



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

PAULA RAMOS ANTONIOLLI

ESTABILIDADE DE FLOCOS DE CASCA DE MANGA OBTIDOS POR *DRUM DRYING*: ISOTERMAS DE SORÇÃO, TRANSIÇÃO VÍTREA E CINÉTICA DE REAÇÕES

CAMPINAS
2021

PAULA RAMOS ANTONIOLLI

ESTABILIDADE DE FLOCOS DE CASCA DE MANGA OBTIDOS POR *DRUM DRYING*: ISOTERMAS DE SORÇÃO, TRANSIÇÃO VÍTREA E CINÉTICA DE REAÇÕES

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

Aluna: Paula Ramos Antonioli

Orientadora: Prof.(a) Dra. Silvia Pimentel Marconi Germer

Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação defendida pela aluna Paula Ramos Antonioli e orientada pela Prof.(a) Dra. Silvia Pimentel Marconi Germer.

CAMPINAS

2021

**Agência(s): Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
Nº do proc.: 2018-17957-0**

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

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Bibliotecária Lucilene Paulina da Silva CRB/8 - 8507
Biblioteca Central do ITAL - Instituto de Tecnologia de Alimentos.

A635e Antonioli, Paula Ramos.

Estabilidade de flocos de casca de manga obtidos por *Drum Drying*: isotermas de sorção, transição vítrea e cinética de reações. Paula Ramos Antonioli. / Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Campinas, SP: ITAL – Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2021.

96 f.

Orientador: Prof.(a) Dra. Silvia Pimentel Marconi Germer.

1. *Mangifera Indica L.* 2. Subprodutos. 3. Aditivos de processo. 4. Propriedades físico-químicas. 5. Nutrientes. I. ITAL / Fruthotec - Centro de Tecnologia de Frutas e Hortaliças. II. Antonioli, Paula Ramos. III. Título.

Título em inglês: Stability of mango peel flakes obtained by drum drying: sorption isotherms, glass transition and reaction kinetics

Key-words: *Mangifera Indica L.*, by-product, process aids, physical-chemical properties, nutrients.

Titulação: Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Banca Examinadora: Prof. (a) Dra. Silvia Pimentel Marconi Germer (Orientadora/Presidente), Dra. Renata Valeriano Tonon, Dra. Sílvia Cristina Sobotka Rolim de Moura, Dra. Larissa Consoli.

Data da Defesa: 29 de Novembro de 2021

Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos

BANCA EXAMINADORA

Este exemplar corresponde à redação final da Dissertação de Mestrado defendida por Paula Ramos Antonioli, aprovada pela Comissão Julgadora em 29 de Novembro de 2021.

Prof.(a) Dra. Sílvia Pimentel Marconi Germer

Instituto de Tecnologia dos Alimentos - ITAL (Presidente)

Prof. (a) Dra. Renata Valeriano Tonon

Empresa Brasileira de Pesquisa Agroindústria – Embrapa

Prof. (a) Dra. Sílvia Cristina Sobotka Rolim de Moura

Instituto de Tecnologia dos Alimentos - ITAL

Dra. Larissa Consoli

Instituto de Tecnologia dos Alimentos - ITAL

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

DEDICATÓRIA

Aos que buscam alcançar seus sonhos, como eu, que tenhamos a sabedoria de sermos eternos aprendizes para que com amor, respeito e conhecimento possamos lapidar nossos sonhos com transformações internas e do mundo a nossa volta.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre estar ao meu lado, iluminando os meus passos e minhas escolhas. E, por sempre colocar pessoas especiais no meu caminho para me ajudar nos momentos mais conturbados.

À minha família, pelo apoio, torcida e por, mesmo sem entender todas as dificuldades da área acadêmica e corporativa, me consolar nas minhas angústias e comemorar as minhas vitórias. Em especial aos meus pais, Margarete e Odair, por todas as batalhas que enfrentaram bravamente para eu estar aqui hoje, pelo apoio incondicional e por sempre estarem ao meu lado me dando coragem.

À minha irmã, Priscila, por me desafiar a ser uma pessoa melhor e tornar os meus dias mais leves. Sem esquecer do Toby e Winnie, pela alegria e companheirismo.

Aos meus avós, Conceição e Osvaldo, por serem exemplo de superação e por me ensinar a importância do estudo na vida, é aqui que começa a minha história de quem sou hoje.

À minha eterna criança interior, por manter meus sonhos vivos.

Aos meus amigos, que me ajudaram e apoiaram nesta conquista e em tantas outras. À minha amiga Tânia, por sempre se dispor em ajudar na minha tese e, ao meu amigo Nathan, por toda a paciência, ajuda e revisão de formatação da minha tese quando eu já não conseguia mais ver detalhes. À minha amiga Heloísa e à Eva, por me ajudarem nessa passagem da minha vida.

À admirável Dra. Mônica Cristiane Rojo de Camargo, quem sempre me incentivou na vida acadêmica e fez parte de mais esta conquista.

À Prof. (a) Dra. Sílvia Pimentel Marconi Germer, por ter me acolhido como sua aluna e aceitado o desafio de ser minha orientadora. Serei sempre grata pelo seu tempo dedicado neste trabalho e por guiar meus passos na vida acadêmica, me ajudando a encontrar uma forma de conciliar este projeto com as adversidades do trabalho e da pandemia.

À Elaine Souza pela dedicação com o projeto e por toda a experiência de laboratório compartilhada nesse período.

Aos colegas do grupo de pesquisa, Caetano e Larissa, pela parceria e por compartilhar aprendizados.

Ao FRUTHOTEC/ITAL e seus colaboradores pela contribuição ao projeto, em especial, à Dra. Cristhiane Caroline Ferrari, pela amizade, parceria e ensinamentos, e à Dona Elza, pela assistência e por compartilhar sabedoria sobre a vida.

À Dra. Izabela Alvim, do CEREAL CHOCOTEC/ITAL, pela disponibilidade em realizar a análise de tamanho de partículas e pelos ensinamentos.

Ao CETEA/ITAL, em especial à Daniele Fidelis e à Daniela Cassiano, pela contribuição com a análise DSC.

À secretaria e ao comitê do Programa de Pós-Graduação do Instituto de Tecnologia de Alimentos, em especial à Elenice, que sempre atendeu prontamente meus chamados.

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

Ao Instituto de Tecnologia de Alimentos – ITAL, pela oportunidade para a realização deste trabalho.

A todos os membros da banca examinadora, pelas valiosas sugestões e correções, que contribuíram para o enriquecimento deste trabalho.

Aos meus colegas da Turma de 2019 do curso de mestrado stricto sensu em Ciência e Tecnologia de Alimentos do ITAL, em especial à Ma. Angela Meirelles Martins, pela amizade e pelas experiências compartilhadas.

Aos meus colegas de trabalho da Unilever, em especial à diretora Carla Serpa e ao diretor Fabio Pollice, por apoiarem a minha decisão, tornando possível conciliar a realização deste sonho com o meu trabalho.

E agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

RESUMO

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de manga. Na industrialização, cerca de 50% da matéria-prima é perdida como resíduo. Esse subproduto tem alto valor nutricional e a secagem por cilindros rotativos (*drum dryer*) se apresenta como uma alternativa para o aproveitamento das cascas de manga. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo: estabelecer as condições críticas de armazenamento e determinar a cinética da degradação da qualidade no armazenamento em diferentes temperaturas, dos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*. Isotermas de sorção a 25°C e temperatura de transição vítrea (T_g) no equilíbrio, foram determinadas para formulações com e sem aditivos (5% amido de milho e 1% monoestearato de glicerila, b.s.) em diferentes atividades de água ($0,11 < a_w < 0,84$). O modelo de GAB apresentou o melhor ajuste (R^2 de aproximadamente 0,99) aos pontos experimentais das isotermas, com monocamada (X_m) de 0,0954 e 0,0826 g água/g para flocos sem e com aditivos, respectivamente. O modelo Gordon-Taylor foi utilizado, demonstrando o efeito plasticizante da água na temperatura de transição vítrea. O produto com aditivos foi acondicionado e armazenado de 4 a 12 meses, nas temperaturas de 20, 25 e 35°C (UR=55%). Periodicamente, foram avaliados: teor de vitamina C, cor instrumental, teores de carotenoides totais e β -caroteno. Durante o período, em diferentes etapas, foram avaliados teor de umidade, atividade de água, teor de fenólicos totais, capacidade antioxidante, diâmetro médio de partículas e morfologia. As reações de degradação da vitamina C e do parâmetro b^* , responsável pela cor amarela característica da manga, foram ajustadas por modelos cinéticos de primeira e zero ordem, respectivamente. Os tempos de meia vida obtidos foram de 9 anos para a vitamina C e de 2 anos para o parâmetro b^* . O teor de β -caroteno pode ser entendido como o limitante da vida útil do produto, devido ao menor tempo de meia-vida. O estudo indica que o produto obtido possui boa estabilidade, demonstrando ser uma alternativa para a incorporação de nutrientes em produtos alimentícios, e uma vida de prateleira comercial de aproximadamente 1 ano pode ser atribuída para o armazenamento a 25°C.

Palavras-chave: *Mangifera Indica L.*, subprodutos, aditivos de processo, propriedades físico-químicas, nutrientes.

ABSTRACT

Brazil is a worldwide mango producer. Around 50% of mango raw material is disposed as residue in the industrialization process. This by-product has a high nutritional value and the drying process using rotating cylinders (drum dryer) is a potential alternative for mango peel recuperation. In this context, this study aimed to establish the critical storage condition and to determine the degradation kinetics in controlled storage at different temperatures of mango peel flakes obtained by drum drying. Sorption isotherms at 25°C and glass transition temperature (T_g) at equilibrium at different water activities ($0,11 < a_w < 0,84$) were also determined for product formulations with and without additives (5% regular corn starch and 1% glyceryl monostearate, db.) The GAB model presented the best fit (R^2 around 0,99) with values of monolayer (X_m) of 0.0954 g water/g for flakes without additives and 0.0826 g water/g for flakes with additives. The Gordon-Taylor model was used to predict the plasticizing effect of water on the glass transition temperature. The product with additives was storage from 4 to 12 months at temperatures of 20, 25 and 35°C (RH 55%). Periodically, were evaluated: vitamin C content, instrumental color, total carotenoids, and β -carotene contents. Besides that, at different stages, it was also evaluated moisture content, water activity, total phenolics content, antioxidant capacity, mean particle diameter and morphology. The degradation reactions of vitamin C and the b^* parameter, responsible for the yellow color characteristic of the mango, were fit to first and zero order kinetic models, respectively. The half-life times obtained were 9 years and 2 years for the variation of vitamin C and parameter b^* , respectively. The β -carotene content could be chosen as the limiting shelf life, due to its lower half-life times. The study indicates that the product obtained has a good stability, indicating its potential as an alternative to incorporate nutrients in food products, and a market shelf life of 1 year at 25°C.

Key words: *Mangifera Indica L.*, by-product, process aids, physical-chemical properties, nutrients.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
SUMÁRIO	ix
Sumário de Tabelas	xii
Sumário de Figuras	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivos específicos.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1. Manga: fruto, produção e mercado no Brasil.....	4
3.2. Secagem	5
3.2.1. <i>Drum Drying</i>	6
3.2.2. Aditivos de processo	8
3.3. Estabilidade de frutas desidratadas.....	8
3.3.1. Isoterma de Sorção	9
3.3.1.1. Modelos Matemáticos de Isoterma de sorção	11
3.3.2. Transição vítrea.....	13
3.3.3. Cinética de degradação.....	14
3.3.3.1. Ordem de reação.....	15
3.3.3.2. Parâmetros cinéticos das reações de degradação.....	17
3.3.3.2.1. Fator de aceleração das reações com a temperatura (Q_{10})	17
3.3.3.2.2. Tempo de meia vida ($t_{1/2}$)	18
3.3.3.2.3. Energia de ativação (E_a).....	18
4. MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1. Material.....	19
4.2. Métodos experimentais	20

4.2.1.	Obtenção dos flocos de casca de manga por <i>drum drying</i>	20
4.2.2.	Estudo das isotermas de sorção e da temperatura de transição vítrea	21
4.2.3.	Estudo da estabilidade dos flocos de casca de manga ao longo do tempo de armazenamento em diferentes temperaturas.....	23
4.3.	Métodos analíticos.....	24
4.4.	Análises estatísticas	29
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
5.1.	Propriedades físico-químicas dos flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i> com e sem o uso de aditivos	30
5.2.	Isotermas de sorção dos flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i> com e sem o uso de aditivos	33
5.3.	Variação da temperatura de transição vítrea (T_g) dos flocos de casca de manga com a atividade de água	39
5.4.	Estabilidade dos flocos de casca de manga com aditivos no armazenamento controlado em diferentes temperaturas	45
5.4.1.	Variação do teor de umidade e da atividade de água no armazenamento controlado	45
5.4.2.	Cinética da degradação da qualidade dos flocos de casca de manga com aditivos no armazenamento controlado.....	47
5.4.2.1.	Cinética de degradação da vitamina C.....	47
5.4.2.2.	Cinética de degradação de carotenoides totais.....	50
5.4.2.3.	Cinética de degradação do β -caroteno.....	52
5.4.2.4.	Cinética de degradação dos parâmetros de cor (L^*, a^*, b^*)	54
5.4.2.5.	Variação do ângulo de tom (Hue).....	58
5.4.2.6.	cinética de variação do Croma	59
5.4.2.7.	cinética de variação da diferença de cor (ΔE)	60
5.4.3.	Variação do teor de fenólicos totais e da capacidade antioxidante (ABTS e DPPH) no armazenamento controlado.....	62

5.4.4.	Varição da distribuição do tamanho de partículas dos flocos de casca de manga com aditivos no armazenamento controlado	63
5.4.5.	Varição da morfologia dos flocos de casca de manga com aditivos no armazenamento controlado.....	66
6.	CONCLUSÃO.....	68
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

Sumário de Tabelas

Tabela 1. Alguns modelos matemáticos de isothermas de sorção.	12
Tabela 2. Períodos de análise, em dias, dos flocos de casca de manga com aditivos obtidos por <i>drum drying</i> nas diferentes temperaturas durante o armazenamento controlado.....	24
Tabela 3. Valores médios das propriedades físico-químicas das cascas de manga e dos flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i> , com e sem aditivos.	30
Tabela 4. Umidades de equilíbrio experimentais dos flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i> , com e sem aditivos, em função da atividade de água (a_w), a 25°C, em g/g (b.s.).	33
Tabela 5. Parâmetros obtidos pelos modelos de GAB, BET, Halsey, Oswin e Henderson nos ajustes das isothermas de sorção dos flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i> , com e sem aditivos, na condição de temperatura de 25°C.	36
Tabela 6. Valores médios da temperatura de transição vítrea (T_g) experimentais dos flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i> , com e sem aditivos, em equilíbrio nas diferentes atividades de água (a_w).....	39
Tabela 7. Parâmetros de ajuste do modelo Gordon-Taylor para flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i> , com e sem aditivos.	40
Tabela 8. Valores críticos de atividade de água (a_{wc}) e umidade (X_c) para os flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i> , com e sem aditivos, na temperatura de 25°C.	43
Tabela 9. Valores médios de teor de umidade e atividade de água (a_w) dos flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i> , com aditivos, no início, no meio e no final do armazenamento nas diferentes temperaturas.	46
Tabela 10. Parâmetros cinéticos da degradação da vitamina C dos flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i> , com aditivos, nas diferentes temperaturas de armazenamento.	49
Tabela 11. Parâmetros cinéticos da degradação de carotenoides totais, expresso como β -caroteno, nos flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i> , com aditivos, nas diferentes temperaturas de armazenamento.....	51

Tabela 12. Parâmetros cinéticos da degradação de β -caroteno nos flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i> , com aditivos, nas diferentes temperaturas de armazenamento.	53
Tabela 13. Parâmetros cinéticos de cor para as coordenadas L* (preto-branco) e b* (azul-amarelo) dos flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i> , com aditivos, nas diferentes temperaturas de armazenamento.	56
Tabela 14. Variação do parâmetro de cor a* (verde-vermelho) para os flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i> , com aditivos, nas diferentes temperaturas de armazenamento.	57
Tabela 15. Variação do ângulo de tom (Hue) para os flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i> , com aditivos, nas diferentes temperaturas de armazenamento.	58
Tabela 16. Parâmetros cinéticos da variação do Croma dos flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i> , com aditivos, nas diferentes temperaturas de armazenamento.	60
Tabela 17. Parâmetros cinéticos da variação da diferença de cor (ΔE) dos flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i> , com aditivos, nas diferentes temperaturas de armazenamento.	61
Tabela 18. Teor de fenólicos totais e capacidade antioxidante (DPPH e ABTS) dos flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i> , com aditivos, nos tempos inicial e final do armazenamento nas diferentes temperaturas.	62
Tabela 19. Valores médios do diâmetro de partículas (D [50]) dos flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i> , com aditivos, e valores do Índice de Poli Dispersão (IPD) para os tempos inicial e final do armazenamento a 20°C, 25°C e 35°C.	65

Sumário de Figuras

Figura 1. Corte transversal com partes estruturais da manga (GUTIÉRREZ, 2015). .5	
Figura 2. Esquema do equipamento <i>drum dryer</i> : cilindro duplo (a) e cilindro simples (b) (KATSURAGI INDUSTRY CO., LTD, 2019).....7	
Figura 3. Variação das velocidades de algumas reações de degradação dos alimentos com a atividade de água. Fonte: adaptado LABUZA (1968). 10	
Figura 4. Histerese da isotermas de sorção (PARK & NOGUEIRA, 1992)..... 11	
Figura 5. Tipos de isotermas de sorção (BRUNAUER et al.,1938). 11	
Figura 6. Representação esquemática da reação de ordem zero. Fonte: TEIXEIRA NETO et al. (2010). 16	
Figura 7. Representação esquemática da reação de primeira ordem. Fonte: TEIXEIRA NETO et al. (2010). 16	
Figura 8. Representação esquemática da reação de segunda ordem. Fonte: TEIXEIRA NETO et al. (2010). 17	
Figura 9. Representação esquemática da equação de Arrhenius. Fonte: TEIXEIRA NETO et al. (2010). 19	
Figura 10. Principais etapas do processo para obtenção dos flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i> : (a) cascas de manga; (b) homogeneização do purê de cascas; (c) <i>Drum drying</i> do purê de cascas de manga; (d) Flocos de cascas de manga após floculação. 21	
Figura 11. Acondicionamento das amostras nos dessecadores no estudo de isotermas de sorção. 22	
Figura 12. Representação do sistema Cie Lab: (a) espaço de cores $L^*a^*b^*$; (b) parâmetros de cor. Fonte: www.konicaminolta.com.br . Acesso em 31/08/2019. 25	
Figura 13. Equipamento TA DSC 250 Discovery Series. 28	
Figura 14. Flocos de casca de manga sem aditivos obtidos por <i>drum drying</i> , no tempo inicial e no equilíbrio (46 dias), em diferentes condições de atividade de água (<i>aw</i>), a 25°C. 34	
Figura 15. Flocos de casca de manga com aditivos obtidos por <i>drum drying</i> , no tempo inicial e no equilíbrio (46 dias), em diferentes condições de atividade de água (<i>aw</i>), a 25°C. 34	
Figura 16. Esquema típico das etapas do processo de caking. Fonte: AGUILERA et al. (1995). 35	

Figura 17. Isotermas de sorção dos flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i> , com e sem aditivos, a 25°C (dados experimentais e modelos de GAB obtidos).	37
Figura 18. Efeito da fração de sólidos (w_s) na temperatura de transição vítrea (T_g) de flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i> , sem aditivos.	41
Figura 19. Efeito da fração de sólidos (w_s) na temperatura de transição vítrea (T_g) de flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i> , com aditivos.	41
Figura 20. Variação da temperatura de transição vítrea e da umidade de equilíbrio, em função da atividade de água (a_w) para os flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i> , sem aditivos.....	42
Figura 21. Variação da temperatura de transição vítrea e da umidade de equilíbrio, em função da atividade de água (a_w) para os flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i> , com aditivos.....	43
Figura 22. Cinética da degradação da vitamina C (mg/100g) dos flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i> , com aditivos, no armazenamento a 20°C, 25°C e 35°C.	48
Figura 23. Cinética da degradação de carotenoides totais, expresso como β -caroteno (mg/100g), nos flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i> , com aditivos, no armazenamento a 20°C, 25°C e 35°C.....	51
Figura 24. Cinética da degradação de β -caroteno (μ g/100g) nos flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i> , com aditivos, no armazenamento a 20°C, 25°C e 35°C.	53
Figura 25. Cinética da variação dos parâmetros de cor L^* (a) e b^* (b) dos flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i> , com aditivos, no armazenamento a 20°C, 25°C e 35°C.	55
Figura 26. Cinética da variação do Croma dos flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i> , com aditivos, no armazenamento a 20°C, 25°C e 35°C.....	59
Figura 27. Cinética da variação da diferença de cor (ΔE) dos flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i> , com aditivos, no armazenamento a 20°C, 25°C e 35°C.	61
Figura 28. Distribuição do tamanho de partícula dos flocos de casca de manga obtidos por <i>drum drying</i> , com aditivos, nos tempos inicial e final do armazenamento a 20°C, 25°C e 35°C.	64

Figura 29. Micrografias dos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com aditivos, com ampliação de 45x e 400x, respectivamente, no tempo inicial (a), (b) e no tempo final do armazenamento a 20°C (c) e (d), 25°C (e) e (f) e 35°C (g) e (h).66

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de manga, e parte desta produção, independente do mercado de destino, é utilizada na indústria para a fabricação de polpas e sucos. A manga é considerada um dos itens mais importantes da fruticultura brasileira, com uma produção de mais de 1 milhão de toneladas/ ano (KIST et al., 2020).

A manga é um fruto de alto valor nutricional, rico em nutrientes como sais minerais, potássio, fósforo, cálcio e magnésio, bem como vitaminas A, B₁ (Tiamina) e B₂ (Riboflavina), vitamina C, compostos fenólicos, antioxidantes, carotenoides e fibras (NEPA/UNICAMP, 2011). Contudo, na fabricação de polpa e suco, de 40% a 60% do fruto, equivalente a casca e semente, não é aproveitado, resultando em um grande volume de resíduo industrial (ANDRÉ et al., 2014; VIEIRA et al., 2009). Estudos científicos apontam que esses resíduos possuem um alto valor nutricional, inclusive com teores maiores do que da própria polpa, sendo ricos em compostos fenólicos, fibras, vitamina C e apresentando alta capacidade antioxidante (TROIANI, 2020; HENRÍQUEZ et al., 2010,2014; GALAZ et al., 2017, CHIA & CHONG, 2015).

A indústria de alimentos se depara nos últimos anos com o desafio de desenvolver produtos que agreguem qualidades nutricionais, naturalidade e conveniência (FIESP/ITAL, 2010). Neste contexto, a cadeia produtiva de frutas se beneficiaria com a busca por soluções na transformação de subprodutos da indústria em coprodutos, com maior valor agregado, alinhando-se, também, à práticas mais sustentáveis.

O processo comumente utilizado para a obtenção de fruta em pó tem sido a secagem por atomização (*spray drying*). A literatura científica apresenta vários estudos sobre a aplicação do *spray dryer* para diferentes frutas: amora-preta (FERRARI et al., 2013); açaí (TONON et al., 2008); manga (CANO-CHAUCA et al., 2005); melancia (QUEK et al., 2007), entre outras. Uma desvantagem da secagem de matérias-primas ricas em açúcares é a obtenção de pós e flocos com alta pegajosidade e higroscopicidade, devido aos seus açúcares de baixo peso molecular e baixa temperatura de transição vítrea (FERRARI et al., 2013). Para evitar este problema, são empregados aditivos tecnológicos (agentes carreadores ou coadjuvantes) com elevado peso molecular, tais como maltodextrinas, amidos e

gomas, para aumentar a temperatura de transição vítrea. A liofilização (*freeze drying*) é outro processo importante de desidratação, comumente utilizado para frutas em pedaços, uma vez que visa a manutenção da forma e obtenção de produtos crocantes. No entanto, os custos do processo dessa tecnologia são muito altos (SAGAR et al., 2010).

O processo de obtenção de fruta em flocos por secagem em cilindros rotativos (*drum drying*) é uma alternativa tecnicamente viável frente a outros processos. Segundo Despain (2013), no geral, o *drum drying* é mais rentável, envolvendo custos operacionais menores de produção, podendo resultar em boa manutenção do sabor e do aroma da matéria-prima, além de permitir o uso de menor quantidade de aditivos, se comparado ao processo de secagem por atomização, que é o mais empregado comercialmente. No *drum drying*, os aditivos possuem um papel de auxiliares na formação e no descolamento do filme seco formado sobre o cilindro, contribuindo para a manutenção das características funcionais da matéria-prima e para o desenvolvimento de atributos tecnológicos desejáveis ao produto final, tais como menor higroscopicidade e maior temperatura de transição vítrea (T_g).

Troiani (2020) demonstrou a viabilidade técnica da obtenção de flocos de casca de manga da variedade Palmer por *drum drying*. Neste estudo, o purê foi obtido através da trituração da casca com água (1,2 kg de água: 1 kg de casca), seguida pela adição de amido de milho regular (5% b.s.) e monoestearato de glicerila (1% b.s.) como aditivos. Os ensaios de secagem foram conduzidos com a aplicação direta do purê no secador de cilindro rotativo a temperatura de 146,4°C por 15 segundos. Os resultados mostraram altas retenções de nutrientes e baixo índice de higroscopicidade.

Por outro lado, para a comercialização de um produto alimentício, principalmente no caso de desidratados, é fundamental a garantia da preservação de suas características físico-químicas durante o transporte e armazenamento frente à variações de umidade relativa e temperatura. As isotermas de sorção, que relacionam experimentalmente o teor de umidade com a atividade de água a uma determinada temperatura, são ferramentas muito úteis, e podem resultar, através de modelos matemáticos (GAB, BET, Halsey, Oswin e Henderson), na determinação de condições críticas de estocagem (ALVES et al., 2015).

A temperatura de transição vítrea, por sua vez, é uma propriedade importante na industrialização e na comercialização de alimentos secos em pó ou em flocos, pois está relacionada às mudanças físicas como cristalização, pegajosidade, colapso e compactação durante a manipulação, transporte e armazenamento. O produto tende a ser mais estável quando se encontra armazenado em temperaturas inferiores à sua temperatura de transição vítrea. Do contrário, o produto se torna mais susceptível a mudanças físicas, químicas e microbiológicas (SLADE & LEVINE, 1991).

Além disso, para um conhecimento mais amplo sobre a estabilidade, deve-se avaliar também a conservação da qualidade do produto alimentício ao longo do tempo de armazenamento. As reações de degradação dos alimentos são fortemente influenciadas pela temperatura, dentre outros fatores, durante a estocagem (TEIXEIRA NETO et al., 2010). Portanto, uma parte importante do estudo da estabilidade de um alimento, consiste em avaliar, ao longo de um período de tempo, o seu comportamento quando armazenado em condições controladas de temperatura e umidade relativa, de modo a monitorar a perda da qualidade (MORI, 2004). Com os resultados, é possível conhecer as principais reações de degradação do produto em estudo, em função do tempo e da temperatura. A cinética dessas reações pode proporcionar, através de modelos matemáticos, a determinação de parâmetros que permitam o cálculo e a simulação da vida de prateleira.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral do estudo foi avaliar a estabilidade física e química de flocos da casca de manga, obtidos por secagem em secador de cilindro rotativo (*drum drying*), em diferentes condições de temperatura e umidade relativa.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o comportamento higroscópico dos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, sem e com amido de milho como principal aditivo de processo, quando expostos a diferentes umidades relativas (atividades de água) por meio da determinação de isotermas de sorção a 25°C.

- Avaliar o efeito plasticizante da água e estabelecer as condições críticas de armazenamento, por meio da determinação da temperatura de transição vítrea dos flocos obtidos, em diferentes atividades de água (umidades relativas).
- Avaliar a estabilidade dos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com ou sem o uso de aditivos, conforme resultados anteriores, , no armazenamento controlado em diferentes temperaturas, por meio da determinação de modelos e parâmetros cinéticos de degradação.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. MANGA: FRUTO, PRODUÇÃO E MERCADO NO BRASIL

A manga (*Mangifera Indica* L.) teve origem há aproximadamente 4.000 anos na região Indo-Birmana. Da família das Anacardiaceae, as mangueiras são de climas subtropicais e, após quatro a seis anos de plantio, começam a apresentar os frutos. Segundo o último levantamento consolidado pelo IBGE, o Brasil produziu 1.569.011 toneladas de manga em 2020, sendo o nordeste brasileiro a região de maior produção do país (IBGE, 2020). A maior parte da produção nacional é destinada ao mercado interno, principalmente para consumo *in natura*, estando distribuída entre as principais variedades: Palmer (46%), Tommy Atkins (44%), Espada (4,9%), Ouro (1,58%), Rosa (1,53%) e Haden (0,97%) (CEAGESP, 2019).

O Brasil está entre os dez maiores produtores de manga do mundo, e a atividade representa a maior receita brasileira de exportação de frutas frescas, atingindo US\$ 246,9 milhões em 2020. Em comparação ao ano de 2019, houve um aumento de 13% na receita de exportação, tendo como principal cliente a União Europeia, seguida dos Estados Unidos da América (EMBRAPA, 2021).

Por se tratar de um produto altamente perecível e de comportamento sazonal, torna-se de extrema importância um melhor aproveitamento da manga, preservando assim seus componentes nutricionais (RAMOS et al., 2004). O processamento industrial mais comum é a produção de polpa, ou suco, que por sua vez, alimenta as indústrias com matéria-prima para a produção de doces, geléias, sucos, sorvetes e outros produtos (PEDRASSOLLI et al., 2015).

O fruto é constituído por 12% a 15% de casca e 15% a 20% de semente (Figura 1), resultando em um grande volume de resíduo industrial, entre 40% e 60% da matéria-prima (ANDRÉ et al., 2014; VIEIRA et al., 2009).

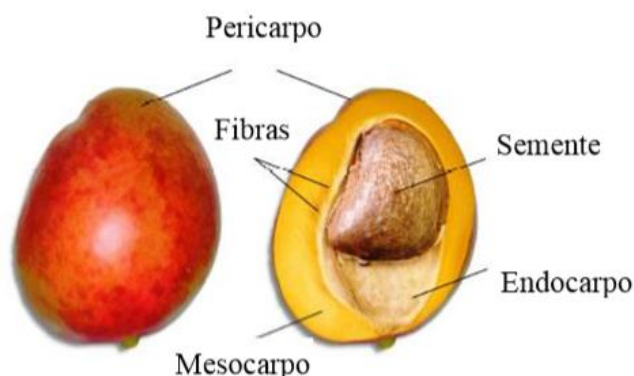


Figura 1. Corte transversal com partes estruturais da manga (GUTIÉRREZ, 2015).

Estudos científicos apontam que os resíduos da manga apresentam um potencial benefício à saúde humana devido ao seu alto valor nutricional, muitas vezes superior ao da própria polpa. Silva et al. (2009) reportaram teor de vitamina C de 15,7 mg/ 100 g b.u. para polpa de manga variedade Palmer, enquanto Troiani (2020) relatou valor de aproximadamente 112 mg/ 100 g b.u. para casca de manga Palmer. Germer et al. (2018) reportaram teor de fenólicos totais de aproximadamente 606 mg AGE/ 100 g b.s. em polpa comercial de manga obtida das variedades Tommy Atkins e Ubá, enquanto Troiani (2020) relata valores superiores a 2000 mg AGE/ 100 g b.s. em cascas de diferentes variedades de manga. Germer et al. (2018) reportaram, para polpa de manga comercial obtida das variedades Tommy Atkins e Ubá, os valores de capacidade antioxidante de 73,27 $\mu\text{mol TE/ g b.s.}$ (ABTS) e 42,61 $\mu\text{mol TE/ g b.s.}$ (DPPH), sendo que valores superiores a 200 $\mu\text{mol TE/ g b.s.}$ foram reportados por Troiani (2020), obtidos por ambos os métodos, para cascas de diferentes variedades de manga.

3.2. SECAGEM

O mercado de alimentos apresenta, de forma crescente nos últimos anos, uma tendência de demanda por produtos mais saudáveis e naturais. As frutas, cada vez mais, vêm sendo empregadas como ingredientes, pois podem conferir essas características em diferentes formulações. Por outro lado, produtos secos são

amplamente utilizados e a secagem é uma alternativa para a conservação e oferta de frutas aos processos produtivos de alimentos (GERMER et al., 2018).

A secagem, ou a desidratação, é utilizada há muitos anos como um método de conservação de alimentos. A desidratação pode ser definida como um processo, sob condições controladas, de aplicação de calor para a remoção, por meio de evaporação, da água livre presente no alimento (FELLOWS, 2006). Como consequência, há a redução da atividade de água do alimento, que por sua vez, contribui para o prolongamento da vida de prateleira. Desta forma, a secagem é uma operação unitária empregada para a conservação dos alimentos, em especial, daqueles mais perecíveis, com relativa manutenção da qualidade da matéria-prima, resultando em produtos com vidas úteis mais prolongadas. Além disso, a secagem reduz a deterioração microbiológica, bem como a velocidade de reações de degradação, tais como de escurecimento não enzimático, de oxidação e de atividade enzimática (SINGH & HELDMAN, 1998). Outra vantagem deste processo é a redução do volume do alimento, contribuindo para a diminuição dos custos na cadeia produtiva.

Os principais métodos de secagem empregados industrialmente são: secagem por ar quente em túneis ou secadores de bandeja, secagem por atomização (*spray drying*), secagem em secador de tambor ou cilindro rotativo (*drum drying*) e liofilização (*freeze drying*). O processo de secagem por atomização (*spray drying*) é uma técnica de amplo emprego comercial, porém para a obtenção de frutas em pó é necessário o acréscimo de aditivos de processo, como amidos, gomas ou dextrinas, em geral em níveis superiores a 40% (b.s.), devido a elevada higroscopicidade do produto (GERMER et al., 2018). Anteriormente à técnica de secagem por atomização, os secadores de cilindro rotativo (*drum dryer*) eram muito utilizados na obtenção de produtos secos, aplicados em diversos alimentos líquidos. Atualmente, o *drum drying* é aplicado principalmente para purês, cereais matinais e produtos lácteos.

3.2.1. DRUM DRYING

O *drum dryer*, ou secador de cilindro rotativo, pode conter um ou dois cilindros metálicos que giram em diferentes velocidades sobre o eixo horizontal, podendo ser aquecidos por vapor ou água quente (Figura 2).

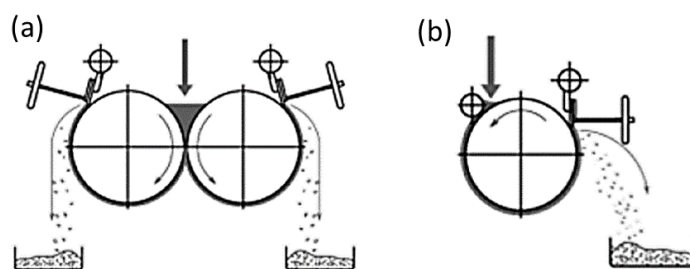


Figura 2. Esquema do equipamento *drum dryer*: cilindro duplo (a) e cilindro simples (b) (KATSURAGI INDUSTRY CO., LTD, 2019).

O filme é removido através de uma lâmina ou faca posicionada longitudinalmente ao final do cilindro (AGUIRRE & GASPARINO FILHO, 2002). A transferência de calor necessária para a evaporação da água do material de interesse para o ambiente se dá por condução através das paredes metálicas dos cilindros (DAUD, 2006). É um processo que envolve temperaturas altas e um tempo de residência curto, sendo, assim, recomendado para a secagem de matérias-primas termossensíveis.

Neste processo, os parâmetros que podem influenciar as características nutricionais, físico-químicas e tecnológicas do produto final são: temperatura do cilindro, taxa de alimentação, velocidade de rotação do cilindro, teor de sólidos da amostra e o espaçamento entre os cilindros (PUA et al., 2010). O desempenho da secagem está relacionado, dentre outros fatores, à espessura do filme, à temperatura do cilindro e ao tempo de residência ou velocidade de rotação do cilindro (GERMER et al., 2018; TANG et al., 2003; TONIN et al., 2018).

Dentre as vantagens do *drum drying*, estão a facilidade do uso, a limpeza, a alta eficiência energética e a necessidade de baixas concentrações de aditivos de processos, entre 1% e 20% em base seca. Como desvantagens, há o alto custo de investimento e a limitação do uso para alguns tipos de produtos, em especial aqueles com altos teores de açúcares, devido ao escurecimento e dificuldade de remoção do filme do cilindro, bem como aqueles mais sensíveis a altas temperaturas, resultando em perda de cor e desenvolvimento de sabor de cozido (TANG et al., 2003).

O *drum drying* tem sido alvo de pesquisas porque apresenta bons resultados na secagem de frutas e hortaliças, contudo ainda são poucos os trabalhos desenvolvidos com purês de frutas, ou mesmo com resíduos agroindustriais

(TROIANI, 2020; HENRÍQUEZ et al., 2010, 2014; GALAZ et al., 2017; CHIA & CHONG, 2015).

3.2.2. ADITIVOS DE PROCESSO

O uso de aditivos no *drum drying* não só auxilia no rendimento e na eficiência de secagem, como também influencia as propriedades termoplásticas e higroscópicas do produto final, dentre outros efeitos. Além disso, devido ao alto peso molecular, os aditivos promovem a elevação da T_g e melhoram a estabilidade dos pós e flocos durante o armazenamento (GERMER et al., 2018).

Travaglini et al. (1994), em um estudo sobre a secagem de polpa de manga (variedade Tommy Atkins) em secador de cilindro rotativo, verificaram a necessidade da adição de 4% de amido de milho e 1% de monoestearato de glicerila (base seca) à matéria-prima. Germer et al. (2018) avaliaram diferentes concentrações de aditivos de processo na desidratação de polpa de manga comercial (Tommy Atkins/ Ubá, 13-17°Brix) por *drum drying*. Os resultados revelaram que o melhor desempenho foi obtido com o uso de 3% de amido de milho e 0,5% de monoestearato de glicerila (calculado sobre o teor de sólidos totais). Neste tratamento, o fluxo de massa na secagem foi de aproximadamente 8 kg/ h m², e as retenções de vitamina C e de carotenoides totais foram, respectivamente, de 60% e 90%.

Considerando o emprego da técnica de secagem por *drum drying*, Victoria et al. (2018) avaliaram a aplicação ou não de aditivos no preparo do purê de cascas de manga Tommy Atkins. Os autores constataram que houve um maior fluxo de massa e de rendimento com o emprego de amido regular (5%) e monoestearato de glicerila (1%) como aditivos de processo.

Por sua vez, no estudo comparativo da estabilidade do teor de β -caroteno de produto modelo em diferentes processos de secagem, Desobry et al. (1997) observaram que o *drum drying*, embora tenha resultado em uma maior perda de β -caroteno no processo (14% contra 8% do *freeze drying* e 11% do *spray drying*), obteve a maior estabilidade em todas as condições de armazenamento estudadas.

3.3. ESTABILIDADE DE FRUTAS DESIDRATADAS

Tendo em vista a comercialização e o consumo, o comportamento dos alimentos ao longo do armazenamento deve ser entendido. Nesse período, ocorrem

alterações que reduzem a qualidade do produto, tornando-o, eventualmente, impróprio para consumo. Os principais fatores que contribuem para essa degradação são a temperatura, a umidade relativa, a incidência de luz, a presença de oxigênio e íons metálicos, dentre outros (MOURA & GERMER, 2010).

As vitaminas, os pigmentos e os compostos antioxidantes são, em especial, mais susceptíveis a esses fatores de degradação. Além disso, alterações nas características físicas tais como cor, textura, odor, sabor e fluidez também podem ocorrer, diminuindo a qualidade do produto. Portanto, para garantir que o alimento esteja em condições adequadas de consumo, é importante realizar estudos de estabilidade, ou conhecer a estabilidade de produtos similares para, assim, estabelecer a sua vida útil. Assim, parte do estudo de estabilidade consiste em monitorar, em amostras sob armazenamento controlado, alguns destes parâmetros de qualidade ao longo do tempo (MORI, 2004).

A vida de prateleira de um alimento pode ser definida como o período no qual este poderá ser conservado em determinadas condições de temperatura, umidade relativa e luz, sofrendo pequenas alterações que podem ser aceitáveis pelo fabricante, consumidor e pela legislação alimentar vigente (TEIXEIRA NETO et al., 2010). De forma geral, a perda da qualidade de um alimento ao longo do armazenamento pode ser descrita em termos da contagem microbiana, bem como de alterações físicas (cor, textura, fluidez, etc.) e de teores de nutrientes (vitaminas, fenólicos, carotenoides, etc.) (STEELE, 2004). A temperatura e a atividade de água, no caso de produtos desidratados, são, dentre outros, os fatores que mais influenciam na perda da qualidade durante o armazenamento. Portanto, estudos de isoterma de sorção, assim como da transição vítrea e da cinética das reações de degradação no armazenamento contribuem para um conhecimento mais amplo da estabilidade, ajudando na definição da vida de prateleira deste tipo de produto.

3.3.1. ISOTERMA DE SORÇÃO

A água é um dos componentes mais importantes dos alimentos, e nos produtos secos e desidratados, ainda que em menores teores, pode influenciar mudanças indesejáveis durante o armazenamento, prejudicando sua qualidade (ZOTARELLI, 2014). A quantidade de água de um alimento, expressa pelo teor de umidade, está

ligada à matriz sólida por diferentes intensidades de força de suas ligações moleculares (FENNEMA, 1996).

A disponibilidade termodinâmica da água, ou atividade de água (a_w), é a parcela de água mais fracamente ligada à matriz do alimento. Esta parte da água participa de reações de degradação, sendo mais facilmente retirada em processos de secagem. Por sua vez, uma outra parte da água está fortemente ligada à matriz, não estando disponível para as reações de degradação, e sendo mais dificilmente eliminada (BOBBIO & BOBBIO, 1992). Segundo Roos et al. (1996) a estabilidade de um produto é fortemente influenciada pela pressão relativa do vapor da água no alimento, que corresponde à atividade de água, em condições de equilíbrio. A a_w é determinada através da razão entre a pressão de vapor da água no alimento (P) e a pressão de vapor da água pura (P_0), à mesma temperatura, de acordo com a Equação 1. Assim, a velocidade das reações de degradação dos alimentos varia em função da atividade de água. Quanto mais próximo da $a_w=1,0$, maior a susceptibilidade à deterioração (Figura 3).

$$a_w = \frac{P}{P_0} \quad (1)$$

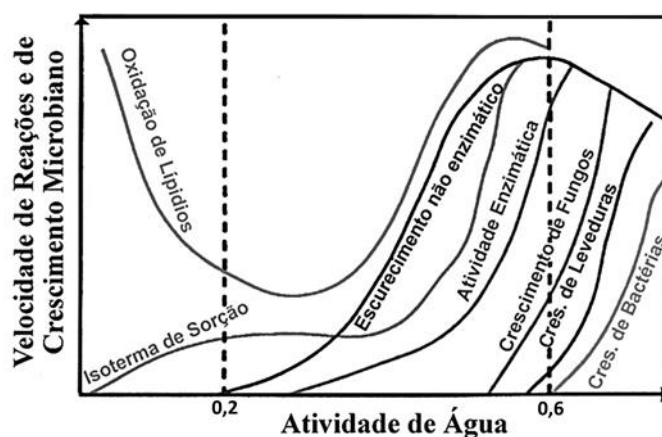


Figura 3. Variação das velocidades de algumas reações de degradação dos alimentos com a atividade de água. Fonte: adaptado LABUZA (1968).

Para o conhecimento da estabilidade de produtos desidratados é fundamental avaliar a variação das propriedades físicas com a atividade de água durante o armazenamento, dentre elas o comportamento higroscópico do material. Nesse sentido, as isotermas de sorção de água, que relacionam a atividade de água e o teor de água do alimento em uma determinada temperatura, são ferramentas muito úteis,

permitindo o conhecimento das propriedades de equilíbrio, bem como das condições críticas de estocagem (ALVES et al.,2015).

Há dois tipos de isotermas de sorção, a de adsorção e a de dessorção, conforme apresentado na Figura 4.

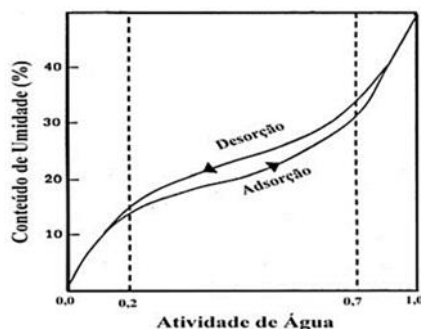


Figura 4. Histerese da isotermas de sorção (PARK & NOGUEIRA, 1992).

Na isoterma de adsorção, o material seco é acondicionado em ambientes com diferentes umidades relativas, adsorvendo água. Por outro lado, na isoterma de dessorção, há a perda de água do material úmido exposto a ambientes de diferentes umidades relativas. A diferença entre essa duas curvas é denominada de histerese. Ela pode ocorrer devido a mudanças na estrutura física do material nos processos de perda e ganho de água, mudanças de fase e condensação capilar (LABUZA, 1968).

Segundo Brunauer et al. (1938), há cinco tipos de curvas de isotermas de sorção, sendo que as de maior importância para alimentos são as do tipo II e III (Figura 5).

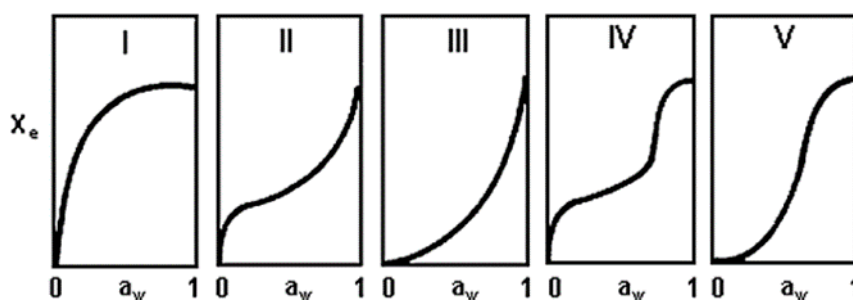


Figura 5. Tipos de isotermas de sorção (BRUNAUER et al.,1938).

3.3.1.1. MODELOS MATEMÁTICOS DE ISOTERMA DE SORÇÃO

Diversos modelos matemáticos aplicados às isotermas são reportados na literatura, sendo os principais: Guggenheim, Anderson e Boer (GAB); Brunauer,

Emmett e Teller (BET) (BRUNAUER, et al., 1938); Halsey (HALSEY, 1948); Oswin (CHINNAN & BEAUCHAT, 1985); e Henderson (ASAE, 1991). A Tabela 1 apresenta as equações dos respectivos modelos.

Tabela 1. Alguns modelos matemáticos de isotermas de sorção.

Modelo Matemático	Equação
GAB	$U_{eq} = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w) \cdot (1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)} \quad (2)$
BET	$U_{eq} = \frac{X_m \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w)} \cdot \left[\frac{1 - (n + 1) \cdot (a_w)^n + n \cdot (a_w)^{n+1}}{1 - (1 - C) \cdot a_w - C(a_w)^{n+1}} \right] \quad (3)$
Halsey	$U_{eq} = \left(\frac{-a}{\ln(a_w)} \right)^{1/b} \quad (4)$
Oswin	$U_{eq} = a \left(\frac{a_w}{(1 - a_w)} \right)^b \quad (5)$
Henderson	$U_{eq} = \left(\frac{-\ln(1 - a_w)}{b} \right)^{1/a} \quad (6)$

Onde: U_{eq} = umidade de equilíbrio (g água/ g sólidos secos); X_m = umidade na monocamada molecular (g água/ g sólidos secos); n = número de camadas moleculares; C, K, a_w , a, b = constantes.

Os dois primeiros modelos são os mais utilizados, pois através deles é possível determinar a umidade da monocamada (X_m), ou seja, a quantidade de água que está fortemente adsorvida à matriz sólida, em sítios específicos, sendo considerada o valor ideal para garantir a estabilidade do alimento (FENNEMA, 1996). O modelo de GAB é considerado o mais versátil, sendo o mais empregado para alimentos, pois considera valores de atividade água de 0,1 até 0,9 (VAN DEN BERG, 1984). Enquanto que o modelo de BET (BRUNAUER et al., 1938), que originou o anterior, envolve uma faixa de a_w de 0,45 a 0,5 (LABUZA et al., 1985a).

Oliveira et al. (2014), no estudo de isotermas de polpa de cajá integral e polpa de cajá, ambas em pó, obtidas por liofilização com maltodextrina (17% b.s.), reportaram um melhor ajuste pelos modelos de BET e Henderson, respectivamente. Silva et al. (2015) obtiveram isotermas de umbu-cajá em pó, produzida por secagem em camada de espuma (*foam mat drying*), e modelaram matematicamente pela equação de GAB. Mosquera et al. (2012) também reportaram resultados do modelamento por GAB de isotermas do morango em pó liofilizado, com e sem aditivos (maltodextrina e goma arábica). Yamato et al. (2019) demonstraram que o modelo de

GAB resultou no melhor ajuste para isoterma de sorção de flocos de polpa de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (3% b.s.) nas temperaturas de 25 e 35°C.

3.3.2. TRANSIÇÃO VÍTREA

Os materiais sólidos podem estar no estado cristalino e estável quando as moléculas possuem uma configuração estrutural ordenada, ou no estado de não-equilíbrio amorfo, quando as moléculas estão desordenadas. Os materiais amorfos são metaestáveis, ou seja, seu estado físico e suas propriedades físico-químicas mudam de comportamento com o tempo, e de acordo com as condições nas quais são expostos. Dentre outros fatores, a temperatura e a pressão de vapor do ambiente são os principais fatores de influência na alteração do estado físico de um material sólido (ROOS, 1995; SLADE & LEVINE, 1991).

Alimentos são considerados matrizes complexas devido a sua composição constituída por diferentes componentes, como carboidratos, proteínas e lipídeos, e em grande parte por água. A maior parte dos alimentos se apresenta no estado amorfo. De acordo com Leite et al. (2005), os alimentos, por serem materiais metaestáveis, são susceptíveis a mudanças de temperatura e de pressão de vapor do ambiente. Pequenas variações nas condições ambientes podem promover mudanças de fase nos alimentos, causando mudanças estruturais indesejáveis.

A transição vítrea é a mudança de fase, ou a transição de fase, mais comum em alimentos, consistindo na passagem de um estado vítreo para um estado borrachento, ou gomoso. A temperatura em que essa transição de fase ocorre, a uma dada umidade, é chamada de temperatura de transição vítrea (T_g), que varia conforme o teor de água e composição do alimento. A técnica mais utilizada para a determinação da transição vítrea é a calorimetria diferencial de varredura (DSC), cuja metodologia consiste na detecção da mudança típica no calor específico da amostra à temperatura de transição vítrea (LEITE et al., 2005).

De acordo com Roos (1995), o estado físico dos alimentos é governado pela transição de fase dos seus principais componentes. Uma vez que a água é o principal componente nesta matriz complexa, ela exerce uma grande influência sobre as propriedades do alimento. Assim, normalmente, ao expor um alimento a um ambiente de elevada umidade relativa, à temperatura constante, ele absorve água. A água promove um efeito plasticizante em um material sólido, sendo, portanto, um dos

fatores de maior influência na temperatura de transição vítrea. Em carboidratos de baixo peso molecular, esse efeito é importante, pois gera um aumento no espaço intermolecular livre, bem como uma diminuição da viscosidade, e consequente aumento da mobilidade molecular (ROOS, 1995). O efeito plasticizante da água pode ser analisado através de diagramas de estado, que representam os diferentes estados de um alimento em função de seus conteúdos de água (RAHMAN, 2006). Os resultados de temperatura de transição vítrea em função de diferentes atividades de água de um produto podem ser ajustados matematicamente pelo modelo de Gordon-Taylor, Equação 7, que considera o alimento uma mistura binária de água e sólidos (GORDON & TAYLOR, 1952).

$$T_g = \frac{w_s \times T_{gs} + k_{GT} \times w_w \times T_{gw}}{w_s + k_{GT} \times w_w} \quad (7)$$

Onde: w_s = fração de sólidos (g/ g total)

w_w = fração de água (g/ g total)

T_{gs} = temperatura de transição vítrea dos sólidos (K)

T_{gw} = temperatura de transição vítrea da água (K)

k_{GT} = constante do modelo

Os frutos utilizados nos processos industriais, geralmente em estágio avançado de maturação, possuem concentrações elevadas de ácidos orgânicos e açúcares, moléculas de baixo peso molecular, resultando em produtos com alta higroscopicidade e baixa temperatura de transição vítrea (T_g). Portanto, o conhecimento da temperatura de transição vítrea é muito importante para as indústrias de alimentos, principalmente de produtos desidratados a base de frutas, pois a propriedade está relacionada às mudanças físicas como cristalização, pegajosidade, colapso e compactação durante o armazenamento. No geral, o produto alimentício tende a ser mais estável quando se encontra armazenado em temperatura abaixo de sua temperatura de transição vítrea (SLADE & LEVINE, 1991).

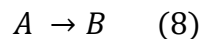
3.3.3. CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO

A cinética das reações de degradação dos alimentos no armazenamento pode ser analisada por modelos matemáticos. Parâmetros cinéticos tais como $t_{1/2}$ (tempo de meia vida), Q_{10} (fator de aceleração), E_a (energia de ativação), dentre outros,

podem ser obtidos dos modelos matemáticos e utilizados para avaliar a perda da qualidade do alimento (TEIXEIRA NETO et al., 2010).

3.3.3.1. ORDEM DE REAÇÃO

Uma reação de degradação em um alimento pode ser simplificada pela Equação 8, onde A é um composto inicial desejável e B, o composto resultante (AZEREDO et al., 2012).



A relação entre a redução da concentração do reagente A (CA) pelo tempo da reação (t) é definida como a taxa de reação (rA), e pode ser descrita conforme a Equação 9.

$$rA = -\frac{d}{dt}CA = k \times CA^n \quad (9)$$

A relação matemática, portanto, entre a taxa de reação e a concentração do composto, ou reagente da reação, é dada pela ordem de reação (n), que pode ser de ordem zero (n=0), primeira ordem (n=1), segunda ordem (n=2), dentre outras. De forma geral, segundo Taoukis & Labuza (1996), nos alimentos as reações de degradação tendem a ser de ordem zero ou de primeira ordem. Em reações de ordem zero, a taxa de reação é independente da concentração dos reagentes. Isso significa que a concentração do composto A segue um comportamento linear ao longo do tempo, conforme representação esquemática na Figura 6. Matematicamente, integrando a Equação 9 para ordem zero, tem-se a Equação 10.

$$C_A = C_{A0} - k \times t \quad (10)$$

Onde:

C_A = concentração do componente A

C_{A0} = concentração inicial do componente A

k = constante da velocidade de reação

t = tempo da reação

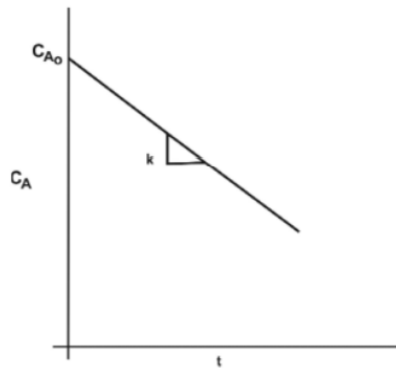


Figura 6. Representação esquemática da reação de ordem zero. Fonte: TEIXEIRA NETO et al. (2010).

Dentre as reações de degradação de ordem zero em alimentos, as principais são o escurecimento não enzimático e a qualidade geral de alimentos congelados (TAOUKIS et al., 1997). Nunes et al. (2020) avaliaram modelos de ordem zero para as mudanças de cor de flocos de jabuticaba obtidos por *drum drying* com fécula mandioca (20% b.s.). Ferrari et al. (2021) reportaram, para casca de manga em pó obtido por secagem em secador de bandejas, que a mudança do parâmetro de cor que representa a coloração amarela característica de manga (b^*) varia de acordo com a ordem zero.

Ao contrário da ordem zero, nas reações de primeira ordem, a taxa de reação depende da concentração dos reagentes. Ela é representada esquematicamente pela Figura 7 e matematicamente, através da integração da Equação 9, pela Equação 11.

$$\ln C_A = \ln C_{A0} - k \times t \quad (11)$$

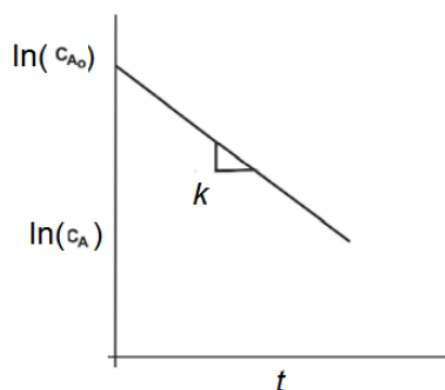


Figura 7. Representação esquemática da reação de primeira ordem. Fonte: TEIXEIRA NETO et al. (2010).

De acordo com Taoukis et al. (1997), as reações de perda de vitaminas, oxidação da cor e perda de textura durante aquecimento estão entre as principais

reações de primeira ordem em alimentos. Song et al. (2017) reportaram reação de primeira ordem para a degradação de carotenoides em abóbora desidratada obtida por secagem em micro-ondas a vácuo.

Por sua vez, nas reações de segunda ordem, a taxa de reação também depende da concentração dos reagentes, sendo matematicamente representada pela Equação 12, ao integrar a Equação 9.

$$\frac{1}{C_A} = \frac{1}{C_{A0}} + k \times t \quad (12)$$

Esquemáticamente, reações do tipo segunda ordem possuem um comportamento linear para o inverso da concentração do reagente em função do tempo, conforme Figura 8.

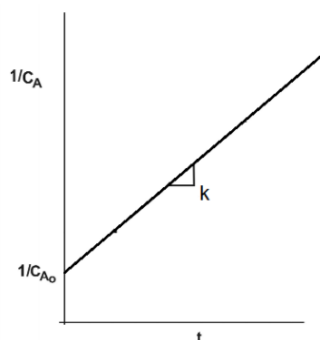


Figura 8. Representação esquemática da reação de segunda ordem. Fonte: TEIXEIRA NETO et al. (2010).

Segundo Van Boekel (2008), reações de segunda ordem são menos comuns em alimentos, mas são igualmente válidas para explicar reações de degradação, como a redução da tiamina em salmão, observada por Kong et al. (2007), e a degradação de xantofilas em suco de laranja, observada por Hadjal et al. (2013).

3.3.3.2. PARÂMETROS CINÉTICOS DAS REAÇÕES DE DEGRADAÇÃO

3.3.3.2.1. FATOR DE ACELERAÇÃO DAS REAÇÕES COM A TEMPERATURA (Q₁₀)

O Q₁₀ expressa o fator de aceleração de uma determinada reação com a temperatura. Matematicamente, é definido pelo quociente entre a velocidade de reação a uma determinada temperatura e a velocidade de reação a uma temperatura 10°C menor (TEIXEIRA NETO et al., 2010), conforme indicado na Equação 13.

$$Q_{10} = \frac{k(T)}{k(T-10^{\circ}C)} \quad (13)$$

Assim, quanto maior for o Q_{10} , maior será a aceleração da reação de degradação com o aumento da temperatura (TAOUKIS et al., 1997). Com o conhecimento do valor de Q_{10} é possível simular a vida de prateleira do produto com base nas temperaturas de transporte e distribuição do alimento (LABUZA et al., 1985b).

3.3.3.2.2. TEMPO DE MEIA VIDA ($t_{1/2}$)

O tempo de meia vida ($t_{1/2}$) indica o tempo necessário para a redução em 50% de determinado parâmetro de qualidade, ou da concentração inicial de um composto. As equações para o cálculo do $t_{1/2}$ diferem de acordo com a ordem da reação, conforme apresentado na Equação 14, Equação 15 e Equação 16 para as reações de ordens zero, primeira e segunda, respectivamente (TEIXEIRA NETO et al., 2010).

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{\text{Coeficiente linear}}{2 \times K} \quad (14)$$

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{0,693}{K} \quad (15)$$

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{1}{(\text{Coeficiente linear} \times K)} \quad (16)$$

3.3.3.2.3. ENERGIA DE ATIVAÇÃO (E_a)

A energia mínima necessária para o início de uma determinada reação é chamada de energia de ativação (E_a). Esse parâmetro também pode ser utilizado para avaliar o efeito da temperatura nas reações, uma vez que indica a sensibilidade da reação à temperatura, no determinado alimento. Valores elevados de E_a indicam uma maior influência da temperatura na reação de degradação, ou seja, quanto maior a E_a , maior será a aceleração da reação com o aumento da temperatura (TEIXEIRA NETO et al., 2010). Dentre as formas de se calcular a E_a , a mais aceita é a equação de Arrhenius, Equação 17.

$$\frac{d}{dT} \ln k = \frac{E_a}{(R \times T^2)} \quad (17)$$

Onde:

T = temperatura em Kelvin

R = constante dos gases

E_a = energia de ativação

k = constante velocidade

Integrando a Equação 17, tem-se:

$$\ln k = - \frac{E_a}{(R \times T)} + \ln K \quad (18)$$

Onde: K = constante.

A Figura 9 apresenta de forma gráfica a Equação 18 em escala linear, onde da inclinação da reta é possível se obter a E_a (TEIXEIRA NETO et al., 2010).

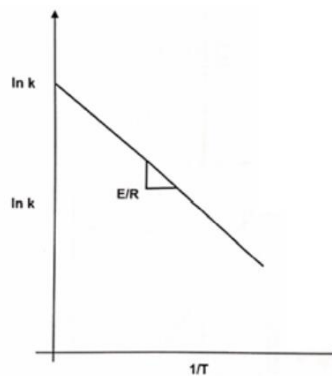


Figura 9. Representação esquemática da equação de Arrhenius. Fonte: TEIXEIRA NETO et al. (2010).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. MATERIAL

Foram utilizadas mangas da variedade Palmer. Os frutos foram adquiridos no CEASA de Campinas, Campinas/SP, e armazenados em temperatura ambiente, até o estágio de maturação para o consumo *in natura* (teor de sólidos solúveis acima de 15° Brix). Os frutos foram selecionados, empregando apenas aqueles livres de defeitos fisiológicos e danos físicos. Empregaram-se amido de milho regular (Ingredion, Mogi Guaçu, São Paulo, Brasil) e monoestearato de glicerila, MSG (Synth, Diadema, São Paulo, Brasil) como aditivos de processo.

4.2. MÉTODOS EXPERIMENTAIS

Os ensaios experimentais foram divididos em etapas, a fim de se atender aos objetivos específicos, de acordo com o descrito a seguir.

4.2.1. OBTENÇÃO DOS FLOCOS DE CASCA DE MANGA POR *DRUM DRYING*

Para obtenção dos flocos de casca de manga, adotou-se o processo descrito por Troiani (2020). Inicialmente, os frutos *in natura* foram submetidos a lavagem com água corrente, seguida de imersão em solução de cloro ativo (150 ppm), durante 30 segundos. Posteriormente, para facilitar o descascamento manual, os frutos foram submetidos a um branqueamento térmico ($\sim 97^{\circ}\text{C}$ por 90 segundos). Na sequência, as cascas foram retiradas manualmente, com o uso de facas de aço inoxidável, raspando com colheres a polpa aderida. As cascas foram, então, trituradas em liquidificador industrial (Siemens, modelo 1560791, Brasil) com adição de água (1,2 kg de água: 1 kg de casca) durante 150 segundos, para a formação do purê. O purê obtido foi dividido em embalagens plásticas de polietileno de baixa densidade (PEBD) e armazenado em freezer a -18°C até a realização dos ensaios de secagem.

Para os ensaios de secagem, o purê descongelado foi homogeneizado em moinho coloidal (Meteor, REX 2 – AL), tendo em vista a diminuição das partículas sólidas. Nesta etapa, o lote foi separado em dois, quando um deles recebeu os aditivos de processo, na concentração de 5% p/p de amido de milho regular e 1% p/p de monoestearato de glicerila, ambos em base seca. O outro lote seguiu sem aditivos.

Para a secagem, empregou-se um secador de cilindro rotativo (*drum dryer*), provido de cilindro único (Richard Simon & Sons, D139, Inglaterra), com dois cilindros aplicadores, e área de secagem de aproximadamente $0,5\text{ m}^2$. Foram empregadas as seguintes condições de processo: temperatura de processo de $146,4^{\circ}\text{C}$ ($\pm 2,0^{\circ}\text{C}$), com tempo de residência 15 segundos ($\pm 2,0$ segundos), de acordo com o indicado por Troiani (2020), em estudo de otimização do processo de *drum drying* de casca de manga. Em seguida os filmes secos, obtidos na secagem, passaram por floculação, em floculador (Fabbe, S508, Brasil), com peneira de abertura de 2,5 mm.

A Figura 10 apresenta as principais etapas do processo para a obtenção dos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*.

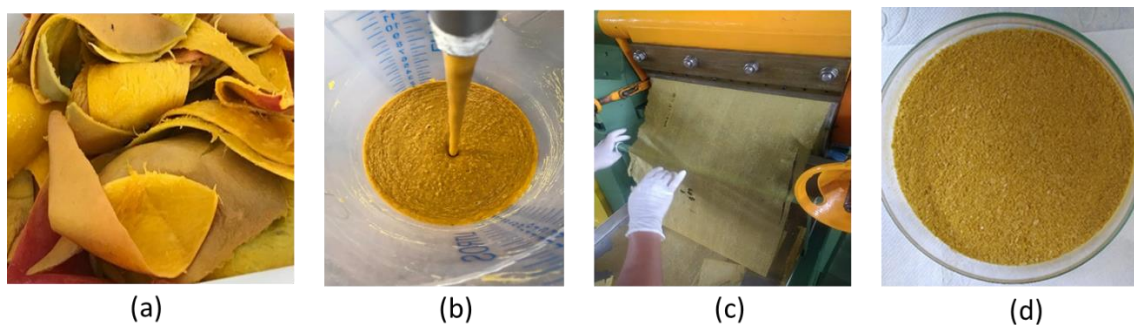


Figura 10. Principais etapas do processo para obtenção dos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*: (a) cascas de manga; (b) homogeneização do purê de cascas; (c) *Drum drying* do purê de cascas de manga; (d) Flocos de cascas de manga após floculação.

Foram realizados dois ensaios em tempos diferentes, porém nas mesmas condições e com o mesmo lote de frutos: o primeiro para o estudo das isotermas de sorção e transição de fases, e o segundo para o estudo da estabilidade no armazenamento controlado. No primeiro ensaio, os flocos obtidos em ambos os processos foram caracterizados quanto às seguintes propriedades físico-químicas iniciais: teor de umidade, atividade de água, cor instrumental, capacidade antioxidante, teor de vitamina C, teor de fenólicos totais e teores de carotenoides totais e β -caroteno. Foram realizadas as isotermas de sorção dos produtos obtidos com e sem os aditivos de processo, bem como a avaliação da temperatura de transição vítrea, nas diferentes condições de equilíbrio. Na sequência, com base nos resultados, e posteriormente apresentados, realizou-se, com os flocos do processo com aditivos, o estudo de estabilidade no armazenamento em diferentes temperaturas. As metodologias analíticas estão descritas no item 4.3.

4.2.2. ESTUDO DAS ISOTERMAS DE SORÇÃO E DA TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO VÍTREA

As isotermas de sorção dos produtos obtidos, com e sem aditivos, foram determinadas à temperatura ambiente por método gravimétrico estático, de acordo com Mosquera et al. (2012). As amostras foram pesadas e colocadas em cadinhos de plásticos e, em seguida, armazenadas em potes herméticos de plástico, contendo soluções salinas saturadas de LiCl ($a_w = 0,113$), CH_3COOK ($a_w = 0,225$), MgCl_2 ($a_w = 0,328$), K_2CO_3 ($a_w = 0,432$), $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ($a_w = 0,529$), KI ($a_w = 0,687$), NaCl ($a_w = 0,753$), KCl ($a_w = 0,843$) (Figura 11), à temperatura ambiente (aproximadamente 25°C).



Figura 11. Acondicionamento das amostras nos dessecadores no estudo de isotermas de sorção.

Semanalmente as amostras foram pesadas até atingirem o peso constante ($< \pm 0,001\text{g}$), quando foi considerado o equilíbrio. A umidade de equilíbrio foi calculada conforme item 4.3.

Para obtenção dos parâmetros e melhor ajuste aos resultados experimentais, foram considerados os modelos matemáticos da Tabela 1, através do *software* STATISTICA® 8.0 (Statsoft, versão 8.0, EUA). Os critérios para a escolha do modelo de melhor ajuste foram: maior coeficiente de determinação (R^2); menor desvio relativo médio (P) (Equação 19); menor erro médio estimado (SE) (Equação 20).

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|V_E - V_P|}{V_E} \quad (19)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_P - V_E)^2}{n}} \quad (20)$$

Com as amostras em equilíbrio nas diferentes atividades de água, foi realizada a análise de calorimetria diferencial de varredura (DSC) para determinação da temperatura de transição vítrea de acordo com a metodologia descrita no item 4.3.

O efeito plasticizante da água sobre a transição vítrea foi avaliado através do ajuste do modelo de Gordon-Taylor (GORDON & TAYLOR, 1952) (Equação 7) aos resultados experimentais das temperaturas de transição vítrea, T_g , determinadas nas diferentes atividades de água. Para o ajuste do modelo foi utilizado o *software* STATISTICA® 8.0 (Statsoft, versão 8.0, EUA).

4.2.3. ESTUDO DA ESTABILIDADE DOS FLOCOS DE CASCA DE MANGA AO LONGO DO TEMPO DE ARMAZENAMENTO EM DIFERENTES TEMPERATURAS

Para a sequência do estudo, escolheu-se o produto obtido com aditivos, conforme apresentado no item 5.2 e 5.3, devido aos resultados de menor higroscopicidade apresentados nas etapas anteriores.

Os flocos foram acondicionados em embalagem com alta barreira ao vapor d'água (PET/Al/PEBD), selados termicamente e armazenados por período de 4 a 12 meses em estufa BOD (LS370, Logen Scientific, Brazil), nas temperaturas de 20°C, 25°C e 35°C, a 55% de umidade relativa.

No planejamento, estabeleceu-se que o acompanhamento dos parâmetros de qualidade dos flocos seria realizado pelas análises de cor instrumental, teores de vitamina C, carotenoides totais e β -caroteno. Inicialmente, foi programado um tempo total de armazenamento de 180 dias na temperatura ambiente (25°C). Para a determinação dos intervalos de análise nas diferentes temperaturas foi adotado como referência um Q_{10} de 2, que é um valor recorrente em reações de degradação de alimentos, de acordo com Moura & Germer (2010). Assim, os intervalos foram divididos de forma a resultar em 10 períodos de monitoramento para cada temperatura. Contudo, durante a execução das análises, alguns dos períodos sofreram alterações em função das dificuldades impostas no período mais crítico da pandemia Covid-19, resultando no monitoramento conforme Tabela 2.

Tabela 2. Períodos de análise, em dias, dos flocos de casca de manga com aditivos obtidos por *drum drying* nas diferentes temperaturas durante o armazenamento controlado.

	20°C	25°C	35°C
	37	14	9
	71	37	14
	108	55	32
	148	71	37
	189	92	42
	206	108	55
	224	128	64
	253	148	71
	280	189	85
	310	205	99
	352	224	108

Os modelos cinéticos de degradação foram obtidos analisando-se os ajustes de modelos de reação de ordem zero, 1ª e 2ª ordem, de acordo com Moura & Germer (2010), aos resultados experimentais, com o auxílio do *software* Microsoft Excel® (Microsoft, Redmond, EUA). O coeficiente de determinação da regressão (R^2) foi empregado como critério para a escolha do modelo de melhor ajuste, do qual foram obtidos os valores do fator de aceleração (Q_{10}), tempo de meia vida ($t_{1/2}$) e energia de ativação (E_a), conforme as Equações 13, 14, 15 e 18, respectivamente. No início e no final do estudo, foram realizadas as seguintes análises: teor de umidade, atividade de água, diâmetro médio de partículas, morfologia, teores de fenólicos totais e capacidade antioxidante. Em adicional, ao período de meio do estudo, foram realizadas as análises de teor de umidade e a atividade de água.

4.3. MÉTODOS ANALÍTICOS

As análises foram realizadas em triplicata, conforme metodologias indicadas abaixo.

Atividade de água (a_w)

A determinação da atividade de água foi realizada utilizando-se o higrômetro digital Decagon Devices Inc, Aqualab 3 TE, Estados Unidos da América, a $25,0 \pm 0,3^\circ\text{C}$, conforme descrito em Instituto Adolfo Lutz (2008) para etapa de determinação das propriedades físico-químicas e de isoterma de sorção. Para o estudo de

estabilidade foi utilizado o higrômetro digital Decagon Devices Inc, Aqualab 4 TEV, Estados Unidos da America, adquirido previamente à etapa de estabilidade.

Teor de Umidade

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

Cor instrumental

A determinação da cor foi feita por leitura direta no instrumento colorímetro (Konica-Minolta Sensing Inc., Chromameter CR-400, Japão), programado no sistema Cie Lab através do espaço de cores $L^*a^*b^*$, onde L^* (luminosidade: $+L^*$ = branco e $-L^*$ = preto), a^* ($+a^*$ =vermelho e $-a^*$ =verde) e b^* ($+b^*$ =amarelo e $-b^*$ =azul), como na Figura 12.

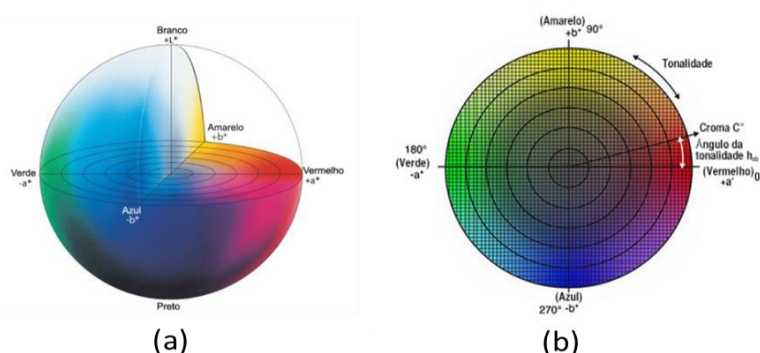


Figura 12. Representação do sistema Cie Lab: (a) espaço de cores $L^*a^*b^*$; (b) parâmetros de cor. Fonte: www.konicaminolta.com.br. Acesso em 31/08/2019.

A intensidade da cor da amostra, a tonalidade de coloração e a variação de cor foram avaliadas através dos parâmetros de saturação (Croma), do ângulo de tom (Hue) e do ΔE , obtidos conforme a Equações 21, 22 e 23, respectivamente.

$$Croma = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (21)$$

$$Hue = \arctan \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (22)$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^{*2}) + (\Delta b^{*2}) + (\Delta a^{*2})} \quad (23)$$

Capacidade antioxidante

A capacidade antioxidante foi realizada segundo dois métodos. O primeiro método é baseado no decréscimo de absorvância a 515 nm, causado pela captura do radical 2,2-difenil-1-picril-hidrazila (DPPH) em metanol 80%, determinada por espectrofotômetro (Agilent Technologies, Cary 60 MY13110012, Estados Unidos da América), segundo metodologia adaptada de Brand-Williams et al. (1995). A curva de calibração foi feita com solução de Trolox (25 mg/ 50 mL) em metanol 80% nas diluições de 50; 100; 200; 400; 600 e 800 $\mu\text{mol/L}$. O segundo método é baseado na inibição da absorvância do cátion-radical 2,2'-azino-bis (ácido 3- etilbenzotiazolina-6-sulfônico), sal diamônio (ABTS⁺) em álcool etílico absoluto, com leitura da absorvância em um comprimento de onda de 734 nm, determinado por espectrofotometria, conforme proposto por Rufino et al. (2007). A curva de calibração foi feita com solução de Trolox (25 mg/ 50 mL) em metanol 80% nas diluições de 50; 200; 500; 1000; 1500 e 2000 $\mu\text{mol/L}$. A extração de compostos para o procedimento de ambos os métodos foi feita de forma sequencial tripla, utilizando acetona 70%. As amostras foram homogeneizadas em triturador (TECNAL, TE-102, Brasil) por 90 segundos, filtradas a vácuo com auxílio de bomba (Cole Parmer, DAA Shown, Estados Unidos da América) e o volume final foi ajustado para 100 mL.

Teor de Vitamina C

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

Teor de fenólicos totais

O teor de fenólicos totais foi determinado por espectrofotometria, de acordo com KIM et al. (2003). A extração dos compostos foi feita de forma sequencial tripla utilizando-se acetona 70%. A homogeneização da amostra foi realizada com o auxílio de triturador (TECNAL, TE-102, Brasil) por 90 segundos, seguido por etapa de filtração a vácuo com auxílio de bomba (Cole Parmer, DAA Shown, Estados Unidos da América), ajustando o volume final de extrato para 100 mL. A curva padrão foi feita com solução de ácido gálico (0,1g/100ml) diluído em água destilada para as

concentrações finais de: 40; 80; 120; 160 e 200 µg/mL. As leituras da absorbância foram realizadas no comprimento de onda de 750 nm em espectrofotômetro (Agilent Technologies, Cary 60 MY13110012, Estados Unidos da América) e para zerar o equipamento foi utilizado como branco a mistura de todos os reagentes, substituindo-se a amostra por água destilada.

Teores de carotenoides totais e β -caroteno

A quantificação de carotenoides totais foi realizada por espectrofotometria até comprimento máximo de onda de absorção do β -caroteno (453 nm). A quantificação foi feita com uso de coeficiente de absorção de 2592, adaptado do método descrito por Carvalho et al. (1992). Os carotenoides presentes em 1g de amostra foram extraídos com 30 mL de acetona, de forma sequencial, com auxílio de um desintegrador (Marconi, MA 102, Brasil), até que a amostra apresentasse coloração entre palha e branco. Os pigmentos foram transferidos para 50 mL de éter de petróleo e seguiram para leitura em espectrofotômetro (Varian, Cary 50, Estados Unidos da América).

A quantificação do β -caroteno foi realizada por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), segundo método descrito por Tonin (2017). Foi utilizado o sistema de eluição isocrático, com fase móvel acetonitrila:metanol:acetato de etila:triethylamina (72,95:20:07:0,05, v/v/v/v), com vazão de 1,5 mL/min e detecção em comprimento de onda de 450 nm. As análises foram realizadas no cromatógrafo Agilent, Infinity 1260, Estados Unidos da América, com a coluna analítica Merck, LiChrospher 100RP-18. 125 x 4 mm, 5 µm, Estados Unidos da América. A padronização externa foi feita com β -caroteno (Sigma-Aldrich, C4582, Estados Unidos da América).

Diâmetro médio de partículas

A análise de distribuição de tamanho e diâmetro médio das partículas (D[50]) foram realizadas por difração a laser no equipamento Partica (Horiba, modelo LA 950 V2, Japão), em via úmida, com dispersão em álcool etílico absoluto, em seis leituras, seguindo a metodologia proposta por Ferrari et al. (2012). O D[50] é um valor matemático obtido pela leitura do equipamento que representa a mediana dos valores das partículas da amostra, geralmente utilizado para caracterizar partículas não

esféricas. As amostras foram peneiradas em peneira com abertura de 4,76 mm para proteção do equipamento.

O índice de poli dispersão (IPD) foi calculado conforme a Equação 24, onde os valores de D[10] e D[90], que são fornecidos pela leitura do equipamento, representam os diâmetros de partículas da amostra referentes as frequências acumuladas de 10% e 90%, respectivamente.

$$IPD = \frac{(D_{90} - D_{10})}{D_{50}} \quad (24)$$

Temperatura de transição vítrea

A análise de calorimetria diferencial de varredura foi realizada no equipamento TA DSC 250 Discovery Series (Figura 13) em duplicata, tendo por base a metodologia detalhada por Caparino et al. (2012). A calibração dos parâmetros do equipamento foi feita utilizando-se padrão de safira e índio. Como purga, foi utilizado gás nitrogênio UP a um fluxo de 50 mL/min tanto nas curvas de verificação da calibração quanto nas análises das amostras.



Figura 13. Equipamento TA DSC 250 Discovery Series.

Para o estudo de isotermas, as amostras foram pesadas após atingir o equilíbrio (item 4.2.2.).

Para a determinação da temperatura de transição vítrea (T_g), foram pesadas aproximadamente 5 mg das amostras em cadelhos de alumínio, modelo Tzero (volume de 20 μ l), hermeticamente fechados. A amostra de referência utilizada foi um cadelho vazio. As amostras foram inicialmente resfriadas a uma taxa de 5°C/ min até atingir a temperatura de -70°C, a qual foi mantida por 10 minutos. Em seguida a

amostra foi aquecida até 90°C a uma taxa de 5°C/ min e mantida por 10 minutos. Este ciclo foi repetido duas vezes na mesma análise para cada amostra com a presença do aditivo, uma vez que no segundo ciclo é observada a redução da entalpia de relaxação, garantindo um valor de T_g mais preciso no segundo ciclo, conforme SILVA et al. (2012). Os valores de temperatura de início, meio e final da transição vítrea foram determinados através da avaliação do termograma em *software* do próprio equipamento, TRIOS v4.4.0.41128. A T_g foi considerada a temperatura do meio da transição vítrea.

Morfologia

A análise de morfologia foi realizada por microscopia eletrônica de varredura (MEV), empregando-se o microscópio LEO440i (LEICA Electron Microscopy Ltd., Oxford, Inglaterra), do Laboratório de Recursos Analíticos e Calibração da Faculdade de Engenharia Química da UNICAMP, de acordo com o método relatado por Ferrari et al. (2013). A amostra foi espalhada sobre lâmina de vidro com auxílio de espátula e fixada no porta amostra com fita adesiva dupla face de carbono, seguido pela metalização com ouro (Au) pelo processo “Sputtering”, empregando a máquina de metalização (EMITECH, K450). Posteriormente as imagens são capturadas no microscópio eletrônico de varredura (LEICA Electron Microscopy Ltd., LEO 440i, Inglaterra). As ampliações aplicadas foram de 45x e 400x, nas condições de tensão de 20kV e corrente de 100mA, respectivamente.

4.4. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

As análises estatísticas das médias dos resultados analíticos obtidos foram avaliadas por análise de variância (ANOVA) e pelo teste de Tukey a 5% de significância ($p \leq 0,05$), utilizando o *software* Microsoft Excel® (Microsoft, Redmond, EUA).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DOS FLOCOS DE CASCA DE MANGA OBTIDOS POR *DRUM DRYING* COM E SEM O USO DE ADITIVOS

A Tabela 3 apresenta os valores médios das propriedades físico-químicas avaliadas no presente estudo para as cascas de manga e para os flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com e sem o uso de aditivos.

Tabela 3. Valores médios das propriedades físico-químicas das cascas de manga e dos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com e sem aditivos.

Propriedade físico-química	Cascas de manga	Flocos sem aditivos	Flocos com aditivos
Teor Umidade (% b.u.)	70,85 ± 0,15 ^a	1,64 ± 0,09 ^b	0,86 ± 0,04 ^c
Atividade de água	0,983 ± 0,002 ^a	0,265 ± 0,001 ^b	0,205 ± 0,004 ^c
Teor de Vitamina C (mg/100g b.s.)	204,31 ± 0,99 ^a	78,1 ± 1,4 ^b	79,7 ± 1,7 ^b
Teor de Carotenoides Totais (mg/100g b.s.)	17,98 ± 0,58 ^a	10,28 ± 0,42 ^b	9,54 ± 0,08 ^b
Teor de β-Caroteno (mg/100g b.s.)	6,13 ± 0,16 ^a	5,75 ± 0,11 ^{ab}	5,28 ± 0,18 ^b
Teor de Fenólicos Totais (mg/100g b.s.)	3073,76 ± 64,07 ^a	3292,17 ± 60,35 ^b	3133,38 ± 80,11 ^a
Capacidade Antioxidante ABTS (μmol TE/g b.s.)	349,28 ± 53,75 ^{ab}	318,16 ± 29,35 ^a	400,94 ± 4,76 ^b
Capacidade Antioxidante DPPH (μmol TE/g b.s.)	337,32 ± 7,33 ^a	349,83 ± 17,44 ^a	333,51 ± 7,97 ^a
Cor Instrumental			
L*	55,29 ± 3,45 ^a	64,94 ± 0,91 ^b	68,36 ± 0,76 ^c
a*	9,19 ± 5,54 ^a	2,39 ± 0,28 ^b	2,45 ± 0,20 ^b
b*	39,67 ± 5,74 ^a	47,40 ± 1,33 ^b	50,64 ± 1,08 ^b
Croma	41,14 ± 5,25 ^a	47,46 ± 1,34 ^b	50,70 ± 1,08 ^b
Hue	76,92 ± 8,84 ^a	87,12 ± 0,30 ^b	87,23 ± 0,18 ^b

Letras diferentes, na mesma linha, indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$), de acordo com o teste de Tukey; TE = Trolox equivalente.

Observa-se que os flocos de casca de manga obtidos com aditivos apresentaram um teor de umidade significativamente ($p \leq 0,05$) menor do que os flocos sem aditivos. Da mesma forma, os valores de atividade de água dos flocos apresentaram diferença significativa ($p \leq 0,05$), e o resultado menor foi obtido para o produto com aditivos. Em comparação às cascas de manga, ambos os flocos apresentaram uma redução significativa ($p \leq 0,05$) do teor de umidade e da atividade

de água, de 99% e 79% nos flocos com aditivos e 98% e 73% nos flocos sem aditivos, respectivamente. As reduções observadas indicam uma boa eficiência de secagem, para ambos os processos. Troiani (2020) relatou resultados similares para flocos de casca de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (5% b.s.) nas mesmas condições de processos: teor de umidade de 0,76% e atividade de água de 0,209. Yamato (2018) reportou, para flocos de polpa de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (3% b.s.), teor de umidade de 1,73% e atividade de água de 0,254.

Quanto aos teores de vitamina C, carotenoides totais e β -caroteno observa-se que não houve diferença significativa ($p>0,05$) entre os valores médios determinados para os produtos obtidos sem e com aditivos. O resultado indica que tais propriedades não sofrem influência da presença dos aditivos na secagem. Contudo, observou-se uma perda expressiva da vitamina C ($p\leq 0,05$) de aproximadamente 60% em ambos os flocos na comparação com as cascas. O resultado pode estar relacionado à alta sensibilidade da vitamina C à temperatura. Também foi observada uma perda significativa ($p\leq 0,05$) de carotenoides totais (em torno de 45%) e de β -caroteno (entre 6% e 14%), em ambos os flocos, em relação as cascas de manga. Da mesma forma, o resultado pode estar relacionado à sensibilidade dos compostos à temperatura. Troiani (2020) reportou resultados semelhantes para flocos de casca de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (5% b.s.), com teor de vitamina C de 80,90 mg/ 100 g e reportou valores superiores para os teores de carotenoides totais e β -caroteno de 19,16 mg/ 100 g e 7,52 mg/ 100 g, respectivamente. Já Yamato (2018) relatou, para flocos de polpa de manga, obtidos por *drum drying* com amido regular (3% b.s.) valores inferiores para o teor de vitamina C, de 21,81 mg/ 100 g, e valores superiores para os teores de carotenoides totais e β -caroteno de 13,66 mg/ 100 g e 6,11 mg/ 100 g, respectivamente.

Quanto à capacidade antioxidante, não foi observada diferença significativa ($p>0,05$) na análise pelo método DPPH entre os flocos e as cascas de manga. Contudo, na análise feita pelo método ABTS, os resultados mostraram diferença significativa ($p\leq 0,05$) entre as formulações, com valor superior para os flocos com aditivos. A diferença entre os resultados obtidos com as duas metodologias pode estar relacionada aos diferentes radicais empregados, bem como aos seus mecanismos de reação (SUCUPIRA et al., 2012). Troiani (2020) reportou valores de capacidade antioxidante da mesma ordem de grandeza para flocos de casca de

manga obtidos por *drum drying* com amido regular (5% b.s.): 340,44 $\mu\text{mol TE/ g}$ por DPPH e 343,89 $\mu\text{mol TE/ g}$ por ABTS. Yamato (2018) reportou valores inferiores de capacidade antioxidante para flocos de polpa de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (3% b.s.), de 32,22 $\mu\text{mol TE/ g}$ por DPPH e de 42,57 $\mu\text{mol TE/ g}$ por ABTS.

Os teores de fenólicos totais dos produtos apresentaram diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre si. Os flocos com aditivos e as cascas não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$). Os flocos sem aditivos apresentaram os maiores teores de compostos fenólicos. O aumento dos teores de compostos fenólicos observado no processo pode estar relacionado à disponibilização de precursores de moléculas fenólicas por interconversão não enzimática (QUE et al., 2008). Yamato (2018) reportou valores inferiores para o teor de fenólicos totais em flocos de polpa de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (3% b.s.), de 406,62 mg/ 100 g, enquanto Troiani (2020) relatou valores de 3082,82 mg/ 100 g para flocos de casca de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (5% b.s.). Nunes (2019) relatou teor de fenólicos totais de 2697,59 mg/ 100 g para flocos de jabuticaba obtidos por *drum drying* com amido regular (20% b.s.).

Quanto à cor instrumental, observa-se que houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) do parâmetro L^* entre as cascas de manga, flocos sem aditivos e flocos com aditivos, em ordem crescente de valor. O “clareamento” observado no processo pode estar relacionado à reflexão da luz pelas partículas irregulares sólidas em pós ou flocos (TONIN et al., 2018). Além disso, a presença de amido de milho regular nos flocos com aditivos pode promover uma tendência para a cor branca (CAPARINO et al., 2012). Para os parâmetros a^* , b^* , Croma e Hue, foi possível observar que houve diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre as cascas e ambos os flocos. Contudo, não houve diferença significativa ($p > 0,05$) desses parâmetros entre os diferentes produtos. Os valores maiores do parâmetro b^* nos flocos pode ser devido à concentração dos pigmentos no processo de secagem, com a retirada da água. O comportamento também foi observado por GERMER et al. (2018) e Yamato (2018) na comparação entre polpa de manga original e polpa desidratada por *drum drying*. O maior valor do parâmetro b^* observado para os flocos com aditivos pode ser devido, também, à proteção conferida pelos aditivos aos pigmentos durante a secagem (TONIN et al., 2018). O Croma, parâmetro que indica a intensidade da cor, apresentou uma mesma

tendência do parâmetro b^* , indicando a influência desse componente (amarelo) na cor do produto. O parâmetro Hue (ângulo de tom) apresentou um aumento significativo ($p \leq 0,05$) em relação as cascas de manga, indicando também a influência de b^* . A redução significativa ($p \leq 0,05$) do parâmetro a^* nos flocos, comparado com as cascas de manga, pode estar relacionada à degradação de pigmentos vermelhos no processo de secagem, como alguns carotenoides.

5.2. ISOTERMAS DE SORÇÃO DOS FLOCOS DE CASCA DE MANGA OBTIDOS POR *DRUM DRYING* COM E SEM O USO DE ADITIVOS

A Tabela 4 apresenta os valores experimentais do estudo de isotermas, a 25°C, para os flocos de casca de manga obtidos por *drum drying* com e sem aditivos.

Tabela 4. Umidades de equilíbrio experimentais dos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com e sem aditivos, em função da atividade de água (a_w), a 25°C, em g/g (b.s.).

a_w	Flocos sem Aditivos	Flocos com Aditivos
	$U_{eq_{exp}}$	$U_{eq_{exp}}$
0,1130	0,011 ± 0,006 ^a	0,011 ± 0,001 ^a
0,2251	0,031 ± 0,001 ^a	0,029 ± 0,002 ^a
0,3278	0,049 ± 0,001 ^a	0,046 ± 0,002 ^b
0,4316	0,073 ± 0,003 ^a	0,071 ± 0,001 ^a
0,5289	0,0103 ± 0,004 ^a	0,0103 ± 0,000 ^a
0,6886	0,179 ± 0,002 ^a	0,162 ± 0,010 ^b
0,7529	0,232 ± 0,001 ^a	0,216 ± 0,004 ^b
0,8434	0,350 ± 0,015 ^a	0,322 ± 0,011 ^a

$U_{eq_{exp}}$ = umidade de equilíbrio experimental (g água/ g sólidos secos).

Letras diferentes, na mesma linha, indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$), de acordo com o teste de Tukey.

Observa-se que com o aumento da atividade de água houve um aumento na umidade de equilíbrio. Tal comportamento também foi reportado por outros autores como Nunes et al. (2020) para flocos de jabuticaba obtidos por *drum drying* com fécula mandioca (20% b.s.) e Yamato et al. (2019) para flocos de polpa de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (3% b.s.). Ferrari et al. (2021) descreveram o mesmo comportamento para casca de manga em pó obtido por secagem em secador de bandejas, resultando em teor de umidade superior a 0,35 g/g (b.s.) para $a_w = 0,84$. Observa-se na Tabela 4, que no equilíbrio, na mesma atividade de água, os flocos

sem aditivos absorveram uma quantidade maior de água, indicando um comportamento mais higroscópico do que dos flocos com aditivos.

As Figuras 14 e 15 apresentam as fotos dos produtos obtidos sem e com aditivos, respectivamente, para cada atividade de água, no tempo inicial e no equilíbrio, atingido em 46 dias.

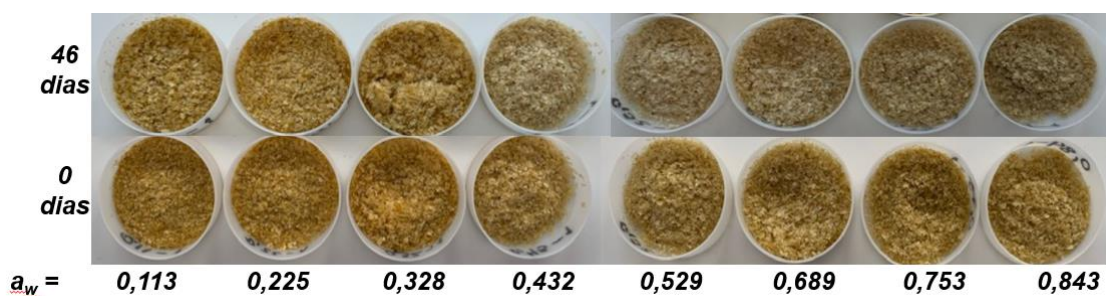


Figura 14. Flocos de casca de manga sem aditivos obtidos por *drum drying*, no tempo inicial e no equilíbrio (46 dias), em diferentes condições de atividade de água (a_w), a 25°C.

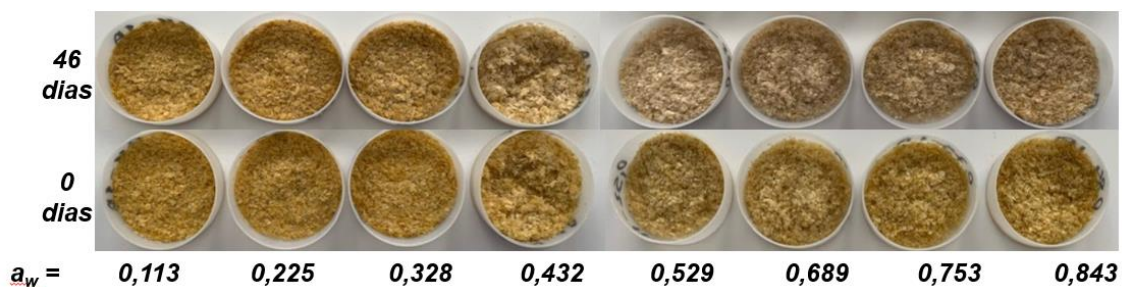


Figura 15. Flocos de casca de manga com aditivos obtidos por *drum drying*, no tempo inicial e no equilíbrio (46 dias), em diferentes condições de atividade de água (a_w), a 25°C.

Observa-se que para ambos os produtos houve perda da coloração amarela com o aumento da atividade de água no equilíbrio. O comportamento pode estar relacionado à degradação dos carotenoides. A perda de cor foi visualmente notável na a_w de 0,432 para o produto sem aditivos e na a_w de 0,529 para o produto com aditivos. O aumento da atividade de água promove um aumento da mobilidade molecular e, conseqüentemente, as velocidade das reações de degradação (LEITE et al., 2005).

Para ambos os produtos, observou-se uma tendencia inicial de aglomeração na $a_w=0,432$, porém os flocos ainda se apresentavam soltos quando as cápsulas eram levemente agitadas. A aglomeração passa a ser perceptível, de forma crescente, a partir de a_w de 0,689, incluindo a mesma, em ambos os produtos, e mais acentuadamente nos flocos sem aditivos.

A aglomeração é uma das fases do fenômeno denominado *caking*. O comportamento pode ocorrer ao longo do tempo de armazenamento em produtos higroscópicos devido ao umedecimento das superfícies, causando perda de qualidade. O ganho da umidade pode ser devido aos seguintes efeitos: equilíbrio da umidade, ou pelo resfriamento; recristalização e solubilização das superfícies dos cristais de açúcares; atração eletrostática entre as partículas (AGUILERA et al., 1995). Durante o processo de *caking*, o produto seco passa por etapas de transformações físicas. Inicialmente, os produtos, com baixa umidade, estão soltos e com alta fluidez. Com o aumento de umidade, há redução da fluidez, favorecendo a formação de pontes entre as partículas, devido ao aumento da mobilidade dos reagentes. Essa é ainda uma etapa reversível do processo. Em seguida, na etapa de aglomeração, ocorre a consolidação irreversível das pontes, apesar da integridade estrutural ser mantida. Já na etapa de compactação, ocorre a perda dessa integridade estrutural. E, como etapa final, há a liquefação, onde o produto se torna mais pegajoso e propício ao crescimento microbológico (TONON, 2009). A Figura 16 apresenta um esquema típico das etapas do fenômeno *caking*.

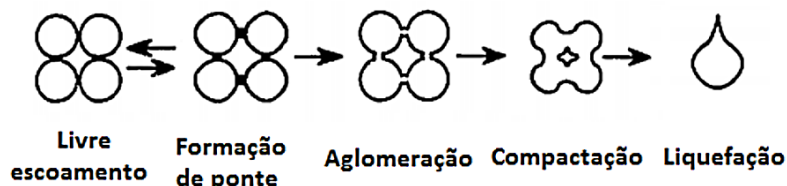


Figura 16. Esquema típico das etapas do processo de *caking*. Fonte: AGUILERA et al. (1995).

Esse comportamento de aglomeração crescente com o aumento da atividade de água também foi reportado por Nunes et al. (2020) e Ferrari et al. (2021) para flocos de jabuticaba obtidos por *drum drying* com fécula mandioca (20% b.s.) e para casca de manga em pó obtida por secagem em secador de bandejas, respectivamente. Os autores reportaram, inclusive, crescimento microbiano na a_w de 0,84. Yamato et al. (2019) reportaram um produto escuro, melado e com bolor a partir da a_w de 0,75 para flocos de polpa de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (3% b.s.).

Levando-se em conta as transformações observadas ao longo do levantamento das isotermas, as atividades de água de 0,432 e 0,328 podem ser consideradas as condições críticas de armazenamento para os produtos com e sem aditivos, respectivamente, na temperatura de 25°C. Pode-se afirmar, também, que os flocos de casca de manga obtidos com aditivos demonstraram um comportamento ligeiramente

mais estável em comparação ao produto sem aditivos com o aumento da umidade relativa.

Os valores experimentais das isotermas de sorção da Tabela 4 foram ajustados pelos modelos matemáticos de isotermas de sorção descritos na Tabela 1 do item 3.3.1.1, e os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Parâmetros obtidos pelos modelos de GAB, BET, Halsey, Oswin e Henderson nos ajustes das isotermas de sorção dos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com e sem aditivos, na condição de temperatura de 25°C.

Modelo Matemático	Coadjuvante	Parâmetros			R ²	P (%)	SE (%)
		X _m	C	K			
GAB	Sem aditivos	0,0954	1,2851	0,9211	0,9999	3,40	0,0011
	Com aditivos	0,0826	1,5284	0,9282	0,9991	6,10	0,0031
BET	Sem aditivos	36,3570	0,0014	4,1715	0,9930	16,07	0,0105
	Com aditivos	11,3631	0,0045	3,9897	0,990	16,08	0,0110
Halsey	Sem aditivos	a		b	0,9908	30,72	0,0113
	Com aditivos	0,0600		1,020	0,9901	34,28	0,0164
Oswin	Sem aditivos	a		b	0,9986	11,88	0,0046
	Com aditivos	0,0932		0,7934	0,9980	16,66	0,0134
Henderson	Sem aditivos	a		b	*	*	*
	Com aditivos	*		*	*	*	*

U_{eq} = umidade de equilíbrio (g água/g sólidos secos); X_m = umidade na monocamada molecular (g água/g sólidos secos); n = número de camadas moleculares; C, K, a, b = constantes.

*Modelo não converge.

Com exceção do modelo de Henderson que não convergiu, os demais modelos apresentaram coeficientes de determinação (R²) superior a 0,9, com destaque para GAB, com coeficiente de determinação de 0,999 para ambos os produtos. A melhor representatividade do modelo pode ser avaliada considerando o menor P (LABUZA et al., 1985a) e, segundo Aguerre et al. (1989), bons ajustes são considerados quando P apresenta valores inferiores a 10%. Portanto, apesar dos outros modelos terem resultado em um R² superior a 0,9, seus valores de P foram superiores a 10%.

Além disso, observam-se valores de monocamada incoerentes para o modelo de BET em ambos os flocos, com umidades maiores que 100%. Portanto, o modelo

GAB pode ser considerado o de melhor ajuste para os flocos de casca de manga, com e sem aditivos, com R^2 superior a 0,999, P inferior a 10% e com um erro médio estimado (SE) inferior a 0,003. De acordo com Marrón et al. (2010), o modelo de GAB é o mais utilizado para alimentos com altos teores de açúcares. Outros autores reportaram modelo de GAB como de melhor ajuste para produtos de frutas, tais como Bezerra et al. (2010) para polpa de manga em pó obtida por secagem em secador a vácuo, Yamato et al. (2019) para flocos de polpa de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (3% b.s.) e Nunes et al. (2020) para flocos de jabuticaba obtidos por *drum drying* com fécula mandioca (20% b.s.). Ferrari et al. (2021) também reportaram melhor ajuste para o modelo de GAB para casca de manga em pó obtida por secagem em secador de bandejas.

Na Figura 17 estão representados os resultados experimentais das isotermas de sorção dos flocos de casca de manga com e sem aditivos e as curvas dos modelos de GAB ajustados.

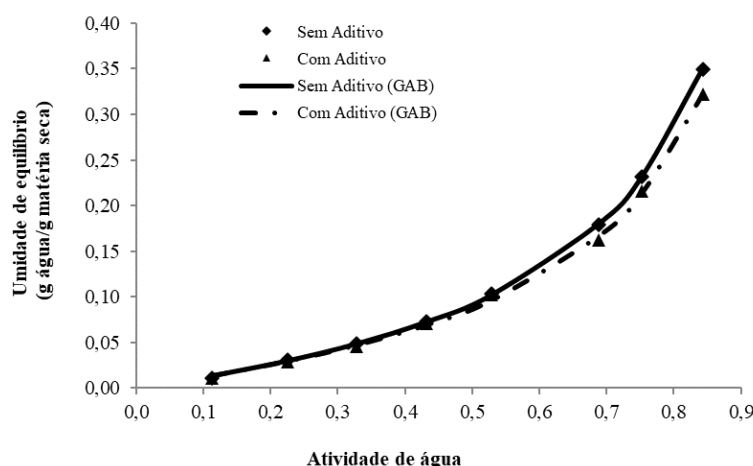


Figura 17. Isotermas de sorção dos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com e sem aditivos, a 25°C (dados experimentais e modelos de GAB obtidos).

Na Figura 17, para ambos os flocos, observa-se um contínuo aumento da absorção de água com o aumento da atividade de água. Observa-se, também, que os valores experimentais estão muito próximos aos modelos obtidos. De acordo com a classificação de BET (BRUNAUER et al., 1938), as curvas das isotermas obtidas no presente estudo podem ser classificadas como do tipo III, que é o tipo de curva característica para alimentos ricos em açúcares (LABUZA & ALTUNAKAR, 2007). Ainda segundo Brunauer (1943), o modelo de GAB pode ser classificado em função dos parâmetros K e C, sendo do tipo II quando $0 < K \leq 1$ e $C > 2$ e do tipo III quando

$0 < K \leq 1$ e $0 \leq C \leq 2$. Assim, por essa classificação, as curvas de isoterma obtidas para os flocos de casca de manga, obtidos por *drum drying*, também seriam do tipo III. Esse mesmo perfil de curva foi reportado por outros autores: Ferrari et al. (2021) para casca de manga em pó obtido por secagem em secador de bandejas; Nunes et al. (2020) para flocos de jabuticaba obtidos por *drum drying* com fécula mandioca (20% b.s.); Yamato et al. (2019) para flocos de polpa de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (3% b.s.); e Caparino et al. (2013) para manga em pó obtido por *Refractance Window*.

O modelo de GAB é baseado no conceito de umidade da monocamada, que, por sua vez, é uma indicação de teor de umidade ideal para a conservação de alimentos desidratados (ZOTARELLI et al., 2017). A umidade da monocamada (X_m), expressa em g água/ g matéria seca, representa a quantidade de água fortemente ligada à matriz sólida do alimento. Assim, teores de umidade inferiores ao da umidade da monocamada tendem a conferir maior estabilidade ao produto no armazenamento.

Observa-se que a umidade de monocamada (X_m) dos flocos sem aditivos (0,0954 g água/ g matéria seca) foi superior ao valor obtido para os flocos com aditivos (0,0826 g água/ g matéria seca), indicando um comportamento mais higroscópico do primeiro produto.

Valores próximos a esse foram reportados por Caparino et al. (2013) com X_m de 0,078 g água/ g matéria seca para manga em pó obtida por *Refractance Window*. Castoldi et al. (2015) relataram valores de monocamada de 0,09 g água/g matéria seca para tomate em pó obtido por *Refractance Window*. Já Yamato et al. (2019) reportaram valores de X_m de 0,064 g água/ g de matéria seca para flocos de polpa de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (3% b.s.), enquanto Nunes et al. (2020) reportaram valor de 0,127 g água/ g de matéria seca para flocos de jabuticaba obtidos por *drum drying* com fécula mandioca (20% b.s.). Ferrari et al. (2021) reportaram, para casca de manga em pó obtido por secagem em secador de bandejas, o valor de monocamada de 0,126 g água/ g de matéria seca. As diferenças podem estar relacionadas à diferenças no processo de secagem, bem como de características da matéria-prima, tais como variedade, origem, lote e grau de maturidade.

5.3. VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO VÍTEA (T_g) DOS FLOCOS DE CASCA DE MANGA COM A ATIVIDADE DE ÁGUA

A Tabela 6 apresenta as temperaturas de transição vítrea médias determinadas para os flocos de casca de manga com e sem aditivos no equilíbrio a 25°C, para as diferentes atividades de água.

Tabela 6. Valores médios da temperatura de transição vítrea (T_g) experimentais dos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com e sem aditivos, em equilíbrio nas diferentes atividades de água (a_w).

a_w	Flocos sem Aditivos	Flocos com Aditivos
	$T_g(^{\circ}\text{C})$	$T_g(^{\circ}\text{C})$
0,1130	27,33 \pm 0,16 ^a	28,08 \pm 0,86 ^a
0,2251	17,32 \pm 0,39 ^a	19,01 \pm 0,19 ^b
0,3278	2,87 \pm 0,01 ^a	7,42 \pm 0,24 ^b
0,4316	-2,32 \pm 0,01 ^a	-2,15 \pm 0,07 ^b
0,5289	-11,45 \pm 0,09 ^a	-10,01 \pm 0,01 ^b
0,6886	-30,23 \pm 0,02 ^a	-21,15 \pm 0,57 ^b
0,7529	-35,80 \pm 0,01 ^a	-35,78 \pm 0,21 ^a
0,8434	-73,36 \pm 1,85 ^a	-62,94 \pm 1,76 ^b

Letras diferentes, na mesma linha, indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$), de acordo com o teste de Tukey.

Observa-se que a temperatura de transição vítrea (T_g) diminuiu com o aumento da atividade de água, evidenciando o efeito plasticizante da água. Tal comportamento também foi observado pelos seguintes autores: Ferrari et al. (2021) para casca de manga em pó obtido por secagem em secador de bandejas; González et al. (2020) para caqui liofilizado; Nunes (2019) para flocos de jabuticaba obtidos por *drum drying* com fécula mandioca (20% b.s.); Islam et al. (2016) para suco de laranja em pó obtido por *spray drying* com maltodextrina (50% b.s.); e Tonon et al. (2009) para pó de açaí obtido por *spray drying* com maltodextrina (10%, 20% e 30% b.s.).

Observa-se na Tabela 6 que o produto obtido com aditivos apresentou, na mesma atividade de água, em comparação ao produto obtido sem aditivos, valores superiores de T_g . Esse comportamento indica que a presença dos aditivos contribuiu para a obtenção de produtos mais estáveis. Os valores de T_g obtidos no presente estudo são superiores aos reportados por Nunes (2019) para flocos de jabuticaba obtidos por *drum drying* com fécula mandioca (20% b.s.), com valores de T_g entre 17 e -59°C para a_w entre 0,11 a 0,75. Contudo, os valores do presente estudo são

inferiores aos reportados por Islam et al. (2016), que relataram para suco de laranja em pó obtido por *spray drying* com maltodextrina (50% b.s.), T_g entre 61°C a -2°C para a_w de 0,11 a 0,75. As diferenças nos valores de T_g podem estar relacionadas aos vários fatores, dentre esses, ao uso ou não de aditivos, ao tipo e ao teor de aditivos empregado, ao tipo de processo de secagem, e à composição do produto, em particular, aos teores de açúcares redutores. De acordo com Ferrari et al. (2021), o teor de açúcares redutores da casca da variedade Palmer é de aproximadamente 15 g/100 g b.s., correspondendo a 35% do total de açúcar, fator que contribui para a redução da T_g , uma vez que são compostos de baixo peso molecular.

Os valores experimentais das temperaturas de transição vítrea dos flocos de casca de manga, obtidos com e sem aditivos, foram ajustados pelo modelo de Gordon-Taylor (GORDON & TAYLOR, 1952), conforme apresentado no item 4.2.2, resultando nos parâmetros da Tabela 7.

Tabela 7. Parâmetros de ajuste do modelo Gordon-Taylor para flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com e sem aditivos.

Produto	Parâmetros		R ²	P(%)
	T _{gs} (°C)	K _{GT}		
Flocos sem aditivos	27,65	2,56	0,982	1,39
Flocos com aditivos	27,86	2,41	0,988	1,04

O coeficiente de determinação (R^2) superior a 0,98, bem como o desvio médio relativo (P%) inferior a 10%, indicam um bom ajuste do modelo de Gordon-Taylor aos resultados experimentais, para ambos os produtos. De acordo com Gordon & Taylor (1952), em um sistema binário água-sólidos, o parâmetro K_{GT} está relacionado ao grau de curvatura da variação da T_g em relação ao teor de água, o qual pode ser associado às forças de interação entre os componentes deste sistema. Assim, valores de K_{GT} menores indicam uma baixa interação do componente sólido com as moléculas da água. Os valores do parâmetro K_{GT} obtidos no presente estudo são similares ao valor reportado por Nunes (2019) para flocos de jabuticaba obtidos por *drum drying* com fécula mandioca (20% b.s.), de 2,61. Contudo, outros autores relataram valores de K_{GT} superiores: 3,88 segundo Ferrari et al. (2021) para casca de manga em pó obtido por secagem em secador de bandejas; 4,63 segundo Gonzáles et al. (2020) para caqui liofilizado; e 4,48 segundo Zhao et al. (2015) para manga liofilizada.

As Figuras 18 e 19 apresentam os dados experimentais ajustados pelo modelo de Gordon-Taylor e o efeito da concentração de sólidos na T_g dos flocos de casca de manga obtidos sem e com aditivos, respectivamente.

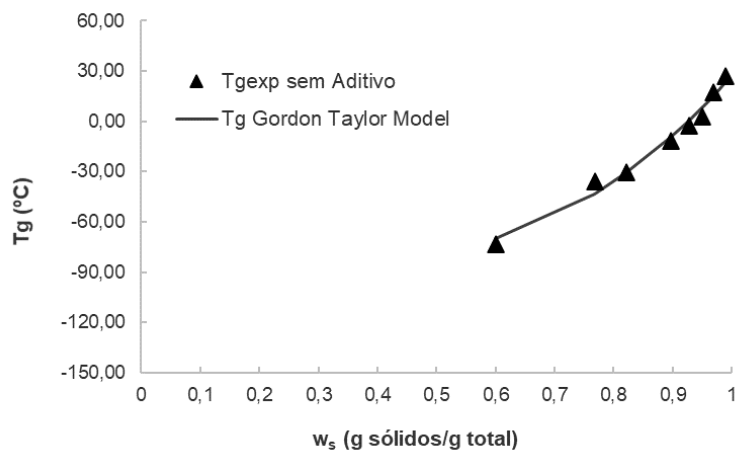


Figura 18. Efeito da fração de sólidos (w_s) na temperatura de transição vítrea (T_g) de flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, sem aditivos.

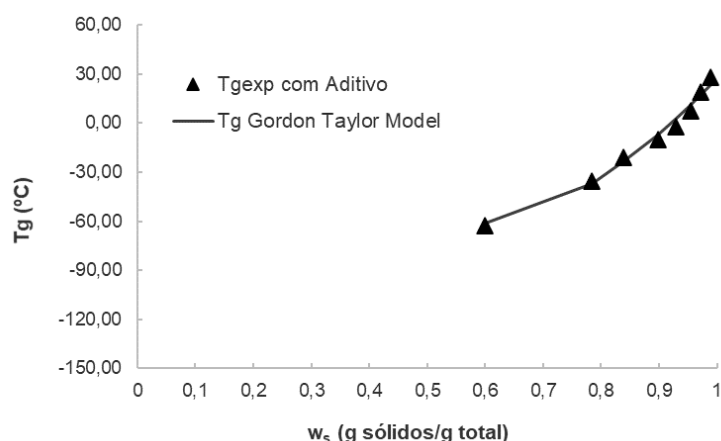


Figura 19. Efeito da fração de sólidos (w_s) na temperatura de transição vítrea (T_g) de flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com aditivos.

Observa-se um aumento da T_g com o aumento da fração de sólidos, em ambos os produtos. Dos modelos ajustados de Gordon-Taylor foram obtidos os valores de T_g do sólido puro (T_{gs}), ou seja, a T_g quando o teor de sólidos é máximo, de 1 g sólidos/g: 27,65°C para flocos sem aditivos e 27,86°C para flocos com aditivos (Tabela 7). Valor inferior de T_{gs} foi reportado por Nunes (2019) para flocos de jabuticaba obtidos por *drum drying* com fécula mandioca (20% b.s.), de 21°C. Contudo outros trabalhos apresentaram valores superiores, tais como no estudo de casca de manga em pó obtido por secagem em secador de bandejas, no qual Ferrari et al. (2021) reportaram uma T_{gs} de 50,18°C, e no estudo com bagaço de mirtilo liofilizado, onde Tao et al.

(2018) reportaram T_{gs} de 74,6°C. A diferença entre o resultado reportado por Ferrari et al. (2021) e o presente estudo, pode estar relacionadas à diferenças no processo de secagem, bem como de características da matéria-prima, tais como variedade, origem, lote e grau de maturidade.

As Figuras 20 e 21 apresentam a combinação das isotermas de sorção obtidas anteriormente com os modelos ajustados por Gordon-Taylor para os produtos sem e com aditivos, respectivamente. Esses diagramas podem ser adotados para a determinação da condição crítica de armazenamento, conforme reportado por outros autores como Vasquez et al., 2013, Fabra et al., 2009 e Moraga et al., 2006. De acordo com Tonon et al. (2009), o teor de umidade e a atividade de água críticas seriam aquelas na qual a T_g é igual a temperatura ambiente (25°C). As setas indicam esquematicamente os valores nas Figuras 20 e 21. Em temperaturas superiores a T_g , o produto estaria no estado gomoso, e sujeito a alterações físicas que comprometeriam sua qualidade, tais como aglomeração, pegajosidade e colapso.

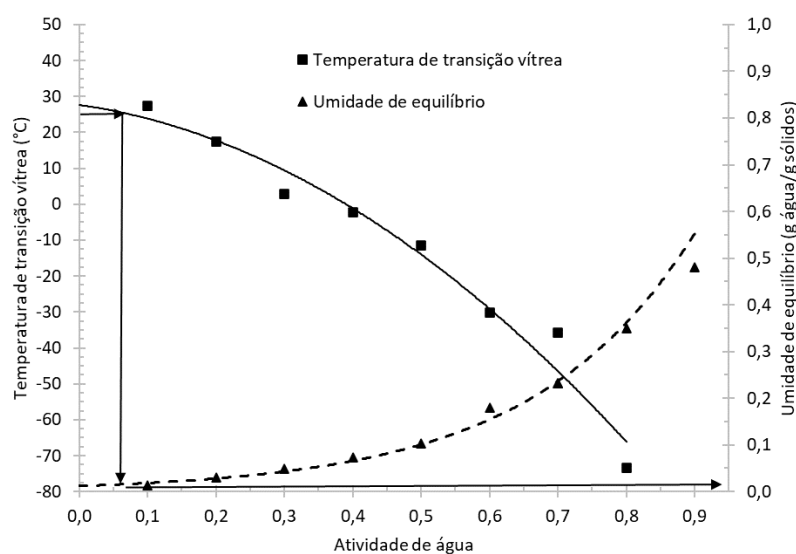


Figura 20. Variação da temperatura de transição vítrea e da umidade de equilíbrio, em função da atividade de água (a_w) para os flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, sem aditivos.

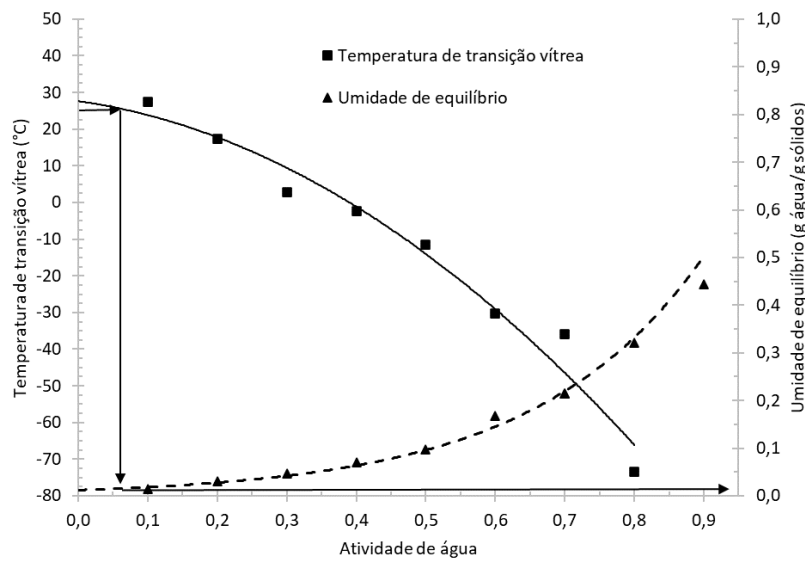


Figura 21. Variação da temperatura de transição vítrea e da umidade de equilíbrio, em função da atividade de água (a_w) para os flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com aditivos.

Os valores de a_w e de teor de umidade críticos para os flocos com e sem aditivos, considerando-se a temperatura ambiente de 25°C, foram calculados através dos modelos obtidos de GAB e de Gordon-Taylor, e estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Valores críticos de atividade de água (a_{wc}) e umidade (X_c) para os flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com e sem aditivos, na temperatura de 25°C.

Produto	a_{wc}	X_c (g/g b.s.)
Flocos sem aditivos	0,055	0,006
Flocos com aditivos	0,061	0,007

Observa-se, segundo os resultados, que os flocos com aditivos apresentaram valores de atividade de água e de teor de umidade críticos superiores em comparação à formulação sem aditivos. O comportamento confirma uma maior estabilidade desse produto em relação ao outro, conforme observado anteriormente no levantamento das isotermas. Segundo os resultados da Tabela 8, na temperatura de 25°C, para estarem no estado vítreo, os flocos com aditivos devem ter no máximo a atividade de água de 0,061, equivalente ao teor de umidade de 0,7%. No caso do produto sem aditivos, a condição crítica seria menor: atividade de água máxima de 0,055 e teor de umidade de 0,6%. Quando em condições superiores a esses valores críticos, os flocos estariam no estado gomoso, ou borrachento, e sujeitos às transformações físicas citadas anteriormente. Moraga et al. (2006) reportaram, para kiwi liofilizado, valores de

atividade de água e umidade críticas similares, de 0,034 e 1,4%, respectivamente. Moraga et al. (2004) reportaram valores superiores para morango liofilizado com a_{wc} de 0,110 e teor de umidade crítico de 2,0% a 4,0%. Valores superiores também foram reportados para suco de açaí obtido por *spray drying* com a_{wc} 0,574, 0,535, 0,571 e 0,554 e teor de umidade de 8,6%, 8,3%, 10,0% e 6,1% considerando-se os seguintes aditivos (teores de 6% da massa inicial), respectivamente: maltodextrina 10DE, maltodextrina 20DE, goma arábica, fécula de mandioca (TONON, 2009). As diferenças entre os valores podem estar relacionadas ao maior teor de açúcares e de ácidos orgânicos das diferentes frutas, bem como ao uso ou não e o tipo de aditivos de processo.

Algumas considerações podem ser feitas quanto as condições críticas de armazenamento determinadas por essa análise, e aquelas estabelecidas anteriormente com base nas observações realizadas no levantamento das isotermas (item 5.2). De acordo com os resultados da Tabela 8, em todas as condições de equilíbrio das isotermas de sorção a 25°C (Tabela 4), os produtos estariam no estado não vítreo, e, portanto, sujeitos a alterações físicas. Reportou-se, na análise das isotermas, que se observou uma ligeira aglomeração, em ambos os produtos, na a_w de 0,432. No entanto, essa alteração era inicial, tornando-se crítica em a_w superiores a 0,688. Nesse sentido, com base na alteração de cor, estabeleceu-se os valores de a_w críticos de 0,328 e 0,432 para os produtos sem e com aditivos, respectivamente. De acordo com a Tabela 4, os teores de umidade correspondentes a esses valores de a_w no equilíbrio foram de 0,0492 g/g b.s e 0,0706 g/g b.s., respectivamente. Portanto, experimentalmente, a percepção do início das alterações físicas no levantamento das isotermas ocorreu em valores de a_w e teor de umidade muito superiores aos valores críticos calculados pela combinação dos modelos de Gordon-Taylor e GAB (Tabela 8).

Segundo Truong et al. (2005), a pegajosidade em produtos desidratados em pó pode ocorrer em temperaturas de até 23°C superiores à temperatura de transição vítrea (T_g), condição denominada de “*sticky-point temperature*”, ou temperatura de ponto pegajoso. Empregando esse conceito, o produto sem aditivos, quando tivesse uma a_w de 0,3278, poderia iniciar uma transformação física na temperatura de 26°C, de acordo com a Tabela 6. Por sua vez, para o produto com aditivos, na mesma a_w , as mudanças físicas poderiam ocorrer quando armazenado a 30°C. De fato, no estudo

das isotermas, realizado a 25°C, não se observou aglomerações em ambos os produtos na a_w de 0,3278. Por sua vez, na a_w de 0,4316, para ambos os produtos, as alterações poderiam ocorrer em temperatura menor, de 21°C. De fato, no estudo das isotermas, realizado a 25°C, os primeiros sinais de aglomeração foram efetivamente observados na a_w de 0,4316. Portanto, as transformações físicas observadas visualmente durante o levantamento das isotermas dos produtos estão de acordo com o conceito do “*sticky-point temperature*”, preconizado por Truong et al. (2005). Por outro lado, os modelos obtidos de Gordon-Taylor ajudaram no melhor entendimento do efeito plasticizante da água sobre a transição vítrea dos produtos, e em associação aos modelos de GAB obtidos, permitiram a determinação das condições nas quais os flocos de casca de manga estariam no estado vítreo durante o armazenamento à temperatura ambiente (25°C).

De acordo com os resultados, os flocos de casca de manga obtidos por *drum drying* empregando aditivos (5% de amido e 1% de MSG, base seca) se apresentaram mais estáveis nas duas primeiras etapas do trabalho, e foram selecionados para o estudo do armazenamento em diferentes temperaturas.

5.4. ESTABILIDADE DOS FLOCOS DE CASCA DE MANGA COM ADITIVOS NO ARMAZENAMENTO CONTROLADO EM DIFERENTES TEMPERATURAS

5.4.1. VARIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE E DA ATIVIDADE DE ÁGUA NO ARMAZENAMENTO CONTROLADO

Os resultados médios de teor de umidade e da atividade de água dos flocos de casca de manga com aditivos, obtidos por *drum drying*, avaliados no início, meio e final do período do armazenamento controlado, nas temperaturas de 20, 25 e 35°C, estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Valores médios de teor de umidade e atividade de água (a_w) dos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com aditivos, no início, no meio e no final do armazenamento nas diferentes temperaturas.

Período	T (°C)	Teor Umidade (%)	Atividade de água (a_w)
Inicial	-	1,27 ± 0,02 ^d	0,219 ± 0,002 ^e
	20	2,69 ± 0,08 ^a	0,288 ± 0,008 ^{bc}
Meio	25	1,66 ± 0,09 ^c	0,284 ± 0,008 ^{ab}
	35	1,92 ± 0,05 ^b	0,290 ± 0,011 ^a
Final	20	1,69 ± 0,04 ^c	0,283 ± 0,002 ^{bc}
	25	1,81 ± 0,02 ^{bc}	0,275 ± 0,005 ^c
	35	2,59 ± 0,03 ^a	0,247 ± 0,008 ^d

Letras diferentes, na mesma coluna, indicam diferença significativa a $p \leq 0,05$, de acordo com teste de Tukey.

No tempo inicial, observa-se que o produto obtido apresentou teor de umidade baixo de 1,3%. O valor é inferior ao reportado por Yamato et al. (2019) para flocos de polpa de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (3% b.s.), de 1,73%. O valor também é inferior ao determinado por Nunes et al. (2020), para flocos de jabuticaba com amido regular (20% b.s.), obtido pelo mesmo processo, de 2,11%. Por sua vez, Ferrari et al. (2021) obtiveram valor de 4,26% para casca de manga em pó obtido por secagem em secador de bandejas.

Observa-se aumento do teor de umidade ao longo do tempo para todas as temperaturas, na faixa de 33% a 104%. O sistema de embalagem empregado no estudo é de alta barreira ao vapor de água (YAMAMOTO et al., 2011), portanto, o ganho de umidade observado pode estar relacionado à falhas no fechamento da embalagem, selada termicamente.

A atividade de água dos flocos de casca de manga com aditivos no tempo inicial é inferior ao reportado em outros estudos. Yamato et al. (2019) reportaram, para flocos de polpa de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (3% b.s.), a_w de 0,260. Ferrari et al. (2021) relataram, para casca de manga em pó obtido por secagem em secador de bandejas, a_w de 0,358.

Observa-se um aumento na atividade de água entre o início e final dos períodos para todas as temperaturas, na faixa de 13% a 29%, apresentando diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre os valores. Yamato et al. (2019) relataram aumento na atividade de água para flocos de polpa de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (3% b.s.) no armazenamento controlado a 25°C e 35°C na faixa de 11% a

16%, reportando valores de atividade de água finais de 0,296 a 25°C e 0,266 a 35°C. Caparino et al. (2017) reportaram aumento da atividade de água de aproximadamente 50% em 6 meses de armazenamento controlado para manga em pó obtida por *Refractance Window* nas temperaturas de 5 e 45°C. Apesar do aumento observado na atividade de água ao longo do armazenamento controlado, os valores finais resultaram inferiores a 0,3, que, segundo Labuza (1968), seria uma faixa segura quanto às principais reações de degradação, favorecendo a estabilidade do produto no armazenamento.

Além disso, destaca-se que o produto, no início do estudo do armazenamento, já se encontrava no estado não vítreo à temperatura ambiente (25°C), uma vez que apresentava atividade de água e teor de umidade (Tabela 9) superiores aos valores da transição vítrea determinados na análise combinada do diagrama de estado e da isoterma de sorção, Tabela 8 ($a_{wc} = 0,061$ e $X_c = 0,7\%$). Contudo, no início do armazenamento, o produto se apresentava em condições inferiores às estabelecidas como críticas na análise da isoterma de sorção, item 5.2 ($a_{wc} = 0,432$ e teor de umidade crítico de 7,0%), permanecendo assim até o final do período do estudo, nas diferentes temperaturas.

5.4.2. CINÉTICA DA DEGRADAÇÃO DA QUALIDADE DOS FLOCOS DE CASCA DE MANGA COM ADITIVOS NO ARMAZENAMENTO CONTROLADO

5.4.2.1. CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO DA VITAMINA C

Os flocos de casca de manga obtidos por *drum drying* com o emprego de aditivos para o presente estudo, apresentaram no tempo inicial a média de teor de vitamina C de $105,56 \pm 1,72$ mg/100g (b.s.). O valor é superior ao encontrado por Yamato et al. (2019) para flocos de polpa de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (3% b.s.) de 22,18 mg/100g e está dentro da faixa de teores de vitamina C reportado por Sogi et al. (2015) de 97 a 225 mg/100g para manga em pó obtido por diferentes tipos de processo de secagem. Ferrari et al. (2021) reportaram valor superior de teor de vitamina C para casca de manga em pó obtido por secagem em secador de bandejas da ordem de 370 mg/100 g (b.s.). A variação entre os valores de vitamina C encontrados neste estudo e reportados por outros autores pode ser atribuída a fatores tais como a variedade do fruto, estágio de maturação, fatores

ambientais da cultura, diferenças entre processos preliminares à secagem e técnicas de secagem empregadas.

A degradação da vitamina C ao longo do armazenamento foi melhor ajustada pelo modelo cinético de primeira ordem, para todas as temperaturas, com coeficientes de determinação (R^2) entre 0,77 e 0,94. Ferrari et al. (2021), Yamato et al. (2019) e Gamboa-Santos et al. (2014) também relataram cinética de primeira ordem para a degradação da vitamina C em casca de manga em pó obtido por secagem em secador de bandejas, em flocos de polpa de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (3% b.s.) e em morangos desidratados obtidos por secagem em secador de bandejas, respectivamente. A Figura 22 apresenta a variação dos teores de vitamina C ao longo do período de armazenamento dos flocos de casca de manga com aditivos, nas diferentes temperaturas, e os modelos cinéticos obtidos.

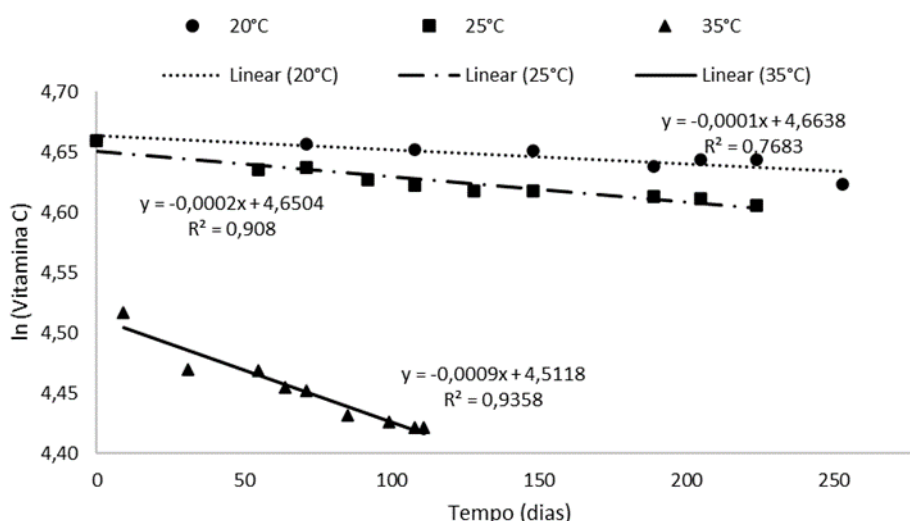


Figura 22. Cinética da degradação da vitamina C (mg/100g) dos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com aditivos, no armazenamento a 20°C, 25°C e 35°C.

Segundo Gregory III (1996) a degradação da vitamina C nos alimentos pode ser desencadeada devido a alguns fatores como luz, atividade de água, disponibilidade de oxigênio, presença de íons metálicos Cu^{2+} e Fe^{3+} , além do fator temperatura e tempo de armazenamento. O aumento da temperatura é um fator que interfere na oxidação e na velocidade de degradação da vitamina C. Breda et al. (2012) relataram que mecanismos aeróbicos e anaeróbicos são responsáveis pela degradação, no qual após consumo do oxigênio remanescente nas embalagens ocorre o predomínio de reações anaeróbicas. Nestas condições, há a decomposição do ácido ascórbico em ácido 2,5-dihidro-2-furanóico, que, por sua vez, se degrada em

dióxido de carbono e furfural. Esse, na forma de aldeído ativo, sofre polimerização e pode combinar com aminoácidos, influenciando no escurecimento do produto.

A Tabela 10 apresenta os parâmetros cinéticos de degradação da vitamina C nas diferentes condições de armazenamento para o modelo de primeira ordem.

Tabela 10. Parâmetros cinéticos da degradação da vitamina C dos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com aditivos, nas diferentes temperaturas de armazenamento.

T (°C)	Ordem	k (dia ⁻¹)	Coef. Linear	R ²	Q ₁₀	t _{1/2} (dias)	E _a (kcal.mol ⁻¹)
20		-0,0001	4,6638	0,7683	-	6930	
25	1 ^a	-0,0002	4,6504	0,908	4,50	3465	26,43
35		-0,0009	4,5118	0,9358		770	

De acordo com a Tabela 10, observa-se um aumento na velocidade de reação (k) com o aumento da temperatura e, conseqüentemente, uma redução no tempo de meia vida no armazenamento. Esse comportamento também foi reportado por Yamato et al. (2019) para flocos de polpa de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (3% b.s.), contudo com velocidade de reação na ordem de grandeza de -0,02 dias⁻¹ e tempo de meia vida em torno de 30 dias. Germer et al. (2014) relataram valores de -0,010 a -0,040 dias⁻¹ para 25 e 35°C, respectivamente, no armazenamento de mamão desidratado por processo combinado de desidratação osmótica e secagem com ar quente. Ferrari et al. (2021) reportaram, para casca de manga em pó obtido por secagem em secador de bandejas, velocidade de reação de -0,0026 dias⁻¹ e tempo de meia vida de 264 dias e -0,0054 dias⁻¹ e 127 dias, nas temperaturas de 25 e 35°C respectivamente. As diferenças observadas entre os valores cinéticos da degradação da vitamina C do presente estudo, em comparação aos reportados por outros autores, podem ser decorrentes de diferenças nos processos empregados, bem como fatores intrínsecos da matéria-prima, tais como variedades utilizadas, regiões de cultivo e estágio de maturação.

O valor de Q₁₀ apresentado na Tabela 10 indica uma alta influência da temperatura na reação de degradação da vitamina C, evidenciando a sensibilidade da mesma à temperatura. Germer et al. (2014) reportaram valores de Q₁₀ entre 3,0 e 3,9 para mamão desidratado por processo combinado de desidratação osmótica e secagem com ar quente e Ferrari et al. (2021) relataram valor de Q₁₀ de 2,0 para casca de manga em pó obtido por secagem em secador de bandejas. No estudo do

armazenamento controlado de acerola *in natura* Yamashita et al. (2003) reportaram Q_{10} de 4,2, indicando a temperatura de armazenamento como um fator importante na influência da taxa de degradação da vitamina C.

De acordo com Moura & Germer (2010), valores menores de E_a indicam uma menor resistência para o início da reação e uma menor dependência da reação com relação à temperatura. Obteve-se uma energia de ativação de 26,43 kcal.mol⁻¹ no presente estudo. Yamashita et al. (2003) relataram E_a de 18,85 kcal.mol⁻¹ para a degradação da vitamina C em acerola *in natura* e de 17,24 kcal.mol⁻¹ em manga *in natura*.

Pelo exposto no presente estudo, pode-se dizer que a reação de degradação da vitamina C em flocos de casca de manga obtidos por *drum drying* com aditivos apresentou uma velocidade de reação muito baixa na temperatura ambiente (25°C), resultando em um tempo de meia vida muito longo, de 9 anos. Essa alta estabilidade da vitamina C pode estar relacionada à composição do produto, rica em fibras, que possivelmente exerça uma proteção à vitamina C. No entanto, os valores elevados dos parâmetros de energia de ativação (E_a) e do coeficiente de aceleração (Q_{10}) indicam alta sensibilidade da vitamina C com a temperatura.

5.4.2.2. CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO DE CAROTENOIDES TOTAIS

No tempo inicial, o teor de carotenoides totais nos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com o emprego de aditivos, foi de 9,54 ± 0,08 mg/100g (b.s.). O teor é inferior ao valor reportado por Yamato et al. (2019) para flocos de polpa de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (3% b.s.), de 13,66 mg/100g. Por outro lado, Sogi et al. (2015) reportaram valores de 3,28 mg/100g e 5,17mg/100g para pó de manga obtido por secagem com infravermelho e por liofilização, respectivamente.

O modelo cinético de melhor ajuste para a degradação de carotenoides totais ao longo do armazenamento, nas diferentes temperaturas, foi de primeira ordem, com coeficiente de determinação (R^2) entre 0,78 e 0,95. A Figura 23 apresenta a variação dos teores de carotenoides totais ao longo do período de armazenamento dos flocos de casca de manga com aditivos obtidos por *drum drying*, nas diferentes temperaturas, e os modelos cinéticos obtidos.

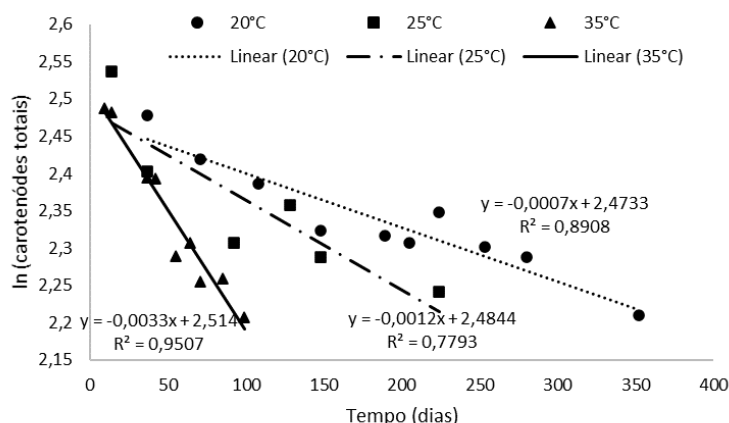


Figura 23. Cinética da degradação de carotenoides totais, expresso como β -caroteno (mg/100g), nos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com aditivos, no armazenamento a 20°C, 25°C e 35°C.

Yamato et al. (2019) reportaram cinética de primeira ordem para a degradação de carotenoides totais nos flocos de polpa de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (3% b.s.). Bechoff et al. (2010) também relataram cinética de primeira ordem para degradação de carotenoides totais em chips de batata doce obtido por secagem ao sol. A Tabela 11 apresenta os parâmetros cinéticos de degradação de carotenoides totais nas diferentes condições de armazenamento para o modelo de primeira ordem.

Tabela 11. Parâmetros cinéticos da degradação de carotenoides totais, expresso como β -caroteno, nos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com aditivos, nas diferentes temperaturas de armazenamento.

T (°C)	Ordem	k (dia ⁻¹)	Coef. Linear	R ²	Q ₁₀	t _{1/2} (dias)	E _a (kcal.mol ⁻¹)
20		-0,0007	2,4733	0,8908	-	990	
25	1 ^a	-0,0012	2,4844	0,7793	2,75	578	18,53
35		-0,0033	2,514	0,9507		210	

Observa-se na Tabela 11 que a velocidade da reação aumenta com o aumento da temperatura, sendo que a 35°C a velocidade foi maior que o dobro da encontrada para 25°C. Bechoff et al. (2010) reportaram valores de velocidades de reação de primeira ordem superiores aos encontrados no presente estudo, entre 0,0047 a 0,0298 dias⁻¹ para chips de batata doce obtido por secagem ao sol, enquanto que Yamato et al. (2019) relataram um valor inferior, de 0,0009 dias⁻¹, para flocos de polpa de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (3% b.s.). Consequentemente, o tempo de meia vida apresenta uma redução expressiva com o aumento da temperatura. A

sensibilidade dos carotenoides totais à temperatura nos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying* com aditivos também é indicada pelo valor obtido do fator de aceleração, de 2,75, assim como pela energia de ativação de 18,53 kcal.mol⁻¹ ou 77,59 kJ. mol⁻¹. O valor é superior a E_a reportada por Bechoff et al. (2010), de 46,3 kJ.mol⁻¹, em chips de batata doce obtido por secagem ao sol.

Os carotenoides são tetraterpenoides (C₄₀) formados por oito unidades isoprenoides (C₅) unidos por cauda- cabeça e são responsáveis pela coloração de frutas, hortaliças e microrganismos, cujo espectro de cor varia entre amarelo, laranja e vermelho. A provável causa da degradação dos carotenoides ao longo do armazenamento está relacionado à presença de ligações duplas em suas cadeias de carbono, que são susceptíveis a reações de oxidação e de isomerização (cis-trans) (PROVESI et al., 2011). Dentre os fatores contribuintes para essas reações estão a incidência de luz, o calor e a presença de ácidos, oxigênio, ação enzimática e não enzimática (BECHOFF et al., 2010; KOCA et al., 2007). O efeito resultante da degradação dos carotenoides é a perda de cor (PROVESI et al., 2011; RAO & RAO, 2007).

Pode-se dizer, com os resultados obtidos no presente estudo, que a reação de degradação de carotenoides totais em flocos de casca de manga com aditivos apresentou uma velocidade baixa na temperatura ambiente (25°C), resultando em um tempo de meia vida relativamente longo, de um ano e meio. No entanto, os parâmetros de energia de ativação (E_a) e coeficiente de aceleração (Q₁₀) elevados indicam baixa estabilidade da reação com a temperatura no produto.

5.4.2.3. CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO DO β-CAROTENO

O flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com emprego de aditivos, apresentou teor inicial de β-caroteno de 5,23 ± 0,18 mg/100g, valor próximo do reportado por Yamato et al. (2019) de 6,00 mg/100g para flocos de polpa de manga com amido regular (3% b.s.) obtidos pelo mesmo processo, e de 5,9 mg/100g relatado para manga desidratado ao sol por Ndawula et al. (2004).

O modelo de melhor ajuste para a degradação do β-caroteno foi o de primeira ordem, com coeficiente de determinação (R²) entre 0,81 e 0,88. A Figura 24 apresenta a variação dos teores de β-caroteno ao longo do período de armazenamento dos

flocos de casca de manga com aditivos, nas diferentes temperaturas, e os modelos cinéticos obtidos.

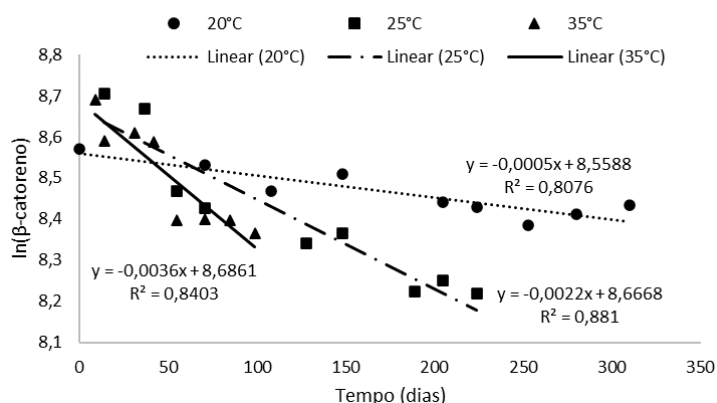


Figura 24. Cinética da degradação de β -caroteno ($\mu\text{g}/100\text{g}$) nos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com aditivos, no armazenamento a 20°C, 25°C e 35°C.

O modelo de reação de primeira ordem para a degradação do β -caroteno também foi reportado por Yamato et al. (2019) para flocos de polpa de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (3% b.s.), e por Bechoff et al. (2010) para chips de batata doce desidratada ao sol. Outros autores também reportam modelo de reação de primeira ordem para degradação do β -caroteno, tais como Koca et al. (2007) para cenoura desidratada. A Tabela 12 apresenta os parâmetros cinéticos de degradação do β -caroteno nas diferentes condições de armazenamento para o modelo de primeira ordem.

Tabela 12. Parâmetros cinéticos da degradação de β -caroteno nos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com aditivos, nas diferentes temperaturas de armazenamento.

T (°C)	Ordem	k (dia ⁻¹)	Coef. Linear	R ²	Q ₁₀	t _{1/2} (dias)	E _a (kcal.mol ⁻¹)
20		-0,0005	8,5588	0,8076	-	1386	
25	1 ^a	-0,0022	8,6668	0,881	1,64	315	21,68
35		-0,0036	8,6861	0,8403		193	

Observa-se que a velocidade de reação (k) aumenta com o aumento da temperatura, comportamento similar ao reportado por Bechoff et al. (2010) ao avaliar a degradação do β -caroteno para chips de batata doce desidratada ao sol em armazenamento controlado de 10 a 40°C. Os autores reportaram valores de k de 0,0029 dias⁻¹ para 10°C, 0,0093 dias⁻¹ para 20°C, 0,0193 dias⁻¹ para 30°C e 0,0405 dias⁻¹ para 40°C. O valor de Q₁₀ obtido no presente estudo, de 1,64, indica que há

influência da temperatura sobre a degradação do β -caroteno no produto. Conseqüentemente, o tempo de meia vida é reduzido com o aumento da temperatura, apresentando 10,5 meses para temperatura ambiente, 25°C. Yamato et al. (2019) reportaram, para flocos de polpa de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (3% b.s.), valores inferiores de Q_{10} , de aproximadamente 1,0, e tempos de meia vida superiores, de 2 anos, a 25°C.

O valor calculado da energia de ativação (E_a) de 21,68 kcal.mol⁻¹ convertido para Joules é de 90,79 kJ.mol⁻¹, superior ao reportado por Bechoff et al. (2010) para chips de batata doce desidratada ao sol, de 64,2 kJ.mol⁻¹, indicando a sensibilidade da degradação do β -caroteno com a temperatura.

5.4.2.4. CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO DOS PARÂMETROS DE COR (L^* , a^* , b^*)

Os flocos de casca de manga com aditivos obtidos por *drum drying* apresentaram os seguintes valores para os parâmetros de cor: L^* (preto-branco) igual a $68,92 \pm 0,33$, a^* (verde-vermelho) igual a $3,22 \pm 0,13$ e b^* (azul-amarelo) igual a $41,83 \pm 0,62$. Valores próximos a esses foram reportados por Ferrari et al. (2021) para casca de manga em pó obtida por secagem em secador de bandejas, com L^* , a^* e b^* de $67,36 \pm 1,34$, $0,75 \pm 0,15$ e $40,42 \pm 1,08$, respectivamente.

A Figura 25 apresenta a variação dos parâmetros de cor L^* e b^* ao longo do período de armazenamento dos flocos de casca de manga com aditivos, nas diferentes temperaturas, e os modelos cinéticos obtidos.

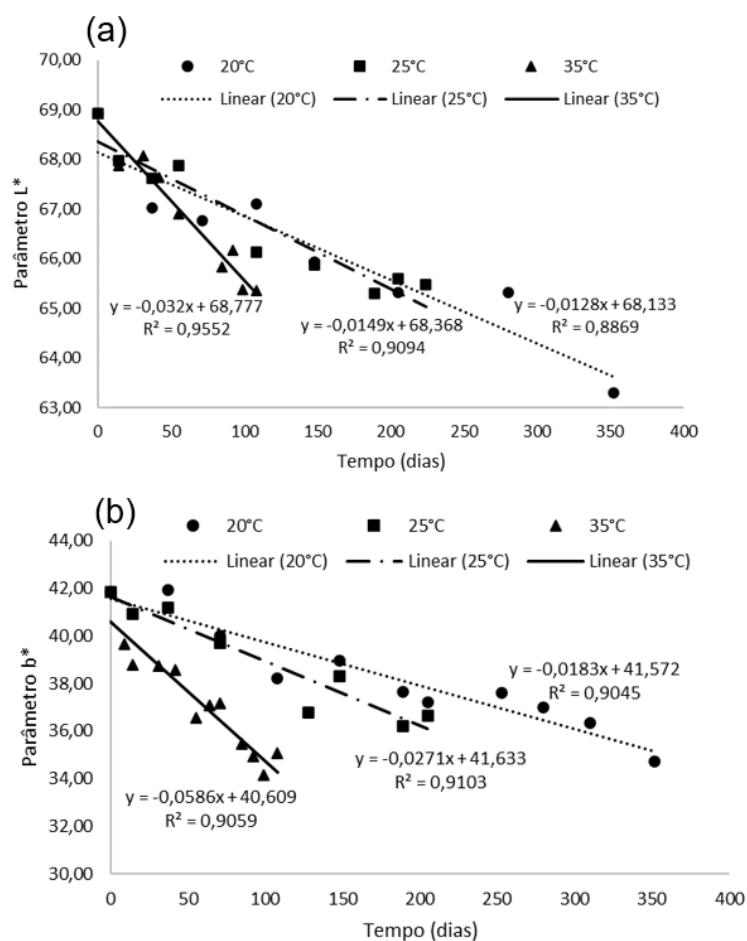


Figura 25. Cinética da variação dos parâmetros de cor L* (a) e b* (b) dos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com aditivos, no armazenamento a 20°C, 25°C e 35°C.

O modelo de melhor ajuste às variações dos parâmetros L* e b* foi o de ordem zero, com coeficiente de determinação (R²) de 0,89 a 0,96 e 0,90 a 0,91, respectivamente. O modelo também foi reportado por Germer et al. (2014) para os mesmos parâmetros em mamão desidratado por processo combinado de desidratação osmótica e secagem com ar quente, bem como por Tonin et al. (2018) em pó de polpa de manga obtido por *drum drying*, Yamato et al. (2019) em flocos de polpa de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (3% b.s.) e Ferrari et al. (2021) em casca de manga em pó obtido por secagem em secador de bandejas.

A Tabela 13 apresenta os parâmetros cinéticos para o modelo de melhor ajuste para as coordenadas L* e b* dos flocos de casca de manga com aditivos, nas diferentes temperaturas de armazenamento.

Tabela 13. Parâmetros cinéticos de cor para as coordenadas L* (preto-branco) e b* (azul-amarelo) dos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com aditivos, nas diferentes temperaturas de armazenamento.

Parâmetro	T (°C)	Ordem	k (dia ⁻¹)	Coef. Linear	R ²	Q ₁₀	t _{1/2} (dias)	E _a (kcal.mol ⁻¹)
L*	20	0	-0,0128	68,133	0,8869	2,15	2661	11,35
	25		-0,0149	68,368	0,9094		2294	
	35		-0,032	68,777	0,9552		1075	
b*	20	0	-0,0183	41,572	0,9045	2,16	1136	13,94
	25		-0,0271	41,633	0,9103		768	
	35		-0,0586	40,609	0,9059		346	

Observa-se que a velocidade de reação (k) para a degradação da cor do produto obtido aumenta com o aumento da temperatura para ambos os parâmetros, por consequência o tempo de meia vida reduz a 35°C, de forma mais expressiva para o parâmetro b*.

A redução da luminosidade (L*) variou de 5% a 8% ao longo do armazenamento, indicando um escurecimento das amostras avaliadas. Esse escurecimento pode estar relacionado à reação de Maillard, ou ainda, à degradação por oxidação e isomerização do β-caroteno, como reportado por Tonin et al. (2018) e Yamato et al. (2019). A velocidade de reação (k) para a luminosidade variou de -0,0128 a -0,032 dias⁻¹ com o aumento de 20°C para 35°C, resultando na redução do tempo de meia vida de 7 anos para 3 anos. Nunes et al. (2020) apresentaram, para flocos de jabuticaba obtidos por *drum drying* com fécula mandioca (20% b.s.), velocidades de -0,012 dias⁻¹ para 20°C e -0,04 dias⁻¹ para 35°C, e tempo de meia vida de 3,4 anos e aproximadamente 12 meses, respectivamente. Já Yamato et al. (2019) reportaram, para flocos de polpa de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (3% b.s.), velocidades de reação de 0,0139 e 0,0183 dias⁻¹ com tempo de meia vida em torno de 6 anos e 5 anos, para 25°C e 35°C, respectivamente.

As velocidades da variação do parâmetro b* à 20 e 35°C foram de -0,0183 e -0,0586 dias⁻¹, respectivamente, com redução do tempo de meia vida de 3 anos para aproximadamente 1 ano com o aumento da temperatura. Ferrari et al. (2021) relataram velocidades de -0,0278 e -0,0246 dias⁻¹ para a variação da cor amarela em casca de manga em pó obtido por secagem em secador de bandejas nas temperaturas de 25 e 35°C, respectivamente, com tempo de meia vida de aproximadamente 2 anos.

O fator de aceleração (Q_{10}) do parâmetro L^* com o aumento da temperatura foi de 2,15, enquanto que do parâmetro b^* foi de 2,16, indicando influência da temperatura na degradação da cor do produto. Valores similares a estes foram reportados por Germer et al. (2014) para mamão desidratado por processo combinado de desidratação osmótica e secagem com ar quente, com Q_{10} de 2,3. Os valores calculados de energia de ativação para os parâmetros L^* e b^* foram de 11,35 kcal.mol⁻¹ e 13,94 kcal.mol⁻¹, respectivamente, indicando sensibilidade da degradação dos parâmetros de cor com a temperatura. Nunes et al. (2020) relataram E_a de aproximadamente 15 kcal.mol⁻¹ para a variação dos parâmetros de cor L^* e b^* no estudo de estabilidade de flocos de jabuticaba obtidos por *drum drying* com fécula mandioca (20% b.s.). Os resultados do presente estudo se encontram na faixa de energia de ativação das reações de alteração de cor em alimentos, segundo Lund (1979), de 10-30 kcal.mol⁻¹.

Observa-se um aumento do parâmetro a^* (verde-vermelho) no armazenamento do produto, entre 32% e 38%. Entretanto, não houve ajuste dos modelos avaliados aos resultados experimentais. A Tabela 14 apresenta a variação do parâmetro de cor a^* nas diferentes condições ao longo do armazenamento.

Tabela 14. Variação do parâmetro de cor a^* (verde-vermelho) para os flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com aditivos, nas diferentes temperaturas de armazenamento.

20°C		25°C		35°C	
Tempo (dias)	a^*	Tempo (dias)	a^*	Tempo (dias)	a^*
0	3,22 ± 0,13 ^d	0	3,22 ± 0,13 ^c	0	3,22 ± 0,13 ^g
37	4,53 ± 0,27 ^c	14	4,63 ± 0,07 ^{ab}	9	4,85 ± 0,14 ^a
71	4,50 ± 0,34 ^c	37	4,70 ± 0,11 ^{ab}	14	4,82 ± 0,15 ^a
108	4,51 ± 0,29 ^c	55	4,73 ± 0,10 ^{ab}	31	4,75 ± 0,16 ^{ab}
148	4,76 ± 0,38 ^{abc}	71	5,02 ± 0,19 ^a	37	4,35 ± 0,17 ^{bcd}
189	5,18 ± 0,52 ^a	108	4,78 ± 0,19 ^{ab}	42	4,65 ± 0,18 ^{abc}
205	4,89 ± 0,30 ^{abc}	128	4,96 ± 0,50 ^a	55	4,02 ± 0,19 ^{de}
224	4,95 ± 0,29 ^{abc}	148	4,70 ± 0,63 ^{ab}	64	4,26 ± 0,20 ^{cd}
253	4,84 ± 0,32 ^{abc}	189	4,39 ± 0,57 ^b	71	4,30 ± 0,21 ^{cd}
280	5,06 ± 0,23 ^{ab}	205	4,32 ± 0,23 ^b	85	3,97 ± 0,22 ^{de}
310	4,62 ± 0,31 ^{bc}	224	4,27 ± 0,42 ^b	92	3,52 ± 0,23 ^{fg}
352	4,45 ± 0,41 ^c			99	3,53 ± 0,24 ^{fg}
				108	3,74 ± 0,25 ^{ef}

Letras diferentes, em uma mesma coluna, indicam diferenças significativas a $p \leq 0,05$, de acordo com o teste de Tukey.

O aumento dos valores do parâmetro a^* ao longo do armazenamento indica que o produto se tornou mais avermelhado, o que pode estar relacionado ao escurecimento não enzimático (Reação de Maillard). Observou-se diferença significativa ($p \leq 0,05$) do parâmetro entre o início e o final do armazenamento, assim como ao longo do estudo. Em todas as temperaturas foi observado uma variação significativa do parâmetro no primeiro período de análises (71 dias). Posteriormente, nas temperaturas de 20 e 25°C, foi possível observar que os valores se mantiveram praticamente constantes.

5.4.2.5. VARIAÇÃO DO ÂNGULO DE TOM (HUE)

Houve diminuição do valor do ângulo de tom (Hue) do produto ao longo do armazenamento nas condições estudadas, em torno de 2,5% a 3,5%. O Hue variou, do valor próximo do amarelo puro (90°), para o valor do vermelho puro (0°). O resultado decorre da redução do parâmetro b^* e do aumento do parâmetro a^* , conforme apresentado anteriormente. Contudo, não foi possível obter um bom ajuste dos modelos avaliados aos resultados experimentais. A Tabela 15 apresenta a variação dos valores do ângulo de tom do produto nas diferentes condições de armazenamento.

Tabela 15. Variação do ângulo de tom (Hue) para os flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com aditivos, nas diferentes temperaturas de armazenamento.

20°C		25°C		35°C	
Tempo (dias)	Ângulo de tom	Tempo (dias)	Ângulo de tom	Tempo (dias)	Ângulo de tom
0	85,59 ± 0,21 ^a	0	85,59 ± 0,21 ^a	0	85,59 ± 0,21 ^a
37	83,83 ± 0,33 ^b	14	83,55 ± 0,06 ^b	9	83,03 ± 0,26 ^{fg}
71	83,58 ± 0,35 ^{bc}	37	83,48 ± 0,14 ^b	14	82,91 ± 0,20 ^g
108	83,27 ± 0,29 ^{bcd}	55	83,00 ± 0,16 ^{bcd}	31	83,01 ± 0,25 ^{fg}
148	83,03 ± 0,38 ^{cde}	71	82,80 ± 0,17 ^{cde}	37	83,66 ± 0,24 ^{cde}
189	82,18 ± 0,44 ^g	108	82,64 ± 0,24 ^{de}	42	83,12 ± 0,19 ^{fg}
205	82,52 ± 0,26 ^{efg}	128	82,33 ± 0,56 ^e	55	83,73 ± 0,24 ^{cde}
224	82,75 ± 0,31 ^{def}	148	83,03 ± 0,57 ^{bcd}	64	83,45 ± 0,37 ^{def}
253	82,67 ± 0,40 ^{efg}	189	83,11 ± 0,63 ^{bcd}	71	83,41 ± 0,36 ^{ef}
280	82,21 ± 0,26 ^{fg}	205	83,27 ± 0,35 ^{bc}	85	83,62 ± 0,47 ^{de}
310	82,75 ± 0,27 ^{def}	224	83,48 ± 0,59 ^b	92	84,25 ± 0,19 ^b
352	82,68 ± 0,62 ^{efg}			99	84,11 ± 0,26 ^{bc}
				108	83,91 ± 0,39 ^{bcd}

Letras diferentes, em uma mesma coluna, indicam diferenças significativas ($p \leq 0,05$), de acordo com o teste de Tukey.

Houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) no ângulo de tom ao longo do armazenamento nas diferentes temperaturas. Caparino et al. (2012) reportaram Hue entre 60 e 80° para polpa de manga em pó obtido por *Refractance Window*. Tonin (2017) reportou valores entre 78 e 80° para polpa de manga em pó obtida por *drum drying* e Yamato et al. (2018) entre 78 e 80° para flocos de polpa de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (3% b.s.). Considerando que, apesar da variação expressiva do parâmetro a^* , a variação no ângulo de tom foi muito pequena, em função da variação baixa observada no parâmetro b^* , que é predominante na cor do produto.

5.4.2.6. CINÉTICA DE VARIAÇÃO DO CROMA

O parâmetro Croma indica a intensidade da cor, tendo sido observado a perda do mesmo nos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying* com aditivos, entre 10% e 17% ao longo do armazenamento. A Figura 26 apresenta a variação do Croma ao longo do período de armazenamento dos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying* com aditivos, nas diferentes temperaturas, e os respectivos modelos cinéticos obtidos.

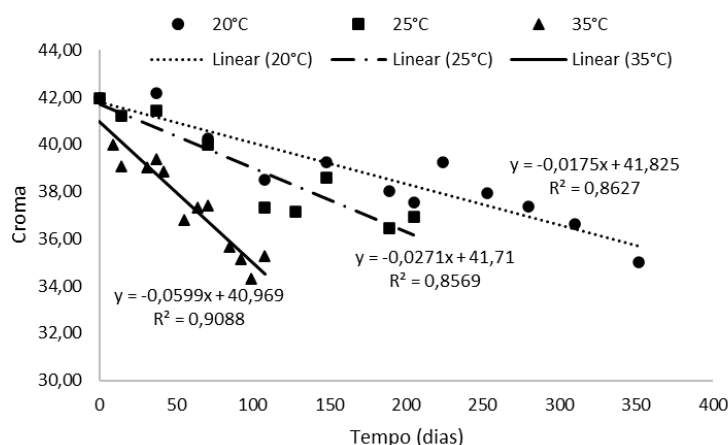


Figura 26. Cinética da variação do Croma dos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com aditivos, no armazenamento a 20°C, 25°C e 35°C.

A variação do Croma foi melhor ajustada pelo modelo de reação de ordem zero para as condições de temperatura estudadas, com R^2 entre 0,86 e 0,91. A Tabela 16 apresenta os valores do Croma nas diferentes condições de armazenamento.

Tabela 16. Parâmetros cinéticos da variação do Croma dos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com aditivos, nas diferentes temperaturas de armazenamento.

Parâmetro	T (°C)	Ordem	k (dia ⁻¹)	Coef. Linear	R ²	Q ₁₀	t _{1/2} (dias)	E _a (kcal.mol ⁻¹)
Croma	20	0	-0,0175	41,825	0,8627	-	1195	14,68
	25		-0,0271	41,71	0,8569	2,21	770	
	35		-0,0599	40,969	0,9088		342	

Observa-se um aumento na velocidade de reação (k) da variação do Croma com o aumento da temperatura, entre aproximadamente 0,018 e 0,06 dias⁻¹. Houve redução do tempo de meia vida de 3 anos a 20°C para aproximadamente 1 ano a 35°C. A influência da temperatura na variação da intensidade da cor é indicada pelo parâmetro Q₁₀, que foi de 2,2. Ou seja, a cada 10°C de aumento da temperatura, a velocidade de variação mais do que dobra. Ressalta-se que o comportamento do parâmetro Croma do produto no armazenamento foi altamente influenciado pelo parâmetro b* (azul-amarelo), o componente principal da cor, resultando em parâmetros cinéticos muito similares (vide Tabela 13).

5.4.2.7. CINÉTICA DE VARIAÇÃO DA DIFERENÇA DE COR (ΔE)

A diferença de cor (ΔE) dos flocos de casca de manga aumentou ao longo do armazenamento, nas três temperaturas estudadas. Essas variações foram melhor ajustadas pelo modelo de reação de ordem zero, com R² entre 0,85 e 0,93. O mesmo comportamento foi relatado por Nunes (2019) para flocos de jabuticaba obtidos por *drum drying* com fécula de mandioca (20% b.s.). A Figura 27 apresenta a variação da diferença de cor ao longo do período de armazenamento dos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying* com aditivos, nas diferentes temperaturas, e os respectivos modelos cinéticos obtidos.

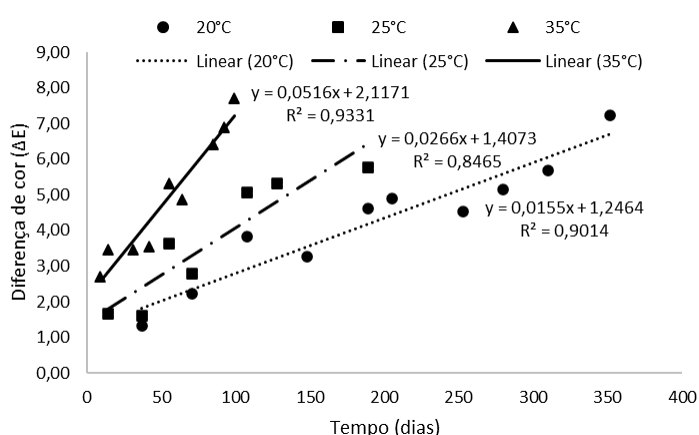


Figura 27. Cinética da variação da diferença de cor (ΔE) dos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com aditivos, no armazenamento a 20°C, 25°C e 35°C.

A Tabela 17 apresenta os parâmetros cinéticos da variação da diferença de cor (ΔE) nas condições avaliadas no armazenamento. Salienta-se que o conceito de tempo de meia-vida ($t_{1/2}$) não é aplicado ao parâmetro diferença de cor (ΔE), uma vez que este apresenta o valor zero no tempo inicial, e aumenta continuamente ao longo do armazenamento.

Tabela 17. Parâmetros cinéticos da variação da diferença de cor (ΔE) dos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com aditivos, nas diferentes temperaturas de armazenamento.

Parâmetro	T (°C)	Ordem	k (dia ⁻¹)	Coef. Linear	R ²	Q ₁₀
ΔE	20		0,0155	1,2464	0,9014	-
	25	0	0,0266	1,4073	0,8465	1,94
	35		0,0516	2,1171	0,9331	

Observa-se que a velocidade de reação (k) da variação do parâmetro diferença de cor aumentou com o incremento da temperatura, variando de 0,016 a 0,052 dias⁻¹. O fator de aceleração obtido com o aumento da temperatura em 10°C (Q_{10}) foi de aproximadamente 2. Os parâmetros cinéticos obtidos no presente estudo são muito similares aos reportados por Moura et al. (2011) para a diferença de cor no armazenamento de geleia de amora. Os autores reportaram k de 0,0169 dias⁻¹ a 10°C e de 0,0282 dias⁻¹ a 25°C, com Q_{10} de 2,0. No presente estudo, observa-se que o comportamento da diferença de cor ΔE é muito similar ao observado para o parâmetro b^* (vide Tabela 13). O resultado indica que a variação da cor amarela, preponderante na casca da manga, foi a que mais influenciou na variação da diferença de cor.

5.4.3. VARIAÇÃO DO TEOR DE FENÓLICOS TOTAIS E DA CAPACIDADE ANTIOXIDANTE (ABTS E DPPH) NO ARMAZENAMENTO CONTROLADO

A Tabela 18 apresenta os valores dos teores de fenólicos totais e da capacidade antioxidante (DPPH e ABTS) dos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying* com aditivos, no tempo inicial e final do armazenamento, nas diferentes temperaturas avaliadas.

Tabela 18. Teor de fenólicos totais e capacidade antioxidante (DPPH e ABTS) dos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com aditivos, nos tempos inicial e final do armazenamento nas diferentes temperaturas.

Período	T (°C)	Teor de Fenólicos Totais (mg EAG/100g b.s.)	Capacidade Antioxidante (TE (µmol/g b.s.))	
			DPPH	ABTS
Início	-	3238,06 ± 0,42 ^b	315,12 ± 0,10 ^a	402,70 ± 3,94 ^a
	20	3612,91 ± 104,16 ^a	277,43 ± 4,24 ^b	164,57 ± 7,52 ^b
Final	25	3338,83 ± 26,76 ^{ab}	248,04 ± 8,48 ^c	166,61 ± 2,80 ^b
	35	3180,74 ± 110,76 ^b	240,78 ± 15,21 ^c	164,64 ± 3,23 ^b

Letras diferentes, na mesma coluna, indicam diferença significativa a $p \leq 0,05$, de acordo com teste de Tukey.

Observa-se que houve um aumento do teor de fenólicos totais do produto no armazenamento, de aproximadamente 12% na temperatura de 20°C, e de 3% em 25°C com diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre os teores iniciais e finais. O mesmo não ocorreu na temperatura de 35°C. Nessa condição de armazenamento, os teores de fenólicos não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$) entre os tempos de análise. Yamato (2018) reportou um aumento de 9% dos teores de fenólicos totais nos flocos de polpa de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (3% b.s.) armazenados na temperatura de 25°C, e Nunes (2019) relatou uma perda de 7% em flocos de jabuticaba obtidos por *drum drying* com fécula mandioca (20% b.s.), armazenados na temperatura de 35°C. O aumento de fenólicos totais nos processos de secagem podem decorrer da possível formação por precursores disponibilizados na interconversão não enzimática desses compostos (QUE et al., 2008). Conforme anteriormente apresentado, observou-se de fato escurecimento das amostras ao longo do armazenamento, indicado pela variação dos parâmetros de cor (item 5.4.2.4). Por outro lado, no armazenamento à temperatura de 35°C, a manutenção

do teor de compostos fenólicos possivelmente ocorreu devido à degradação que contrabalanceou a possível geração de compostos fenólicos. O comportamento também foi reportado por Yamato (2018) para flocos de polpa de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (3% b.s.).

Observa-se que houve redução significativa ($p \leq 0,05$) na capacidade antioxidante entre os tempos inicial e final do armazenamento, determinada pelos métodos ABTS e DPPH. Pelo método DPPH, foram observadas reduções de 12%, 21% e 24% nas temperaturas de 20, 25 e 35°C, respectivamente. Pelo método ABTS houve redução de aproximadamente 59% da capacidade antioxidante para as três temperaturas investigadas, sem diferença significativa ($p > 0,05$) entre os valores. A diferença entre os resultados obtidos com as duas metodologias pode estar relacionada aos diferentes radiais empregados, bem como aos seus mecanismos de reação (SUCUPIRA et al., 2012).

Jimenez-Aguilar et al. (2011) reportaram perdas da capacidade antioxidante em mirtilo em pó obtido por *spray drying* com goma mesquite da ordem de 15% e 33% no armazenamento a 4°C e 25°C, respectivamente. Já Yamato (2018) relata um aumento na capacidade antioxidante pelos dois métodos DPPH e ABTS no armazenamento a 25°C para flocos de polpa de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (3% b.s.).

5.4.4. VARIAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DE PARTÍCULAS DOS FLOCOS DE CASCA DE MANGA COM ADITIVOS NO ARMAZENAMENTO CONTROLADO

A distribuição do tamanho de partículas dos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying* está representada na Figura 28 para o armazenamento a 20, 25 e 35°C, nos diferentes tempos de análise.

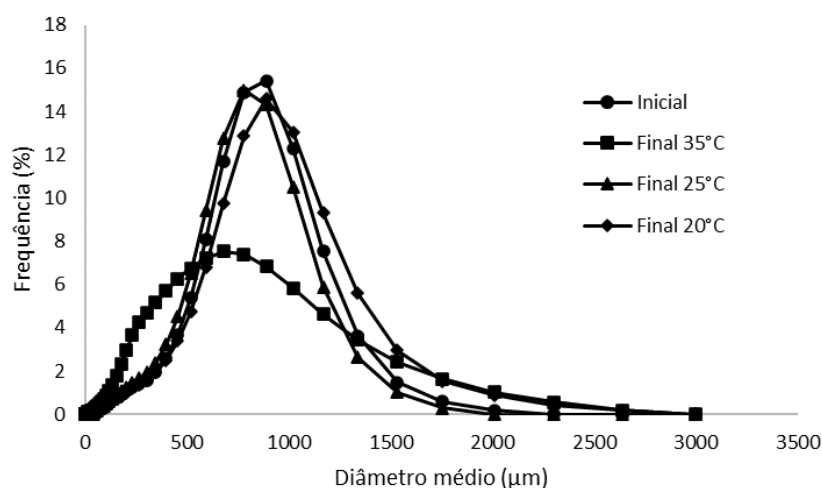


Figura 28. Distribuição do tamanho de partícula dos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com aditivos, nos tempos inicial e final do armazenamento a 20°C, 25°C e 35°C.

O produto apresentou, nas diferentes condições de armazenamento, uma distribuição monomodal, indicando que as amostras apresentaram característica homogênea quanto à distribuição do tamanho de partículas, variando entre 0,011µm à 2637 µm. Outros autores também reportaram comportamento semelhante, como Moser et al. (2017) para suco de uva em pó obtido por spray drying, Zotarelli et al. (2017) para manga em pó obtida por *cast-tape drying*, e Yamato (2018) para flocos de polpa de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (3% b.s.).

Observa-se que as curvas das amostras do final do armazenamento nas temperaturas de 20 e 25°C se apresentaram próximas da curva do produto no tempo inicial. O comportamento indica que os flocos, ao final do armazenamento, nessas condições, possivelmente não estavam aglomerados. Contudo, a curva do produto no final do armazenamento a 35°C se apresenta mais distante da curva inicial. O resultado indica alterações mais importantes no tamanho das partículas nessa condição de armazenamento.

A Tabela 19 apresenta os resultados dos valores médios do diâmetro de partículas (D [50]) de flocos de casca de manga com aditivos e o índice de poli dispersão para o tempo inicial e final do armazenamento, nas diferentes condições de temperatura.

Tabela 19. Valores médios do diâmetro de partículas (D [50]) dos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com aditivos, e valores do Índice de Poli Dispersão (IPD) para os tempos inicial e final do armazenamento a 20°C, 25°C e 35°C.

Diâmetro de partícula (D[50]) (µm)		IPD
Tempo Inicial	716,61 ± 11,69 ^{ab}	1,11
20°C	771,50 ± 74,64 ^a	1,96
Tempo Final	667,93 ± 21,98 ^b	1,14
25°C	667,93 ± 21,98 ^b	1,14
35°C	502,26 ± 23,12 ^c	1,20

Letras diferentes, na mesma coluna, indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$), de acordo com o teste de Tukey.

Verifica-se que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre os valores de D[50] nos tempos inicial e final do armazenamento à 20 e 25°C. Contudo, na temperatura de 35°C, foi observado diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os valores do parâmetro nos diferentes tempos. O valor de D[50] no final do armazenamento a 35°C é menor do que do tempo inicial. O comportamento pode estar relacionado à quebra dos aglomerados formados com a maior absorção de umidade observada nessa condição (Tabela 9) na etapa de peneiramento, formando partículas menores. Esse comportamento também foi reportado por Nunes (2019) para flocos de jabuticaba obtidos por *drum drying* com fécula mandioca (20% b.s.). Troiani (2020) reportou D[50] médio de 938 µm para flocos de casca de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (5% b.s.). Enquanto que Germer et al. (2018) reportaram D[50] médio de 1250 µm para os flocos de polpa de manga obtidos por *drum drying*. Os trabalhos empregaram o mesmo processo de fragmentação (floculação) do presente estudo, com a mesma abertura de peneira, de 2,5 mm. As diferenças observadas podem ser atribuídas aos diferentes teores de umidade, uma vez que filmes mais secos tendem a ser floculados com maior facilidade, quebrando-se em partículas menores.

O índice de poli dispersão apresentado na Tabela 19 indica a variação entre o tamanho das partículas menores e maiores da amostra. Troiani (2020) reportou IPD de 1,32 para flocos de casca de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (5% b.s.). O parâmetro é influenciado pelas características da amostra, tais como o teor de umidade e pelo processo de trituração empregado. Espera-se um IPD menor para partículas em pó do que para flocos, uma vez que esses são mais irregulares.

5.4.5. VARIÇÃO DA MORFOLOGIA DOS FLOCOS DE CASCA DE MANGA COM ADITIVOS NO ARMAZENAMENTO CONTROLADO

A Figura 29 apresenta imagens das partículas dos flocos de casca de manga nas diferentes condições de armazenamento, obtidas pela análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV).

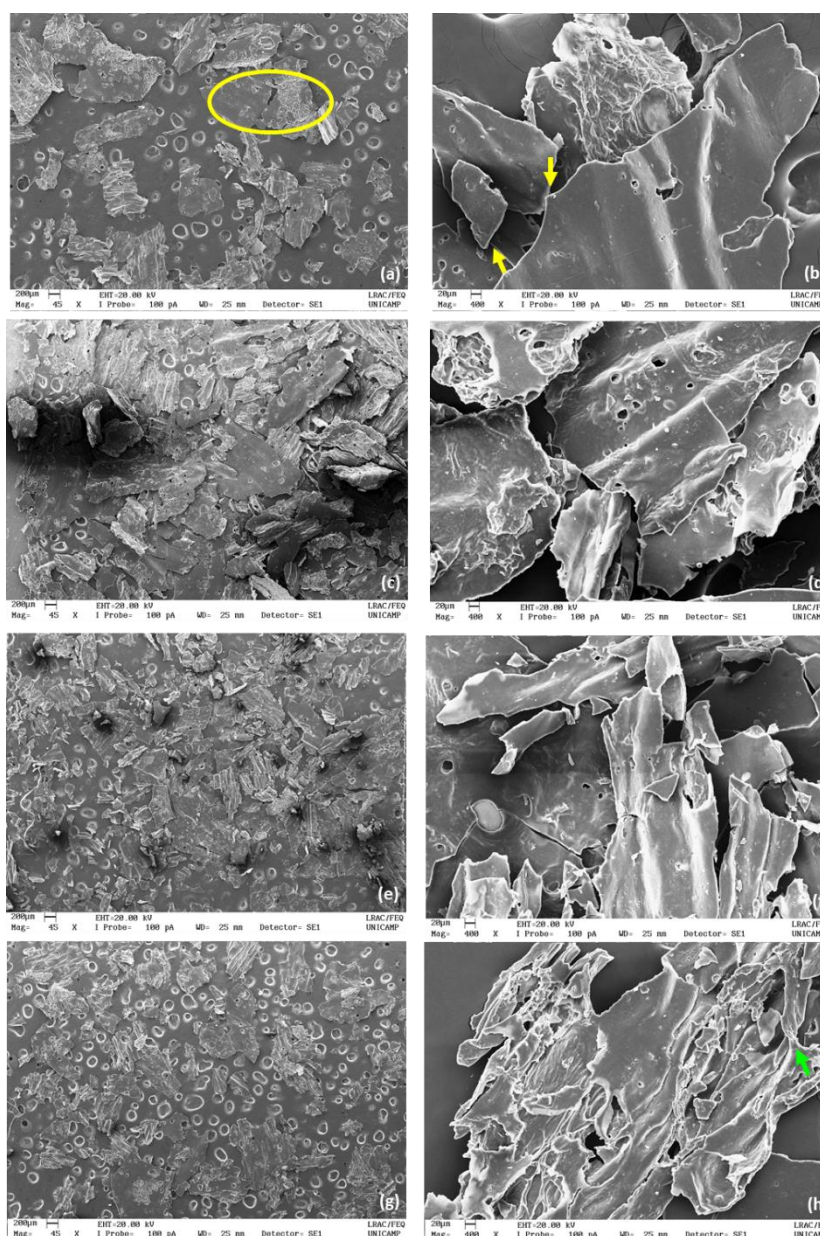


Figura 29. Micrografias dos flocos de casca de manga obtidos por *drum drying*, com aditivos, com ampliação de 45x e 400x, respectivamente, no tempo inicial (a), (b) e no tempo final do armazenamento a 20°C (c) e (d), 25°C (e) e (f) e 35°C (g) e (h).

Através das Figuras 29a e 29b, observa-se que as partículas se encontravam soltas no início do armazenamento. É possível verificar, também, que as partículas apresentavam formas irregulares, de diferentes dimensões. O formato irregular é

típico da trituração por floculação (GERMER et al., 2018). Além disso, as imagens iniciais mostram que as superfícies apresentavam texturas distintas, um lado rugoso e outro liso, característica de produto seco por *drum drying* (GERMER et al., 2018). Para ilustrar, tem-se a elipse indicada na Figura 29a. Comportamento semelhante foi reportado por Yamato (2018) e Germer et al. (2018) para flocos de polpa de manga obtidos por *drum drying*. Segundo os autores, o lado liso da partícula possivelmente esteja relacionado ao lado do filme que esteve em contato com o cilindro na secagem, e o lado rugoso ao lado livre do filme durante o processo. O aspecto rugoso pode estar relacionado à formação dos grânulos de amido no processo de gelatinização. Uma outra explicação possível é a raspagem feita pela faca localizada ao final da rotação do cilindro, para a retirada do filme, gerando rugas na superfície (CHIA & CHONG, 2015).

No tempo inicial, observa-se na Figura 29b, que as partículas apresentavam bordas com aspecto pontiagudo, com algumas pontas “vivas” (setas amarelas), característica de produtos no estado vítreo. No entanto, conforme anteriormente comentado, o produto no início do armazenamento não estava no estado vítreo, e sim no estado “borrachento”. Observa-se, pelas Figuras 29d e 29f, que ao final do armazenamento, nas temperaturas de 20 e 25°C, o produto ainda apresentava essas características, apesar do ganho de umidade observado, conforme discutido anteriormente.

No final do armazenamento a 35°C, Figura 29h, foi possível verificar, pela indicação da seta verde, a formação de “ponte” entre partículas, evidenciando a aglomeração das mesmas. O comportamento não foi observado nas imagens das amostras do final do armazenamento a 20 e 25°C. O resultado corrobora a discussão anterior quanto aos valores do diâmetro médio das partículas, que apontou uma aglomeração relevante apenas na amostra do final do armazenamento a 35°C. A aglomeração, ocorre principalmente em função da absorção de água em produtos secos particulados (ANGLEA et al., 1993). O fenômeno foi relatado por outros autores tais como Yamato (2018) no armazenamento de flocos de polpa de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (3% b.s.), e Ferrari et al. (2013) em amora preta em pó obtida por *spray drying*. Ainda em relação à amostra armazenada a 35°C, observou-se, também, que o aspecto rugoso tornou-se menos perceptível no tempo

final do armazenamento (Figura 29g), e o fato pode estar relacionado ao ganho de umidade, reportado anteriormente, que promoveu um inchaço das partículas.

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho permite as seguintes conclusões:

- Os flocos de casca de manga apresentaram diferentes propriedades, dependendo do uso ou não de aditivos (amido de milho regular 5% b.s. e monoestearato de glicerila 1% b.s.) no processo de secagem. Os flocos obtidos com aditivos apresentaram teor de umidade e atividade de água menores (0,86 g/100g e 0,205) em comparação ao produto do processo sem o uso dos mesmos (teor de umidade de 1,64 g/100g e atividade de água 0,265). O resultado evidencia uma maior eficiência da secagem no *drum drying* com o uso dos aditivos. Além disso, observou-se que os flocos com aditivos obteve um parâmetro de cor b^* (azul-amarelo) superior (50,64) ao valor obtido nos flocos sem aditivos (47,40). O resultado aponta para uma maior proteção dos pigmentos no *drum drying* com aditivos. Não houve influência do uso dos aditivos nas demais propriedades avaliadas.

- As isotermas de sorção obtidas a 25°C para os dois produtos foram ajustadas pelo modelo de GAB com $R^2 > 0,99$. As isotermas apresentaram formato sigmoidal, do tipo III, que é característico de alimentos ricos em açúcares. O valor da monocamada (X_m) dos flocos com aditivos, obtida pelo modelo de GAB, de 0,0826 g água/ g matéria seca, foi ligeiramente menor em relação ao valor obtido para o produto sem aditivos, de 0,0954 g água/ g matéria seca. O resultado indica um comportamento mais higroscópico do produto sem aditivos.

- As observações visuais realizadas no levantamento das isotermas mostraram que houve uma perda gradativa da coloração amarela para valores de $a_w \geq 0,432$ nos flocos sem aditivos e $a_w \geq 0,529$ nos flocos com aditivos. Além disso, observou-se aglomeração crescente dos flocos em $a_w \geq 0,689$, em ambos os tratamentos. Portanto, pode-se considerar os valores de a_w de 0,328 e 0,432 como críticos no armazenamento dos flocos sem aditivos e dos flocos com aditivos, respectivamente, na temperatura de 25°C.

- Na faixa de atividade de água de 0,11 a 0,84, os valores de temperatura de transição vítrea (T_g) dos produtos com aditivos e sem aditivos variaram de 28,08/

27,33°C a -62,94/ -73,36°C, respectivamente. Os dados experimentais da T_g de ambos os produtos foram ajustados pelo modelo de Gordon-Taylor, com R^2 de 0,988 e 0,982, respectivamente. Os modelos demonstraram o efeito plasticizante da água na transição vítrea.

- Os modelos obtidos de Gordon-Taylor combinados com os respectivos modelos de GAB para as isoterma de sorção permitiram a determinação das condições nas quais os produtos estariam no estado vítreo durante o armazenamento à temperatura ambiente (25°C). Os flocos sem aditivos estariam no estado vítreo em $a_w \leq 0,055$ (teor de umidade de 0,60 g/ 100 g) e os flocos com aditivos em $a_w \leq 0,061$ (teor de umidade de 0,70 g/ 100 g). Em condições de a_w e teores de umidade superiores na temperatura ambiente (25°C), os produtos estariam no estado gomoso, ou “borrachento”.

- Os resultados mostraram que o produto obtido com o uso de aditivos apresentou, no geral, uma melhor estabilidade no levantamento das isotermas de sorção e na avaliação da temperatura de transição vítrea, e, portanto, foram escolhidos para o estudo da estabilidade no armazenamento controlado.

- A cinética da degradação da vitamina C foi melhor ajustada pelo modelo de primeira ordem (R^2 entre 0,76 e 0,94). A velocidade da reação (k) na temperatura de 25°C foi de $-0,0002 \text{ dia}^{-1}$. Os flocos apresentaram ótima estabilidade com relação à vitamina, com tempo de meia vida ($t_{1/2}$) de 9 anos, na temperatura ambiente (25°C). Os valores de Q_{10} e E_a , de 4,50 e 26,43 kcal.mol^{-1} , respectivamente, evidenciam a sensibilidade da vitamina C à temperatura.

- A degradação dos carotenoides totais seguiu cinética de primeira ordem (R^2 entre 0,78 e 0,95), com k de $-0,0012 \text{ dia}^{-1}$ em 25°C. Os flocos apresentaram boa estabilidade com relação ao pigmento, com tempo de meia vida ($t_{1/2}$) de 1,5 anos e 7 meses, nas temperaturas de 25°C e 35°C, respectivamente. Os valores de Q_{10} e E_a , de 2,75 e 18,53 kcal.mol^{-1} , respectivamente, evidenciam a sensibilidade dos carotenoides totais à temperatura.

- A degradação do β -caroteno apresentou cinética de primeira ordem (R^2 variando de 0,81 a 0,88) com k entre $-0,0005$ e $0,0036 \text{ dia}^{-1}$ para as temperaturas avaliadas. Os tempos de meia vida obtidos pelos modelos foram de 10,5 meses e 6,5 meses para 25°C e 35°C, respectivamente, indicando boa estabilidade. Os valores de

Q_{10} e E_a , de 1,64 e 21,68 kcal.mol⁻¹, indicam a sensibilidade do β -caroteno à temperatura.

- O modelo cinético determinado para explicar a degradação dos parâmetros de cor foi o de ordem zero (R^2 entre 0,84 e 0,96). O parâmetro L^* apresentou tempo de meia vida de 6 anos para 25°C e 3 anos para 35°C. O parâmetro b^* , que indica a cor amarela, apresentou tempo de meia vida de 2 anos à temperatura ambiente (25°C) e 1 ano para temperatura de 35°C. O Q_{10} e E_a evidenciam a sensibilidade dos parâmetros de cor (L^* e b^*) com a temperatura, entre 2,15 e 2,16 e 11,35 e 13,94 kcal.mol⁻¹, respectivamente.

- O teor de β -caroteno, dentre os parâmetros de qualidade avaliados, pode ser entendido como o limitante da vida útil do produto, visto ter maiores velocidades de reação de degradação, e conseqüentemente, menores tempos de meia-vida. Com base nos resultados obtidos para esse pigmento, poderia ser considerada, em termos comerciais, uma vida de prateleira de aproximadamente um ano para os flocos de casca de manga com aditivos.

O estudo mostrou, portanto, que os flocos de casca de manga obtidos pela secagem em secador de cilindro rotativo, *drum drying*, com o uso de amido de milho (5% b.s.) como principal aditivo, nas condições praticadas, apresentaram uma alta estabilidade no armazenamento à temperatura ambiente (25°C) com relação a parâmetros de qualidade e teores de nutrientes. O produto pode ser empregado como um ingrediente de alto valor nutricional em formulações de alimentos, contribuindo para uma maior saudabilidade dos mesmos. Além disso, o aproveitamento do subproduto está alinhado aos preceitos da economia circular, que preconiza o uso de resíduos como matéria-prima de processos produtivos, gerando ganhos ambientais e sociais. Sugere-se, na continuidade dos estudos, a avaliação da viabilidade tecnológica e sensorial da aplicação do ingrediente desenvolvido em produtos alimentícios, tais como produtos cárneos, lácteos, confeitos, cereais ou produtos de panificação.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUERRE, R. J., SUAREZ, C., VIOLLAZ, P. E. New BET Type Multilayer Sorption Isotherms. Part II: Modelling Water Sorption in Foods. **LWT - Food Science and Technology**, v. 22, n. 4, p. 192-195, 1989.
- AGUILERA, M.J., DEL VALLE, J.M., KAREL, M. Caking phenomena in amorphous food powder. **Trends Food Science Technology**, v. 6, n. 5, p. 149–155, 1995.
- AGUIRRE, J.M., GASPARINO FILHO, J. **Desidratação de frutas e hortaliças. Manual Técnico**. Campinas: ITAL, 2002, 205p.
- ALVES, T. P, FÓZ, H.D., NICOLE, J. F. Isotermas de dessorção de pimentão verde e energia envolvida no processo, **Brazilian Journal of Food Technology**, v.18, n.2, Campinas, 2015
- ANDRÉ, A. M. M. C. N., CASTRO, D.S., ALMEIDA, R.D., MOREIRA, I.S. Análise e comparação dos modelos matemáticos da secagem do resíduo de manga “ Tommy Atkins ”. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 5, p. 1–6, 2014.
- ANGLEA, S. A., KARATHANOS, V., KAREL, M. Low-Temperature Transitions in Fresh and Osmotically Dehydrated Plant Materials. **Biotechnology Progress**, v. 9, n. 2, p. 204-209, 1993.
- ASAE. American Society of Agricultural Engineers. ASAE Standard: D245.4: Moisture Relationship of Grains, 1991.
- AZEREDO, H. M. C., Fundamentos de estabilidade de alimentos. In: AZEREDO, H. M. C., PINTO, G. A., BRITO, E. S., AZEREDO, R. M. C. **Alterações microbiológicas em alimentos durante a estocagem**. Brasília: Embrapa, 2012. cap. 1, p. 20-21.
- BECHOFF, A., DHUIQUE-MAYER, C., DORNIER, M., TOMLINS, K. I., BOULANGER, R., DUFOUR, D., WESTBY, A. Relationship between the kinetics of β -carotene degradation and formation of norisoprenoids in the storage of dried sweet potato chips. **Food Chemistry**, v. 121, n. 2, p. 348-357, 2010.
- BEZERRA, T. S., COSTA, J. M. C., AFONSO, M. R. A., MAIA, G. A., ROCHA, É. M. D. F. F. Comportamento higroscópico de pós de manga das variedades coité e espada e avaliação das características físico-químicas. *Ciência Rural*, v. 40, n. 10, p. 2186-2192, 2010.
- BOBBIO, P. A., BOBBIO, F.O. **Química do processamento de alimentos**. 2.ed. São Paulo: Varela, 1992. 151p.
- BRAND-WILLIAMS, W., CUVELIER, M. E., BERSET, C. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. **Lebensm. -Wiss. u.-Technol.**, v. 28, p. 25-30, 1995.
- BREDA, C. A., SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J., CORREIA, C. Shelf life of powdered Campomanesia adamantium pulp in controlled environments. *Food Chemistry*, v. 135, n. 4, p. 2960-2964, 2012.
- BRUNAUER, S. The absorption of the gases and vapors. Physical adsorption. Princeton: **Princeton University Press**, 1943.
- BRUNAUER, S., EMMET, T.H., TELLER, F. Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of the American Chemists ‘Society*, v.60, n.2, p.309-319, 1938.

- CANO-CHAUCA, M., STRINGHETA, P., RAMOS, A. M., CAL-VIDAL, J. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 6, p. 420–428, 2005.
- CAPARINO, O. A., NINDO, C. I., TANG, J., SABLANI, S. S., CHEW, B. P., MATHISON, B. D., POWERS, J. R. Physical and chemical stability of Refractance Window®-dried mango (Philippine ‘Carabao’ var.) powder during storage. **Drying technology**, v. 35, n. 1, p. 25-37, 2017.
- CAPARINO, O. A., SABLANI, S. S., TANG, J., SYAMALADEVI, R. M., NINDO, C. I. Water sorption, glass transition, and microstructures of refractance window–and freeze-dried mango (Philippine “Carabao” Var.) powder. **Drying technology**, v. 31, n. 16, p. 1969-1978, 2013.
- CAPARINO, O. A., TANG, J., NINDO, C. I., SABLANI, S. S., POWERS, J. R., FELLMAN, J. K. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine “Carabao” var.) powder. **Journal of Food Engineering**, v. 111, p. 135–148, 2012.
- CARVALHO, P. R. N., COLLINS, C. H., RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Comparison of provitamin A determination by normal-phase gravity-flow column chromatography and reversed-phase high performance liquid chromatography. **Chromatographia**, v. 33, n. 3–4, p. 133–137, 1992.
- 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.
- CEAGESP., Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo. **Manga Palmer**. 2019. Disponível em: <www.ceagesp.gov.br>. Acesso em: 03 fev. 2019.
- CHIA, S. L., CHONG, G. H. Effect of Drum Drying on Physico-chemical Characteristics of Dragon Fruit Peel (*Hylocereus polyrhizus*). **International Journal of Food Engineering**, v. 11, n. 2, p. 285-293, 2015.
- CHINNAN, M.S., BEAUCHAT, L.R. Sorption isotherms of whole cowpeas and flours. **LWT - Food Science and Technology**, v. 18, n.2, p. 83-88, 1985.
- DAUD, W., RAMLI, W. Drum Dryers. In: MUJUMDAR, A.S. Handbook of industrial drying, 3 ed. **CRC Press**, 2006. cap.9. 1348p.
- 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, n.6, p.1158–1162, 1997.
- DESPAIN, D. Fruit-Focused Formulating. **Food Technology**, v.8, p.65–70, 2013.
- EMBRAPA. Exportação de manga brasileira bate recorde em 2020, totalizando US\$ 246 milhões. Notícias, 13/04/21. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/60585117/exportacao-de-manga-brasileira-bate-recorde-em-2020-totalizando-us-246-milhoes>>. Acesso em: 16/10/2021.
- FABRA, M.J., TALENS, P., MORAGA, G., MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Sorption isotherm and state diagram of grapefruit as a tool to improve product processing and stability. **Journal of Food Engineering**, v. 93, n.1, p. 52-58, 2009.

- FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos - Princípios e prática**. Porto Alegre: Ed. Artemed, 602p., 2006.
- FENNEMA, O.R. Water and ice. In:(Ed.). **Food Chemistry**. New York: Marcel Dekker, 1996, 17-94p.
- FERRARI, C. C., GERMER, S. P. M., AGUIRRE, J. M. Effects of spray-drying conditions on the physicochemical properties of blackberry powder. **Drying Technology**, v. 30, n. 2, p. 154–163, 2012.
- FERRARI, C. C., GERMER, S. P. M.,ALVIM, I. D., AGUIRRE, J. M. Storage Stability of Spray-Dried Blackberry Powder Produced with Maltodextrin or Gum Arabic. **Drying Technology**, v. 31, n. 4, p. 470–478, 12 mar. 2013.
- FERRARI, C.C., MORGANO, M.A. & GERMER, S.P.M. Evaluation of water sorption isotherm, glass transition temperature, vitamin C and color stability of mango peel powder during storage. **SN Appl. Sci.**,3, 210, 2021.
- FIESP/ITAL – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo – Instituto de Tecnologia de Alimentos. **Brasil Food Trend 2020**. São Paulo. FIESP/ITAL, 2010, 173p.
- GALAZ, P. VALDENEGRO, M., RAMÍREZ, C., NUÑEZ, H., ALMONACID, S., SIMPSON, R. Effect of drum drying temperature on drying kinetic and polyphenol contents in pomegranate peel. **Journal of Food Engineering**, v. 208, p. 19-27, 2017.
- GAMBOA-SANTOS, J., MEGÍAS-PÉREZ R., SORIA, A.C., OLANO, A., MONTILLA, A.,VILLMIEL, M. Impact of processing conditions on the kinetic of vitamin C degradation and 2-furoylmethyl amino acid formation in dried strawberries. **Food Chemistry**, v.153, p. 164–170, 2014.
- GERMER, S. P. M. TONIN, I. P., AGUIRRE, J. M., ALVIM, I. D., FERRARI, C. C. Influence of process variables on the drum drying of mango pulp. **Drying Technology**, v. 36, n. 12, p. 1488-1500, 2018.
- GERMER, S. P., FERRARI, C. C., LANCHA, J. P., BERBARI, S. A., CARMELLO-GUERREIRO, S. M., RUFFI, C. R. Influence of processing additives on the quality and stability of dried papaya obtained by osmotic dehydration and conventional air drying. **Drying technology**, v. 32, n. 16, p. 1956-1969, 2014.
- GONZÁLEZ CM, LLORCA E, QUILES A, HERNANDO I, MORAGA G. Water sorption and glass transition in freeze-dried persimmon slices. Effect on physical properties and bioactive compounds. **LWT: Food Sci Technol**. 130:1–8, 2020.
- GORDON, M., TAYLOR, J.S. Ideal copolymers and the second-order transitions of syntetic rubbers. I. Non-crystalline copolymers. **Journal of Applied Chemistry**, v.2, n.9, p.493-500, 1952.
- GREGORY III, J. F. VITAMINS. In: FENNEMA, O. R. **Food Chemistry**. 3. ed. New York: Marcel Dekker, Inc.,p. 559-567, 1996.
- GUTIÉRREZ , A. M. C. **Desidratação de polpa de manga em leite de espuma com e sem intermitência térmica**. Dissertação de mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos, UNESP- Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", São José do Rio Preto, SP, 125p., 2015.

- HADJAL, T., DHUIQUE-MAYER, C., MADANI, K., DORNIER, M., ACHIR, N. Thermal degradation kinetics of xanthophylls from blood orange in model and real food systems. **Food Chemistry**, v. 138, n.4, p. 2442–2450, 2013.
- HALSEY, G. Physical adsorption on uniform surfaces. **The Journal of Chemical Physics**, v. 16, n. 10, p. 931-937, 1948.
- HENRÍQUEZ, C., CÓRDOVA, A., ALMONACID, S., TORRICO, J. S. Kinetic modeling of phenolic compound degradation during drum-drying of apple peel by-products. **Journal of Food Engineering**, v. 143, p. 146-153, 2014.
- HENRÍQUEZ, C., SPEISKY, H., CHIFFELLE, I., VALENZUELA, T., ARAYA, M., SIMPSON, R., ALMONACID, S. Development of an ingredient containing apple peel, as a source of polyphenols and dietary fiber. **Journal of Food Science**, v. 75, n. 6, p. 172-181, 2010.
- IAL, Instituto Adolfo Lutz. **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos - 4ª Edição**. 1ª Edição Digital. 2008.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção de Manga**. 2020. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/manga/br>>. Acesso em: 10 dez. 2021.
- ISLAM MZ, KITAMURA Y, YAMANO Y, KITAMURA M. Effect of vacuum spray drying on the physicochemical proper-ties, water sorption and glass transition phenomenon of orange juice powder. **J Food Eng**.169:131–140, 2016.
- JIMÉNEZ-AGUILAR, D. M.; ORTEGA-REGULES, A. E.; LOZADA-RAMÍREZ, J. D.; PÉREZ-PÉREZ, M.C.I.; VERNON-CARTER, E. J.; WELTI-CHANES, J. Color and chemical stability of spray-dried blueberry extract using mesquite gum as wall material. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, p. 889–894, 2011.
- KATSURAGI INDUSTRY CO., LTD. Osaka, Japão. Drum dryers. Disponível em: <<http://www.katsuragi.co.jp/en/index.html>>. Acesso em: 31 de agosto de 2019.
- KIM, D.O.; JEONG, S.W.; LEE, C.Y. Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. **Food Chemistry**, v.81, p.321-326, 2003.
- KIST, B.B., CARVALHO, C., TEICHEL, M., SANTOS, C.S. Manga. In: **Anuário Brasileiro de Fruticultura 2020**, Brazilian Fruit Yearbook, Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2020, P. 80-83, 2020.
- KOCA, N., BURDURLU, H. S., KARADENIZ, F. Kinetics of colour changes in dehydrated carrots. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 2, p. 449-455, 2007.
- KONG, F., TANG, J., RASCO B., CRAPO C. Kinetics of salmon quality changes during thermal processing. **Journal of Food Engineering**, v. 83, p. 510-520, 2007.
- KONICA MINOLTA BUSINESS SOLUTIONS DO BRASIL LTDA, Brasil. Disponível em: <<http://www.konicaminolta.com.br>>. Acesso em: 31 de agosto de 2019.
- LABUZA, T. P. Sorption phenomena in foods. **Food Technology**, v.22, n.3, p.263-272, 1968.
- LABUZA, T. P., ALTUNAKAR, L. Water activity prediction and moisture sorption isotherms. **Water activity in foods: fundamentals and applications**. 2007. v. 109, 154p.

LABUZA, T. P., KAAANANE, A., CHEN, J. Y. Effect of Temperature on the Moisture Sorption Isotherms and Water Activity Shift of Two Dehydrated Foods. **Journal of food Science**, v. 50, p. 385–392, 1985a.

LABUZA, T.P., SCHMIDL, M.K. Accelerated shelf-life testing of foods. **Food Technology**, v.39, n.9, p.57-65, 1985b.

LEITE, J.T.C., MURR, F.E.X., PARK, K.J. Transições de fases em alimentos: influência no processamento e na armazenagem. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campinas Grande, v. 7, p. 83-96, 2005.

LUND, D. B. Effect of commercial processing on nutrients. **Food Technology**, v. 33, n. 2, p. 28-35, 1979.

MARRÓN, M. R., WELTI-CHANES, J., CÓRDOVA-QUIROZ, A. V., CERÓN-BRETÓN, J. G., ANGUEBES-FRANSESCHI, F., MORENO-MARTÍNEZ, V. Sorption isotherms of mango (*Mangifera Indica* L.) pulp freeze-dried. In: **Proceedings of the European conference of chemical engineering, and European conference of civil engineering, and European conference of mechanical engineering, and European conference on Control**. p. 114-118, 2010.

MORAGA, G., MARTÍNEZ-NAVARRETE, N., CHIRALT, A. Water sorption isotherms and glass transitions in strawberry. **Journal of Food Engineering**, v.62, n.4, p.315-321, 2004.

MORAGA, G., MARTÍNEZ-NAVARRETE, N., CHIRALT, A. Water sorption isotherms and phase transitions in kiwifruit. **Journal of Food Engineering**, v.72, n.2, p.147-156, 2006.

MORI, E. E. M. **Determinação da vida-de-prateleira através da análise sensorial e correlações. Reações de transformação e vida-de-prateleira de alimentos processados.** Moura, S. C. S. R.; Germer, S. P. M., **Manual técnico**, ITAL, 3ª edição Campinas, 2004.

MOSER, P., SOUZA, R. T., TELIS, V. R. N. Spray drying of grapefruit from hybrid cv. brs violeta: microencapsulation of anthocyanins using 104 protein/maldextrin blends as drying aids. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 1, p. 1-11, 2017.

MOSQUERA, L. H., MORAGA, G., MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Critical water activity and critical water content of freeze-dried strawberry powder as affected by maltodextrin and arabic gum. **Food Research International**, v. 47, n. 2, p. 201-206, 2012

MOURA, S. C. S. R. D., PRATI, P., VISSOTTO, F. Z., ORMENESE, R. D. C. S. C., SANTOS RAFACHO, M. D. Color degradation kinetics in low-calorie strawberry and guava jellies. **Food Science and Technology**, v. 31, n. 3, p. 758- 764, 2011.

MOURA, S. C. S. R., GERMER, S. P. M. **Reações de transformação e vida-de-prateleira de alimentos processados. Manual técnico**, ITAL, Campinas, 2010.

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

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

NUNES, L.P. **Produção de flocos de jabuticaba por *drum drying*: desempenho de diferentes coadjuvantes de processo e estabilidade**. 2019. 124f. Dissertação

(mestrado em ciência e tecnologia de alimentos) - Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas.

NUNES, L.P., FERRARI, C.C., ITO, D., SOUZA, E.C.G., GERMER, S.P.M. Drum drying process of jaboticaba pulp using corn starch as an additive. **Braz. J. Food Technol.**, Campinas, v. 23, e2019166, 2020.

OLIVEIRA, G. S., COSTA, J. M. C., AFONSO, M. R. A., Caracterização e comportamento higroscópico do pó da polpa de cajá liofilizada. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. v.18, n.10, p. 1059-1064, 2014.

PARK, K.J., NOGUEIRA, R.I. Modelos de ajuste de isotermas de sorção de alimentos. **Engenharia Rural**, v. 3, n. 1, p.81-86, 1992.

PEDRASSOLLI, I. M., HOMEM JUNIOR, A. C., PANDOLFI, M. A. C. Aproveitamento dos resíduos de manga das agroindústrias. SIMTEC – Simpósio de Tecnologia da FATEC, 3., 2015, Taquaritinga. **Anais eletrônicos**. Taquaritinga: 2015. Disponível em: <www.fatectq.edu.br/simteq>. Acesso em: 16 mar. 2018.

PROVESI, J. G., DIAS, C. O., AMANTE, E. R. Changes in carotenoids during processing and storage of pumpkin puree. **Food Chemistry**, v. 128, n. 1, p. 195-202, 2011.

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

QUE, F., MAO, L., FANG, X., WU, T. Comparison of hot air-drying and freeze-drying on the physicochemical properties and antioxidant activities of pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch.) flours. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 43, p. 1195-1201, 2008.

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

RAHMAN, M.S. State diagram of foods: Its potential use in food processing and product stability. **Trends in Food Science and Technology**, v.17, n.3, p.129-141, 2006.

RAMOS, A. M., SOUSA, P. H. M., BENEVIDES, S. D. Tecnologia de industrialização da manga. In: ROZANE, D. E. et al. **Manga - Produção integrada , industrialização e comercialização**. Viçosa: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2004. p. 571–604.

RAO, A. V., RAO, L. G. Carotenoids and human health. **Pharmacological research**, v. 55, n. 3, p. 207-216, 2007.

ROOS, Y. H. Phase transitions in foods. San Diego, California: **Academic Press**, 1995.

ROOS, Y. H.; KAREL, M. KOKINI, J. L. Glass transitions in low moisture and frozen foods: effects on shelf life and quality. **Food Technology**. v. 5, n.11, p.95-108. 1996

RUFINO, M. S. M., ALVES, R. E., BRITO, E. S., MORAIS, S. M., SAMPAIO, C. G., PÉREZ - JIMÉNEZ, J., SAURA-CALIXTO, F. D. **Metodologia científica: Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH**. Fortaleza: EMBRAPA: 2007.

- SAGAR, V. R., & SURESH KUMAR, P. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v.47, n.1, 15–26, 2010.
- SILVA, D. F. P., SIQUEIRA, D. L, SPAZIANI, PEREIRA, C. S., SALOMÃO, L,UC.C., STRUIVING, T.B. Caracterização de frutos de 15 cultivares de mangueira na Zona da Mata mineira. **Revista Ceres**, v. 56, n. 6, p. 783-789, 2009.
- SILVA, R. N. G., FIGUEREDO, R. M. F., QUEIROZ, A. J. M., FEITOSA, R. M. Isotermas de adsorção de umidade do umbu-cajá em pó. **Revista Educação Agrícola Superior**, v.30, p.33-36, 2015.
- SILVA, V.M., KUROZAWA, L.E., PARK, K.J., HUBINGER, M.D. Water Sorption and Glass Transition Temperature of Spray-Dried Mussel Meat Protein Hydrolysate. **Drying Technology**, v.30, p. 175-184, 2012.
- SINGH, R. P., HELDMAN, D. R., **Introduction to food engineering**. 2ªed., Ed. Acribia, Zaragoza, 563p., 1998.
- SLADE, L., LEVINE, H. Beyond water activity: recent advances based on an alternative approach to the assessment of food quality and safety. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.30, n.2-3, p. 115-360, 1991.
- SOGI, D.S., SIDDIQ, M., DOLAN, K.D. Total phenolics, carotenoids and antioxidant properties of Tommy Atkin mango cubes as affected by drying techniques. **LWT-Food Science and Technology**, v. 62, issue 1, part 2, p. 564-568, 2015.
- SONG, J., WANG, X., LI, D.; LIU, C. Degradation kinetics of carotenoids and visual color in pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) slices during microwave vacuum drying. **International Journal of Food Properties**, v. 20, n. 1, p. 632- 643, 2017.
- STEELE, R. **Understanding and measuring the shelf-life of food**. Ed. CRC Press LLC, Boca Raton, FL, 407p., 2004.
- SUCUPIRA, N. R., SILVA, A. B., PEREIRA, G.,COSTA, J. N. Métodos Para Determinação da Atividade Antioxidante de Frutos. **UNOPAR Cient. Ciênc. Biol. Saúde**, v. 14 (4), p. 263-269, 2012.
- TANG, J., FENG, H., SHEN, G.-Q. Drum drying. **Encyclopedia of Agricultural, Food, and Biological Engineering**, p. 211–214, 2003.
- TAO, Y., WU, Y., YANG, J., JIANG, N., WANG, Q., CHU, D.T., ZHOU, J. Thermodynamic sorption properties, water plasticizing effect and particle characteristics of blueberry powders produced from juices, fruits, and pomaces. **Powder Technol.**, 323:208–218, 2018.
- TAOUKIS, P. S.; LABUZA, T. P.; SAGUY, S. I. Kinetics of Food Deterioration and Shelf-Life Prediction. In *Handbook of Food Engineering Practice*; Rotstein, E., Singh, R.P., Valentas, K.J., Eds.; **CRC Press**: Boca Raton, p. 361– 407.1997.
- TAOUKIS, P., LABUZA, T. P. Summary: integrative concepts. **Food chemistry**, v. 3, p. 1013-1042, 1996.
- TEIXEIRA NETO, R. O., VITALI, A. A., MOURA, S. C. S. R. **Introduction to Kinetics of Reactions in Food. In Transformation Reactions and Shelf-life of Processed Foods**; Moura, S.C.S.R.; Germer S.P.M. Eds.; Institute of Food Technology: Campinas, SP, Brazil, 2010; pp 24.
- TONIN, I. P. **Desidratação de polpa de manga em secador de cilindro rotativo (drum drying): variáveis de processo**. 2017. 99f. Dissertação (mestrado em ciência

e tecnologia de alimentos) - Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas.

TONIN, I. P., FERRARI, C. C., SILVA, M. G., OLIVEIRA, K. L., BERTO, M. I., SILVA, V. M., GERMER, S. P. M. Performance of different process additives on the properties of mango powder obtained by drum drying. **Drying Technology**, v. 36, n. 3, p. 355–365, 2018.

TONON R.V., BARONI A.F., BRABET C., GIBERT O., PALLET D., HUBINGER M.D. Water sorption and glass transition temperature of spray dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice. **J Food Eng** 94:215–221, 2009.

TONON, R. V. **Secagem por atomização do suco de açai: Influência das variáveis de processo, qualidade e estabilidade do produto**. 2009 Dissertação (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas, SP.

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

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

TROIANI, C. A. L. **Influência das variáveis de processo na secagem de cascas de manga em secador de cilindro rotativo (Drum Dryer) e avaliação do ingrediente funcional obtido**. Tese (mestrado) – Instituto de Tecnologia dos Alimentos. Campinas, SP, 2020.

TRUONG, V., BHANDARI, B.R., HOWES, T. Optimization of co-current spray drying process of sugar-rich foods. Part II—Optimization of spray drying process based on glass transition concept. **Journal of Food Engineering**, v.71, n.1, p.66-72, 2005.

VAN BOEKEL, M. AJS. Kinetic modeling of food quality: a critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 7, n. 1, p. 144-158, 2008.

VAN DEN BERG, C. Description of water activity of foods for engineering purposes by means of the GAB model of sorption. **Engineering and Food**, v. 1, p.311-321, 1984.

VÁSQUEZ, C.; DÍAZ-CALDERÓNA, P.; ENRIONE, J.; MATIACEVICH, S. State diagram, sorption isotherm and color of blueberries as a function of water content. **Thermochimica Acta**, v. 570, p. 8–15, 2013.

VICTORIA, M. S., SILVA, M. G., PACHECO, M. T. B., SOUZA, E. C. G., GERMER, S. P. M., DESIDRATAÇÃO DE CASCAS DE MANGA POR DRUM DRYING. In: **CIIC 2018, 12º Congresso Interinstitucional de Iniciação**, 2018, Campinas. 2018.

VIEIRA, P. A. F., QUEIROZ, J. H., VIEIRA, B. C., MENDES, F. Q., BARBOSA, A. A., MULLER, E. S., SANT'ANA, R. C. O., MORAES, G. H. K. Caracterização química do resíduo do processamento agroindustrial da manga (*Mangifera indica* L.) var. Ubá. **Alimentos e Nutrição**, v. 20, n. 4, p. 617–623, 2009.

YAMAMOTO, E. S., ITO, D., ALVEZ, R. M. V., GOZA, A. C. M.; MOREIRA, C. Q. Estudo de vida útil acelerado versus modelagem matemática: avaliação da técnica mais adequada para determinação da vida útil de produtos sensíveis à 109 umidade. In: **CIIC 2011, 5º Congresso Interinstitucional de Iniciação**, 2011, Campinas. 2011.

- YAMASHITA, F., BENASSI, M.T., TONZAR, A.C., MORIYA, S., FERNANDES, J. G. Produtos de acerola: estudo da estabilidade da vitamina C. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, 23(1): 92-94, 2003.
- YAMATO, M. A. C., SILVA, V. M., SOUZA, E. C. G., FERRARI, C. C., GERMER, S. P. M. Stability of mango flakes obtained by drum drying with different additives. **Drying Technology**. 2019. DOI: 10.1080/07373937.2019.1571505.
- YAMATO, M. A. **Estabilidade de flocos de manga obtidos por drum drying no armazenamento controlado**. 2018. 125f. Dissertação (mestrado em ciência e tecnologia de alimentos) - Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas.
- ZHAO, J.H., LIU, F., WEN X., NI Y.Y. State diagram for freeze-dried mango: freezing curve, glass transition line and maximal-freeze-concentration condition. **J Food Eng.**,157:49–56, 2015.
- ZOTARELLI, M. F. **Produção e caracterização de manga desidratada em pó por diferentes processos de secagem**. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2014.
- ZOTARELLI, M. F., DA 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.