou com ar quente (MOYLS, 1981; AZEREDO et al., 2006; PHIMPHARIAN et al., 2011; VALENZUELA e AGUILERA, 2015a, b; CONCHA-MEYER et al., 2016). No entanto, outras tecnologias de secagem para obtenção desses produtos têm sido estudadas, nas quais o *cast-tape drying* (CTD) pode ser utilizado. CTD é um processo alternativo para a desidratação de polpas de frutas, pois utiliza temperaturas moderadas e tempos de secagem relativamente curtos, possibilitando a secagem de alimentos com compostos sensíveis ao calor (SOUZA, 2015; ZOTARELLI et al., 2017). Este processo é um método de secagem condutivo, no qual a solução/suspensão a ser desidratada é espalhada sobre um suporte flexível, enquanto sua superfície inferior está em contato com água quente ou vapor, os quais fornecem calor para a secagem do produto.

Uma das dificuldades encontradas na secagem de polpas de frutas é a sua alta aderência no suporte de secagem, devido à presença de açúcares e ácidos de baixa massa molecular (LOREVICE et al., 2012; PRANGPRU et al., 2015). Esse problema pode ser reduzido através da adição de coadjuvantes de processo, como amidos, maltodextrinas, gomas e pectinas, os quais são componentes de alta massa molecular (ROOS e KAREL, 1991; JITTANIT et al., 2011; PRANGPRU et al., 2015). O

amido, após a gelatinização, exibe alta força coesiva entre suas moléculas e é capaz de formar filmes. Também, aumenta a temperatura de transição vítrea da polpa de frutas, aumentando a estabilidade do produto durante a sua vida útil (VALENZUELA e AGUILERA, 2015, TONIN et al., 2018). Além disso, o amido é um material de baixo custo e de alta disponibilidade (JÍMENEZ et al., 2012).

O desenvolvimento de novos produtos envolve um estudo sensorial, que permite vincular formulações de produtos, condições de armazenamento e parâmetros de processo às respostas dos consumidores, e usar esses *insights* para chegar a uma informação sobre o potencial de mercado (GIACALONE, 2018). Filmes de fruta produzidos para consumo como *snacks* são encontrados na literatura como *leathers* ou *pestil* (MOYLS, 1981; GUJRAL e KHANNA, 2002; MASKAN, KAYA e MASKAN, 2002; HUANG e HSIEH, 2005; AZEREDO et al., 2006; OKILYA, MUKISA e KAAYA, 2010; PHIMPHARIAN et al., 2011; ADDAI et al., 2016; CONCHA-MEYER et al., 2016; TONTUL e TOPUZ, 2017; YILMAZ et al., 2017). Segundo Torres et al. (2015), os filmes de frutas geralmente têm atividade de água intermediária, baixo teor de umidade e baixo pH, o que leva à estabilidade microbiológica durante e após a elaboração. Dentro deste contexto, os filmes de frutas podem preencher uma expectativa dos consumidores por alimentos com altos valores nutricionais, com propriedades sensoriais atrativas, e, além disso, são produtos convenientes.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo central deste estudo foi investigar a aplicação da secagem por CTD para obtenção de *snacks* de manga em forma de filme, com e sem adição de amido.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar o comportamento reológico da polpa de manga com e sem adição de amido pré-gelatinizado para utilização em CTD;
- Analisar as cinéticas de secagem de suspensões de manga com e sem a adição de amido em diferentes concentrações;
- Caracterizar os *snacks* de manga após a produção;

- Caracterizar os snacks de manga após condicionamento em diferentes UR em relação ao crescimento de fungos, aceitabilidade, intenção de compra e preferência do consumidor;
- Correlacionar medidas de aceitação sensorial com medidas de textura instrumentais acústico-mecânicas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MANGA E SUA PRODUÇÃO

A mangueira (*Mangifera indica* L.) pertence à família *Anacardiaceae* e é cultivada há mais de 4000 anos. Originária do sudeste asiático, a manga se dispersou por todas as partes do mundo e, atualmente, é cultivada na maioria dos países de clima tropical e subtropical (CRUZ, 2006).

A manga é apreciada mundialmente devido à sua cor e sabor, bem como ao seu valor nutricional. A fruta é rica em carotenoides, vitamina C, compostos fenólicos, minerais, fibras solúveis, além de possuir alta atividade antioxidante (TONIN et al., 2018). O carotenóide predominante na manga é o β -caroteno, sendo o principal fator pró-vitamina A, e também o principal pigmento nessa fruta (WILBERG e RODRIGUEZ-AMAYA, 1995).

De acordo com dados da FAOSTAT (2018), a produção mundial de manga no ano de 2016 foi de aproximadamente 46,51 milhões de toneladas. O Brasil produziu, aproximadamente, 1,42 milhões de toneladas no ano de 2016 (Tabela 1), representando 3,05% da produção mundial, sendo o sétimo maior produtor.

Tabela 1 – Principais países produtores de manga no ano de 2016.

País	Produção (toneladas)	Porcentagem em relação à produção total (%)
Índia	18.779.000	40,38
China	4.664.272	10,03
Tailândia	3.432.129	7,38
México	2.197.313	4,72
Indonésia	2.184.399	4,70
Paquistão	1.606.091	3,45
Brasil	1.417.149	3,05

Fonte: FAOSTAT (2018).

Segundo estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013), as regiões nordeste e sudeste são as maiores produtoras de manga do país, contribuindo com a produção nacional em 67,44% e 31,28%, respectivamente. Em 2013, o estado com maior produção de manga no Brasil foi a Bahia (437.919 toneladas), seguida de São Paulo (214.260 toneladas) e Pernambuco (214.117 toneladas). A

maior parte da produção brasileira é destinada ao mercado interno, para consumo *in natura*, ou como polpas e sucos (SEBRAE, 2017).

2.1.1 Manga variedade Tommy Atkins

A manga da variedade Tommy Atkins é uma das variedades mais populares e apreciadas mundialmente, devido à sua atraente coloração e à sua resistência ao manuseio e ao transporte (NETO, 2017). Originária da Flórida (EUA), a manga Tommy Atkins possui frutos de tamanhos médio e grande (400 – 600 g), de casca grossa, lisa e de coloração que varia do laranja-amarelo ao vermelho-brilhante. A polpa é firme, suculenta e com teor médio de fibras, se comparada com outras variedades (CUNHA et al., 1994; CRUZ, 2006). Seus principais constituintes são água, carboidratos, proteínas e fibras (Tabela 2).

Tabela 2 – Composição média da manga var. Tommy Atkins por 100 g de parte comestível.

Composição centesimal	g.100 g ⁻¹
Umidade	85,8
Proteína	0,9
Lipídeos	0,2
Carboidrato	12,8
Fibra alimentar	2,1
Cinzas	0,3

Fonte: NEPA-UNICAMP (2011).

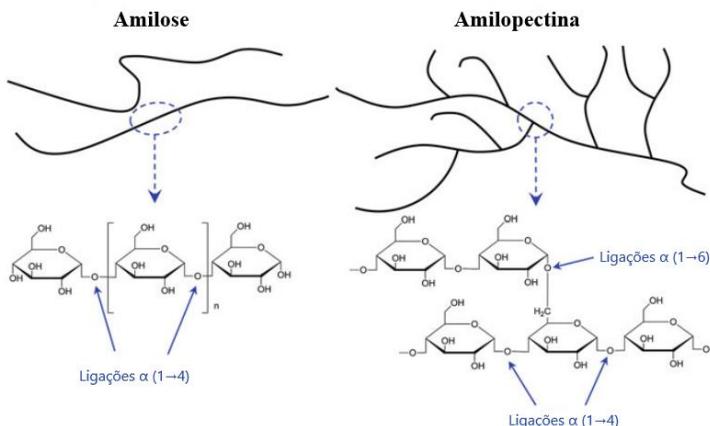
2.2 AMIDO

O amido é o principal carboidrato de reserva das plantas, estando presente na forma de grânulos intracelulares. Os amidos comerciais são obtidos a partir de sementes de cereais, principalmente milho, trigo e arroz, além de tubérculos e raízes, em especial batata e mandioca (FENNEMA, DAMODARAN e PARKIN, 2010).

O amido é composto por dois polissacarídeos, amilose e amilopectina, cujas proporções dependem da sua origem botânica. As estruturas desses polissacarídeos estão representadas na Figura 1. A amilose é um polissacarídeo linear, formada por unidades de D-glicose, unidas por ligações glicosídicas do tipo α (1→4). A amilopectina é um polissacarídeo altamente ramificado, constituída por unidades de D-

glicose ligadas por meio de ligações α (1 \rightarrow 4) e ramificações em α (1 \rightarrow 6) (McMURRY, 2012).

Figura 1 – Estrutura dos polissacarídeos que compõem o grânulo de amido.



Fonte: adaptado de XIE et al. (2015).

Os grânulos de amido apresentam certa organização molecular, proporcionando-lhes um caráter semicristalino (KEETELS, OOSTERGETEL e VLIET, 1996). A região cristalina (região mais ordenada) é composta pela parte linear das moléculas de amilopectina, enquanto a região amorfa é formada pelas cadeias de amilose e pelas ramificações de amilopectina (VAN SOEST e VLIEGENTHART, 1997).

Os grânulos de amido são insolúveis em água fria, devido às ligações de hidrogênio e à presença de zonas cristalinas (SARKER et al., 2012). No entanto, o amido pré-gelatinizado é solúvel em água fria. O uso de amido pré-gelatinizado é recomendado em alimentos sensíveis ao calor, pois não requer aquecimento para produzir soluções viscosas (ALCÁZAR-ALAY e MEIRELES, 2015).

2.3 SECAGEM

Aproximadamente um terço da produção mundial de alimentos é perdida anualmente devido à falta de processamento adequado (GUSTAVSSON et al., 2011). Nos países em desenvolvimento, a perda de frutas e hortaliças é estimada em cerca de 30 a 40% da produção

(KARIM e HAWLADER, 2005). Diversas técnicas têm sido utilizadas para reduzir as perdas e aumentar a vida útil de frutas e hortaliças, sendo a secagem um dos métodos mais antigos, simples e amplamente utilizados para conservação de alimentos (KUMAR, KARIM e JOARDDER, 2014).

A secagem é uma operação unitária que visa à conservação do alimento, através da redução da sua atividade de água, reduzindo o crescimento microbiano e as velocidades das reações químicas no produto, bem como facilita o uso e diversifica a oferta do produto. Além disso, a redução do peso e do volume do alimento diminuem os custos de transporte e armazenamento (ORDÓÑEZ et al., 2005).

Para selecionar um processo de secagem, devem-se considerar diversos fatores, como o tipo de produto a ser seco, as propriedades desejadas para o produto final e a tolerância do produto às temperaturas de processamento, de forma a manter suas propriedades nutricionais e sensoriais. Além disso, os pré-tratamentos necessários e os custos de processamento devem ser considerados (RAHMAN e PERERA, 2007).

2.3.1 Fundamentos da secagem

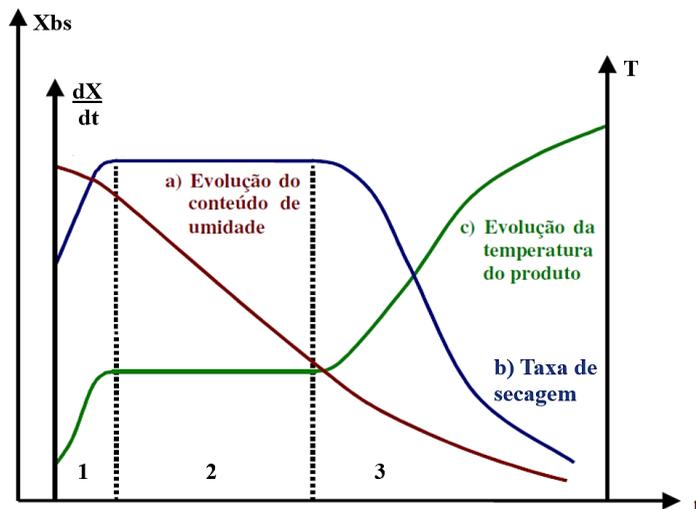
A secagem é definida como a aplicação de calor, sob condições controladas, para remover a maior parte da umidade presente em um material, através da evaporação ou sublimação da água (FELLOWS, 2009). Durante a secagem com ar quente (secagem convectiva), ocorrem simultaneamente transferências de calor e de massa, que são influenciadas pelas condições externas (umidade relativa e temperatura do ar de secagem) e pelas condições internas (propriedades termofísicas do material a ser seco). A influência desses fatores é diferente em cada período da secagem, fazendo da secagem uma operação unitária de grande complexidade (STRUMILLO e KUDRA, 1986).

A secagem baseia-se na diferença entre a pressão de vapor de água na superfície do material e a pressão de vapor de água no ar ambiente. A pressão de vapor exercida pela umidade contida no material depende da temperatura do material, e de como a água está ligada na sua estrutura. O ar ambiente que circunda o material possui uma pressão parcial de vapor que está relacionada à sua umidade relativa e à sua temperatura. Quando a pressão parcial de vapor da água no material for igual à pressão parcial de vapor da água no ar, a secagem cessa (GEANKOPLIS, 1993; HELDMAN e HARTEL, 1997).

Na Figura 2 são representadas a curva de evolução temporal da umidade em base seca (X_{bs}), a curva da taxa de secagem (dX/dt) e a curva

da evolução temporal de temperatura do produto (T) durante o processo de secagem.

Figura 2 – Curvas típicas de secagem convectiva.



Fonte: adaptado de Park et al. (2007).

Três períodos podem ser observados na curva de secagem do material. No início do processo de secagem (região 1 na Figura 2), o produto está a uma temperatura inferior à temperatura do ar de secagem, dessa maneira, sua temperatura eleva-se rapidamente até atingir a temperatura de bulbo úmido do ar. Esse período inicial de ajuste é normalmente curto e desprezado no cálculo do tempo de secagem. Em seguida, ocorre o período de secagem à taxa constante (região 2 na Figura 2), onde toda a superfície exposta do material está saturada de água. Essa água está livre e atua como se o material não estivesse presente. Esse período de secagem continua enquanto a água do interior do material move-se para a superfície na mesma velocidade com que evapora na superfície. Assim, a taxa de secagem depende, unicamente, da taxa de transferência de calor para o material que está sendo seco. O final desse período ocorre quando a superfície do produto fica insaturada de água, isto é, a umidade crítica (X_c) é alcançada. A partir desse ponto, a taxa de secagem começa a decrescer (FOUST et al., 1982; GEANKOPLIS, 1993; RAHMAN e PERERA, 2007; FELLOWS, 2009). Cabe ressaltar que a

umidade crítica depende do material a ser desidratado e das condições do ar de secagem.

Durante o período de secagem à taxa decrescente (região 3 na Figura 2), a velocidade de migração da água do interior do produto para a superfície é menor que a velocidade de evaporação da água da superfície. Assim, a temperatura da superfície do material aumenta até atingir a temperatura de bulbo seco do ar de secagem. O processo de secagem termina quando o material atinge a umidade de equilíbrio (X_{eq}), que corresponde à menor umidade que o material pode atingir no processo de secagem, nas condições as quais está submetido (FOUST et al., 1982; GEANKOPLIS, 1993; FELLOWS, 2009).

2.4 PROCESSO DE SECAGEM POR ESPALHAMENTO

2.4.1 *Cast-tape drying* (CTD)

CTD é um processo de secagem condutivo, no qual uma camada fina de solução ou suspensão viscosa é espalhada, com espessura controlada por um *doctor blade*, sobre um suporte flexível aquecido por água ou vapor na sua superfície inferior. A água evaporada deve ser retirada da superfície superior da solução submetida à secagem, o que é realizada pelo escoamento de ar. Nesse caso, o ar não fornece o calor latente para a evaporação da água, sendo apenas o veículo para retirada dos vapores produzidos durante a secagem.

O suporte flexível pode ser um filme de poliéster (Mylar®) ou de fibra de vidro revestido com Teflon®. O suporte de fibra de vidro revestido com Teflon® possui baixa energia de superfície, que facilita a remoção do produto no final da secagem, isto é, reduz problemas de adesão do produto ao suporte. Além disso, o filme teflonado apresenta estabilidade térmica, disponibilidade no mercado nacional e menor custo (BHANDARI e HOWES, 2005; DURIGON, 2016b).

A aplicação do CTD na secagem de polpas de frutas e hortaliças resulta em produtos desidratados na forma de filmes, de flocos ou de pós. Esse processo de desidratação permite a utilização de temperaturas moderadas de secagem, geralmente entre 70 e 80 °C (ABONYI et al., 2002), e tempos de secagem relativamente curtos (alguns minutos). Essas condições possibilitam a secagem de alimentos com componentes termossensíveis (SOUZA, 2015; ZOTARELLI et al., 2017).

O processo de secagem de frutas e hortaliças que tem sido reportado na literatura como *refractance window* (RW) é um caso

particular do CTD (ABONYI et al., 2002; NINDO et al., 2003; NINDO e TANG, 2007; CAPARINO et al., 2012; CASTOLDI, 2012; OCHOA-MARTÍNEZ et al., 2012; ZOTARELLI, CARCIOFI e LAURINDO, 2015). Nindo e Tang (2007) reportaram que o processo de secagem por RW utiliza os três mecanismos de transferência de calor, condução, convecção e radiação, considerando que a transferência de calor por radiação seria um mecanismo importante na transferência de calor durante a secagem. Porém, Zotarelli, Carciofi e Laurindo (2015) e Ortiz-Jerez et al. (2015) mostraram que a contribuição da transferência de calor por radiação é inferior a 5% do calor total transferido durante o processo de secagem por RW. Isso implica que a maior parte do calor é transferida por condução através do filme polimérico.

Os trabalhos encontrados na literatura sobre secagem de produtos utilizando CTD é, geralmente, para obtenção de pós (CAPARINO et al., 2012; PAVAN, SCHMIDT e FENG, 2012; CASTOLDI et al., 2015; SOUZA, 2015; DURIGON et al., 2016a; FRABETTI, 2017; ZOTARELLI et al. 2017) ou fatias desidratadas de frutas e hortaliças (OCHOA-MARTÍNEZ, 2012; AZIZI et al., 2016; HERNANDÉZ-SANTOS et al., 2016). Pouco se conhece sobre a produção de filmes de frutas e hortaliças usando esta técnica (TONTUL e TOPUZ, 2017).

2.5 FRUTAS EM FORMA DE FILMES

Frutas são fontes de nutrientes e antioxidantes que podem ser consumidas na forma de filmes feitos a partir de suas polpas (OTONI et al., 2017). Os *snacks* de frutas em forma de filmes representam uma forma diferente de preservação das frutas e pode ser uma alternativa para agregar valor e diversificar as opções de consumo de frutas (CONCHA-MEYER et al., 2016). A maioria dos trabalhos encontrados na literatura sobre produção de *snacks* de frutas em forma de filmes utiliza secagem com ar quente ou convectiva. Esse método pode ocasionar danos sensoriais e nutricionais aos alimentos, devido à degradação térmica e às reações químicas e bioquímicas que ocorrem durante os longos tempos de secagem (MOUSA e FARID, 2002). Outras formas de secagem, como CTD, podem ser alternativas tecnológicas para a preparação de filmes de frutas. Na Tabela 3 são apresentados diversos trabalhos encontrados na literatura sobre filmes de frutas, que em inglês são chamados de *fruit leathers* ou *pestil*.

A secagem de polpas de frutas apresenta algumas dificuldades, devido à presença de açúcares e ácidos de baixa massa molecular

(PRANGPRU et al., 2015). Uma das dificuldades encontradas é a alta aderência das polpas de frutas no suporte de secagem (LOREVICE et al., 2012; PRANGPRU et al., 2015). Esse problema pode ser reduzido por meio da adição de agentes carreadores, como amidos, maltodextrinas, gomas e pectinas, que são componentes de alta massa molecular (ROOS e KAREL, 1991; JITTANIT et al., 2011; PRANGPRU et al., 2015). O amido pode ser utilizado na secagem de polpas de frutas para auxiliar na formação do filme e também aumentar a temperatura de transição vítrea dos produtos, melhorando a sua estabilidade ao longo do armazenamento (VALENZUELA e AGUILERA, 2015a; TONIN et al., 2018). Além disso, esse material apresenta baixo custo e grande disponibilidade (JÍMENEZ et al., 2012).

Tabela 3 – Trabalhos encontrados na literatura sobre frutas em forma de filmes.

Matéria-prima	Aditivo	Processo de secagem	Resultados mais relevantes	Referências
Maçã	-	Secagem em bandeja utilizando temperatura de 90-121 °C, velocidade do ar de secagem de 4,6-7,4 m/s e tempo de secagem de 167-220 min.	As curvas de taxa de secagem apresentaram três períodos: período à taxa constante e dois períodos à taxa decrescente.	Moyls (1981)
Manga	Concentrado de proteína de soja, leite em pó desnatado e sacarose	Secagem utilizando ar quente à temperatura de 60 ± 1 °C e velocidade de 3,5 m/s em um secador de bandejas por 10 h. Para evitar que o filme de manga aderisse nas bandejas após a secagem, passou-se uma camada de óleo muito fina (óleo vegetal refinado) nas bandejas de alumínio.	A adição de concentrado de proteína de soja, leite em pó desnatado e sacarose reduziu significativamente a taxa de secagem da manga em forma de filme. Todos os três aditivos reduziram significativamente a extensibilidade (mm) e a energia de ruptura (J) da manga em forma de filme. A sacarose melhorou a cor do produto	Gujral e Khanna (2002)

Continuação

Matéria-prima	Aditivo	Processo de secagem	Resultados mais relevantes	Referências
Uva	Amido de trigo	<p>Secagem com ar quente com temperaturas de secagem de 55, 65 e 75 °C e velocidade do ar de $0,86 \pm 0,03$ m/s, $1,27 \pm 0,04$ m/s e $1,82 \pm 0,09$ m/s.</p> <p>Secagem solar expondo as amostras a luz solar direta por 14 h, com intensidade da luz de 140 ± 62 J cm⁻² min⁻¹; temperatura do ar durante o dia de $21,4 \pm 9,2$ °C e a noite $14,9 \pm 5,3$ °C; e velocidade do ar durante o dia de $0,53 \pm 0,34$ m/s e a noite $0,32 \pm 0,12$ m/s.</p>	<p>O tempo de secagem, a espessura da amostra e a temperatura do ar influenciaram o teor de umidade do produto durante a secagem.</p> <p>A secagem solar levou o maior tempo de secagem que a secagem com ar quente, sendo um risco para o crescimento microbiano.</p>	Maskan, Kaya e Maskan (2002)

Continuação

Matéria-prima	Aditivo	Processo de secagem	Resultados mais relevantes	Referências
Pera	Pectina e xarope de milho	Secagem em estufa a 70 °C por 8 h.	<p>A pectina foi o aditivo mais importante que influenciou significativamente todas as cinco propriedades de textura do produto (dureza, adesividade, coesividade, elasticidade e mastigabilidade).</p> <p>A cor da pera na forma de filmes não mudou visivelmente após o armazenamento.</p> <p>O crescimento microbiano foi dificultado pelo baixo teor de umidade, atividade de água e embalagem.</p>	Huang e Hsieh (2005)
Manga	-	Secagem em estufa utilizando temperaturas entre 60-80 °C e tempos de secagem de 120-280 min.	<p>A manga em forma de filme foi bem aceita pelos provadores, principalmente em termos de sabor.</p> <p>A atividade de água intermediária (0,62), associada com o baixo pH (3,8) permitiu que o produto fosse microbiologicamente estável por, pelo menos, 6 meses.</p>	Azeredo et al. (2006)

Continuação

Matéria-prima	Aditivo	Processo de secagem	Resultados mais relevantes	Referências
Tomate	Solução aquosa de polidextrose, pectina de alta metoxilação e ácido cítrico.	Secagem em bandeja com temperatura entre 40 e 80 °C e velocidade do ar de 2 m/s.	As curvas de secagem do tomate em forma de filme apresentaram dois períodos: período à taxa constante e período à taxa decrescente.	Fiorentini, Díaz e Giner (2007)
Longan (“olho de dragão”)	-	Secagem convectiva combinada com infravermelho longo. Na secagem convectiva, a temperatura do ar quente foi de 60, 70 e 80 °C e velocidade do ar de 0,50; 0,75 e 1,00 m/s. A secagem convectiva combinada com infravermelho longo foi realizada com cinco temperaturas de radiação infravermelha longa de 300 a 500 °C, com distância entre a amostra e a fonte de calor infravermelho de 10-30 cm.	A combinação da secagem convectiva com infravermelho longo proporcionou tempo de secagem curto, devido aos maiores coeficientes de transferência de calor e massa em relação à secagem com ar quente.	Jaturonglumlert e Kiatsiroat (2010)

Continuação

Matéria-prima	Aditivo	Processo de secagem	Resultados mais relevantes	Referências
Jaca	-	Secagem solar por três dias a temperatura média de 36,7 °C. Secagem em estufa a uma temperatura de 50 °C durante 18 h. Secagem em bandeja a 65 °C por 6 h.	O filme de jaca obtido por secagem solar não foi sensorialmente aceito, pois o longo tempo de secagem e baixa temperatura influenciaram na perda de pigmentos e compostos aromáticos, bem como nas reações de escurecimento.	Okilya, Mukisa e Kaaya (2010)
Abacaxi	Xarope de glicose e pectina	Secagem com ar quente a 60 °C por 10 h.	As concentrações de pectina e xarope de glicose influenciaram significativamente as propriedades físico-químicas e a aceitabilidade sensorial dos produtos. A espessura do abacaxi na forma de filme não foi significativamente influenciada pelas concentrações de xarope de glicose e pectina.	Phimpharian et al. (2011)

Continuação

Matéria-prima	Aditivo	Processo de secagem	Resultados mais relevantes	Referências
Maçã	Maltodextrina e glicose	Secagem em estufa com circulação de ar a 60 °C até teor de umidade final de aproximadamente 0,12 g água/g sólidos secos.	A pegajosidade da maçã em forma de filme foi afetada pelos aditivos utilizados, a umidade relativa de condicionamento e a rugosidade superficial do filme de maçã.	Valenzuela e Aguilera (2015a)
Mamão	Mel, ácido cítrico e pectina	Secagem em estufa a 60 °C por 12 h.	Os principais fatores que determinaram a aceitabilidade dos mamões na forma de filmes foram a cor, doçura, acidez, textura e sabor. Os teores de umidade dos produtos obtidos foram baixos, significando que eles eram seguros ao desenvolvimento de bactérias e podiam ser classificados como um alimento de umidade intermediária.	Addai et al. (2016)

Continuação

Matéria-prima	Aditivo	Processo de secagem	Resultados mais relevantes	Referências
Kiwi e morango	Stevia	Secagem em estufa a 60 ± 2 °C por 20 h, com velocidade do ar quente de 2,5 m/s.	Os filmes de kiwi e morango mostraram-se seguros microbiologicamente durante o armazenamento, devido ao baixo pH e atividade de água. Além disso, os filmes apresentaram aceitabilidade satisfatória pelos provadores não treinados.	Concha-Meyer et al. (2016)
Romã	Goma de alfarroba e amido pré-gelatinizado	Secagem com ar quente a 50, 60 e 70 °C. Secagem com ar quente assistida por micro-ondas (90 e 180 W) a 50, 60 e 70 °C. Secagem por <i>refractance window</i> (RW) a 90, 95 e 98 °C. Todos os experimentos de secagem foram realizados até obter teor de umidade entre 10 e 12 g/100 g.	A formulação com hidrocolóides resultou em propriedades físico-químicas superiores em comparação à formulação tradicional (sem hidrocolóides). A formulação com hidrocolóides e a secagem por RW foram os métodos de processamento mais adequados para a produção de filmes de romã de alta qualidade e com alto conteúdo de compostos bioativos.	Tontul e Topuz (2017)

Continuação

Matéria-prima	Aditivo	Processo de secagem	Resultados mais relevantes	Referências
Romã	Amido de trigo	<p>Secagem com ar quente em secador de bandeja e secador a vácuo a 50, 60 e 70 °C. A velocidade do ar no secador de bandeja foi de 1,2 m/s. No secador a vácuo, o vácuo criado foi de 85 kPa. Secagem solar expondo as amostras à luz solar direta, com temperaturas externas média de 26,8 °C e máxima de 32,8 °C, e velocidade do ar de 1,4 m/s.</p>	<p>Os métodos de secagem, condições de secagem e espessura do produto influenciaram fortemente a qualidade do produto final. A secagem a vácuo apresentou maior taxa de secagem, bem como maior conservação de compostos fenólicos, antocianinas e ácido ascórbico.</p>	Yilmaz et al. (2017)

2.6 ATIVIDADE DE ÁGUA

A água é um dos constituintes mais importantes dos alimentos, pois afeta a sua estabilidade, qualidade e propriedades físicas. A influência da água nas propriedades dos alimentos é consequência das interações das suas moléculas com os demais constituintes do alimento (LEWICKI, 2004). A água presente nos alimentos é comumente classificada como água livre ou ligada. Do ponto de vista tecnológico, classifica-se como água livre, a parcela da umidade que está fracamente ligada ao substrato, exercendo pressão de vapor semelhante à da água pura. Essa parcela da umidade serve como solvente, propiciando o crescimento dos microrganismos, germinação de esporos e reações químicas. A parcela da umidade classificada como água ligada está relacionada às moléculas ligadas ao substrato, com pressão de vapor inferior à pressão de vapor da água pura. Esta água ligada é menos disponível como solvente, dificultando o desenvolvimento dos microrganismos e as reações químicas (BOBBIO e BOBBIO, 2001).

A definição termodinâmica da atividade de água (a_w) é a razão entre as fugacidades da água no alimento e no seu estado puro, a uma dada temperatura. De maneira simplificada, é comum definir a atividade de água como a razão entre a pressão de vapor da água no alimento (P) e a pressão de vapor da água pura (P_o), à mesma temperatura. Quando um alimento está em equilíbrio termodinâmico com uma atmosfera, considera-se que a atividade de água desse alimento é igual à umidade relativa do ar que o circunda (UR_{eq}) (RAHMAN e LABUZA, 2007; FELLOWS, 2009; JANGAM e MUJUMDAR, 2010). Nessa condição, a atividade de água pode ser expressa como:

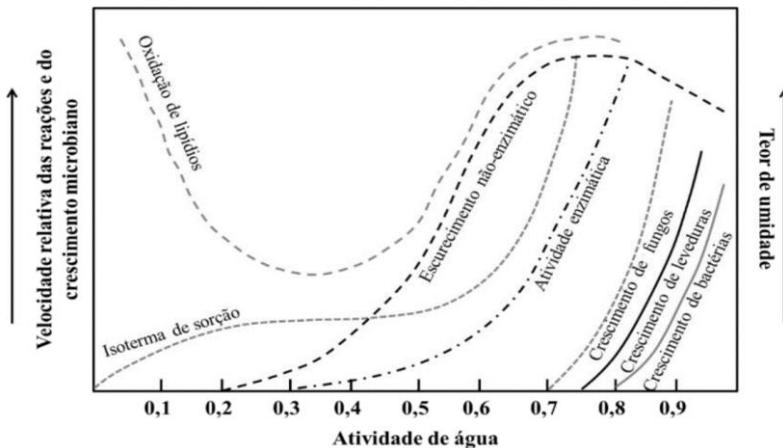
$$a_w = \frac{P}{P_o} = \frac{UR_{eq}}{100} \quad (1)$$

Como a atividade de água é um dos fatores críticos na determinação da qualidade e segurança dos alimentos, afetando sua vida útil, textura, sabor e aroma, ela pode ser o fator mais importante no controle da deterioração de alimentos desidratados (JANGAM e MUJUMDAR, 2010).

Labuza et al. (1972) descreveu os efeitos da atividade de água nas reações químicas e no crescimento microbiano, conforme apresentado na Figura 3. Os valores de atividade de água variam de 0 a 1. A perda de qualidade começa a aumentar acima da atividade de água de 0,2-0,3 para

a maioria das reações químicas. Para a maioria dos alimentos desidratados, um acréscimo de atividade de água de 0,1, diminui a vida útil dos alimentos de duas a três vezes (RAHMAN e LABUZA, 2007). O crescimento de bactérias é limitado em a_w abaixo de 0,9, enquanto que leveduras têm seu crescimento limitado em atividade de água abaixo de 0,8 e fungos abaixo de 0,7. Por outro lado, é importante observar que alimentos com a_w inferior à unidade da monocamada sofrem maior oxidação de lipídeos. Assim, produtos com presença importante de lipídeos são mais estáveis em a_w superiores à a_w da monocamada, que normalmente situa-se entre 0,3-0,5.

Figura 3 – Velocidade relativa de reações em função da a_w .



Fonte: adaptado de Labuza et al. (1972).

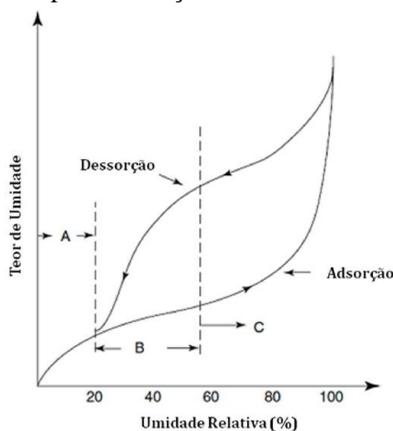
2.7 ISOTERMAS DE SORÇÃO DE UMIDADE

A isoterma de sorção de umidade de um material descreve a relação entre o teor de umidade de equilíbrio e a umidade relativa do ar, em uma determinada temperatura. O teor de umidade de equilíbrio é o teor de umidade de um material em equilíbrio com o ar circundante, a uma dada temperatura (FELLOWS, 2009; JANGAM e MUJUMDAR, 2010). As isotermas de sorção de umidade são uma ferramenta importante, pois fornecem informações para operações de processamento de alimentos, bem como para prever a qualidade e estabilidade de um produto durante o armazenamento (PAVAN, SCHMIDT e FENG, 2012).

Diversos métodos são usados para determinar as isotermas de sorção, sendo o método gravimétrico estático o mais utilizado, por sua simplicidade e baixo custo. Este método consiste no condicionamento do alimento em recipientes fechados com soluções salinas saturadas, para manter a atmosfera em determinada umidade relativa (JANGAM e MUJUMDAR, 2010). As isotermas de sorção podem ser obtidas a partir de processos de adsorção (reidratação de uma amostra seca) ou processos de dessorção (desidratação de uma amostra úmida), sendo que a diferença entre essas curvas é definida como histerese (SAHIN e SUMNU, 2006).

Na Figura 4 é mostrada uma representação esquemática de uma isoterma típica de sorção, que pode ser dividida em três regiões distintas, as quais dependem do tipo de interação da água com os componentes do alimento. Na região (A), a água está fortemente ligada e não está disponível para reações. Esta região representa a água na monocamada e não existe diferença entre as isotermas de adsorção e dessorção. Na região (B), a água está mais fracamente ligada, adsorvida nas multicamadas acima da monocamada e condensada em capilares finos. Na região (C), a água está mais livre e encontra-se em capilares maiores. Esta água está disponível como solvente e para reações (SAHIN e SUMNU, 2006; FELLOWS, 2009; JANGAM e MUJUMDAR, 2010).

Figura 4 – Isoterma típica de sorção.



Fonte: adaptado de Labuza et al. (1972).

Diversos modelos têm sido propostos na literatura para ajustar resultados das isotermas de sorção de umidade de alimentos. O modelo

de GAB (Guggenheim-Anderson-de Boer), apresentado na Equação 2, é um dos modelos mais aceitos para alimentos em uma faixa de atividade de água entre 0,1 e 0,9 (RAHMAN e LABUZA, 2007).

$$X_{eq} = \frac{X_m \cdot C \cdot k \cdot a_w}{(1 - k \cdot a_w) \cdot (1 - k \cdot a_w + C \cdot k \cdot a_w)} \quad (2)$$

em que a_w é a atividade de água que a amostra foi condicionada, X_{eq} é a umidade de equilíbrio (g g^{-1} b.s.), X_m é a umidade da monocamada (g g^{-1} b.s.), C é a constante de Guggenheim relacionada à energia de interação das moléculas na monocamada, enquanto k é a constante de GAB relacionada à energia de interação das moléculas adsorvidas nas multicamadas.

Brunauer et al. (1940) classificaram as isotermas de sorção de umidade em cinco tipos (Figura 5), de acordo com a variação da umidade de equilíbrio com a a_w do produto. As isotermas que, geralmente, são encontradas em alimentos são do tipo II e III, sendo que as do tipo III são típicas de alimentos ricos em componentes solúveis em água, como por exemplo, açúcar ou sal (RAHMAN e LABUZA, 2007).

Figura 5 – Tipos de isoterma de sorção.



Fonte: adaptado de Brunauer et al. (1940).

2.8 ANÁLISE SENSORIAL

A análise sensorial tem um papel crucial no desenvolvimento de novos produtos, pois faz uso dos cinco sentidos humanos para avaliar as características sensoriais do alimento. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1993), a análise sensorial é uma ciência usada para evocar, medir, analisar e interpretar reações das características dos alimentos e materiais como são percebidas pelos sentidos da visão, olfato, gosto, tato e audição.

Conforme Barboza, Freitas e Waszczyński (2003), um alimento, além de seu valor nutricional, deve produzir satisfação e ser agradável ao

consumidor, isto é resultante do equilíbrio de diferentes parâmetros de qualidade sensorial. Ao desenvolver um novo produto, é necessário aperfeiçoar suas características, como sua forma, cor, aparência, odor, sabor, textura, consistência e a interação dos diferentes componentes, com o propósito de alcançar um equilíbrio integral dos parâmetros sensoriais, que possa resultar na aceitabilidade do produto (PENNA, 1999).

A análise sensorial de um alimento pode ser feita através de três métodos diferentes, que dependem do objetivo da análise: i) descritivo, ii) discriminativo e iii) afetivo. O método afetivo consiste em avaliar a opinião do consumidor em relação a um ou mais produtos, com base na sua aceitação e/ou preferência. Por meio desse método, dois tipos de testes podem ser realizados: teste de aceitação, o qual avalia o quanto um consumidor gosta ou desgosta de um determinado produto, isto é, analisa o grau de aceitação do produto; e teste de preferência, que avalia a preferência do consumidor entre diferentes produtos (MEILGAARD, CIVILLE e CARR, 1999; BARBOZA, FREITAS e WASZCZYNSKYJ, 2003; TEIXEIRA, 2009). Para avaliar a aceitação do produto, a escala hedônica de nove pontos é o método sensorial afetivo mais utilizado, pois é facilmente compreendida pelos provadores, e também proporciona resultados viáveis e válidos (STONE e SIDEL, 2004).

2.9 TEXTURA

A textura pode ser definida como a manifestação sensorial e funcional das propriedades estruturais, mecânicas e superficiais dos alimentos, detectadas através de receptores mecânicos, táteis, visuais e auditivos (SZCZESNIAK, 2002). A textura é uma das características de qualidade sensorial mais importante, que influencia a aceitabilidade dos produtos entre os consumidores (MAZUMDER, ROOPA e BHATTACHARYA, 2007; PIAZZA e GIOVENZANA, 2015). A crocância é um atributo fundamental utilizado para descrever a textura de produtos, como *snacks* (PHILIPP et al., 2017). Quando uma força externa é aplicada em alimentos crocantes, ocorre a ruptura da sua estrutura, gerando um som característico que, por sua vez, contribui para a sensação de crocância (VICKERS e BOURNE, 1976; MAZUMDER, ROOPA e BHATTACHARYA, 2007). Se um produto crocante adsorve umidade, ele perde a crocância e não gera o som desejado quando fraturado, como consequência, normalmente, esse produto apresenta baixa aceitabilidade pelos consumidores. A hidratação causa a perda de som por meio da

plastificação, a qual altera a força exigida para romper o produto (ARIMI et al., 2010).

Os atributos de textura dos alimentos podem ser avaliados por meio de análises sensoriais ou instrumentais. Apesar da avaliação sensorial fornecer uma descrição mais completa da textura dos produtos, tem havido um grande interesse no desenvolvimento de métodos instrumentais para avaliar os atributos de textura. Os testes instrumentais apresentam algumas vantagens, principalmente em indústrias, nas quais métodos rápidos e fáceis de usar são muito procurados e economicamente mais rentáveis (ROUDAUT et al., 2002).

Recentemente, combinar a análise acústica com os resultados de testes mecânicos é uma alternativa à análise sensorial. Análise de perfil de textura, testes de corte ou cisalhamento, testes de compressão ou testes de perfuração têm sido usados para avaliar as propriedades de textura de *snacks* (SAELEAW e SCHLEINING, 2011; PAULA e CONTI-SILVA, 2014; PHILIPP et al., 2017). A combinação das medidas instrumentais mecânicas e acústicas oferece mais informações da crocância do produto do que qualquer uma das duas análises isoladas (ARIMI et al., 2010).

Valenzuela e Aguilera (2015b) avaliaram a textura de *snacks* de maçã em forma de filmes pelo teste instrumental acústico-mecânico, e observaram que a crocância do produto foi perdida com o aumento da umidade das amostras, isto é, as propriedades mecânicas e acústicas dos filmes de maçã foram caracterizadas por uma transição de um material crocante para macio após a hidratação das amostras.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATÉRIA-PRIMA

As mangas da variedade Tommy Atkins foram adquiridas na CEASA/SC – Unidade de São José (Centrais de Abastecimento do Estado de Santa Catarina S/A). A seleção das frutas foi realizada pelo grau de maturação, determinado por análise visual e teor de sólidos solúveis ($^{\circ}$ Brix), medido com refratômetro óptico manual (Atago, modelo PAL-BX/RI, Japão). Foram utilizadas mangas com teor de sólidos solúveis entre 10 e 14 $^{\circ}$ Brix. As frutas selecionadas foram lavadas, descascadas manualmente e trituradas em liquidificador doméstico (Philco, Brasil) para obtenção da polpa. O amido de mandioca pré-gelatinizado foi cedido pela empresa Horizonte Amidos (Marechal Cândido Rondon, Paraná).

3.2 PREPARO DAS SUSPENSÕES

As suspensões foram preparadas a partir da mistura de polpa de manga e amido de mandioca pré-gelatinizado em concentrações de 1, 3 e 5 g de amido seco/100 g de polpa de manga seca. Essas concentrações de amido foram escolhidas após testes preliminares. A suspensão sem adição de amido também foi elaborada para comparação. A homogeneização foi realizada em agitador mecânico (Agitador IKA RW20 digital, Alemanha) a 220 rpm por 7 minutos.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS SUSPENSÕES FORMADORAS DE FILMES

3.3.1 Comportamento reológico

O comportamento reológico das suspensões foi determinado utilizando um viscosímetro rotacional (Thermo Haake VT550, Alemanha), empregando-se uma geometria de cilindros concêntricos com superfície dentada (SV2P). Primeiramente, realizou-se um pré-cisalhamento da suspensão a uma taxa de cisalhamento de 5 s^{-1} , durante 60 s. Em seguida, as curvas de viscosidade foram obtidas por meio do aumento da taxa de cisalhamento de 5 s^{-1} a 600 s^{-1} , durante 180 s. A taxa de cisalhamento também foi variada de maneira decrescente, de 600 s^{-1} a 5 s^{-1} , durante 180 s. As análises foram realizadas em triplicata, à

temperatura de 25 °C. O modelo de Ostwald ou Lei da Potência (Equação 3) foi ajustado aos dados reológicos experimentais.

$$\sigma = K \dot{\gamma}^n \quad (3)$$

onde σ é a tensão de cisalhamento (Pa), K é o índice de consistência (Pa sⁿ), $\dot{\gamma}$ é a taxa de cisalhamento (s⁻¹) e n é o índice de comportamento do escoamento (adimensional). Para fluidos newtonianos, $n = 1$, para fluidos pseudoplásticos, $n < 1$, enquanto para fluidos dilatantes, $n > 1$ (RAO, 2007b).

Para fluidos com comportamento reológico descrito pelo modelo de Ostwald, define-se a viscosidade aparente (η_{ap}) como:

$$\eta_{ap} = K \dot{\gamma}^{n-1} \quad (4)$$

3.4 PROCESSO DE SECAGEM

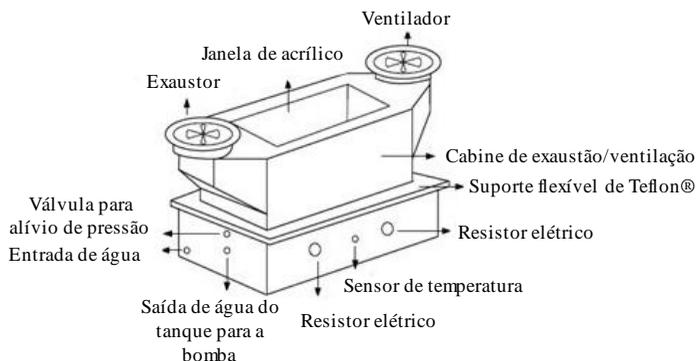
3.4.1 Aparato experimental

Para a obtenção dos filmes de manga, as suspensões foram secas por CTD em batelada. O aparato experimental utilizado está representado na Figura 6.

O equipamento consiste de um reservatório de aço inoxidável (0,8 m x 0,4 m x 0,20 m) com dois resistores elétricos, o qual foi parcialmente preenchido com água. No interior do reservatório, um sensor tipo PT100 (Alutal® Controles Industrial, Modelo TRS12, Votorantim, SP, Brasil) foi usado para medição da temperatura da água. Com o objetivo de homogeneizar a temperatura da água dentro do reservatório, utilizou-se uma bomba de circulação (KOMECA, modelo TP 40 G3, Palhoça, SC, Brasil). Na parte superior do reservatório foi fixado um filme de fibra de vidro com cobertura de politetrafluoretileno (Teflon®), (Indaco, São Paulo, Brasil), com 0,23 mm de espessura. Esse filme é opaco à radiação infravermelha e possui grau alimentício. A superfície do filme teflonado é composta por um tecido de fibra de vidro com 56% de Teflon®, o que proporciona qualidade antiaderente, resistência química e mecânica. A face inferior do filme foi mantida em contato com o vapor produzido pela água quente do reservatório, enquanto a face superior do filme (face coberta com Teflon®) serviu de suporte para o espalhamento das suspensões a serem desidratadas. Essas suspensões foram espalhadas

sobre o suporte aquecido com o auxílio de um espalhador manual (*doctor blade*, Tape Warehouse Fundição, modelo Doctor Blade Assembly, Morrisville, PA, EUA), que permite o ajuste da espessura de espalhamento. Acima do reservatório foi acoplada uma cabine com um sistema de exaustão/ventilação, composta por um ventilador na extremidade direita e exaustor na extremidade esquerda (ambos da marca Qualitas Indústria Eletromecânica Ltda, Modelo FAQ8, Itapira, SP, Brasil).

Figura 6 – Aparato experimental do CTD.



Fonte: adaptado de DURIGON et al. (2016b).

3.4.2 Condições de secagem

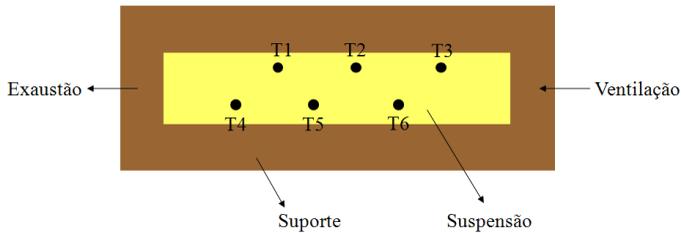
Os experimentos de secagem foram realizados em umidade relativa do ar externo entre 52,2% e 83,9% e a temperatura do ambiente externo variou de 19,6 °C a 25,7 °C. A água no interior do reservatório foi aquecida à temperatura de 98 °C (± 1 °C) para a produção de vapor. As suspensões com 3 mm de espessura foram espalhadas sobre o filme teflonado com o auxílio do espalhador manual. A escolha da espessura de espalhamento foi baseada nos resultados reportados por Zotarelli, Carciofi e Laurindo (2015) para secagem de polpa de manga por CTD.

3.4.3 Evolução da temperatura das suspensões durante a secagem

A evolução da temperatura das suspensões durante o processo de secagem foi realizada com o auxílio de 6 termopares do tipo T (IOPE, modelo A-TX-TF-R-30AWG, Brasil), alocados em diferentes regiões do

espalhamento, conforme representado na Figura 7. Os dados foram registrados em tempo real através de um sistema de aquisição de dados (Agilent modelo 34970A, Malásia) conectado a um computador.

Figura 7 – Posições dos termopares (T1, T2, T3, T4, T5 e T6) para determinação da temperatura das suspensões.



Fonte: Autor.

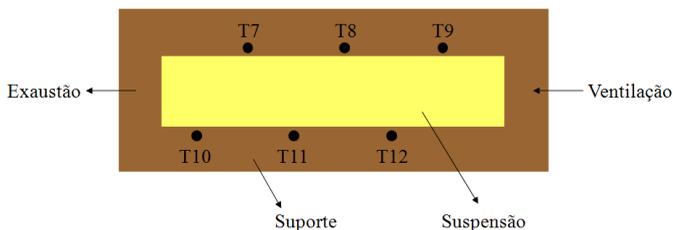
O perfil de temperatura das suspensões também foi determinado por meio de termografias, obtidas com uma câmera termográfica (FLIR, modelo T360, Suécia). Para o registro das imagens em tempos pré-determinados, a câmera foi posicionada em uma distância fixa de 1,20 m da superfície do filme espalhado. Devido à alta umidade da polpa de manga (aproximadamente 85% b.u.), o valor da emissividade (ϵ) utilizado para a suspensão foi igual ao da água, 0,96 (INCROPERA et al., 2008). A emissividade da superfície do filme teflonado foi determinada de acordo com o método proposto por Albatici et al. (2013), com o auxílio da câmera termográfica, em que um pedaço de fita isolante de emissividade conhecida ($\epsilon = 0,95$) foi colada na superfície do filme teflonado e a emissividade da superfície foi ajustada conforme a temperatura da fita isolante. As imagens termográficas foram analisadas através do *software* FLIR QuickReport 1.2 SP2, no qual, em posições similares às dos termopares, usaram-se pontos para determinação da temperatura.

Nas duas técnicas utilizadas para determinação da evolução da temperatura, delimitou-se a área de aquisição de dados através de uma moldura retangular de poliestireno expandido de 16 cm x 43,5 cm.

3.4.4 Evolução temporal da temperatura do ar de secagem, da superfície inferior do suporte e da água

As temperaturas do ar de secagem, da superfície inferior do suporte teflonado e da água de aquecimento foram medidas com termopares do tipo T (IOPE, modelo A-TX-TF-R-30AWG, Brasil), conectados a um sistema de aquisição de dados (Agilent modelo 34970A, Malásia). Para determinação da temperatura do ar de secagem, os termopares foram alocados a uma distância de 1 cm acima da superfície do filme teflonado. Na Figura 8 são representadas as posições dos termopares para medida da temperatura do ar de secagem.

Figura 8 – Posições dos termopares (T7, T8, T9, T10, T11 e T12) para determinação da temperatura do ar de secagem.

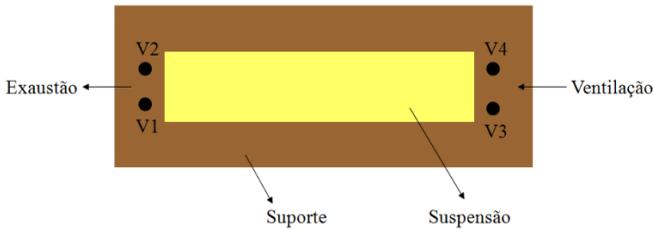


Fonte: Autor.

3.4.5 Velocidade do ar de secagem

A determinação da velocidade do ar de secagem foi realizada em quatro regiões da cabine de exaustão/ventilação, durante o processo de secagem, utilizando um anemômetro térmico compacto (Testo, modelo 425, Alemanha), conforme ilustrado na Figura 9. O anemômetro foi posicionado a 2 cm acima da superfície do suporte.

Figura 9 – Posição do anemômetro (V1, V2, V3 e V4) para medição da velocidade do ar durante a secagem.

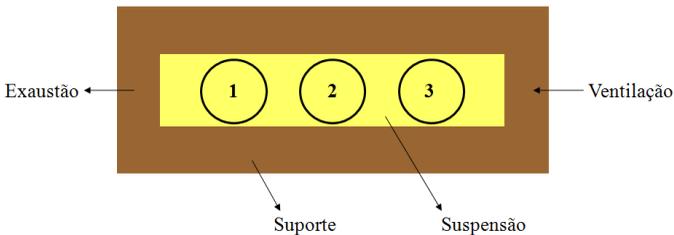


Fonte: Autor.

3.4.6 Cinética de secagem

A cinética de secagem das suspensões espalhadas foi determinada retirando-se, em intervalos de tempos pré-determinados, amostras de três regiões distintas do suporte de espalhamento: da porção inicial (1), central (2) e final (3) da área espalhada, no sentido do espalhamento, conforme representado na Figura 10. As amostras foram analisadas quanto ao teor de umidade e à a_w , metodologias descritas em itens a seguir. Para cada análise foram realizadas triplicatas dos experimentos de secagem.

Figura 10 – Amostras retiradas em três regiões distintas para obtenção das curvas de secagem em tempos pré-determinados.



Fonte: Autor.

3.4.7 Umidade

A umidade das amostras foi determinada pelo método gravimétrico, em estufa a vácuo a 70 °C (TECNAL, modelo TE-395, Brasil), segundo a metodologia da A.O.A.C. (2005). As análises foram realizadas em triplicata.

3.4.8 Atividade de água

A atividade de água das amostras foi determinada pelo método de ponto de orvalho a 25 °C (Aqualab, Modelo Series 3 TE, Decagon Devices, Inc., Pullman, EUA), em triplicata.

3.4.9 Capacidade evaporativa (CE)

A capacidade evaporativa do processo de secagem das suspensões, durante a taxa de secagem constante, foi determinada de acordo com a Equação 5 (DURIGON et al., 2016a).

$$CE = \frac{dX}{dt} (1 - X_{b.u.}) \rho L \quad (5)$$

sendo, CE a capacidade evaporativa ($\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-1}$), dX/dt a taxa de secagem ($\text{kg kg}^{-1} \text{h}^{-1}$, base seca), $X_{b.u.}$ a umidade inicial da amostra (kg kg^{-1} , base úmida), $(1 - X_{b.u.})$ a fração de sólidos secos inicial, ρ a massa específica da suspensão (kg m^{-3}) e L a espessura de espalhamento da suspensão (m). A massa específica foi determinada em picnômetro de vidro.

3.5 CARACTERIZAÇÃO DOS SNACKS DE MANGA EM FORMA DE FILME

3.5.1 Avaliação subjetiva

A avaliação subjetiva dos filmes produzidos com as polpas de manga foi realizada de acordo com os parâmetros estabelecidos por Gontard (1991), verificando-se os seguintes atributos: continuidade (ausência de ruptura após a secagem), uniformidade (ausência de partículas insolúveis visíveis a olho nu ou presença de cores diferentes) e manuseabilidade (possibilidade de ser manuseado sem riscos de ruptura).

3.5.2 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As análises de MEV foram realizadas no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME – UFSC). As amostras foram recobertas com uma camada de ouro utilizando um metalizador (Leica EM SCD 500, EUA). Para as análises foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura (Jeol JSM-6390LV, Japão), com fonte de elétrons de tungstênio

de 10 kV. Foram realizadas micrografias da superfície exposta ao ar de secagem, da superfície em contato com o suporte de secagem e da fratura dos materiais, sendo esta obtida após a imersão dos filmes em nitrogênio líquido.

3.5.3 Espessura

A espessura dos filmes foi determinada com o auxílio de um micrômetro digital (Mitutoyo Co., Japão), com resolução de 0,001 mm. A espessura média foi calculada a partir de medidas aleatórias em diferentes regiões do filme.

3.5.4 Propriedades mecânicas

Os testes mecânicos foram realizados em um Texturômetro TA-XT2i (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido) com uma célula de carga de 25 kg, auxiliados pelo programa *Texture Expert Exceed 2.61* (Stable Micro Systems, Reino Unido). Os filmes foram condicionados em umidade relativa de 58% e temperatura de 25 °C, durante 48 h antes dos testes.

3.5.4.1 Ensaio de tração

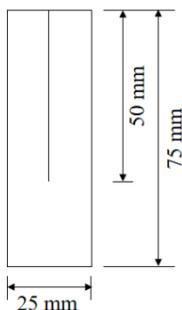
Os testes de tração foram realizados com corpos de prova de 25 mm de largura e 100 mm de comprimento. Para cada formulação, foram cortados 20 corpos de prova, sendo 10 na direção paralela ao espalhamento da suspensão e 10 na direção perpendicular ao espalhamento. A tensão de ruptura (σ_{rup}), o alongamento na ruptura (ϵ_{rup}) e o módulo de Young (Y) das amostras foram determinados conforme a norma D882-02 da *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 2002a), com velocidade de tração de 0,8 mm s⁻¹ e distância inicial das garras de 80 mm. Os testes de tração foram realizados em triplicata de processo.

3.5.4.2 Ensaio de resistência à propagação do rasgo

O teste de resistência à propagação do rasgo foi realizado com base na norma ASTM D1938-02 (ASTM, 2002b). As dimensões dos corpos de prova foram de 25 mm de largura e 75 mm de comprimento, sendo feito um corte inicial de 50 mm de comprimento exatamente no meio da

largura do corpo de prova e paralelo à direção a ser testada (Figura 11). Os corpos de prova foram acoplados em garras a uma distância inicial de 50 mm e velocidade de teste de $4,17 \text{ mm s}^{-1}$. A resistência à propagação do rasgo foi determinada cortando os corpos de prova nas direções paralela e perpendicular ao espalhamento da suspensão. Para cada formulação, foram utilizados 12 corpos de prova e o processo foi realizado em triplicata. A resistência média ao rasgamento foi calculada desprezando as porções inicial e final do gráfico força *versus* deformação, em uma extensão de 25 mm.

Figura 11 – Esquema do corpo de prova.



Fonte: adaptado de ASTM (2002b).

3.5.5 Análise de cor

Os parâmetros de cor das amostras de filmes foram determinados utilizando um sistema de visão computacional, de acordo com a metodologia descrita por Cárdenas-Pérez et al. (2017), com adaptações. Uma câmera (Nikon D5500, Nikon Corporation, Japão) foi usada para aquisição das imagens. A análise das imagens foi realizada no *software* ImageJ v. 1.6.0 (National Institutes of Health, Bethesda, MD, EUA). O *plug-in* Color Space Converter foi utilizado para converter as cores do sistema RGB para a escala CIELab, resultando em valores de luminosidade L^* ($L^* = 0$: preto; $L^* = 100$: branco), e cromaticidades a^* ($+a^*$: vermelho; $-a^*$: verde) e b^* ($+b^*$: amarelo; $-b^*$: azul).

O índice de escurecimento das amostras (IE) foi calculado usando a Equação 6. Esse índice representa a pureza da cor marrom e é considerado um importante parâmetro em processos nos quais o escurecimento enzimático ou não-enzimático ocorre (BUERA, LOZANO e PETRIELLA, 1986; GUERRERO, ALZAMORA e GERSCHENSON,

1996; CASTAÑÓN, LÓPEZ-MALO e ARGAIZ, 1998; PALOU et al., 1999).

$$IE = \frac{100}{0,172} \left(\frac{a^* + 1,75L^*}{5,645L^* + a^* - 3,012b^*} - 0,31 \right) \quad (6)$$

3.5.6 Carotenoides totais

Os carotenoides totais (CAR) presentes na polpa de manga e nos filmes de manga foram determinados de acordo com a metodologia descrita por Rodriguez-Amaya (2001). O procedimento consistiu na extração dos carotenoides com acetona, seguida de separação em éter de petróleo, diluição em água destilada e posterior leitura da absorvância em espectrofotômetro (FEMTO, modelo 800XI, Brasil), em comprimento de onda de 450 nm, utilizando éter de petróleo como branco. Os resultados foram expressos em termos de carotenoides totais ($\mu\text{g g}^{-1}$) e calculados a partir da Equação 7.

$$CAR = \frac{A_{bs} \cdot V \cdot 10^4}{A_{1\text{ cm}}^{1\%} \cdot m} \quad (7)$$

em que A_{bs} é a absorvância, V é o volume da diluição (mL), $A_{1\text{ cm}}^{1\%}$ é a absorvância do carotenóide predominante em éter de petróleo, neste caso, o β -caroteno ($A_{1\text{ cm}}^{1\%} = 2592$) e m é a massa da amostra (g) desconsiderando a massa de amido de mandioca pré-gelatinizado.

3.5.7 Isoterma de sorção de umidade

As isotermas de sorção de umidade dos filmes foram determinadas pelo método estático em dessecadores. Os filmes foram desidratados em dessecador com pentóxido de fósforo por 90 dias, à temperatura ambiente. Após este período, amostras de aproximadamente 0,5 g foram pesadas em balança analítica (Shimadzu, modelo ATX224, Japão) e colocadas em recipientes hermeticamente fechados contendo nove soluções saturadas de sais (Tabela 4). Estes recipientes foram colocados em estufa do tipo B.O.D., à temperatura de 25 °C. Após 10 semanas, com o equilíbrio alcançado, o teor de umidade das amostras foi determinado em estufa a vácuo a 70 °C (TECNAL, modelo TE-395, Brasil).

Tabela 4 – Atividade de água de soluções salinas saturadas a 25 °C.

Solução salina saturada	Atividade de água
Cloreto de lítio	0,114
Cloreto de magnésio	0,330
Carbonato de potássio	0,440
Nitrato de magnésio	0,523
Nitrito de sódio	0,650
Cloreto de sódio	0,753
Sulfato de amônio	0,802
Cloreto de potássio	0,843
Cloreto de bário	0,908

O modelo matemático de GAB (Guggenheim-Anderson-de Boer), apresentado na Equação 8, foi ajustado aos dados experimentais.

$$X_{eq} = \frac{X_m \cdot C \cdot k \cdot a_w}{(1 - k \cdot a_w) \cdot (1 - k \cdot a_w + C \cdot k \cdot a_w)} \quad (8)$$

onde X_{eq} é a umidade de equilíbrio (g g^{-1} b.s.), a_w é a atividade de água referente à umidade relativa de referência a qual a amostra foi condicionada, X_m é a umidade da monocamada (g g^{-1} b.s.), C é a constante de Guggenheim relacionada à energia de interação das moléculas na monocamada, enquanto k é a constante de GAB relacionada à energia de interação das moléculas adsorvidas na multicamada. Os parâmetros foram estimados por regressão não linear, utilizando o método dos quadrados, com o programa MATLAB R2017a (MathWorks Inc., Estados Unidos). Para avaliar a adequação do modelo aos dados experimentais, utilizou-se o coeficiente de correlação (R^2) e a raiz do erro médio quadrático (RMSE).

3.5.8 Análise de crescimento de fungos

A avaliação da estabilidade microbiológica das amostras foi realizada por análise visual do crescimento de fungos durante o tempo de armazenamento. Para verificação da presença de colônias visíveis a olho nu, os filmes foram cortados em quadrados de 25 mm x 25 mm e condicionados em recipientes hermeticamente fechados com diferentes condições de umidade relativa (64,8%, 75,3%, 80,2% e 90,8%), obtidas por meio de soluções salinas saturadas (NaNO_2 , NaCl , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ e

BaCl₂, respectivamente). Umidades relativas inferiores não foram utilizadas por serem seguras ao crescimento de microrganismos (FELLOWS, 2009). Os recipientes foram colocados em estufa do tipo B.O.D., à temperatura de 25 °C. Quadruplicata das amostras foram avaliadas diariamente.

3.5.9 Análises sensoriais

Análise sensorial foi procedida com a finalidade de mostrar a influência da adição de 5 g de amido seco/100 g de polpa de manga seca na aceitabilidade dos produtos obtidos. Além disso, as amostras foram condicionadas em diferentes umidades relativas, conforme apresentado na Tabela 5, para mostrar a influência da umidade da amostra na aceitabilidade deste produto. Em geral, esses produtos são apresentados com uma textura mastigável e macia (AZEREDO et al., 2006).

Tabela 5 – Umidades relativas obtidas através de soluções salinas saturadas a 25 °C.

Solução salina saturada	Umidade relativa (%)
Acetato de potássio	22,5
Carbonato de potássio	44,0
Nitrato de magnésio	52,3

Inicialmente, um projeto para análise sensorial foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Santa Catarina (CEPSH/UFSC), sob o parecer nº 2.241.837, conforme apresentado no Anexo A. Antes de iniciar as análises sensoriais, todos os participantes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Os *snacks* de manga (Figura 12) foram elaborados a partir dos filmes de manga sem amido e com 5% de amido cortados em retângulos com 60 mm de largura e 55 mm de comprimento, e enrolados na direção paralela ao espalhamento, com a superfície em contato com o suporte de secagem ficando do lado externo do produto, condições estas, estabelecidas a partir dos resultados obtidos nos ensaios mecânicos e na análise de cor. As amostras foram submetidas aos testes afetivos de aceitação e de preferência. Os atributos analisados foram: aparência, cor, sabor, textura e impressão global, além da intenção de compra. A avaliação da aceitação foi realizada utilizando a escala hedônica

estruturada verbal de 9 pontos: 1 = desgostei muitíssimo a 9 = gostei muitíssimo. Para a intenção de compra, utilizou-se a escala estruturada verbal de 5 pontos: 1 = certamente eu não compraria a 5 = certamente eu compraria. Para avaliar a preferência das amostras foi utilizado o teste de ordenação, solicitando aos provadores que ordenassem as amostras em ordem crescente de acordo com sua preferência. As fichas da análise sensorial de aceitação, de intenção de compra e de preferência estão apresentadas nos Apêndices A, B e C, respectivamente.

Figura 12 – *Snacks* de manga elaborados para as análises sensoriais e para o teste instrumental acústico-mecânico.



Fonte: Autor.

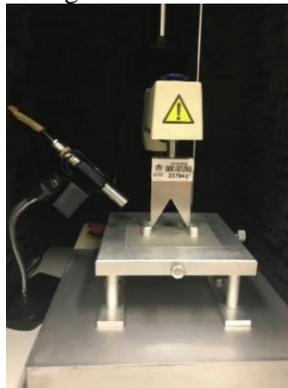
A equipe sensorial foi formada por 60 provadores não treinados, que englobaram estudantes da graduação e pós-graduação, além de professores e funcionários da Universidade. As amostras foram servidas simultaneamente, em temperatura ambiente, em copos plásticos descartáveis. Os copos foram codificados com três dígitos aleatórios. Para cada provador foi fornecida água para limpeza da língua e do palato entre a avaliação das amostras.

3.5.10 Teste instrumental acústico-mecânico para avaliação da textura

Os *snacks* de manga utilizados no teste instrumental acústico-mecânico foram elaborados e condicionados assim como descrito no item 3.5.9. As propriedades mecânicas das amostras foram determinadas por teste de corte, como ilustrado na Figura 13. As medições foram realizadas em um Texturômetro TA-XT2i (Stable Micro Systems, Surrey, Reino

Unido) com uma célula de carga de 25 kg, auxiliados pelo programa *Texture Expert Exceed 2.61* (Stable Micro Systems, Reino Unido). O corte foi realizado perpendicularmente ao eixo longitudinal dos *snacks*, usando uma lâmina de cisalhamento Warner–Bratzler em formato ‘V’, com velocidade de teste de 1 mm s^{-1} , até quebrá-los completamente. O som produzido durante a fratura dos *snacks* foi capturado por um microfone (G.R.A.S. 46AE ½” CCP Free-field Microphone Set, G.R.A.S. Sound & Vibration, Dinamarca), o qual foi posicionado a 5 cm de distância e com um ângulo de 45° em relação à amostra. O equipamento foi colocado dentro de uma câmara semi-anecoica para reduzir o ruído ambiente, como descrito por Murta et al. (2017). As propriedades mecânicas e acústicas foram analisadas usando o programa MATLAB R2017a (MathWorks Inc., Estados Unidos), e um filtro *band-pass FIR*, com frequência entre 1 kHz e 22 kHz, foi utilizado.

Figura 13 – Equipamento utilizado para a análise instrumental acústico-mecânica dos *snacks* de manga.



Fonte: Autor.

Os dados mecânicos foram expressos como força (N) *versus* tempo (s), enquanto os dados acústicos, que foram coletados simultaneamente, foram expressos como nível de pressão sonora (dB) *versus* tempo (s). Os parâmetros avaliados foram: i) área abaixo da curva de força *versus* deformação (relacionada ao trabalho total envolvido no teste de corte); ii) força máxima; iii) número de picos de força (queda da força maior do que 0,049 N); iv) SPL_{10} (média do nível de pressão sonora dos dez maiores picos acústicos); v) $SPL_{\text{máx}}$ (valor máximo do nível de pressão sonora) e

vi) número de picos acústicos (queda do nível de pressão sonora maior do que 10 dB). Para cada amostra, foram realizadas 12 medidas.

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados foram tratados estatisticamente utilizando o programa *Statistica 10.0* (StatSoft, Tulsa, Estados Unidos), através de análise de variância (ANOVA). A comparação múltipla das médias foi realizada pelo teste de Tukey, com nível de confiança de 95%. Os resultados do teste de preferência foram avaliados estatisticamente pelo teste de Friedman e utilizando a tabela dos valores críticos das diferenças entre os totais de ordenação, para o nível de significância de 5%, proposta por Christensen et al. (2006). A análise dos componentes principais (PCA) foi realizada com os valores médios obtidos nas análises sensorial e instrumental, utilizando o XLSTAT (versão livre 2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 COMPORTAMENTO REOLÓGICO DAS SUSPENSÕES

As amostras foram nomeadas de acordo com as quatro diferentes concentrações de amido usadas para produzir os filmes de manga, isto é, 0 g amido seco/100 g polpa de manga seca (MANGA_AM_0), 1 g amido seco/100 g polpa de manga seca (MANGA_AM_1), 3 g amido seco/100 g polpa de manga seca (MANGA_AM_3) e 5 g amido seco/100 g polpa de manga seca (MANGA_AM_5).

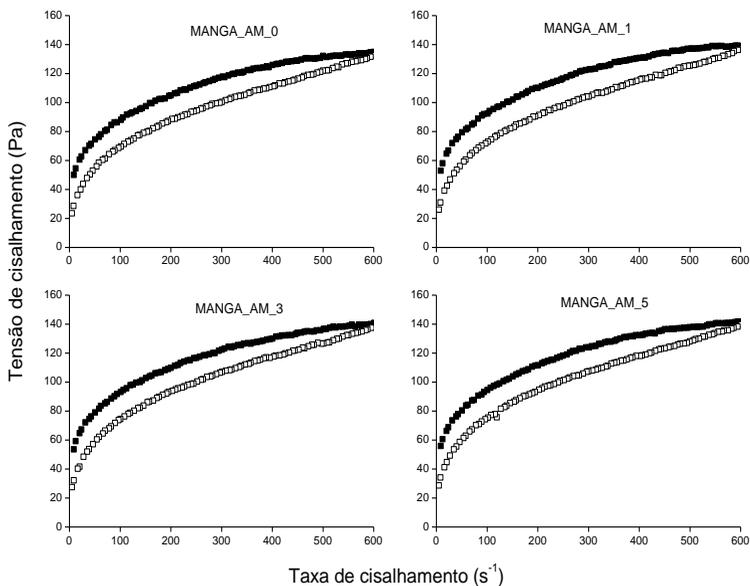
As propriedades de escoamento das polpas de manga com e sem adição de amido são apresentadas nas Figuras 14 e 15. Na Figura 14 são apresentadas as curvas de tensão de cisalhamento *versus* taxa de cisalhamento. Na Figura 15 são apresentadas as curvas de viscosidade aparente em função da taxa de cisalhamento.

As amostras analisadas apresentaram comportamento de fluido não-newtoniano, com diminuição da viscosidade aparente com o aumento da taxa de cisalhamento, o que as caracterizam como fluidos pseudoplásticos ($0 < n < 1$), conforme apresentado na Tabela 6. De acordo com Moraes et al. (2013), o uso de *doctor blade* para espalhamento de suspensões exige um comportamento de fluido pseudoplástico, com viscosidade baixa nas taxas típicas de espalhamento (para assegurar as condições de escoamento adequadas na lâmina) e altas viscosidades às baixas tensões de cisalhamento geradas imediatamente após a passagem pela lâmina (*doctor blade*). Nesta condição, o cisalhamento cessa, e a viscosidade deve sofrer um aumento rápido para evitar o fluxo indesejado e a sedimentação das partículas. Outros autores avaliaram a reologia de polpa de manga e encontraram esse mesmo comportamento, tais como Ahmed, Ramaswamy e Hiremath (2005) para polpas de manga submetidas ao tratamento com alta pressão, Nambi et al. (2016) para polpas de manga de diferentes cultivares e Tonin et al. (2018) para polpa de manga e polpas de manga reconstituídas a partir dos pós de manga produzidos por *drum drying*, com e sem a presença de coadjuvantes de processo. Conforme Bhattacharya e Rastogi (1998), a polpa de manga é um fluido pseudoplástico devido aos compostos da fase descontínua, como amido e materiais fibrosos (pectina e outras fibras).

As suspensões apresentaram comportamento tixotrópico, evidenciado pelas diferenças de tensão de cisalhamento ou viscosidade aparente e taxa de cisalhamento ascendente e descendente. Os fluidos tixotrópicos caracterizam-se por apresentar uma diminuição na

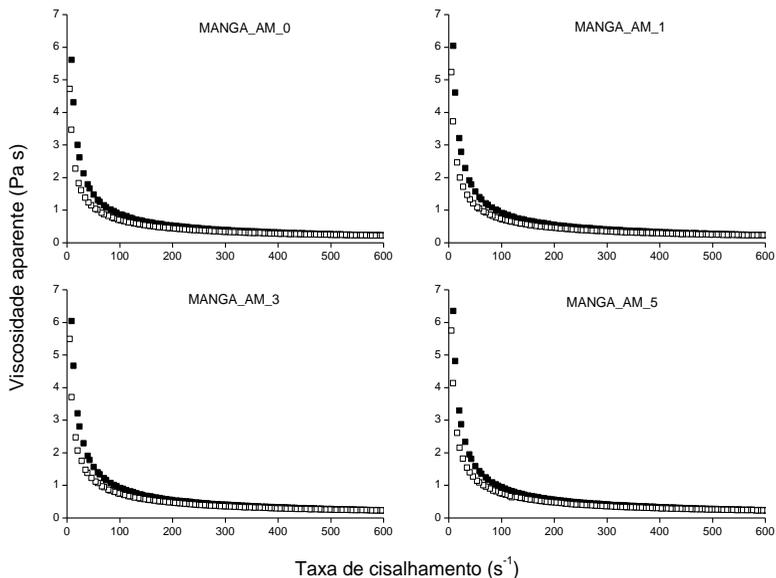
viscosidade aparente com o tempo, sob uma tensão de cisalhamento constante, devido à quebra ou redução da coesão entre as partículas dos alimentos, que tornam a resistência ao escoamento cada vez menor (RAO, 2007a; FOX, PRITCHARD e McDONALD, 2010). O comportamento tixotrópico é comum na maioria dos cremes, pastas de frutas, e em condimentos, como ketchup e mostarda (TONELI, MURR e PARK, 2005; FELLOWS, 2009).

Figura 14 – Curvas de escoamento das polpas de manga com diferentes concentrações de amido. Aumento da taxa de cisalhamento (■); Diminuição da taxa de cisalhamento (□).



Fonte: Autor.

Figura 15 – Viscosidade aparente em função da taxa de cisalhamento das suspensões. Aumento da taxa de cisalhamento (■); Diminuição da taxa de cisalhamento (□).



Fonte: Autor.

Os valores dos parâmetros obtidos pelo ajuste do modelo de Ostwald aos dados experimentais das curvas de escoamento das polpas de manga com diferentes concentrações de amido, e as viscosidades aparentes determinadas para a espessura de espalhamento utilizada neste estudo (3 mm), com taxa de cisalhamento de 8 s⁻¹, estão apresentados na Tabela 6. O modelo de Ostwald se ajustou bem aos dados experimentais com $R^2 > 0,990$. De acordo com os dados apresentados na Tabela 6, o índice de consistência (K) apresentou uma tendência em aumentar com o aumento da concentração de amido adicionado à polpa de manga. Quanto maior o valor desse parâmetro, mais consistente será o fluido. As viscosidades aparentes das suspensões de manga também apresentaram uma tendência em aumentar com o aumento da concentração de amido, devido ao maior conteúdo de sólidos nas suspensões com amido.

Tabela 6 – Parâmetros reológicos do modelo de Ostwald e as viscosidades aparentes na taxa de cisalhamento de 8 s^{-1} das suspensões.

Amostra	K (Pa.s ⁿ)	n	R ²	η_{ap} (Pa.s) (8 s^{-1})
MANGA_AM_0	29,03 ± 3,31 ^a	0,24 ± 0,01 ^a	0,995	6,01 ± 0,80 ^a
MANGA_AM_1	31,73 ± 4,11 ^a	0,23 ± 0,01 ^a	0,996	6,45 ± 0,95 ^a
MANGA_AM_3	32,03 ± 6,17 ^a	0,23 ± 0,01 ^a	0,997	6,50 ± 1,24 ^a
MANGA_AM_5	33,24 ± 3,57 ^a	0,23 ± 0,02 ^a	0,996	6,68 ± 0,84 ^a

*Letras diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas entre as amostras, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: Autor.

4.2 EVOLUÇÃO DA UMIDADE, DA ATIVIDADE DE ÁGUA E DA TAXA DE SECAGEM DURANTE O PROCESSO DE CTD

O teor de umidade e atividade de água das amostras de polpa de manga com e sem adição de amido, utilizadas neste estudo, são mostrados na Tabela 7.

Tabela 7 – Teor de umidade e atividade de água das polpas de manga com diferentes concentrações de amido usadas na secagem por CTD.

Amostra	Umidade (g g ⁻¹ b.s.)	a _w
MANGA_AM_0	5,586 ± 0,631	0,988 ± 0,003
MANGA_AM_1	5,309 ± 0,277	0,990 ± 0,001
MANGA_AM_3	5,371 ± 0,488	0,987 ± 0,001
MANGA_AM_5	5,536 ± 0,270	0,988 ± 0,001

Fonte: Autor.

Na Figura 16 estão apresentadas triplicatas das curvas de secagem, enquanto na Figura 17 são apresentadas as evoluções da atividade de água das polpas de manga durante a secagem por CTD. As triplicatas mostram uma boa reprodutibilidade dos resultados.

Figura 16 – Evolução temporal da umidade, em base seca, das polpas de manga com e sem adição de amido durante a secagem por CTD, realizada em triplicata.

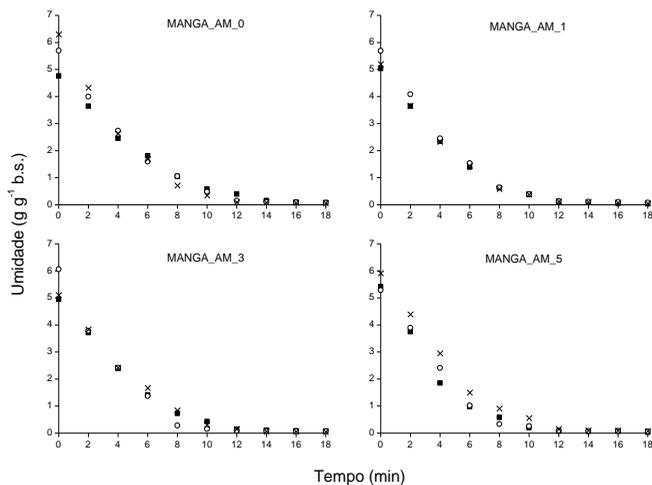
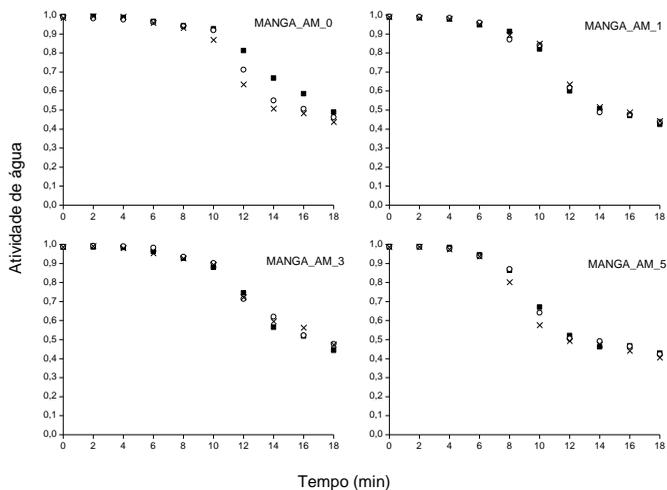


Figura 17 – Evolução temporal da atividade de água das polpas de manga com e sem adição de amido durante a secagem por CTD, realizada em triplicata.



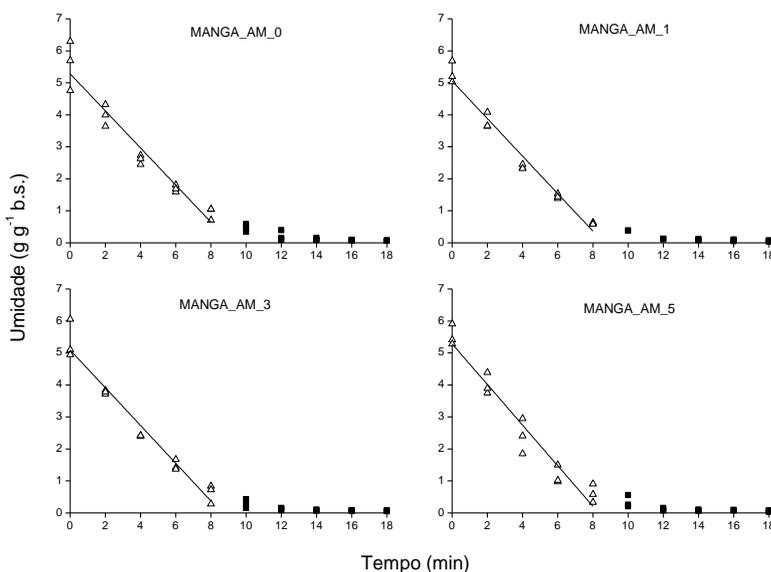
Os tempos de secagem para as polpas de manga com e sem adição de amido foram similares, sendo necessário, aproximadamente, 18 minutos para atingir umidades próximas a $0,06 \text{ g g}^{-1}$ (em base seca) e atividades de água próximas a 0,44. Neste sentido, a adição de amido não influenciou o processo de secagem da polpa de manga. Ao final da secagem, as amostras apresentaram valores de atividade de água inferior a 0,6, podendo ser considerados produtos microbiologicamente estáveis. Os valores de umidade e atividade de água obtidos neste estudo são consequências das condições de secagem e do tempo de secagem. Valores superiores aos encontrados no presente trabalho foram reportados por Concha-Meyer et al. (2016), ao secarem polpas de morango e kiwi em estufa a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ por 20 h, os quais obtiveram filmes de morango e kiwi com umidades de $0,250 \text{ g g}^{-1}$ (b.s.) e atividades de água de 0,59 (morango) e 0,67 (kiwi), e por Tontul e Topuz (2017), que reportaram valores de umidade variando entre 0,11 e $0,14 \text{ g g}^{-1}$ (b.s.) e atividade de água de 0,555 para filmes de romã obtidos por meio da secagem de suco concentrado de romã por RW, usando espessura de espalhamento de 4 mm e água de aquecimento a $98 \text{ }^\circ\text{C}$, durante 45 minutos.

Uma taxa de secagem constante no estágio inicial da secagem foi observada para todas as amostras de polpa de manga com e sem adição de amido. Esse período pode ser descrito pelo ajuste da equação linear antes do início do período de secagem à taxa decrescente. Na Figura 18 são apresentados os dados experimentais da variação da umidade, em base seca, em função do tempo durante a secagem por CTD da polpa de manga com diferentes concentrações de amido, ajustados linearmente.

É possível observar taxas de secagem constantes até tempos de secagem de 6-8 min para todas as polpas de manga (sem e com adição de amido), quando a atividade de água foi de aproximadamente 0,93, para todos os casos. Em seguida, um período de taxa decrescente foi observado, o qual pode ser relacionado com a diminuição da pressão de vapor de água na superfície, como indicado pela redução da atividade de água das amostras. Zotarelli, Carciofi e Laurindo (2015) observaram período de taxa constante durante a secagem de polpa de manga espalhada sobre filme de poliéster (*Mylar*[®]), utilizando uma espessura de espalhamento de 2 e 3 mm, e água quente a 75, 85 e $95 \text{ }^\circ\text{C}$ como fonte de aquecimento. O mesmo comportamento foi relatado por Frabetti (2017), para a secagem de polpa de goiaba por espalhamento sobre filme de poliéster e filme teflonado, com espessuras da polpa de 2 e 3 mm, e água de aquecimento a $98 \text{ }^\circ\text{C}$. Esse comportamento pode ser explicado pelos altos teores de umidade das polpas e pela fina espessura de polpa

espalhada. No período de secagem à taxa constante, a pressão de vapor da água na superfície da amostra é igual a pressão de vapor de saturação da água e a resistência à transferência de massa interna é desprezível (pequena espessura de espalhamento). Sendo assim, a evaporação da água é controlada pela transferência de calor através do suporte flexível, proveniente da água aquecida.

Figura 18 – Dados experimentais da variação da umidade, em base seca, com o tempo para as polpas de manga com e sem adição de amido, ajustados linearmente. Taxa constante (Δ); Taxa decrescente (\blacksquare).



Fonte: Autor.

Os valores das taxas de secagem à taxa constante e do coeficiente de correlação (R^2), obtidos pelo ajuste da equação linear aos dados experimentais entre 0 e 8 minutos, estão apresentados na Tabela 8.

As polpas de manga com e sem adição de amido não apresentaram diferenças significativas entre os valores de taxa de secagem, indicando que a adição de amido não influenciou a cinética de secagem. Tonin et al. (2018) estudaram a secagem por *drum dryer* de polpa de manga com e sem a adição de coadjuvantes de processo. Eles relataram que a taxa de secagem da polpa de manga com adição de 4% de amido + 1% de

monoesterato de glicerina não apresentou diferença significativa do observado para a polpa de manga original.

Tabela 8 – Taxa de secagem e coeficiente de correlação (R^2) das amostras de polpa de manga com diferentes concentrações de amido secas por CTD.

Amostra	Taxa de secagem ($\text{g g}^{-1} \text{min}^{-1}$)	R^2
MANGA_AM_0	$0,580 \pm 0,092^a$	0,975
MANGA_AM_1	$0,586 \pm 0,034^a$	0,982
MANGA_AM_3	$0,590 \pm 0,076^a$	0,979
MANGA_AM_5	$0,635 \pm 0,010^a$	0,969

*Letras diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas entre as amostras, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: Autor.

Portanto, a partir dos resultados das análises de comportamento reológico e cinética de secagem, as amostras MANGA_AM_0 e MANGA_AM_5 foram selecionadas para análises subsequentes.

4.3 CAPACIDADE EVAPORATIVA

Os valores das capacidades evaporativas, obtidas a partir da Equação 5, estão apresentados na Tabela 9. As massas específicas das amostras MANGA_AM_0 e MANGA_AM_5 foram de $1016,4 \text{ kg m}^{-3}$ e $997,7 \text{ kg m}^{-3}$, respectivamente, e as umidades iniciais, para ambas as condições, foram iguais a $0,85 \text{ kg kg}^{-1}$ (b.u.).

Tabela 9 – Capacidades evaporativas das polpas de manga sem amido e com 5% de amido durante a secagem.

Amostra	Capacidade evaporativa ($\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-1}$)
MANGA_AM_0	$15,90 \pm 2,53^a$
MANGA_AM_5	$19,81 \pm 0,50^a$

*Letras diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas entre as amostras, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: Autor.

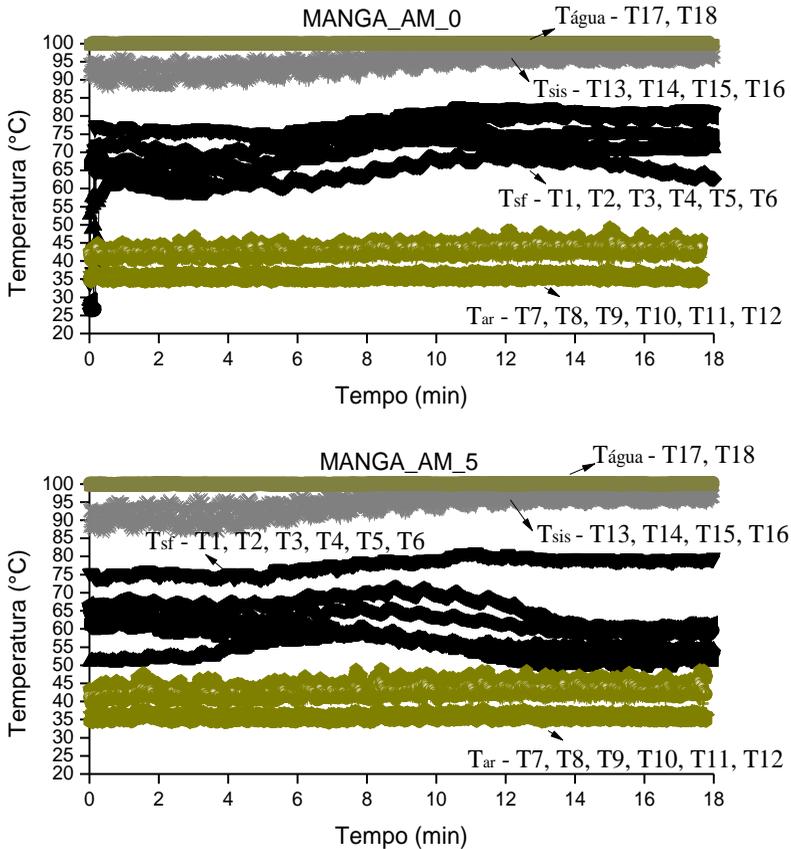
A capacidade evaporativa das polpas de manga com e sem adição de amido não apresentou diferença significativa. Os valores para

capacidade evaporativa obtidos neste estudo foram similares aos reportados por Durigon et al. (2016a), para a secagem em CTD de suco de tomate com espessura de 2 mm, espalhada sobre filme de poliéster, e água de aquecimento a 90 °C, e por Frabetti (2017), no estudo da secagem por CTD de polpa de goiaba utilizando dois tipos de suporte de secagem (filme de poliéster e filme teflonado), espessura de espalhamento de 2 mm e água aquecida a 98 °C.

4.4 EVOLUÇÃO TEMPORAL DA TEMPERATURA DAS SUSPENSÕES, DO AR DE SECAGEM, DA SUPERFÍCIE INFERIOR DO SUPORTE E DA ÁGUA DE AQUECIMENTO

A evolução temporal das temperaturas das polpas de manga sem amido e com 5% de amido, da superfície inferior do suporte de secagem, da água de aquecimento e do ar, determinadas pelos termopares, estão representadas na Figura 19. No início do processo de secagem, as suspensões que se encontravam à temperatura ambiente foram espalhadas sobre o suporte aquecido, e ocorreu aumento de suas temperaturas quase instantaneamente. Após esse período inicial de adaptação térmica do produto, as temperaturas das suspensões permaneceram constantes durante o período de secagem à taxa constante. No final desse período de secagem, ocorreu o aumento da temperatura das polpas, pois a transferência de calor não é compensada pela transferência de massa. A temperatura do ar de secagem variou entre 33 °C e 47 °C, conforme representado na Figura 19 por T7, T8, T9, T10, T11 e T12. A temperatura da superfície inferior do suporte variou entre 85 °C e 98 °C durante a secagem, representados na imagem pelos termopares T13, T14, T15 e T16. E a temperatura da água de aquecimento foi mantida à 98 °C durante todo o processo, conforme representado nas imagens por T17 e T18.

Figura 19 – Evolução temporal da temperatura das suspensões (termopares: T1, T2, T3, T4, T5 e T6), do ar (termopares: T7, T8, T9, T10, T11 e T12), da superfície inferior do suporte teflonado (termopares: T13, T14, T15 e T16) e da água de aquecimento (termopares: T17 e T18).



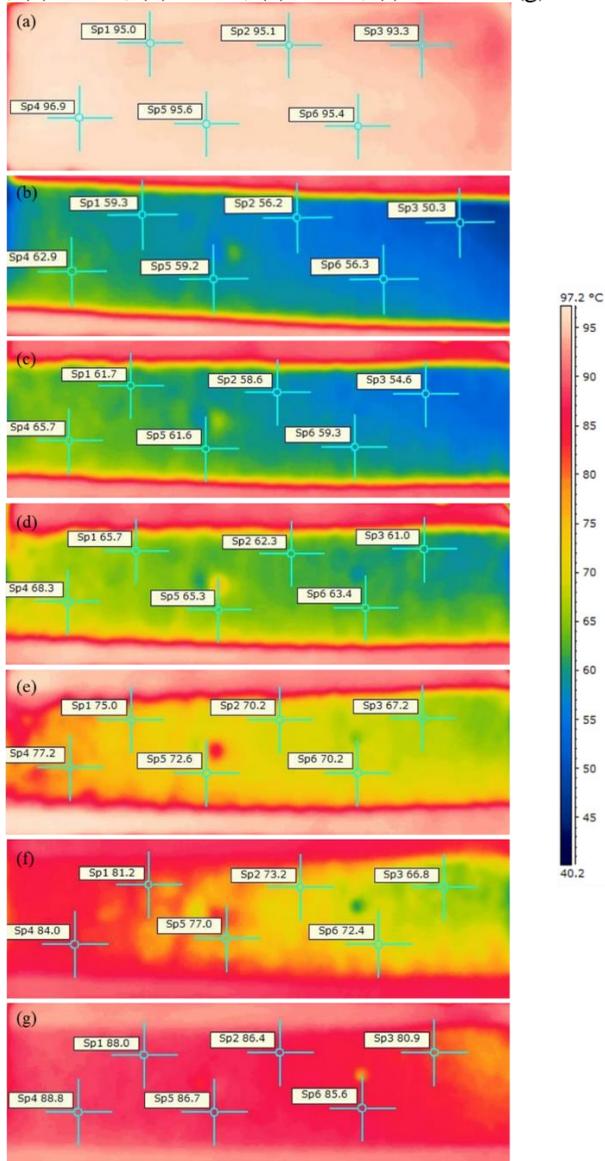
Fonte: Autor.

A temperatura superficial das polpas durante a secagem também foi acompanhada por termografias, com a finalidade de visualizar a homogeneidade do aquecimento, conforme mostrado nas Figuras 20 e 21. A emissividade da superfície do filme teflonado obtida foi de 0,96. Observou-se que a temperatura do suporte antes do espalhamento das suspensões estava abaixo da temperatura do vapor (98 °C), Figuras 20a e

21a. Assim como observado com os termopares, as imagens termográficas mostraram que após o espalhamento das suspensões ocorreu aumento gradual das temperaturas das polpas de forma homogênea. Após esse período de adaptação térmica, as temperaturas permaneceram praticamente constantes durante o período de secagem à taxa constante. A partir do oitavo minuto (Figuras 20e e 21e), as temperaturas das polpas de manga com e sem amido começaram a aumentar, devido à diminuição da taxa de secagem. No final do processo de secagem, através das termografias, foi registrado o aumento das temperaturas das superfícies das polpas espalhadas para valores próximos de 85 °C (Figuras 20g e 21g), o que não foi observado com as medidas dos termopares. Em geral, temperaturas mais elevadas foram observadas próximas às posições onde as resistências elétricas estão localizadas no reservatório do CTD.

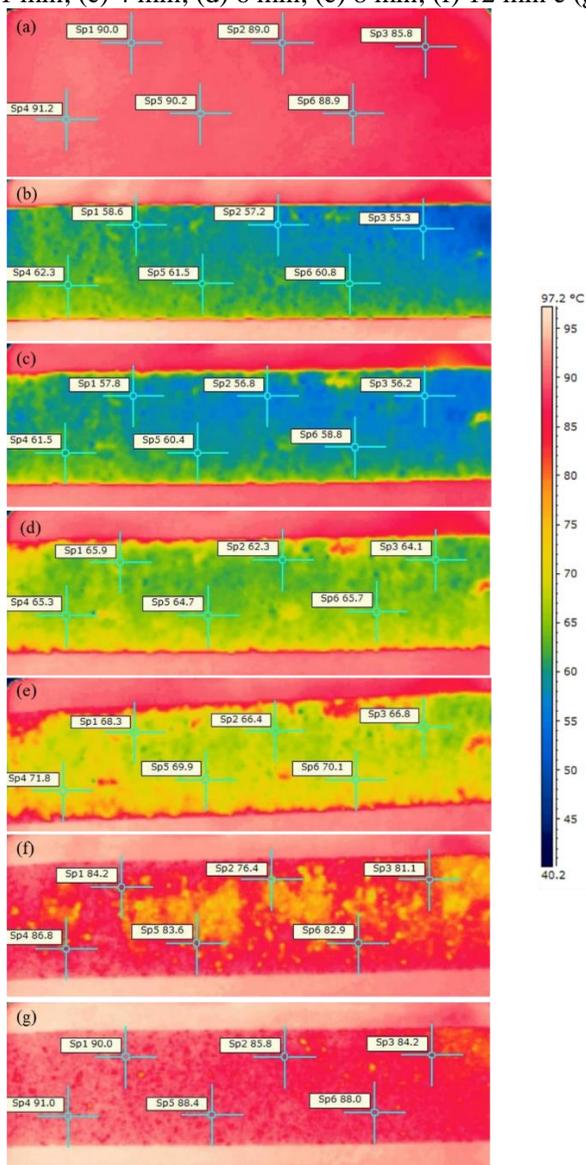
As temperaturas registradas pelos termopares mostraram-se diferentes das temperaturas avaliadas pelas termografias. Zotarelli, Carciofi e Laurindo (2015) atribuíram essas diferenças à redução da espessura da polpa durante a secagem, que pode deslocar e descolar os termopares inseridos na polpa espalhada, modificando os resultados das temperaturas, assim como à falta de exatidão na avaliação da emissividade da polpa durante o processo de secagem. Comportamentos similares foram reportados por Souza (2015) na secagem de polpa de açaí, por Durigon (2016) na secagem de polpa de tomate, e por Frabetti (2017) na secagem de polpa de goiaba, todos usando CTD.

Figura 20 – Imagens termográficas da evolução da temperatura da polpa de manga sem amido durante a secagem por CTD, nos tempos de: (a) 0; (b) 1 min; (c) 4 min; (d) 6 min; (e) 8 min; (f) 12 min e (g) 18 min.



Fonte: Autor.

Figura 21 – Imagens termográficas da evolução da temperatura da polpa de manga com 5% de amido durante a secagem por CTD, nos tempos de: (a) 0; (b) 1 min; (c) 4 min; (d) 6 min; (e) 8 min; (f) 12 min e (g) 18 min.



Fonte: Autor.

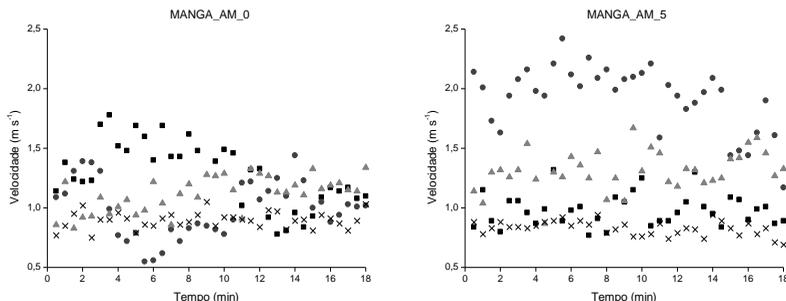
A partir dos dados obtidos pelas termografias e pelos termopares, observa-se que as temperaturas das polpas ficaram aproximadamente 30 °C abaixo da temperatura da água de aquecimento (98 °C). As temperaturas médias das polpas de manga sem amido e com 5% de amido ficaram entre 65 e 68 °C durante a secagem. Souza (2015) relatou temperatura média da polpa de açaí em torno de 72 °C, durante a secagem por CTD sobre filme de poliéster (*Mylar*®), com espessura de espalhamento de 2 mm e temperatura da água de aquecimento de 90 °C. Zotarelli, Carciofi e Laurindo (2015) reportaram temperaturas da polpa de manga entre 70 e 75 °C, em secagem por RW, usando água de aquecimento a 95 °C e espessura de 2 mm. Nindo et al. (2003) observaram que, durante a secagem de purê de abóbora por RW, com água de aquecimento à 90 °C e polpa com espessura de 0,65 mm, a temperatura média do produto foi cerca de 19 °C inferior à temperatura da água de aquecimento. Ochoa-Martínez et al. (2012) relataram temperaturas das fatias de manga próximas a 72 °C durante a secagem por RW com temperatura da água de aquecimento de 90 °C e espessura das fatias de 1 mm. Castoldi et al. (2015) também observaram temperatura média de 70 °C para a polpa de tomate durante a secagem por RW, usando água de aquecimento a 95 °C e espessura de espalhamento de 3 mm.

4.5 PERFIL DE VELOCIDADE DO AR DE SECAGEM

Na Figura 22, o perfil de velocidade do ar durante a secagem das polpas é apresentado. A velocidade do ar permaneceu entre 0,5 e 1,75 m s⁻¹ durante a secagem da polpa de manga sem amido, enquanto, ao longo da secagem da polpa de manga com adição de 5% de amido, a velocidade do ar foi de 0,75 – 2,25 m s⁻¹. As variações de velocidade do ar de exaustão não influenciaram as taxas de secagem, como foi observado a partir dos resultados apresentados anteriormente.

A utilização de um sistema de exaustão/ventilação acoplado ao CTD, além de carregar os vapores de água liberados pelo processo de secagem, o qual evita a saturação do ar e mantém uma maior diferença de pressão de vapor de água entre a superfície das suspensões e o ar, causou também o resfriamento das superfícies das amostras (Figura 19). Isso não é desejável do ponto de vista energético, mas pode contribuir para a preservação de características sensoriais e nutricionais do produto desidratado.

Figura 22 – Perfil de velocidade do ar durante o processo de secagem das polpas de manga sem amido e com 5% de amido. V1 (■); V2 (●); V3 (▲); V4 (x).



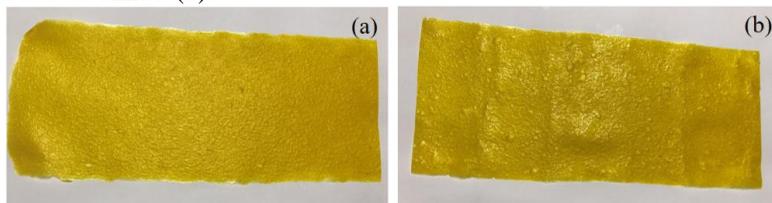
Fonte: Autor.

4.6 CARACTERIZAÇÃO DOS SNACKS DE MANGA EM FORMA DE FILME

4.6.1 Avaliação subjetiva

A avaliação qualitativa dos filmes de manga foi realizada logo após o processo de secagem. Os filmes sem amido e com 5% de amido, formados a partir das polpas, foram contínuos, com boa manuseabilidade, não quebradiços e uniformes. Os filmes apresentaram pequenas bolhas de ar aprisionadas e tinham coloração amarela e aroma característicos da polpa de manga *in natura*. Na Figura 23 são mostradas imagens dos filmes de manga obtidos por CTD.

Figura 23 – Imagens dos filmes de manga sem amido (a) e com adição de 5% de amido (b).

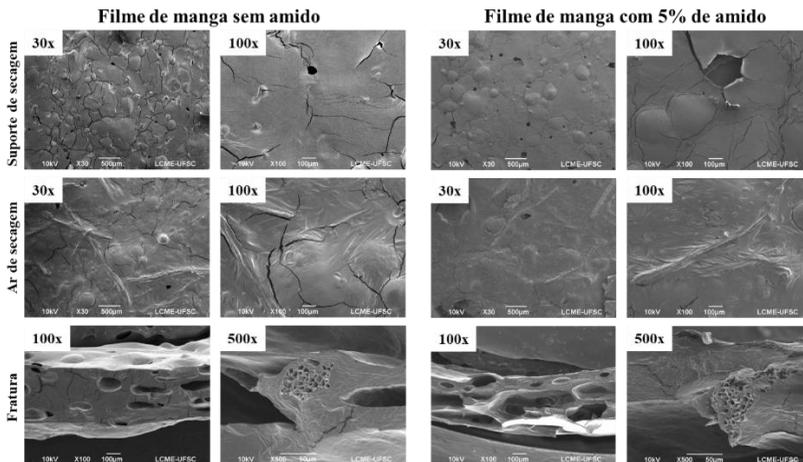


Fonte: Autor.

4.6.2 Microscopia eletrônica de varredura

Nas Figuras 24 são mostradas as micrografias obtidas das superfícies dos filmes em contato com o suporte de secagem, das superfícies expostas ao ar de secagem e das fraturas dos filmes. Filmes de manga com amido apresentaram superfície exposta ao ar de secagem mais contínua e com menos rachaduras que aqueles produzidos sem amido. Todos os filmes apresentaram superfícies irregulares, e fraturas com presença de poros. Nas micrografias das superfícies expostas ao ar de secagem é possível observar a homogeneidade das fibras presentes nos filmes.

Figura 24 – Micrografias dos filmes de manga sem amido e com adição de 5% de amido: Superfície em contato com o suporte de secagem; Superfície exposta ao ar de secagem; e Fratura dos filmes.



Fonte: Autor.

4.6.3 Espessura

Os valores de espessura para os filmes de manga sem amido e com adição de 5% de amido são mostrados na Tabela 10. A adição de amido resultou em aumento significativo da espessura dos filmes. Entretanto, Pimpharian et al. (2011) reportaram que a espessura de *snacks* de abacaxi em forma de filmes, desidratados por secagem com ar quente a

60 °C por 10 h, não foi significativamente influenciada pelas concentrações de xarope de glicose e pectina.

Tabela 10 – Espessura dos filmes de manga com e sem amido.

Amostra	Espessura (mm)
MANGA_AM_0	0,369 ± 0,046 ^a
MANGA_AM_5	0,403 ± 0,055 ^b

*Letras diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas entre as amostras, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: Autor.

4.6.4 Propriedades mecânicas

Análises de tração foram realizadas a fim de relacionar a força necessária para que um filme de manga fosse tracionado durante a mordida. Na Tabela 11 são mostrados os resultados de tensão de ruptura (MPa), alongamento na ruptura (%) e módulo de Young (MPa/%) obtidos no teste de tração dos filmes de manga sem amido e com 5% de amido, com cortes na direção paralela e perpendicular ao espalhamento. Os resultados de tração variaram entre 1,319 e 2,109 MPa. Sothornvit e Rodsamran (2008), em filmes elaborados com purê de manga secos a 50 °C por 12 h, obtiveram uma tensão de ruptura de 1,2 MPa, valor próximo aos encontrados neste estudo. Comparando-se as direções do corte, a tensão de ruptura e o módulo de Young foram menores na direção perpendicular ao espalhamento, sendo que filmes tracionados nessa direção exigem menor força de tração no momento da mordida. Além disso, esse resultado indica que o processo de espalhamento da polpa de manga orientou as fibras. Observou-se que, para ambas as direções de corte, houve uma redução da tensão de ruptura com a adição de amido no filme de manga. Comportamento similar foi reportado por Gujral e Khanna (2002), para *snack* de manga em forma de filme obtido por secagem com ar quente a 60 °C por 10 h. Os autores observaram que a energia necessária para romper o filme diminuiu significativamente com a adição de leite em pó, sacarose e concentrado de proteína de soja.

Tabela 11 – Tensão de ruptura, alongamento na ruptura e módulo de Young dos filmes de manga com e sem amido, com cortes realizados na direção paralela ao espalhamento (PA) e na direção perpendicular ao espalhamento (PE).

Amostra	σ_{rup} (MPa)	ϵ_{rup} (%)	Y (MPa/%)
MANGA_AM_0_PA	2,109 ±	16,167 ±	0,152 ±
	0,489 ^{aA}	2,145 ^{aB}	0,033 ^{aA}
MANGA_AM_5_PA	1,552 ±	14,027 ±	0,136 ±
	0,294 ^{bA}	1,108 ^{bB}	0,031 ^{aA}
MANGA_AM_0_PE	1,538 ±	17,069 ±	0,098 ±
	0,256 ^{aB}	2,993 ^{aB}	0,017 ^{aB}
MANGA_AM_5_PE	1,319 ±	17,104 ±	0,091 ±
	0,217 ^{bB}	3,296 ^{aA}	0,023 ^{aB}

*PA: direção paralela ao espalhamento; PE: direção perpendicular ao espalhamento.

**Letras minúsculas diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas entre as concentrações de amido para a mesma direção do corte, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

***Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas entre as direções do corte para a mesma concentração de amido, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: Autor.

A resistência média à propagação do rasgo dos filmes de manga sem amido e com 5% de amido para os corpos de prova cortados nas direções paralela e perpendicular ao espalhamento é apresentada na Tabela 12. A resistência à propagação do rasgo foi maior nas amostras cortadas na direção perpendicular ao espalhamento, para ambas as concentrações de amido. Como mencionado anteriormente, as fibras apresentam uma tendência em se orientarem na direção do espalhamento, o que pode explicar os resultados obtidos. Esse resultado sugere que se os *snacks* forem apresentados em pedaços grandes, sendo que o consumidor necessite rasgar um pedaço do filme para o consumo, uma força maior será necessária para provocar o rompimento do produto quando este for submetido a um corte perpendicular ao espalhamento.

Tabela 12 – Força média de resistência ao rasgamento dos filmes de manga sem amido e com adição de amido com cortes na direção paralela ao espalhamento (PA) e na direção perpendicular ao espalhamento (PE).

Amostra	Força média (N)
MANGA_AM_0_PA	0,252 ± 0,052 ^{aA}
MANGA_AM_5_PA	0,231 ± 0,060 ^{aA}
MANGA_AM_0_PE	0,374 ± 0,082 ^{bB}
MANGA_AM_5_PE	0,324 ± 0,048 ^{aB}

*PA: direção paralela ao espalhamento; PE: direção perpendicular ao espalhamento.

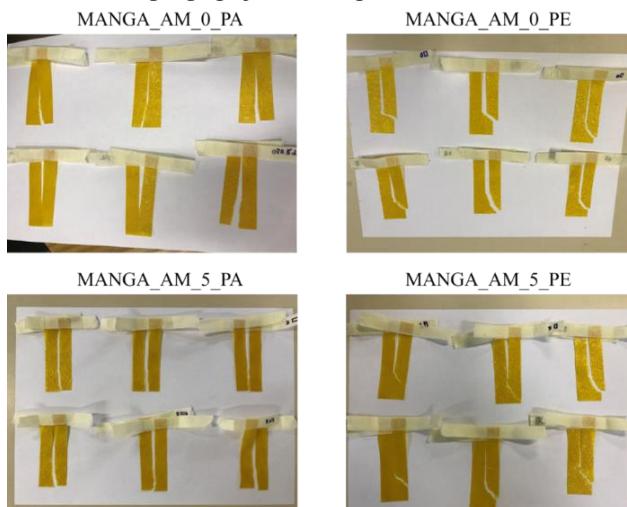
**Letras minúsculas diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas entre as concentrações de amido para a mesma direção do corte, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

***Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas entre as direções do corte para a mesma concentração de amido, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: Autor.

Na Figura 25 são mostradas as imagens dos filmes de manga com e sem adição de amido após o ensaio de resistência à propagação do rasgo.

Figura 25 – Imagens dos filmes de manga sem amido e com 5% de amido, para as direções paralela e perpendicular ao espalhamento, após o teste de resistência à propagação do rasgo.



Fonte: Autor.

Observou-se que a propagação do rasgo nos filmes com corte na direção paralela ao espalhamento seguiu paralelamente até o final do corpo de prova. Enquanto que, nos filmes com corte na direção perpendicular ao espalhamento, o rasgo se propagou de maneira diferenciada, indicando novamente a influência da orientação das fibras nos filmes.

4.6.5 Análise de cor

A cor dos alimentos é importante para sua aceitabilidade, e as técnicas instrumentais são normalmente usadas para obter uma avaliação objetiva da cor (KROKIDA, MAROULIS e SARAVACOS, 2001). Os parâmetros de cor (L^* , a^* e b^*) e o índice de escurecimento (IE) dos filmes de manga sem amido e com 5% de adição de amido com suas superfícies expostas ao ar de secagem e em contato com o suporte de secagem, analisados após o processo de desidratação, estão apresentados na Tabela 13.

A adição de amido à polpa de manga não alterou os parâmetros de luminosidade (L^*) e de cromaticidade (a^* e b^*) para a superfície exposta ao ar de secagem, assim como, para a superfície em contato com o suporte de secagem.

Em relação à luminosidade, as superfícies dos filmes de manga com e sem adição de amido expostas ao ar de secagem apresentaram resultados superiores em comparação com as superfícies dos filmes em contato com o suporte de secagem. Isso é devido às irregularidades presentes nas superfícies expostas ao ar de secagem, as quais modificam à reflexão da luz.

A cor predominante na polpa de manga *in natura* é o amarelo e pode ser melhor representada pelo parâmetro b^* positivo. Observou-se que os resultados obtidos neste estudo para o parâmetro b^* dos filmes de manga com e sem amido, para ambas as superfícies de contato, foram similares aos encontrados por Zotarelli et al. (2017) para pó de manga produzidos por CTD.

O índice de escurecimento das amostras apresentou resultados superiores para os filmes com e sem adição de amido com suas superfícies expostas ao ar de secagem, devido ao tempo de exposição suficientemente longo dessas superfícies ao ar, favorecendo as reações químicas de escurecimento, tais como a oxidação do ácido ascórbico e reação não enzimática ou reação de Maillard (POTTER e HOTCHKISS, 1995).

Tabela 13 – Parâmetros de cor (L*, a* e b*) e índice de escurecimento (IE) dos filmes de manga com e sem amido com suas superfícies expostas ao ar de secagem e em contato com o suporte de secagem.

Amostra	L*	a*	b*	IE
MANGA_AM_0 - Superfície exposta ar de secagem	61,19 ± 3,90 ^{aA}	-6,35 ± 0,49 ^{aA}	47,78 ± 3,94 ^{aA}	119,98 ± 10,03 ^{aA}
MANGA_AM_0 - Superfície em contato com suporte de secagem	59,32 ± 2,37 ^{aB}	-6,53 ± 0,49 ^{aA}	41,07 ± 3,01 ^{aB}	97,34 ± 15,48 ^{aB}
MANGA_AM_5 - Superfície exposta ar de secagem	62,51 ± 3,33 ^{aA}	-6,36 ± 0,91 ^{aA}	47,13 ± 2,61 ^{aA}	114,27 ± 17,72 ^{aA}
MANGA_AM_5 - Superfície em contato com suporte de secagem	58,81 ± 1,40 ^{aB}	-6,44 ± 0,61 ^{aA}	40,56 ± 2,74 ^{aB}	96,47 ± 13,80 ^{aB}

*Letras minúsculas diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas entre as concentrações de amido para a mesma superfície de contato, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

**Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas entre as superfícies de contato para a mesma concentração de amido, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: Autor.

4.6.6 Carotenoides totais

O conteúdo de carotenoides dos filmes de manga sem amido e com adição de 5% de amido, assim como, a retenção de carotenoides em relação ao observado na fruta *in natura*, estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Carotenoides totais presentes na polpa e nos filmes de manga com e sem amido e a retenção de carotenoides nos filmes após o processamento por CTD.

Amostra	Carotenoides ($\mu\text{g g}^{-1}$ b.s.)	Retenção de carotenoides em relação à fruta <i>in</i> <i>natura</i> (%)
Polpa de manga <i>in</i> <i>natura</i>	132,21 \pm 10,09	-
MANGA_AM_0	36,67 \pm 6,43 ^a	28
MANGA_AM_5	35,40 \pm 2,54 ^a	27

*Letras diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas entre as amostras, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: Autor.

Na polpa de manga *in natura*, encontrou-se conteúdo de 132,21 \pm 10,09 μg de carotenoides g^{-1} de massa seca ou 20,26 \pm 1,55 μg carotenoides g^{-1} de massa total. O conteúdo de carotenoides encontrado neste estudo está dentro da faixa de valores reportados por Mercadante e Rodriguez-Amaya (1998), que obtiveram resultados entre 17 e 51 μg de carotenoides g^{-1} de massa total, para manga da variedade Tommy Atkins, de acordo com o grau de maturação.

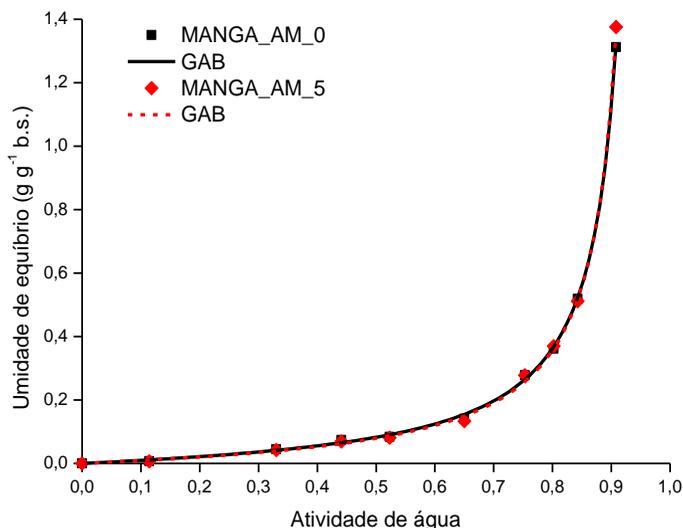
Durante a secagem, a degradação de carotenoides tem sido atribuída a sua alta sensibilidade à oxidação, a qual é acelerada pelo aumento da temperatura de secagem (DESÓBRY, NETTO e LABUZA, 1997). A perda de carotenoides durante a secagem por CTD foi de aproximadamente 73%, para ambas as amostras de filmes. Zotarelli et al. (2017) reportaram resultados similares quando secaram polpa de manga por CTD para obtenção de pós, e atribuíram essa alta degradação de carotenoides ao tempo de secagem por CTD (cerca de 12 min). Os mesmos autores obtiveram uma perda de carotenoides de 60% para os pós de manga produzidos por *spray drying*, com tempo de residência de 3 s, sendo este, um valor de degradação inferior ao obtido por CTD. Apesar do *spray drying* utilizar temperaturas elevadas, o processo de formação

de partículas é bastante rápido, e conseqüentemente, o tempo de exposição a essas temperaturas e ao ar de secagem é curto.

4.6.7 Isoterma de sorção de umidade

As isotermas de sorção de umidade dos filmes de manga com e sem adição de amido e os ajustes do modelo de GAB aos dados experimentais são apresentados na Figura 26. As isotermas de sorção de umidade obtidas correspondem ao tipo III, segundo a classificação de Brunauer et al. (1940), que são típicas de alimentos com alto conteúdo de sólidos solúveis. Zotarelli et al. (2017) também reportaram isotermas do tipo III para pós de manga, com e sem maltodextrina, produzidos por CTD e *spray drying*. Valenzuela e Aguilera (2015b) reportaram o mesmo comportamento para *snacks* de maçã em forma de filme, produzidos por secagem com ar quente e adição de maltodextrina.

Figura 26 – Isotermas de sorção de umidade – Ajuste de GAB aos dados experimentais de umidade de equilíbrio *versus* atividade de água dos filmes de manga com e sem amido.



Fonte: Autor.

Na Tabela 15 são apresentados os parâmetros do modelo de Guggenheim, Anderson e de Boer (GAB) e os coeficientes de correlação.

O modelo de GAB se ajustou bem aos dados experimentais ($R^2 = 0,999$ e $RMSE \leq 0,012$). Os valores do teor de umidade da monocamada (X_m) estimados para os filmes de manga sem amido e com adição de 5% de amido ficaram próximos de 0,06 g água/g sólidos secos, indicando que a adição de amido não influenciou na higroscopicidade dos filmes de manga. Valenzuela e Aguilera (2015b) estudaram *snacks* de maçã em forma de filmes adicionados de maltodextrina em diferentes concentrações, e observaram que a adição de 15% de maltodextrina diminuiu a higroscopicidade do produto. A umidade da monocamada (X_m) indica a quantidade de água que está fortemente adsorvida no alimento, sendo um parâmetro importante para prever a estabilidade física e química dos produtos desidratados (RAHMAN e LABUZA, 2007). Conforme Goula et al. (2008), as velocidades de reações de deterioração, exceto a oxidação de gorduras insaturadas, são mínimas em umidades abaixo de X_m . As amostras condicionadas em UR acima de 44,0%, à 25 °C, apresentaram um teor de umidade de equilíbrio (X_{eq}) maior do que a umidade da monocamada (X_m). Os parâmetros C e k do modelo de GAB estão relacionados com a energia de interação das moléculas adsorvidas na monocamada e nas multicamadas, respectivamente.

Tabela 15 – Parâmetros estimados do modelo de GAB para os filmes de manga com e sem amido elaborados por CTD.

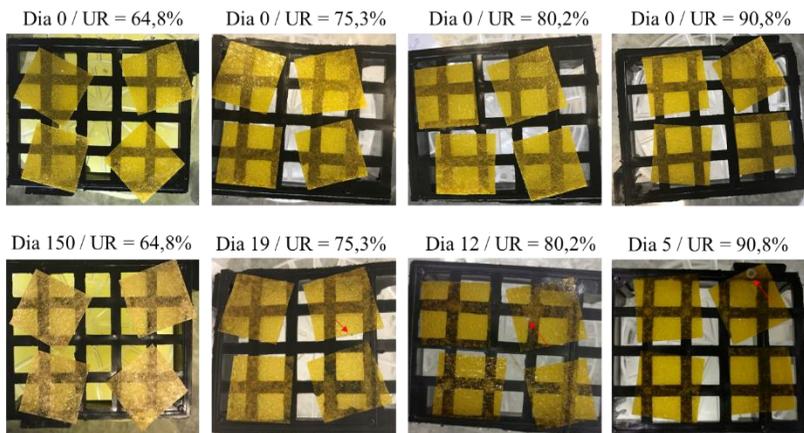
Parâmetros	Amostra	
	MANGA_AM_0	MANGA_AM_5
X_m (b.s.)	0,068	0,066
C	1,252	1,193
k	1,047	1,050
R^2	0,999	0,999
RMSE	0,009	0,012

Fonte: Autor.

4.6.8 Análise de crescimento de fungos

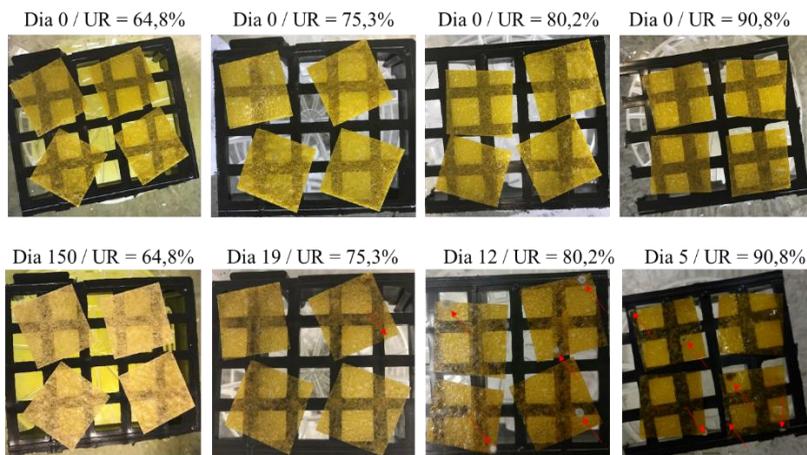
Fotografias de amostras de filmes de manga sem amido (Figura 27) e com 5% de amido (Figura 28), condicionados em temperatura de 25 °C e em umidades relativas acima de 64%, indicam a evolução do crescimento dos bolores durante o armazenamento.

Figura 27 – Amostras de filmes de manga sem amido condicionadas a 25 °C e em umidades relativas entre 64,8 e 90,8% e o desenvolvimento de bolores.



Fonte: Autor.

Figura 28 – Amostras de filmes de manga com 5% de amido condicionadas a 25 °C e em umidades relativas entre 64,8 e 90,8% e o desenvolvimento de bolores.



Fonte: Autor.

Em aproximadamente 5 dias de armazenamento, os filmes condicionados em UR = 90,8% apresentaram crescimento de bolores

visíveis a olho nu. Nas amostras de filme de manga sem amido foi visualizada apenas 1 colônia, enquanto nas amostras de filme de manga com adição de amido foram visualizadas 6 colônias. Nos filmes armazenados em UR = 80,2%, o crescimento de bolores foi visto no 12º dia de armazenamento. Nesta UR também foram observadas mais colônias nas amostras com amido (5 colônias) do que nas amostras sem amido (1 colônia), isso pode ser associado com a qualidade da matéria-prima. Em UR = 75,3%, percebeu-se que o crescimento de bolores iniciou a partir do 19º dia para ambas as amostras de filmes. Entretanto, na UR = 64,8% não houve crescimento de bolores visíveis a olho nu em 150 dias de armazenamento, em ambos os filmes de manga. De acordo com Fellows (2009), a maioria dos fungos tem seu crescimento limitado em atividade de água menor que 0,7.

4.6.9 Análises sensoriais

Na Tabela 16 são mostradas a umidade e a atividade de água das amostras de *snacks* de manga utilizadas para as análises sensoriais.

Tabela 16 – Umidade e atividade de água dos *snacks* de manga.

Amostra	Umidade (g g ⁻¹ b.s.)	a _w
MANGA_AM_0 (UR = 22,5%)	0,034 ± 0,002	0,323 ± 0,003
MANGA_AM_5 (UR = 22,5%)	0,036 ± 0,001	0,326 ± 0,002
MANGA_AM_0 (UR = 44,0%)	0,073 ± 0,002	0,466 ± 0,000
MANGA_AM_5 (UR = 44,0%)	0,093 ± 0,013	0,465 ± 0,002
MANGA_AM_0 (UR = 52,3%)	0,113 ± 0,000	0,534 ± 0,002
MANGA_AM_5 (UR = 52,3%)	0,102 ± 0,006	0,537 ± 0,000

Fonte: Autor.

Os *snacks* de manga com e sem adição de amido foram condicionados em UR de 22,5, 44,0 e 52,3% para determinar se os consumidores preferiam um produto mais crocante ou macio. Na isoterma de sorção de umidade, observou-se que acima de 44,0% de UR, a umidade

adsorvida pelo produto foi maior que a umidade da monocamada (X_m), dessa forma, 44,0% de UR foi escolhida como umidade intermediária.

Na Tabela 17 são apresentados os resultados de soma das ordens, correspondente à ordenação das amostras quanto à preferência. A partir da análise dos resultados, os *snacks* de manga, com e sem adição de amido, condicionados em UR = 22,5% diferiram significativamente dos *snacks* de manga, com e sem amido, armazenados em umidades relativas de 44,0% e 52,3%, ao nível de significância de 5%. Entretanto, não houve diferença significativa entre as duas amostras de *snacks* de manga armazenadas em 22,5% de UR.

Tabela 17 – Soma das ordens para os *snacks* de manga sem amido e com 5% de amido, condicionados em diferentes umidades relativas.

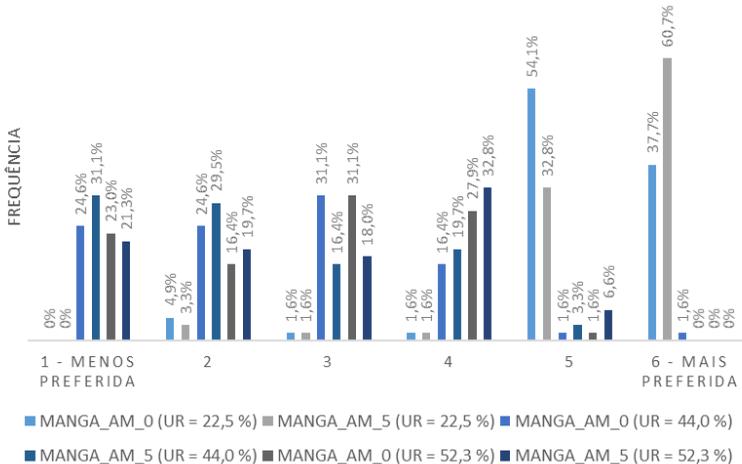
Amostra	Total de ordenação
MANGA_AM_0 (UR = 22,5%)	316 ^a
MANGA_AM_5 (UR = 22,5%)	333 ^a
MANGA_AM_0 (UR = 44,0%)	152 ^b
MANGA_AM_5 (UR = 44,0%)	143 ^b
MANGA_AM_0 (UR = 52,3%)	164 ^b
MANGA_AM_5 (UR = 52,3%)	173 ^b

*Letras diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas entre as amostras, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: Autor.

Os *snacks* de manga com e sem adição de amido, condicionados em UR = 22,5%, foram os preferidos pelos consumidores, eles juntos resultaram em 98% de preferência, como pode ser observado na Figura 29, que apresenta a frequência das ordens das amostras.

Figura 29 – Frequência das ordens das amostras de *snacks* de manga sem amido e com 5% de amido, condicionados em umidades relativas diferentes.



Fonte: Autor.

A fim de compreender melhor a preferência por produtos com umidades inferiores, a análise de aceitação foi realizada. Os resultados obtidos no teste de aceitação da aparência, cor, sabor, textura e impressão global, bem como a intenção de compra das amostras de *snacks* de manga condicionadas em umidades relativas diferentes são apresentados na Tabela 18. Os *snacks* de manga elaborados com e sem adição de amido e armazenados em umidade relativa de 22,5% apresentaram elevada aceitação referente aos atributos sensoriais avaliados em comparação com os *snacks* de manga, com e sem amido, armazenados em umidades relativas de 44,0% e 52,3%. De acordo com a maioria dos provadores que forneceram comentários, a crocância resultou em produtos mais saborosos. Para produtos crocantes, como *snacks*, a perda de crocância devido à adsorção de umidade do ambiente ou devido à transferência de massa de umidade de componentes vizinhos é uma das principais causas de rejeição dos consumidores (PIAZZA, GIGLI e BALLABIO, 2007).

Tabela 18 – Resultados do teste de aceitação dos *snacks* de manga sem amido e com adição de 5% de amido, condicionados em três umidades relativas diferentes.

Amostra	Aparência	Cor	Sabor	Textura	Impressão global	Intenção de compra
MANGA_AM_0 (UR = 22,5%)	7,8 ± 1,1 ^a	7,8 ± 1,2 ^{ab}	7,5 ± 1,3 ^a	7,7 ± 1,5 ^a	7,7 ± 1,1 ^a	4,2 ± 0,8 ^a
MANGA_AM_5 (UR = 22,5%)	7,9 ± 1,0 ^a	8,0 ± 0,8 ^a	8,1 ± 0,9 ^a	8,2 ± 1,2 ^a	8,1 ± 0,8 ^a	4,5 ± 0,7 ^a
MANGA_AM_0 (UR = 44,0%)	7,0 ± 1,7 ^b	7,0 ± 1,8 ^b	5,4 ± 2,0 ^b	3,6 ± 1,8 ^b	4,8 ± 1,8 ^b	2,2 ± 1,0 ^b
MANGA_AM_5 (UR = 44,0%)	7,0 ± 1,4 ^b	7,1 ± 1,4 ^b	5,6 ± 2,0 ^b	3,6 ± 1,9 ^b	5,1 ± 1,9 ^b	2,0 ± 1,0 ^b
MANGA_AM_0 (UR = 52,3%)	7,0 ± 1,5 ^b	7,0 ± 1,7 ^b	6,0 ± 1,9 ^b	4,0 ± 2,1 ^b	5,3 ± 1,7 ^b	2,2 ± 0,9 ^b
MANGA_AM_5 (UR = 52,3%)	6,9 ± 1,7 ^b	7,0 ± 1,8 ^b	5,7 ± 2,0 ^b	4,0 ± 2,1 ^b	5,2 ± 1,8 ^b	2,4 ± 1,1 ^b

*Letras diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas entre as amostras, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

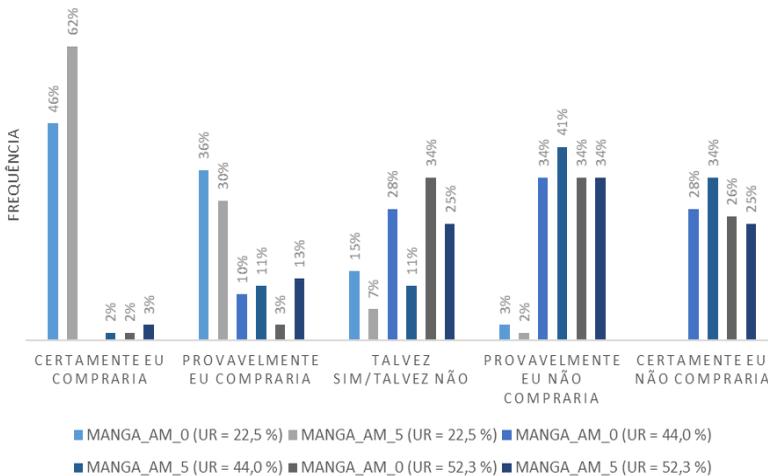
Fonte: Autor.

Em relação aos atributos analisados e à intenção de compra, os *snacks* de manga, com e sem amido, ambos condicionados em UR = 22,5% não apresentaram diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre si, indicando que a adição de amido não interferiu significativamente na aceitação dos *snacks* de manga. Isso mostra que 5% de amido pode ser adicionado nos *snacks* de manga para reduzir custos e aumentar a homogeneidade da matriz.

Os *snacks* de manga, com e sem adição de amido, armazenados em umidade relativa de 44,0% não apresentaram diferença significativa ($p \leq 0,05$) para aceitabilidade de aparência, cor, sabor e textura, além da intenção de compra, quando comparados aos *snacks* de manga, com e sem amido, condicionados em umidade relativa de 52,3%, sugerindo que o aumento da umidade relativa de 44,0% para 52,3% não influenciou na aceitabilidade do produto.

Na Figura 30 estão apresentados os percentuais de respostas em relação à intenção de compra das amostras de *snacks* de manga, com e sem amido, condicionados em diferentes umidades relativas.

Figura 30 – Frequência dos valores da escala estruturada verbal de 5 pontos atribuídos pelos provadores à intenção de compra dos *snacks* de manga.



Fonte: Autor.

A partir da análise de dados, 62% dos provedores responderam que certamente comprariam os *snacks* de manga com amido armazenados em 22,5% de UR, enquanto 41% dos provedores provavelmente não comprariam os *snacks* de manga com amido condicionados em 44,0% de UR. Este resultado mostra a importância do controle da UR durante o armazenamento na aceitabilidade do produto.

4.6.10 Cor das amostras após condicionamento em diferentes UR

Após o condicionamento nas três umidades relativas (UR = 22,5, 44,0 e 52,3%), a cor dos *snacks* de manga também foi avaliada. Os parâmetros de cor (L*, a* e b*) estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Parâmetros de cor (L*, a* e b*) dos *snacks* de manga sem amido e com adição de 5% de amido, condicionados em três umidades relativas diferentes.

Amostra	L*	a*	b*
MANGA_AM_0 (UR = 22,5%)	84,47 ± 0,51 ^a	6,29 ± 0,81 ^{cd}	61,54 ± 0,66 ^b
MANGA_AM_5 (UR = 22,5%)	86,57 ± 0,99 ^b	4,06 ± 1,24 ^{ab}	54,90 ± 1,72 ^a
MANGA_AM_0 (UR = 44,0%)	84,85 ± 1,22 ^a	7,06 ± 1,90 ^{cd}	55,66 ± 2,27 ^a
MANGA_AM_5 (UR = 44,0%)	84,48 ± 0,73 ^a	7,70 ± 1,24 ^d	54,87 ± 2,56 ^a
MANGA_AM_0 (UR = 52,3%)	85,54 ± 1,14 ^{ab}	5,55 ± 1,71 ^{bc}	55,48 ± 1,40 ^a
MANGA_AM_5 (UR = 52,3%)	86,78 ± 0,93 ^b	3,45 ± 1,48 ^a	55,86 ± 2,08 ^a

*Letras diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas entre as amostras, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: Autor.

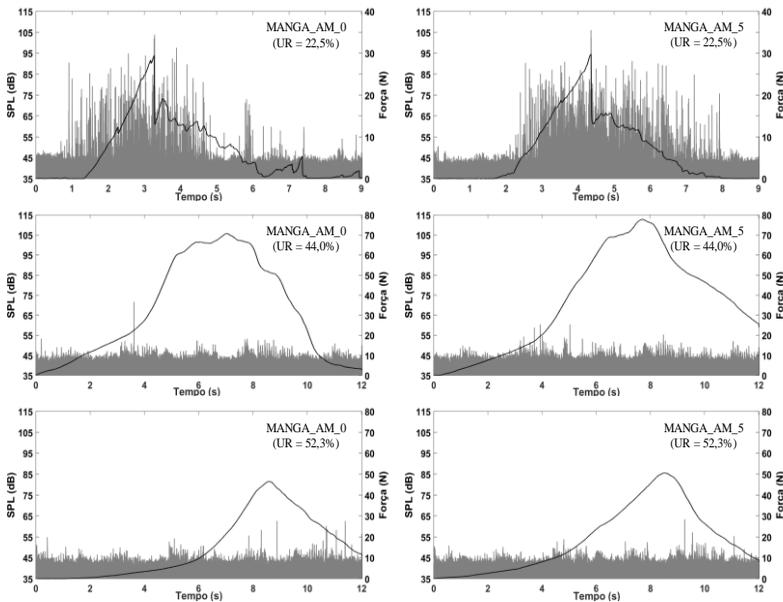
Observou-se que, em geral, com a adição de amido, houve um aumento da luminosidade. Comportamento similar foi reportado por Durigon (2016), em estudo sobre a produção de pós de tomate com e sem maltodextrina por diferentes processos de secagem, e por Zotarelli et al. (2017) sobre a produção de pós de manga com e sem maltodextrina secos por CTD e *spray drying*. O *snack* de manga sem amido condicionado em

UR = 22,5% mostrou o maior resultado para o parâmetro b^* , indicando maior tendência ao amarelo, em comparação às demais amostras. Valores semelhantes deste parâmetro foram obtidos por Tonin et al. (2018) para pós de manga, com e sem adição de coadjuvantes de processo, produzidos por *drum drying*.

4.6.11 Medidas instrumentais acústico-mecânicas da crocância

Na Figura 31 são apresentadas as curvas representativas da força *versus* tempo combinadas com os níveis de pressão sonora emitidos durante o teste de corte dos *snacks* de manga. Os sinais mecânicos e sonoros foram sincronizados, permitindo a comparação simultânea dos dados de força e acústicos. Os gráficos mostram o aumento da força desde o momento em que a lâmina de cisalhamento entra em contato com as amostras.

Figura 31 – Força (linha preta) e Nível de Pressão Sonoro (SPL, linha cinza) *versus* tempo durante o teste de corte das amostras de *snacks* de manga com e sem amido, condicionadas em diferentes umidades relativas.



Fonte: Autor.

Os *snacks* de manga condicionados em UR = 22,5% mostraram um alto número de picos de força, como resultado, as curvas de força *versus* tempo foram muito irregulares. Porém, com o aumento da UR, a irregularidade das curvas de força *versus* tempo diminuiu. Similarmente, as amostras condicionadas em UR = 22,5% exibiram maior número de picos acústicos, e com o aumento da UR, o número de picos acústicos diminuiu. A perda de irregularidade nas curvas mecânicas e acústicas com o aumento da UR é devido ao efeito de plastificação da água, resultando em um produto com textura macia e dúctil. Comportamentos semelhantes foram reportados por Roudaut, Dacremont e Le Meste (1998), Primo-Martín et al. (2009) e Arimi et al. (2010).

A crocância dos produtos tem sido associada com um elevado número de picos de força e acústicos (SALVADOR et al., 2009). Nos *snacks* de manga com e sem adição de amido, armazenados em UR = 22,5%, essa correlação positiva entre o número de picos e a crocância foi encontrada.

Os parâmetros obtidos a partir das curvas de força e acústicas são apresentados na Tabela 20. O trabalho necessário para cortar as amostras (área sob a curva de força) e a força máxima aumentaram com o aumento da umidade relativa de 22,5% para 44,0%, os quais podem estar associados a um efeito de antiplastificação dos *snacks* (MARZEC e LEWICKI, 2006). Esse efeito pode ser relacionado à diminuição do volume livre no produto, que é preenchido pela água, resultando no aumento da rigidez do produto (ROUDAUT et al, 2002; MARZEC e LEWICKI, 2006). Entretanto, o trabalho envolvido no corte e a força máxima diminuíram com o aumento da umidade relativa de 44,0% para 52,3% devido à plastificação do material pela água, o qual ocasiona um amaciamento da matriz (MARZEC e LEWICKI, 2006; ARIMI et al., 2010).

Os maiores números de picos de força foram associados com os maiores números de picos acústicos, SPL_{10} e $SPL_{máx}$. Os *snacks* de manga armazenados em UR = 22,5% mostraram os maiores números de picos de força, picos acústicos, SPL_{10} e $SPL_{máx}$. Como mencionado anteriormente, quanto maiores os números de picos de força e acústicos, mais crocante torna-se a amostra.

Tabela 20 – Valores médios dos parâmetros obtidos no teste instrumental acústico-mecânico.

Amostra	Parâmetros instrumentais de textura			Parâmetros instrumentais acústicos		
	Área (N.mm)	Força máxima (N)	Número de picos de força	SPL _{L10} (dB)	SPL _{máx} (dB)	Número de picos acústicos
MANGA_AM_0 (UR = 22,5%)	66,3 ± 17,5 ^a	37,8 ± 10,7 ^{ab}	42 ± 11 ^b	101,2 ± 3,2 ^b	105,0 ± 4,0 ^b	8941 ± 3192 ^b
MANGA_AM_5 (UR = 22,5%)	66,6 ± 14,5 ^a	33,7 ± 8,9 ^a	34 ± 14 ^b	98,9 ± 2,4 ^b	105,0 ± 3,3 ^b	7668 ± 2896 ^b
MANGA_AM_0 (UR = 44,0%)	339,0 ± 21,6 ^d	68,3 ± 8,9 ^d	8 ± 3 ^a	64,2 ± 7,7 ^a	70,2 ± 9,2 ^a	282 ± 60 ^a
MANGA_AM_5 (UR = 44,0%)	376,2 ± 45,0 ^e	76,9 ± 8,6 ^d	6 ± 2 ^a	62,2 ± 6,4 ^a	65,9 ± 9,1 ^a	347 ± 124 ^a
MANGA_AM_0 (UR = 52,3%)	197,8 ± 33,9 ^b	46,8 ± 6,8 ^{bc}	7 ± 3 ^a	60,3 ± 4,0 ^a	64,5 ± 5,3 ^a	202 ± 24 ^a
MANGA_AM_5 (UR = 52,3%)	246,6 ± 26,0 ^c	48,6 ± 6,2 ^c	7 ± 2 ^a	60,5 ± 6,3 ^a	65,3 ± 9,1 ^a	240 ± 44 ^a

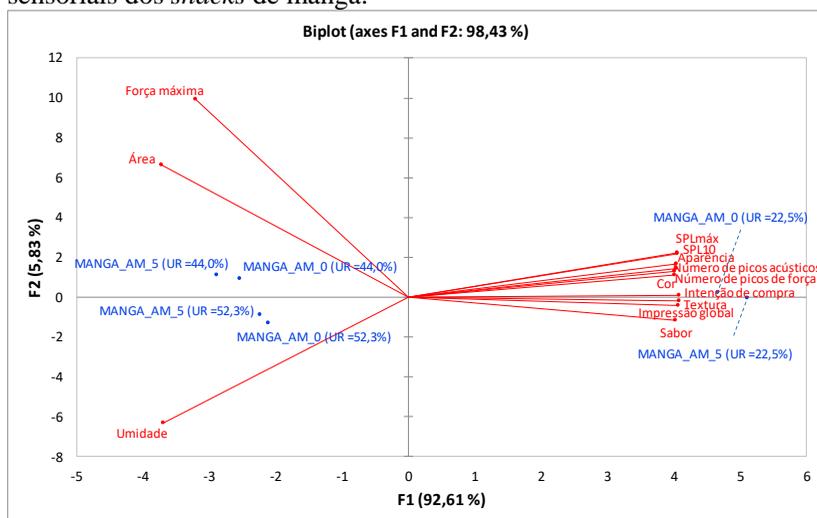
*Letras diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas entre as amostras, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: Autor.

4.6.12 Correlação entre os resultados das análises sensorial e instrumental

A análise de componentes principais (PCA) foi realizada para correlacionar alguns parâmetros físicos, mecânicos, acústicos e sensoriais dos *snacks* de manga. Na Figura 32 é apresentado o gráfico biplot do PCA, no qual os dois primeiros componentes principais explicam 98,43% da variabilidade (92,61% F1, 5,83% F2).

Figura 32 – Biplot da PCA dos parâmetros acústicos, mecânicos e sensoriais dos *snacks* de manga.



Fonte: Autor.

A primeira componente (F1) foi correlacionada negativamente com a força máxima, área e umidade. O biplot ilustrou que as amostras MANGA_AM_0 (UR = 22,5%) e MANGA_AM_5 (UR = 22,5%) se destacaram por seus altos valores nos parâmetros acústicos e sensoriais, assim como no número de picos de força. As amostras MANGA_AM_0 (UR = 44,0%) e MANGA_AM_5 (UR = 44,0%) apresentaram valores altos de força máxima e área, enquanto MANGA_AM_0 (UR = 52,3%) e MANGA_AM_5 (UR = 52,3%) foram maiores no teor de umidade.

A relação entre as variáveis avaliadas pelo PCA está apresentada na Tabela 21. Os coeficientes de correlação mostram que a textura correlacionou bem com o número de picos de força ($r = 0,972$), número

de picos acústicos ($r = 0,983$), $SPL_{máx}$ ($r = 0,984$) e SPL_{10} ($r = 0,984$), entretanto, é fortemente correlacionada negativamente com a área ($r = -0,909$). Além disso, a intenção de compra do produto pelos avaliadores apresentou elevada correlação com a textura ($r = 0,998$).

Estudos prévios sobre frutas em forma de filmes avaliaram a textura através de análises mecânicas e sensoriais (MAN et al., 1997; GUJRAL e KHANNA, 2002; AZEREDO et al., 2006; OKILYA, MUKISA e KAAYA, 2010; PHIMPHARIAN et al., 2011; ADDAI et al., 2016). No entanto, esses trabalhos não estudaram a relação entre as medidas sensoriais e instrumentais para avaliar a crocância dos produtos.

Tabela 21 – Matrix do coeficiente de correlação entre as variáveis analisadas, determinada com base no PCA.

Variáveis	Número de												
	Umidade	Aparência	Cor	Sabor	Textura	Impressão global	Intenção de compra	Número de picos de força	Força máxima	Área	Número de picos acústicos	SPL _{máx}	SPL _{L10}
Umidade	1												
Aparência	-0,915	1											
Cor	-0,892	0,994	1										
Sabor	-0,840	0,983	0,989	1									
Textura	-0,890	0,990	0,986	0,991	1								
Impressão global	-0,871	0,990	0,989	0,996	0,998	1							
Intenção de compra	-0,906	0,985	0,983	0,984	0,998	0,993	1						
Número de picos de força	-0,919	0,961	0,934	0,936	0,972	0,961	0,970	1					
Força máxima	0,493	-0,704	-0,717	-0,804	-0,787	-0,788	-0,784	-0,722	1				
Área	0,668	-0,853	-0,850	-0,916	-0,909	-0,909	-0,900	-0,872	0,962	1			
Número de picos acústicos	-0,921	0,977	0,956	0,955	0,983	0,976	0,980	0,997	-0,719	-0,870	1		
SPL _{máx}	-0,954	0,987	0,971	0,958	0,984	0,976	0,987	0,985	-0,698	-0,848	0,991	1	
SPL _{L10}	-0,946	0,986	0,968	0,957	0,984	0,977	0,985	0,991	-0,696	-0,850	0,996	0,999	1

Fonte: Autor.

5 CONCLUSÃO

- Polpa de manga e suspensões de manga-amido, em diferentes concentrações, apresentaram comportamento pseudoplástico, o que permite o espalhamento dessas por *doctor blade*. As concentrações de amido adicionadas à polpa de manga não influenciaram no tempo de secagem por CTD, que foi de aproximadamente 18 min;

- Os filmes de manga produzidos por CTD são filmes contínuos, com boa manuseabilidade, não quebradiços e uniformes, e além disso, possuem cor e aroma semelhantes ao da polpa de manga;

- O processo de espalhamento das suspensões orientou a direção das fibras, influenciando nos resultados mecânicos;

- Os baixos teores de umidade e atividade de água dos filmes de manga, com e sem adição de 5% de amido, obtidos por CTD demonstraram ser favoráveis para a garantia da estabilidade microbiológica desses produtos;

- A umidade relativa de condicionamento foi essencial para aceitação dos produtos obtidos. A textura foi o atributo sensorial que mais influenciou na aceitabilidade e preferência dos *snacks* de manga pelos consumidores. A perda de crocância dos *snacks* foi a principal causa de rejeição desses produtos;

- As informações obtidas através das curvas de força e acústicas durante os testes de corte dos *snacks* de manga são importantes ferramentas para prever a crocância dos produtos. A textura foi principalmente relacionada ao alto número de picos de força e acústicos, ao alto nível de pressão sonora e à baixa área sob a curva de força. Em contrapartida, o reduzido número de picos de força e acústicos, devido ao efeito plastificante da água, é associado com a perda de crocância do produto.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Estudar a secagem de outros produtos, como morango, maracujá, couve-manteiga por *cast-tape drying*;
- Estudar filmes multicamadas com diferentes sabores;
- Desenvolver um método de análise para avaliar a força necessária para remover o filme seco da superfície do suporte de secagem;
- Analisar os custos energéticos e operacionais do processo de secagem por *cast-tape drying*;
- Investigar as espécies de fungos que crescem nos filmes de manga com e sem amido em UR elevadas;
- Avaliar condições de secagem no *cast-tape drying* que favoreçam a preservação dos carotenoides;
- Avaliar a estabilidade dos carotenoides e as propriedades físico-químicas dos filmes de manga durante o armazenamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12806**: Análise sensorial dos alimentos e bebidas - terminologia. Rio de Janeiro, 1993.

ABONYI, B. I.; FENG, H.; TANG, J.; EDWARDS, C. G.; CHEW, B. P.; MATTINSON, D. S.; FELLMAN, J. K. Quality retention in strawberry and carrot purees dried with Refractance Window™ System. **Journal of Food Science**, vol. 67, n. 3, 2002.

ADDAI, Z.R.; ABDULLAH, A.; MUTALIB, S.A.; MUSA, K.H. Evaluation of fruit leather made from two cultivars of papaya. **Ital. J. Food Sci.**, v. 28, p. 73-82, 2016.

AHMED, J.; RAMASWAMY, H. S.; HIREMATH, N. The effect of high pressure treatment on rheological characteristics and colour of mango pulp. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 40, p. 885-895, 2005.

ALBATICI, R.; PASSERINI, F.; TONELLI, A. M.; GIALANELLA, S. Assessment of the thermal emissivity value of building materials using an infrared thermovision technique emissometer. **Energy and Buildings**, v. 66, p. 33-40, 2013.

ALCÁZAR-ALAY, S. C.; MEIRELES, M. A. A. Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. **Food Science and Technology**, v. 35, p. 215-236, 2015.

A.O.A.C. – Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**, 18th ed., Gaithersburg, Maryland, 2005.

ARIMI, J. M.; DUGGAN, E.; O’SULLIVAN, M.; LYNG, J. G.; O’RIORDAN, E. D. Effect of water activity on the crispiness of a biscuit (Crackerbread): Mechanical and acoustic evaluation. **Food Research International**, v. 43, p. 1650-1655, 2010.

ASTM. Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. Designation D882-02. In: **Annual book of ASTM standards**. Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials. 2002a.

_____. Standard test method for tear-propagation resistance (trouser tear) of plastic film and thin sheeting by a single-tear method. Designation D1938-02. In: **Annual book of ASTM standards**. Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials. 2002b.

AZEREDO, H. M. C.; BRITO, E. S.; MOREIRA, G. E. G.; FARIAS, V. L.; BRUNO, L. M. Effect of drying and storage time on the physico-chemical properties of mango leathers. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 41, p. 635-638, 2006.

AZIZI, D.; JAFARI, S. M.; MIRZAEI, H.; DEHNAD, D. The influence of refractance window drying on qualitative properties of kiwifruit slices. **International Journal of Food Engineering**, v. 13, 2016.

BARBOZA, L.M.V.; FREITAS, R.J.S.; WASZCZYNSKYJ, N. **Desenvolvimento de produtos e análise sensorial**. Brasil Alimentos, n.18. 2003.

BHANDARI, B.; HOWES, T. Relating the stickiness property of foods undergoing drying and dried products to their surface energetics. **Drying Technology**, v. 23, p. 781-797, 2005.

BHATTACHARYA, S; RASTOGI, N. K. Rheological properties of enzyme-treated mango pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 36, p. 249-262, 1998.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. 3ª ed., São Paulo: Varela, 2001.

BRUNAUER, S.; DEMING, L. S.; DEMING, W. E.; TELLER, E. On a theory of the van der Waals adsorption of gases, **Journal of the American Chemical Society**, v. 62, p. 1723-1732, 1940.

BUERA, M. P.; LOZANO, R. D.; PETRIELLA, C. Definition of colour in the non enzymatic browning process, **Die Farbe**, v. 32/33, 318-322, 1986.

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

CÁRDENAS-PÉREZ, S.; CHANONA-PÉREZ, J.; MÉNDEZ-MÉNDEZ, J. V.; CALDERÓN-DOMÍNGUEZ, G.; LÓPEZ-SANTIAGO, R.; PEREA-FLORES, M. J.; ARZATE-VÁZQUEZ, I. Evaluation of the ripening stages of apple (Golden Delicious) by means of computer vision system. **Biosystems Engineering**, v. 159, p. 46-58, 2017.

CASTOLDI, M. **Estudo do processo de secagem de polpa de tomate por Refractance Window®**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2012.

CASTOLDI, M.; ZOTARELLI, M. F.; DURIGON A.; CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B. Production of tomato powder by refractance window drying. **Drying Technology**, v. 33, n. 12, p. 1463-1473, 2015.

CASTAÑÓN, X.; LÓPEZ-MALO, A.; ARGAIZ, A. Effect of storage temperature on the microbial and color stability of banana purees prepared with the addition of vanillin or potassium sorbate. **Food Science and Technology International**, v. 5, p. 51-58, 1998.

CHRISTENSEN, Z. T.; OGDEN, L. V.; DUNN, M. L.; EGGETT, D. L. Multiple comparison procedures for analysis of ranked data. **Journal of Food Science**, v. 71, n. 2, p.132-143, 2006.

CONCHA-MEYER, A. A.; D’IGNOTI, V.; SAEZ, B.; DIAZ, R.I.; TORRES, C. A. Effect of storage on the physico-chemical and antioxidant properties of strawberry and kiwi leathers. **Journal of Food Science**, v. 81, n. 3, p. 569-577, 2016.

CRUZ, M. J. da S. **Ação de compostos bioativos na conservação pós-colheita de manga ‘Tommy Atkins’ (*Mangifera indica* L.)**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Maringá, Paraná, 2006.

CUNHA, G. A. P.; SAMPAIO, J. M. M.; NASCIMENTO, A. S.; FILHO, H. P. S.; MEDINA, V. M. **Manga para exportação: Aspectos técnicos da produção**. Brasília: Embrapa-SPI, 35 p, 1994. (Publicações Técnicas FRUPEX, 8).

DESOBRY, S. A.; NETTO, F. M.; LABUZA, T. P. Comparison of spray-drying, drum-drying and freeze-drying for β -carotene encapsulation and preservation. **Journal of Food Science**, v. 62, p. 1158-1162, 1997.

DURIGON, A. **Produção e caracterização de tomate em pó por cast-tape drying**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2016.

DURIGON, A. SOUZA, P. G.; CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B. Cast-tape drying of tomato juice for the production of powdered tomato. **Food and Bioproducts Processing**, v. 100, p. 145-155, 2016a.

DURIGON, A.; SOUZA, P. G.; PARISOTTO, E. I. B.; CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B. **Secagem de polpa de tomate por cast-tape drying usando diferentes suportes flexíveis**. XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Gramado, 2016b.

FAOSTAT. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>>. Acesso em: 03 de janeiro de 2018.

FELLOWS, P. J. **Food processing technology: Principles and practice**. 3ª ed., Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2009.

FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de Alimentos de Fennema**. 4ª ed., Porto Alegre: Artmed, 2010.

FIORENTINI, C.; DÍAZ, E. L.; GINER, S. A. A mass-transfer model for the drying of an innovative tomato gel. **Food Science and Technology International**, v. 14, p. 39-46, 2008.

FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C. W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L. B. **Princípios das operações unitárias**. 2ª ed., LTC, 1982.

FOX, R. W.; PRITCHARD, P. J.; McDONALD, A. T. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 7ª ed., Rio de Janeiro: LTC, 2010.

FRABETTI, A. C. C. **Produção e caracterização de polpa de goiaba (*Psidium guajava* L.) em pó por *cast-tape drying***. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2017.

GEANKOPLIS, C. J. **Transport processes and unit operations**. 3ª ed., New Jersey: Inc. Prentice Hall, 1993.

GIACALONE, D. Sensory and consumer approaches for targeted product development in the agro-food sector. In: CAVICCHI, A.; SANTINI, C. **Case studies in the traditional food sector**. Cambridge, p. 89-128, 2018.

GONTARD, N. **Films et enrobages comestibles: etude et amélioration des propriétés filmogène du gluten**. These de Doctorat – Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 1991. 174 p.

GOULA, A. M.; KARAPANTSIOS, T. D.; ACHILIAS, D. S.; ADAMOPOULOS, K. G. Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 85, p. 73-83, 2008.

GUERRERO, S.; ALZAMORA, S.M.; GERSCHENSON, L.N. Optimization of a combined factors technology for preserving banana puree to minimize colour changes using response surface methodology. **Journal of Food Engineering**, v. 28, p. 307-322, 1996.

GUJRAL, H. S.; KHANNA, G. Effect of skim milk powder, soy protein concentrate and sucrose on the dehydration behaviour, texture, color and acceptability of mango leather. **Journal of Food Engineering**, v. 55, p. 343-348, 2002.

GUSTAVSSON, J.; CEDERBERG, C.; SONESSON, U. Global food losses and food waste. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 2011.

HELDMAN, D. R.; HARTEL, R. W. **Principles of food processing**. Maryland: Aspen Publishers, Inc, 1997.

HERNÁNDEZ-SANTOS, B.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, C. E.; TORRUCO-UCO, J. G.; RODRÍGUEZ- MIRANDA, J.; RUIZ-LÓPEZ, I. I.; VAJANDO-ANAYA, E. S.; CARMONA-GARCÍA, R.; HERMAN-LARA, E. Evaluation of physical and chemical properties of carrots dried by Refractance Window drying. **Drying Technology**, v. 34, p. 1414-1422, 2016.

HUANG, X.; HSIEH, F. Physical properties, sensory attributes, and consumer preference of pear fruit leather. **Journal of Food Science**, v. 70, n. 3, p. 177-186, 2005.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Produção agrícola municipal, Rio de Janeiro, v. 40, p. 1-102, 2013.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. **Fundamentos da transferência de calor e de massa**. 6ª ed., Rio de Janeiro: LTC, 2008.

JANGAM, S. V.; MUJUMDAR, A. S. Basic concepts and definitions. In: JANGAM, S. V.; LAW, C. L.; MUJUMDAR, A. S. **Drying of Foods, Vegetables and Fruits**, vol. 1, Singapura, p. 1-30, 2010.

JATURONGLUMLERT, S.; KIATSIRIROAT, T. Heat and mass transfer in combined convective and far-infrared drying of fruit leather. **Journal of Food Engineering**, v. 100, p. 254-260, 2010.

JÍMENEZ, A.; FABRA, M. J.; TALENS, P. e CHIRALT, A. Edible and biodegradable starch films: A review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 6, p. 2058-2076, 2012.

JITTANIT, W.; CHANTARA-IN, M.; DEYING, T.; RATANAVONG, W. Production of tamarindo powder by drum dryer using maltodextrin

and arabic gum as adjuncts. **Songklanakarin Journal of Science and Technology**, v. 33, p. 33-41, 2011.

KARIM, M. A., HAWLADER, M. N. A. Drying characteristics of banana: theoretical modelling and experimental validation. **Journal of Food Engineering**, v. 70, p. 35-45, 2005.

KEETELS, C.J.A.M.; OOSTERGETEL, G. T.; VLIET T. V. Recrystallization of amylopectin in concentrated starch gels, **Carbohydrate Polymers**, v. 30, p. 61-64. 1996.

KROKIDA, M. K.; MAROULIS, Z. B.; SARAVACOS, G. D. The effect of drying method on the color of dehydrated products. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 36, p. 53-59, 2001.

KUMAR, C.; KARIM, M. A.; JOARDDER, M. U. H. Intermittent drying of food products: A critical review. **Journal of Food Engineering**, v. 121, p. 48-57, 2014.

LABUZA, T. P.; McNALLY, L.; GALLAGHER, D.; HAWKES, J.; HURTADO, F. Stability of intermediate moisture foods. 1. Lipid oxidation. **Journal of Food Science**, v. 37, p. 154-159, 1972.

LEWICKI, P. P. Water as the determinant of food engineering properties. A review. **Journal of Food Engineering**, v. 61, p. 483-495, 2004.

LOREVICE, M. V.; MOURA, M. R.; AOUADA, F. A.; MATTOSO, L. H. C. Development of novel guava puree films containing chitosan nanoparticles. **Journal of Nanoscience and Nanotechnology**, v. 11, p. 1-7, 2012.

MAN, Y.B.; JASWIR, I.; YUSOF, S.; SELAMAT, J.; SUGISAWA, H. Effect of different dryers and drying conditions on acceptability and physico-chemical characteristics of durian leather. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 21, p. 425-441, 1997.

MARZEC, A.; LEWICKI, P. P. Antiplasticization of cereal-based products by water. Part I. Extruded flat bread. **Journal of Food Engineering**, v. 73, p. 1-8, 2006.

MASKAN, A.; KAYA, S.; MASKAN, M. Hot air and sun drying of grape leather (pestil). **Journal of Food Engineering**, v. 54, p. 81-88, 2002.

MAZUMDER, P; ROOPA, B. S.; BHATTACHARYA, S. Textural attributes of a model snack food at different moisture contents. **Journal of Food Engineering**, v. 79, p. 511-516, 2007.

McMURRY, J. **Química orgânica**. 8ª ed., México: Cengage Learning, 2012.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. **Sensory evaluation techniques**. 3ª ed., Boca Raton: CRC Press, 1999.

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

MORAES, J.O.; SCHEIBE, A.S.; SERENO, A.; LAURINDO, J.B. Scale-up of the production of cassava starch based films using tape-casting. **Journal of Food Engineering**, v. 119, n. 4, p. 800-808, 2013.

MOUSA, N.; FARID, M. Microwave vacuum drying of banana slice. **Drying Technology**, v. 20, p. 2055-2066, 2002.

MOYLS, A. L. Drying of apple purees. **Journal of Food Science**, v. 46, p. 939-942, 1981.

MURTA, B. H. P.; ANDREANI, P.; CARCIOFI, B. A. M.; TRIBUZI, G.; MORAES, J. O.; PAUL, S. Challenges on Developing an Acoustical Measurement System for Applications in Food Engineering. In *15th AES Brazil Conference*, Florianópolis, Brasil, 2017.

NAMBI, V. E.; THANGAVEL, K.; RAJESWARI, K. A.; MANICKAVASAGAN, A.; GEETHA, V. Texture and rheological

changes of Indian mango cultivars during ripening. **Postharvest Biology and Technology**, v. 117, p. 152-160, 2016.

NEPA-UNICAMP. Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO**. 4ª edição revisada e ampliada. Campinas, 161 p., 2011.

NETO, F. P. L. **Novas opções de variedades de mangueira e as vantagens competitivas**. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/25726/1/NovasopcoesdeVariedadesdeMangueiraseasvantagens.pdf>>. Acesso em: 07 de novembro de 2017.

NINDO, C. I.; FENG, H.; SHEN, G. Q.; TANG, J. KANG, D. H. Energy utilization and microbial reduction in a new film drying system. **Journal of Food Processing Preservation**, v. 27, p. 117-136, 2003.

NINDO, C. I.; TANG, J. Refractance Window dehydration technology: A novel contact drying method. **Drying Technology**, v. 25, p. 37-48, 2007.

OCHOA-MARTÍNEZ, C. I.; QUINTERO, P. T.; AYALA, A. A.; ORTIZ, M. J. Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window™ technique. **Journal of Food Engineering**, v. 109, p. 69-75, 2012.

OKILYA, S.; MUKISA, I. M.; KAAAYA, A. N. Effect of solar drying on the quality and acceptability of jackfruit leather. **Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry**, v. 9, n. 1, p. 101-111, 2010.

ORDÓÑEZ, J. A. et al. Conservação de alimentos com base na modificação do pH, da atmosfera e da atividade de água. Evaporação e desidratação. In: **Tecnologia de Alimentos: Componentes de Alimentos e Processos**. v. 1. Porto Alegre: Artmed, p. 219-242, 2005.

ORTIZ-JEREZ, M. J.; GULATI, T.; DATTA, A. K.; OCHOA-MARTÍNEZ, C. I. Quantitative understanding of RefractanceWindow™ drying. **Food and Bioproducts Processing**, v. 95, p. 237-253, 2015.

OTONI, C. G.; AVENA-BUSTILLOS, R. J.; AZEREDO, H. M. C.; LOREVICE, M. V.; MOURA, M. R.; MATTOSO, L. H. C.; McHUGH, T. H. Recent advances on edible films based fruits and vegetables – A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 16, p. 1151-1169, 2017.

PALOU, E.; LÓPEZ-MALO, A; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; WELTI-CHANES, J.; SWANSON, B. G. Polyphenoloxidase activity and color of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree. **Journal of Food Science**, v. 64, p. 42-45, 1999.

PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A. de; PARK, K. J. B. **Conceitos de processo e equipamentos de secagem**. Campinas: CTEA, 2007.

PAULA, A. M.; CONTI-SILVA, A. C. Texture profile and correlation between sensory and instrumental analyses on extruded snacks. **Journal of Food Engineering**, v. 121, p. 9-14, 2014.

PAVAN, M. A.; SCHMIDT, S. J.; FENG, H. Water sorption behavior and thermal analysis of freeze-dried, Refractance Window-dried and hot-air dried açai (*Euterpe oleracea* Martius) juice. **LWT - Food Science and Technology**, v. 48, p. 75-81, 2012.

PENNA, E.W. Desarrollo de alimentos para regimenes especiales. In: MORALES, R.H.; TUDESCA, M.V. **Optimizacion de formulaciones**. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 1999.

PHILIPP, C.; BUCKOW, R.; SILCOCK, P.; OEY, I. Instrumental and sensory properties of pea protein-fortified extruded rice snacks. **Food Research International**, v. 102, p. 658-665, 2017.

PHIMPHARIAN, C.; JANGCHUD, A.; JANGCHUD, K.; THERDTHAI, N.; PRINYAWIWATKUL, W.; NO, H. K. Physicochemical characteristics and sensory optimisation of pineapple leather snack as affected by glucose syrup and pectin concentrations. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, p. 972-981, 2011.

PIAZZA, L.; GIGLI, J.; BALLABIO, D. On the application of chemometrics for the study of acoustic-mechanical properties of crispy bakery products. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 86, p. 52-59, 2007.

PIAZZA, L.; GIOVENZANA, V. Instrumental acoustic-mechanical measures of crispness in apples. **Food Research International**, v. 69, p. 209-215, 2015.

POTTER, N. N.; HOTCHKISS, J. H. **Food Science**. 5^a ed. New York: Springer, 1995.

PRANGPRU, N.; TREEAMNUK, T.; JAITO, K.; VANMONTREE, B.; TREEAMNUK, K. Comparing the efficiency of two carrier types on drum drying of tamarind juice. **Thai Society of Agricultural Engineering Journal**, v. 21, n. 1, p. 1-7, 2015.

PRIMO-MARTÍN, C.; SÖZER, N.; HAMER, R. J.; VAN VLIET, T. Effect of water activity on fracture and acoustic characteristics of a crust model. **Journal of Food Engineering**, v. 90, p. 277-284, 2009.

RAHMAN, M. S.; LABUZA, T. P. Water activity and food preservation. In: RAHMAN, M. S. **Handbook of Food Preservation**. 2^a ed., Boca Raton: Crc Press, p. 447-476, 2007.

RAHMAN, M. S.; PERERA, C. O. Drying and food preservation. In: RAHMAN, M. S. **Handbook of Food Preservation**. 2^a ed., Boca Raton: Crc Press, p. 403-432, 2007.

RAO, M. A. Introduction: Food rheology and structure. In: RAO, M. A. **Rheology of Fluid and Semisolid Foods: Principles and Applications**. 2^a ed., New York: Springer, p. 1-26, 2007a.

RAO, M. A. Flow and functional models for rheological properties of fluid foods. In: RAO, M. A. **Rheology of Fluid and Semisolid Foods: Principles and Applications**. 2^a ed., New York: Springer, p. 27-58, 2007b.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A Guide to Carotenoid Analysis in Foods**. 1^a ed., Washington, D. C.: ILSI Press, 2001.

ROOS, Y; KAREL, M. Applying state diagrams to food processing and development. **Food Technology**, v. 45, p. 66-68, 1991.

ROUDAUT, G.; DACREMONT, C.; LE MESTE, M. Influence of water on the crispness of cereal-based foods: acoustic, mechanical, and sensory studies. **Journal of Texture Studies**, v. 29, p. 199-213, 1998.

ROUDAUT, G.; DACREMONT, C.; PÀMIES, B. V.; COLAS, B.; LE MESTE, M. Crispness: a critical review on sensory and material science approaches. **Trends in Food Science & Technology**, v. 13, p. 217-227, 2002.

SAELEAW, M.; SCHLEINING, G. A review: Crispness in dry foods and quality measurements based on acoustic–mechanical destructive techniques. **Journal of Food Engineering**, v. 105, p. 387-399, 2011.

SAHIN, S.; SUMNU, S. G. **Physical properties of foods**. New York: Springer, 2006.

SALVADOR, A.; VARELA, P.; SANZ, T.; FISZMAN, S. M. Understanding potato chips crispy texture by simultaneous fracture and acoustic measurements, and sensory analysis. **LWT – Food Science and Technology**, v. 42, p. 763-767, 2009.

SARKER, M. Z. I.; ELGADIR, M. A.; FERDOSH, S.; AKANDA, M. J. H.; ADITIAWATI, P.; NODA, T. Rheological behavior of starch-based biopolymer mixtures in selected processed foods. **Starch/Stärke**, v. 65, p. 73-81, 2012.

SEBRAE. **Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas**. O cultivo e o mercado da manga. Disponível em: <<https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-cultivo-e-o-mercado-da-manga>>. Acesso em: 15 de abril de 2017.

SOTHORNVIT, R.; RODSAMRAN, P. Effect of a mango film on quality of whole and minimally processed mangoes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 47, p. 407-415, 2008.

SOUZA, P. G. **Produção e caracterização de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) desidratado em pó por *cast-tape drying***. Florianópolis, 2015,

144 p.; Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos),
Universidade Federal de Santa Catarina.

STONE, H.; SIDEL, J. L. **Sensory evaluation practices**. 3ª ed., San Diego: Academic Press, 2004.

STRUMILLO, C.; KUDRA, T. **Drying: Principles, applications and design**. Suíça: Gordon and Breach Science Publishers, v.3, 1986.

SZCZESNIAK, A. S. Texture is a sensory property. **Food Quality and Preference**, v. 13, p. 215-225, 2002.

TEIXEIRA, L. V. Análise sensorial na indústria de alimentos. **Rev. Inst. Latic. "Cândido Tostes"**, v. 64, n. 366, p. 12-21, 2009.

TONELI, J. T. C. L.; MURR, F. E. X.; PARK, K. J. Estudo da reologia de polissacarídeos utilizados na indústria de alimentos. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 7, n. 2, p. 181-204, 2005.

TONIN, I. P.; FERRARI, C. C.; SILVA, M. G. da; OLIVEIRA, K. L. de; BERTO, M. I.; SILVA, V. M. da; GERMER S. P. M. Performance of different process additives on the properties of mango powder obtained by drum drying. **Drying Technology**, v. 36, p. 355-365, 2018.

TONTUL, I.; TOPUZ, A. Effects of different drying methods on the physicochemical properties of pomegranate leather (pestil). **LWT – Food Science and Technology**, v. 80, p. 294-303, 2017.

TORRES, C. A.; ROMERO, L. A.; DIAZ, R. I. Quality and sensory attributes of apple and quince leathers made without preservatives and with enhanced antioxidant activity. **LWT – Food Science and Technology**, v. 62, p. 996-1003, 2015.

VALENZUELA, C.; AGUILERA, J. M. Effects of different factors on stickiness of apple leathers. **Journal of Food Engineering**, v. 149, p. 51-60, 2015a.

VALENZUELA, C.; AGUILERA, J. M. Effects of maltodextrin on hygroscopicity and crispness of apple leathers. **Journal of Food Engineering**, v. 144, p. 1-9, 2015b.

VAN SOEST, J. J. G.; VLIEGENTHART, J. F. G. Crystallinity in starch plastics: consequences for material properties. **Trends in Biotechnology**, v. 15, p. 208-213, 1997.

VICKERS, Z.; BOURNE, M. C. A psychoacoustical theory of crispness. **Journal of Food Science**, v. 41, p. 1158-1164, 1976.

XIE, F.; POLLET, E. HALLEY, P. J.; AVÉROUS, L. Advanced nanobiocomposites based on starch. In: **Polysaccharides: Bioactivity and Biotechnology**. Suíça: Springer, p. 1467-1553, 2015.

WILBERG, V. C.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. HPLC Quantitation of major carotenoids of fresh and processed guava, mango and papaya. **LWT – Food Science and Technology**, v. 28, p. 474–480, 1995.

YILMAZ, F. M.; YÜKSEKKAYA, S.; VARDIN, H.; KARAASLAN, M. The effects of drying conditions on moisture transfer and quality of pomegranate fruit leather (pestil). **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 16, p. 33-40, 2017.

ZOTARELLI, M. F. **Produção e caracterização de manga desidratada em pó por diferentes processos de secagem**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2014.

ZOTARELLI, M. F.; CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B. Effect of process variables on the drying rate of mango pulp by Refractance Window. **Food Research International**, v. 69, p. 410 – 417, 2015.

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

APÊNDICE A – FICHA DA AVALIAÇÃO SENSORIAL DE ACEITAÇÃO DOS SNACKS DE MANGA

Nome: _____

Data: _____

Sexo: () M () F

Faixa etária:

() < 20 anos () 20 – 30 anos () 30 – 40 anos

() 40 -50 anos () > 50 anos

Você está recebendo seis amostras de *snacks* de manga. Antes de provar, **REMOVA** o pedaço de canudo que se encontra na parte central das amostras.

Por favor, avalie os atributos na tabela abaixo de acordo com a seguinte escala:

- (9) Gostei muitíssimo
- (8) Gostei muito
- (7) Gostei regularmente
- (6) Gostei ligeiramente
- (5) Indiferente
- (4) Desgostei ligeiramente
- (3) Desgostei regularmente
- (2) Desgostei muito
- (1) Desgostei muitíssimo

AMOSTRA	APARÊNCIA	COR	SABOR	TEXTURA	IMPRESSÃO GLOBAL

Comentários:

APÊNDICE B – FICHA DA AVALIAÇÃO SENSORIAL DE INTENÇÃO DE COMPRA DOS SNACKS DE MANGA

Por favor, indique na tabela abaixo qual seria sua atitude em relação à compra dos produtos que acabou de experimentar de acordo com a seguinte escala:

- (5) Certamente eu compraria
- (4) Provavelmente eu compraria
- (3) Talvez sim/Talvez não
- (2) Provavelmente eu não compraria
- (1) Certamente eu não compraria

AMOSTRA	INTENÇÃO DE COMPRA

Comentários:

**APÊNDICE C – FICHA DO TESTE DE PREFERÊNCIA DOS
SNACKS DE MANGA**

Por favor, ordene as amostras em ordem crescente de preferência.

AMOSTRA	PREFERÊNCIA
	(1) Menos preferida
	(2)
	(3)
	(4)
	(5)
	(6) Mais preferida

Comentários:

Obrigada por participar da avaliação!
Sua colaboração é muito importante para este estudo!

ANEXO A – APROVAÇÃO DO PARECER PELO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
SANTA CATARINA - UFSC



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE SNACKS DE FRUTAS EM FORMA DE FILMES OBTIDOS POR CAST-TAPE DRYING

Pesquisador: João Borges Laurindo

Área Temática:

Versão: 3

CAAE: 68079117.3.0000.0121

Instituição Proponente: Universidade Federal de Santa Catarina

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.241.837

Apresentação do Projeto:

Este projeto tem por objetivo desenvolver e caracterizar snacks de frutas em forma de filmes elaborados por cast-tape drying. O cast-tape drying é um equipamento que utiliza vapor como fonte de aquecimento para a secagem de um produto espalhado sobre um suporte flexível, e que tem contribuído para estudos de secagem de frutas com resultados potenciais para a obtenção de novos produtos. É um método rápido de desidratação

e que permite a utilização de temperaturas moderadas na secagem. Desta forma, possibilita a secagem de alimentos com componentes termossensíveis. A percepção de consumidores em relação a um novo produto é de suma importância através da análise sensorial. O projeto vem sendo desenvolvido por uma equipe que possui experiência considerável em desidratação de materiais e análise de frutas.

Objetivo da Pesquisa:

Desenvolver e caracterizar snacks de frutas em forma de filmes elaborados por cast-tape drying.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos:

Os produtos serão processados a partir de matéria-prima de boa qualidade e levando em consideração as Boas Práticas de Fabricação não apresentando riscos aos provedores. Algum

Endereço: Universidade Federal de Santa Catarina, Prédio Reitoria II, R: Desembargador Vitor Lima, nº 222, sala 401
Bairro: Trindade **CEP:** 88.040-400
UF: SC **Município:** FLORIANÓPOLIS
Telefone: (48)3721-6094 **E-mail:** cep.propesq@contato.ufsc.br

Continuação do Parecer: 2.241.837

constrangimento poderá ser percebido, porém minimizado. Caso o provador apresente alergia ou hipersensibilidade a qualquer tipo de fruta, este não deve participar da pesquisa, pois poderá apresentar desconforto estomacal devido à intolerância ao ingerir o produto desidratado.

Benefícios:

Essa análise não trará benefícios orçamentários ao provador. Os possíveis benefícios da pesquisa consistem em promover o conhecimento sobre a aceitabilidade de um novo produto

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

O problema de pesquisa está bem justificado, com objetivos claros e método bem definido. Uma vez obtidos os dados conclusivos proporcionará aos pesquisadores meios para contribuir para futuros estudos na área.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Documentos de acordo com as solicitações do CEP SH.

Recomendações:

Não se aplica.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Todas as pendências identificadas no parecer anterior foram atendidas, não havendo impedimentos éticos para que esta pesquisa se inicie.

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_910087.pdf	01/08/2017 21:33:07		Aceito
Outros	Resposta_as_pendencias_2.pdf	01/08/2017 20:48:28	João Borges Laurindo	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_modificado.pdf	01/08/2017 20:42:14	João Borges Laurindo	Aceito
Outros	Carta_de_resposta_ao_CEP.pdf	22/06/2017 16:21:52	João Borges Laurindo	Aceito
Declaração de Pesquisadores	Termo_de_Confidencialidade_2.pdf	22/06/2017 16:21:05	João Borges Laurindo	Aceito

Endereço: Universidade Federal de Santa Catarina, Prédio Reitoria II, R: Desembargador Vitor Lima, nº 222, sala 401
 Bairro: Trindade CEP: 88.040-400
 UF: SC Município: FLORIANÓPOLIS
 Telefone: (48)3721-6054 E-mail: cep.propesq@contato.ufsc.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
SANTA CATARINA - UFSC



Continuação do Parecer: 2.241.837

Declaração de Instituição e Infraestrutura	Declaracao_da_Instituicao.pdf	03/05/2017 15:17:39	João Borges Laurindo	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	Termo_de_concordancia_dpto.pdf	03/05/2017 15:14:03	João Borges Laurindo	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.pdf	03/05/2017 15:11:48	João Borges Laurindo	Aceito
Folha de Rosto	FOLHA_ROSTO.pdf	03/05/2017 15:11:12	João Borges Laurindo	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	PROJETO_DETALHADO.pdf	02/05/2017 15:11:25	João Borges Laurindo	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

FLORIANOPOLIS, 28 de Agosto de 2017

Assinado por:
Yimar Correa Neto
(Coordenador)

Endereço: Universidade Federal de Santa Catarina, Prédio Retórica II, R: Desembargador Vitor Lima, nº 222, sala 401
Bairro: Trindade **CEP:** 88.040-400
UF: SC **Município:** FLORIANOPOLIS
Telefone: (48)3721-6094 **E-mail:** cep.propesq@contato.ufsc.br