



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

LARISSA PEIXOTO NUNES

PRODUÇÃO DE FLOCOS DE JABUTICABA POR *DRUM DRYING*:
DESEMPENHO DE DIFERENTES COADJUVANTES
DE PROCESSO E ESTABILIDADE

CAMPINAS

2019

LARISSA PEIXOTO NUNES

**PRODUÇÃO DE FLOCOS DE JABUTICABA POR *DRUM DRYING*:
DESEMPENHO DE DIFERENTES COADJUVANTES
DE PROCESSO E ESTABILIDADE**

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

Aluno: Larissa Peixoto Nunes
Orientadora: Profa. Dra Silvia Pimentel
Marconi Germer

Coorientadora: Profa. Dra Cristhiane
Caroline Ferrari

Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação defendida pela aluna Larissa Peixoto Nunes e orientada pela Profa. Dra. Silvia Pimentel Marconi Germer.

CAMPINAS

2019

Agência (s):

Nº do proc.:

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA DO ITAL

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

Biblioteca Central do ITAL- Instituto de Tecnologia de Alimentos.

N972p Nunes, Larissa Peixoto.

Produção de flocos de jabuticaba por *Drum Drying*: desempenho de diferentes coadjuvantes de processo e estabilidade. Larissa Peixoto Nunes / Dissertação de mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Campinas, SP: ITAL - Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2019.

124 f.

Profa. Dra. Sílvia Pimentel Marconi Germer.

1. *Myrciaria sp.* 2. Secagem. 3. Isotermas de sorção. 4. Parâmetros cinéticos. 5. Estabilidade. I. ITAL / Fruthotec – Centro de Tecnologia de Frutas e Hortaliças. II. Nunes, Larissa Peixoto. III. Título.

Título em inglês: Production of Jabuticaba flakes by drum drying: performance of different additives and stability

Key-words: *Myrciaria sp.*; drying; sorption isotherms; kinetic parameters; stability.

Titulação: Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Banca Examinadora: Dra. Sílvia Pimentel Marconi Germer; Dr. Flávio Luís Schmidt; Dra. Mitie Sonia Sadahira e Dra. Elizabeth Harumi Nabeshima.

Data da Defesa: 10 de abril de 2019.

Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos

BANCA EXAMINADORA

Este exemplar corresponde à redação final da Dissertação de Mestrado defendida por Larissa Peixoto Nunes, aprovada pela Comissão Julgadora em 10 de abril de 2019.

Dra. Silvia Pimentel Marconi Germer
Instituto de Tecnologia dos Alimentos - ITAL (Presidente)

Dra. Cristhiane Caroline Ferrari
Instituto de Tecnologia dos Alimentos - ITAL (coorientadora)

Dr. Flávio Luís Schmidt
Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP (titular)

Dra. Mitie Sonia Sadahira
Instituto de Tecnologia dos Alimentos – ITAL (titular)

Dra. Elizabeth Harumi Nabeshima
Instituto de Tecnologia dos Alimentos – ITAL (suplente)

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

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho aos meus pais,
Fátima e Nelson, por todo apoio e amor.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas oportunidades maravilhosas que tem me concedido no decorrer da vida, sempre me fazendo acreditar e me guiando para o melhor caminho.

À minha mãe, Maria de Fátima, que é responsável por quem me tornei, só tenho a agradecer por tudo o que ela me proporcionou, sempre com muito amor e confiança. Obrigada por sempre me colocar, assim como minha irmã em primeiro lugar. Ao meu pai, Nelson Roberto, pela paciência e incentivo durante toda a minha vida. Ao meu namorado Fellype, que é mais que um namorado, é um companheiro que sempre me aconselha da melhor maneira possível e me ajuda em qualquer circunstância. Sei que posso contar sempre com ele. À minha tia, Lúcia, que me convenceu a realizar o mestrado. À minha irmã e meus familiares.

À Prof^a Dr^a Silvia Pimentel Marconi Germer, orientadora deste trabalho, por ter me escolhido como sua aluna e dedicado seu tempo a me ensinar e aconselhar. Obrigada pelo interesse, sabedoria e compreensão.

À banca examinadora de qualificação e defesa, Dr. Flávio Luís Schmidt, Dra. Elizabeth Harumi Nabeshima e Dr^a Flavia Maria Netto, pela disponibilidade e sugestões para melhoria do trabalho.

À Cristhiane Ferrari, por ser coorientadora deste trabalho e me ajudar na interpretação de resultados e traduções. Obrigada pela paciência.

À Elaine, pela ajuda nos dias de processamento e paciência durante as análises de laboratório. Obrigada pela companhia no dia-a-dia.

Ao FRUTHOTEC por proporcionar a estrutura necessária para realização desse trabalho e por todos funcionários que contribuíram diretamente ou indiretamente, em especial a dona Elza, pelo cafezinho de toda manhã.

À Dra. Rosa Maria Vercelino Alves (CETEA/ITAL) pelo fornecimento da embalagem utilizada no estudo de armazenamento.

À Dra. Izabela Dutra Alvim (CEREAL CHOCOTEC/ITAL) pela disponibilidade e realização das análises de tamanho de partícula.

À Dra. Miriam Hubinger (FEA/UNICAMP), por permitir a realização da análise de transição vítrea e à Vanessa pela ajuda e interpretação dos resultados.

Aos meus colegas da turma de 2017 do mestrado do Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL) e à Elenice por sempre nos ajudar durante todo o curso.

A todos que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A jabuticaba é um fruto nativo do Brasil, muito nutritivo, porém altamente perecível. A desidratação é uma alternativa para conservação da fruta. Os objetivos do estudo foram: estabelecer as condições do *drum drying* de polpa de jabuticaba; avaliar o desempenho de diferentes coadjuvantes (fécula de mandioca e amido de milho); estabelecer as condições críticas de armazenamento dos flocos obtidos; determinar a cinética da degradação da qualidade no armazenamento em diferentes temperaturas. As condições definidas para o processo foram: temperatura de 144 °C; tempo de residência de 18 segundos; uso de 20% (b.s.) do coadjuvante de secagem, e de 0,5% (b.s.) de monoestearato de glicerila. O desempenho dos coadjuvantes foi avaliado através das seguintes propriedades dos flocos: teor de umidade, atividade de água (a_w), cor instrumental, teores de compostos fenólicos e de antocianinas, capacidade antioxidante, higroscopicidade, porosidade, solubilidade, índice de absorção de água e densidades (absoluta e aparente). Determinaram-se as isotermas de sorção dos flocos a 25°C, empregando-se o método gravimétrico com soluções saturadas ($0,11 < a_w < 0,84$). Os pontos experimentais de equilíbrio foram ajustados pelos seguintes modelos: GAB, BET, Halsey, Oswin e Henderson. O modelo de GAB apresentou o melhor ajuste e os valores de umidade da monocamada foram: 15,96% e 12,74% para os flocos com fécula e amido, respectivamente. Calculou-se a vida útil dos flocos, com base nas condições críticas obtidas nas isotermas, empregando-se dois tipos de embalagem. Os resultados de ambos os coadjuvantes foram semelhantes. A fécula de mandioca foi escolhida para a sequência do estudo. Aplicou-se o modelo de Gordon-Taylor às temperaturas de transição vítrea dos flocos, em diferentes a_w , verificando que os mesmos se apresentavam no estado não vítreo a 25°C. Os flocos foram acondicionados e armazenados de 4 a 8 meses, nas temperaturas de 20, 25 e 35°C (UR=65%). Periodicamente, as seguintes propriedades foram avaliadas: teor de antocianinas e cor instrumental. Durante o período, em etapas diferentes, foram avaliadas as mesmas propriedades do estudo de desempenho dos coadjuvantes, além de diâmetro médio de partículas e morfologia. A variação do teor de antocianinas e dos parâmetros de cor (L^* , a^* , b^* , Hue e ΔE) foram melhor ajustadas por modelos cinéticos de 1ª e zero ordem, respectivamente. Os tempos de meia vida obtidos foram de 630 dias, e de 745-1446 dias para a variação da antocianina e dos parâmetros de cor a 25°C, respectivamente. Os valores de Q_{10} e E_a mostraram forte influência da temperatura nessas reações. Observou-se pouca variação das outras propriedades no armazenamento. Pode-se afirmar, portanto, que os flocos de jabuticaba obtidos por *drum drying* com fécula de mandioca, nas condições praticadas, se apresentaram relativamente estáveis à temperatura ambiente (25°C), porém, instáveis em temperaturas mais altas. Esse aspecto pode ser melhorado com o emprego de outros carreadores e/ou maiores quantidades dos mesmos.

Palavras-chave: *Myrciaria sp.*; secagem; isotermas de sorção; parâmetros cinéticos; estabilidade.

ABSTRACT

Jaboticaba is a native fruit from Brazil, high nutritional properties, but it is highly perishable. Dehydration is an alternative for the conservation of the fruit. The objective of the study was to establish the conditions of drum drying of jaboticaba pulp; evaluate the performance of two different additives (cassava starch and corn starch); establish the critical storage conditions; determine the kinetics of the quality degradation along the storage at different temperatures. The chosen conditions for the process were: temperature of 144°C; residence time of 18 seconds; use of 20% (db) of additives and 0.5% (db) of glyceryl monostearate. The performance of the additives was evaluated by the following properties of flakes: moisture content, water activity (a_w), instrumental color, phenolic compounds content, anthocyanin content, antioxidant capacity, hygroscopicity, porosity, solubility, water holding capacity and densities (absolute and bulk). The sorption isotherms of the jaboticaba flakes were determined at 25°C using the gravimetric method with saturated solutions ($0.11 < a_w < 0.84$). The experimental points of equilibrium were adjusted by the following models: GAB, BET, Halsey, Oswin e Henderson. The GAB model presented the best fit and the values of monolayer moisture were: 15.96% e 12.74% for flakes with cassava starch and corn starch, respectively. The shelf life of flakes was calculated using two types of packaging, based on the critical conditions obtained in the isotherms. The results of both additives were similar. Thus, the flakes obtained with cassava starch were chosen for the study sequence. The Gordon-Taylor model was applied to the glass transition temperatures of flakes at different a_w , showing that they were in the non-glass transition state at 25°C. The flakes were packed and stored from 4 to 8 months at 20°C, 25°C and 35°C (RH = 65%). Periodically, the following properties were evaluated: anthocyanin content and instrumental color. During the period, at different stages, the same properties of the performance of the additives study were analyzed, besides mean particle diameter and morphology. First-order and zero-order models were obtained for the degradation of anthocyanin and color parameters (L^* , a^* , b^* , Hue and ΔE), respectively. The half-life times obtained were 630 days, and 745-1446 days for anthocyanin degradation and color parameters variation at 25°C, respectively. The values of Q_{10} and E_a showed high influence of temperature in these reactions. Regarding the other analyzes, the flakes presented low variation. Therefore, the jaboticaba flakes obtained by drum drying with cassava starch, under the selected conditions, were relatively stable at room temperature (25°C), but unstable at higher temperatures. This aspect can be improved using other carriers and/or larger amounts.

Key words: *Myrciaria sp.*; drying; sorption isotherms; kinetic parameters; stability.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT	vii
SUMÁRIO.....	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo Geral	3
2.2. Objetivos específicos	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1. Jaboticaba.....	3
3.2. Compostos bioativos	6
3.2.1. Compostos fenólicos e atividade antioxidante	6
3.2.2. Antocianinas.....	7
3.3. Secagem de frutas	9
3.3.1. <i>O drum drying</i>	9
3.3.2. Coadjuvantes de secagem.....	10
3.4. Estabilidade de produtos desidratados	12
3.4.1. Isotermas de sorção.....	12
3.4.1.1. Modelos matemáticos das isotermas de sorção	15
3.4.2. Transição vítrea	16
3.4.3. Cinética de degradação	18
3.4.3.1. Ordem das reações de degradação	18
3.4.3.2. Parâmetros das reações de degradação	21
3.4.3.2.1. Fator de aceleração das reações com a temperatura (Q_{10}).....	21
3.4.3.2.2. Tempo de meia vida ($t_{1/2}$).....	22
3.4.3.2.3. Energia de ativação (E_a)	22
4. MATERIAL E MÉTODOS	24
4.1. Material	24
4.2. Procedimentos experimentais	24
4.2.1. Caracterização da polpa	24
4.2.2. Etapas do processo de <i>drum drying</i> de polpa de jaboticaba.....	24
4.2.3. Estabelecimento das variáveis do <i>drum drying</i> de polpa de jaboticaba	26
4.3. Avaliação do desempenho dos diferentes coadjuvantes de secagem	28
4.4. Estabilidade dos flocos quanto ao armazenamento em diferentes umidades relativas	28

4.4.1.	Isotermas de sorção.....	28
4.4.2.	Cálculo da vida útil por permeabilidade da embalagem ao vapor de água	29
4.5.	Estudo da estabilidade dos flocos no armazenamento em diferentes temperaturas	31
4.5.1.	Determinação da temperatura de transição vítrea (Tg) e aplicação do modelo Gordon-Taylor	32
4.5.2.	Estudo do efeito da temperatura no armazenamento dos flocos	33
4.6.	Metodologia Analítica	34
4.6.1.	Extração amostra	34
4.6.2.	Composição centesimal (umidade, cinzas, fibras, proteínas, lipídeos e carboidratos) e calorias	35
4.6.3.	Açúcares totais, invertidos, não redutores e redutores	35
4.6.4.	Teor de minerais	36
4.6.5.	Atividade de água (a_w)	36
4.6.6.	Cor instrumental e cor reconstituída	37
4.6.7.	Teor de antocianinas.....	37
4.6.8.	Teor de compostos fenólicos	38
4.6.9.	Capacidade ou atividade antioxidante.....	38
4.6.10.	Acidez titulável e pH.....	39
4.6.11.	Teor de sólidos solúveis (°Brix).....	39
4.6.12.	Solubilidade e índice de absorção de água (IAA)	39
4.6.13.	Higroscopicidade.....	40
4.6.14.	Densidade aparente, densidade absoluta e porosidade	40
4.6.15.	Diâmetro médio de partículas	41
4.6.16.	Morfologia	41
4.7.	Análise Estatística.....	41
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
5.1.	Caracterização da polpa de jabuticaba	42
5.2.	Desempenho dos diferentes coadjuvantes de processo no <i>drum drying</i> de polpa de jabuticaba	43
5.2.1.	Propriedades físicas e químicas dos flocos obtidos com os diferentes coadjuvantes	43
5.2.2.	Isotermas de sorção dos flocos obtidos com os diferentes coadjuvantes	49
5.2.2.1	Cálculo da vida útil por permeabilidade da embalagem ao vapor de água	55
5.3	Temperatura de transição vítrea (Tg).....	56

5.4	Armazenamento controlado dos flocos de jabuticaba – estudo do efeito da temperatura ao longo do tempo	62
5.4.1	Varição do teor de umidade e da atividade de água no armazenamento controlado.....	62
5.4.2	Varição dos compostos fenólicos e capacidade antioxidante (ABTS e DPPH) no armazenamento	64
5.4.3	Varição da solubilidade, índice de absorção de água (IAA) e higroscopicidade no armazenamento.....	65
5.4.4	Varição da densidade (aparente e absoluta) e porosidade no armazenamento	67
5.4.5	Cinética da degradação da qualidade dos flocos de jabuticaba ao longo do armazenamento controlado.....	69
5.4.5.1	Cinética da degradação das antocianinas.....	69
5.4.5.2	Cinética da variação dos parâmetros de cor (L*, a*, b*).....	72
5.4.5.3	Cinética da variação do ângulo de tom (Hue)	78
5.4.5.4	Cinética da variação da diferença de cor (ΔE).....	80
5.4.5.5	Varição do Croma dos flocos de jabuticaba ao longo do armazenamento controlado.....	82
5.4.6	Avaliação visual da variação da cor dos flocos de jabuticaba no armazenamento controlado.....	83
5.4.7	Distribuição do tamanho de partícula dos flocos de jabuticaba ao longo do armazenamento	85
5.4.8	Morfologia dos flocos de jabuticaba ao longo do armazenamento.....	87
6.	CONCLUSÕES	91
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
8.	ANEXOS	108
8.1.	Anexo 1 (Ficha técnica - Polpa de jabuticaba)	108
8.2.	Anexo 2 (Ficha técnica - Fécula de mandioca)	110
8.3.	Anexo 3 (Ficha técnica - Amido de milho).....	111
8.4.	Anexo 4 (Ficha técnica - Monoestearato de glicerila).....	112

1. INTRODUÇÃO

A jabuticabeira é uma árvore frutífera brasileira que pode ser encontrada em diversas regiões do Brasil, sendo o Sudeste o principal produtor. Seu fruto, a jabuticaba, possui propriedades antioxidantes, com altas quantidades de compostos fenólicos e antocianinas, que estão presentes em maior quantidade nas cascas, conferindo-lhe a cor roxa. A jabuticaba possui grande popularidade entre os brasileiros, porém sua comercialização é prejudicada devido à sua curta vida pós-colheita, resultado principalmente da alta deterioração causada pela composição rica em açúcares e água. Com a fruta é possível a obtenção de uma série de produtos, desde polpa, geleias até bebidas fermentadas.

Uma das formas de retardar a perecibilidade dos alimentos é empregar métodos de conservação, como aplicação de calor ou frio, adição de conservantes, secagem, dentre outros. A secagem apresenta muitas vantagens, dentre as quais: o prolongamento da vida útil do produto; a concentração dos nutrientes contidos no alimento; maior facilidade no transporte, armazenamento e comercialização, dentre outros (CELESTINO, 2010).

A indústria de alimentos emprega diversos tipos de processo de secagem, tendo em vista a qualidade final do produto e sua estabilidade. A retirada da água pode ser realizada por diferentes técnicas, alguns exemplos são: secagem com ar quente, secagem por atomização (*spray drying*), liofilização (*freeze drying*) e secagem com cilindro rotativo (*drum drying*), dentre outros.

O *spray drying* é uma técnica muito empregada para a secagem de polpa de frutas, porém amostras ricas em açúcares podem gerar pós com alta higroscopicidade e pegajosidade devido à baixa temperatura de transição vítrea. Nesses casos pode ocorrer problemas como aderência nas paredes do secador, causando dificuldades operacionais e diminuição do rendimento. A alternativa, portanto, é a adição de agentes carreadores, tais como maltodextrinas, amidos e gomas, no geral, em níveis superiores a 40% (base seca). A finalidade dessa aplicação é elevar a temperatura de transição vítrea, diminuindo assim os problemas tecnológicos relacionados (ROOS; KAREL, 1991). O uso de aditivo em altas concentrações pode gerar produtos com menor impacto sensorial, e teores relativamente menores de nutrientes. Por outro lado, a liofilização garante as propriedades nutricionais e sensoriais do produto final, com grande proximidade ao produto in natura, quando re-hidratado. No processo, a retirada

de água do alimento ocorre por sublimação, combinando pressão e temperatura. No entanto, a técnica apresenta um custo elevado, influenciando diretamente o preço final do produto (GAVA, 1984). Desse modo, o *drum drying* se apresenta como uma alternativa promissora para a obtenção de flocos de frutas, pois sua produção é rentável, utiliza menores quantidades de agentes carreadores, resultando em produto de boa qualidade (BARBOSA-CÁNOVAS, 2005). Mendes (2014) avaliou a aplicação de polpa da banana verde com casca, obtida por *drum drying*, para o desenvolvimento de recheios; Jittanit et al. (2011) avaliaram o *drum drying* de polpa de tamarindo; Yamato (2018) realizou a secagem de polpa de manga pelo processo, e observou a estabilidade do produto obtido durante o armazenamento. No entanto, os estudos da aplicação da secagem por cilindro rotativo para a produção de polpa de frutas em pó/flocos ainda são escassos.

O crescente interesse da comunidade científica nos compostos bioativos é justificado pelos diversos estudos que mostram seu potencial benefício à saúde (CROZIER et al., 2009). As antocianinas são compostos bioativos presentes na casca da jabuticaba, como também na polpa, e sua principal propriedade é a capacidade antioxidante, com alegados benefícios à saúde humana, tais como: proteção contra doenças cardiovasculares e diabetes; atividade anti-inflamatória e resposta autoimune; proteção a certos tipos de cânceres; e distúrbios relacionados ao envelhecimento (DORNAS et al, 2007).

Um estudo desenvolvido sobre tendências de consumo de alimentos, apresentado em *Brasil Food Trends 2020*, evidenciou a demanda global por produtos com maior saudabilidade, sensorialidade e praticidade (FIESP/ITAL, 2010). A incorporação de suco, polpa ou extrato de frutas em alimentos tem se mostrado uma boa alternativa para a agroindústrias frente a essas tendências de consumo. Essa inserção possibilita a substituição parcial ou total dos corantes artificiais (AVELAR, et al., 2016), bem como a substituição parcial da sacarose por sólidos naturais das frutas, conferindo ao produto maior naturalidade.

Nesse contexto, o desenvolvimento de ingredientes a partir de frutas é relevante, tendo em vista a crescente demanda por alimentos mais saudáveis. O aproveitamento de uma fruta tipicamente brasileira, como a jabuticaba, com reconhecido potencial nutricional, por sua vez, pode resultar na valorização econômica da cultura, promovendo a oferta para a aplicação industrial, tanto no Brasil, como em outros países.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo do estudo foi avaliar a secagem de polpa de jabuticaba em cilindro rotativo, o *drum drying*, analisando o desempenho de coadjuvantes, bem como a estabilidade dos flocos obtidos no armazenamento em diferentes condições de temperatura e umidade relativa, tendo em vista o estabelecimento das condições críticas de armazenamento e o levantamento dos parâmetros cinéticos de degradação da qualidade.

2.2. Objetivos específicos

- Estabelecer as variáveis do *drum drying* para a secagem de polpa de jabuticaba: temperatura, tempo de residência, percentual dos coadjuvantes, abertura entre os cilindros e taxa de alimentação.
- Determinar o desempenho de dois diferentes coadjuvantes de processo no *drum drying*, o amido de milho e a fécula de mandioca, com relação às propriedades dos flocos obtidos.
- Estabelecer as condições críticas de armazenamento dos flocos a partir do levantamento de isotermas de sorção à temperatura ambiente (25°C), avaliando os modelos matemáticos de melhor ajuste.
- Avaliar a estabilidade no armazenamento dos flocos obtidos, em diferentes condições de temperatura, visando a obtenção de parâmetros cinéticos de degradação da qualidade.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Jabuticaba

A jabuticabeira (*Myrciaria sp.*) é uma árvore frutífera brasileira (OCHSE et al., 1961), de origem subtropical e nativa do Bioma Mata Atlântica (CITADIN et al., 2010), podendo ser encontrada desde o Pará até o Rio Grande do Sul, possuindo maior ocorrência e produtividade na região Sudeste (SATO & CUNHA, 2007). Dados divulgados pela Companhia de Entrepósitos e Armazéns

de São Paulo (CEAGSP) mostram que, em 2017, foram comercializadas aproximadamente 2.460 toneladas de jabuticaba, sendo que as principais cidades produtoras estão localizadas no estado de São Paulo: Casa Branca, com 24% da produção; Mogi das Cruzes, com 16% da produção; Aguaí com 13% da produção; por fim, Guararema com 12% da produção (BRASIL, 2017).

A produção de jabuticaba é sazonal, ocorrendo entre agosto e novembro, tendo por pico de comercialização, o mês de setembro (BRASIL, 2017). Uma única árvore pode produzir cerca de 200 kg/ ano de frutos (SALOMÃO et al., 2018).

Há diversas espécies de jabuticabeiras, e as mais conhecidas são: *Myrciaria cauliflora* (DC) Berg (jabuticaba Paulista ou Açu) e a *Myrciaria jabuticaba* (Vell) Berg (jabuticaba Sabará) (MATTOS, 1983). O fruto dessa planta é uma baga globosa, de tamanho pequeno, polpa esbranquiçada, com casca preto-avermelhada, de textura mucilaginosa e sabor agri-doce e adstringente (BARROS et al., 1996).

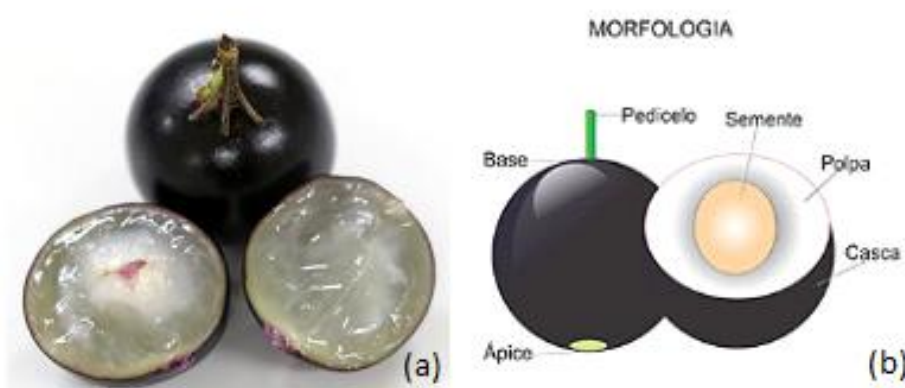


Figura 1. Foto da jabuticaba (a) e representação de sua morfologia (b)

Fonte: Ceagesp (BRASIL, 2017)

A jabuticaba é um fruto versátil, podendo ser consumido, tanto in natura, como na fabricação de geleias, sorvetes, sucos, bebidas fermentadas, xaropes, vinhos, vinagres e licores (MAGALHÃES et al., 1996).

Apesar da popularidade, a jabuticaba tem sua comercialização prejudicada pelo curto período da safra, bem como devido à vida útil limitada, de até 3 dias após a colheita (LIMA et al., 2008). O alto teor de água, açúcares e outros constituintes a tornam muito perecível (BRUNINI et al. 2004). Apesar do

seu alto potencial de comercialização, a jabuticaba ainda é considerada uma fruta de pomar, sendo pouco explorada em escala industrial. Contudo, já é possível encontrar alguns pomares comerciais nos estados de São Paulo e Minas Gerais (CITADIN et al., 2010).

De acordo com os padrões de identidade e qualidade da Instrução Normativa de nº 01, de 7 de janeiro de 2000 do Ministério da Agricultura e do Abastecimento, polpa de fruta é definida como: “produto não fermentado, não concentrado, não diluído, obtido de frutos polposos, através de processo tecnológico adequado, com um teor mínimo de sólidos totais, proveniente da parte comestível do fruto” (BRASIL, 2000). O teor mínimo de sólidos totais, portanto, é estabelecido na legislação brasileira para diferentes polpas de frutas (BRASIL, 2000). No entanto, para a polpa de jabuticaba ainda não há definição de parâmetros de qualidade, talvez devido à baixa comercialização em escala industrial.

Com relação aos aspectos nutricionais, a jabuticaba apresenta características interessantes. Segundo a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2011), a fruta tem baixo valor calórico, sendo composta basicamente por água e carboidratos, além de possuir diversos minerais (Tabela 1). A fruta também contém vitaminas, tais como tiamina (0,06 mg/100 g) e vitamina C (16,2 mg /100 g).

Tabela 1. Composição centesimal e mineral da jabuticaba inteira.

Valor Energético 58 Kcal/100g			
Composição centesimal		Minerais	
Umidade (% b.u.)	83,6	Cálcio (mg.100 g ⁻¹ b.u)	8
Cinzas (g.100 g ⁻¹ b.u.)	0,4	Magnésio (mg.100 g ⁻¹ b.u)	18
Lipídios totais (g.100 g ⁻¹ b.u.)	0,1	Manganês (mg.100 g ⁻¹ b.u)	0,3
Proteína (g.100 g ⁻¹ b.u.)	0,6	Fósforo (mg.100 g ⁻¹ b.u)	15
Fibra Alimentar (g.100 g ⁻¹ b.u.)	2,3	Ferro (mg.100 g ⁻¹ b.u)	0,1
Carboidratos totais (g.100 g ⁻¹ b.u.)	15,3	Potássio (mg.100 g ⁻¹ b.u)	130
		Cobre (mg.100 g ⁻¹ b.u)	0,07
		Zinco (mg.100 g ⁻¹ b.u)	0,3

Fonte: TACO (2011)

A fruta é rica em compostos fenólicos, sendo que as cascas apresentam 25 vezes mais esses nutrientes do que a polpa. Segundo Lima et al. (2008), a variedade Sabará apresenta 8,51 g/ 100 g do composto, e a variedade Paulista 6,49 g/100 g, ambas em base seca (b.s.). As antocianinas são os principais

compostos fenólicos presentes na fruta, segundo o estudo realizado por Lima et al. (2011), tendo sido evidenciada maior concentração na casca, seguido da semente, e por último na polpa. No fruto inteiro, foram determinados 5,83 mg/ g (b.s.) de antocianinas na variedade Paulista, e 8,37 mg/ g (b.s.) na variedade Sabará. As principais antocianinas encontradas na casca da jabuticaba são a cianidina 3-glicosídeo (EINBOND et al., 2004), a delphinidina 3-glicosídeo (TERCI, 2004) e a peonidina 3-glicosídeo (TREVISAN et al., 1972).

3.2. Compostos bioativos

Compostos bioativos são componentes fitoquímicos que tem efeito sobre processos metabólicos, contribuindo na promoção da saúde. Entre seus efeitos benéficos estão: inibição ou indução de enzimas; indução ou inibição da expressão gênica; atividade antioxidante (CORREIA et al., 2012). Os compostos bioativos se diferem das vitaminas pois não são essenciais, e não possuem assim, valores de ingestão diária recomendados por algum órgão da saúde (GIBNEY et al., 2009). Eles podem ser encontrados em diversas fontes alimentares, tais como frutas, verduras, hortaliças, raízes, grãos e flores. Alguns exemplos de compostos bioativos são licopeno, carotenoides, taninos, flavonoides (antocianinas, isoflavonas, flavonas), dentre outros. Nesse contexto, há grande interesse atualmente da comunidade científica pelos compostos bioativos, e diversos estudos têm sido publicados nesse tema.

3.2.1. Compostos fenólicos e atividade antioxidante

Compostos fenólicos estão presentes na maior parte das plantas e sua estrutura possui pelo menos um anel aromático ligado a um grupo de hidroxila. Podem ser divididos em dois grupos, os flavonoides e os não flavonoides, sendo que o primeiro é o que possui a maior parte dos compostos bioativos. O grupo dos flavonoides é dividido em famílias, e sua classificação depende do anel de pirano (DE LA ROSA et al., 2019). Os flavonoides podem ser encontrados em diferentes alimentos, tais como maçã, uva, morango, cebola, brócolis, chá, oliva, pimenta vermelha, salsinha e outros.

Os compostos fenólicos têm habilidade redutora como agentes doadores de hidrogênio ou de elétrons, evidenciando seu potencial na captura de radicais livres, o que os torna compostos antioxidantes (GARCIA-SALAS et al., 2010).

Halliwell & Gutteridge (1989) definem atividade antioxidante como “qualquer substância que, presente em baixas concentrações quando comparada com o substrato oxidável, diminui ou inibe significativamente a oxidação desse substrato”. Eles podem agir através de diferentes mecanismos, impedindo o oxigênio singlete, diminuindo assim a concentração de oxigênio; quelando íons metálicos; evitando o sequestro de radicais hidroxil, o que desencadeia a oxidação; e decompondo compostos primários em compostos que não são radicais (SHAHADI, 1996).

3.2.2. Antocianinas

As antocianinas são compostos bioativos, da classe dos flavonoides, com potencial efeito benéfico à saúde devido a sua capacidade antioxidante. Esse efeito está relacionado ao seu alto potencial no combate de radicais livres, e consequente retardamento da oxidação das células. Processos carcinogênicos causados pela degradação de moléculas no organismo podem ser evitados pelo combate de radicais livres (BUENO et al., 2012). O consumo frequente de alimentos ricos em antocianinas promove respostas positivas na proteção contra vários tipos de cânceres e outras doenças. Além disso, as antocianinas também estão associadas à regulação da glicemia, proteção neurológica, regulação do perfil lipídico, proteção da retina, proteção hepática, controle de peso, melhora da resposta imune e distúrbios relacionados ao envelhecimento (ZHU, 2018).

Nas plantas, uma das funções das antocianinas é fornecer a pigmentação das flores e dos frutos, atraindo polinizadores e distribuidores de sementes. Além disso, essa classe de compostos reduz o estresse da planta diante de fatores indesejáveis, tais como exposição excessiva à luz, frio, falta de água, presença de metais pesados e infecção por patógenos, além de afastar a presença de certos animais indesejados, como lagartas (DAVIES et al., 2017).

Há diversos tipos de antocianinas, sendo que os mais comuns em alimentos são: pelargonidina (conferem a cor laranja para vermelho); cianidina e peonidina (vão do vermelho ao roxo); e a delfinidina, petunidina e malvidina (conferem as cores do roxo ao azul) (DAVIES et al., 2017). A intensidade da cor no alimento está relacionada com a concentração do composto (COSTA et al., 2018).

A Figura 2 mostra a diferença estrutural entre as antocianinas citadas anteriormente. A diferenciação entre os compostos se dá em função da presença de hidroxilas e grau de metilação do anel B (FRANCIS, 1989). A maior presença de grupos hidroxila pode influenciar na estabilidade da antocianina, mostrando que delfinidinas são menos estáveis quando comparadas às cianidinas (FLESCHHUT et al., 2006).

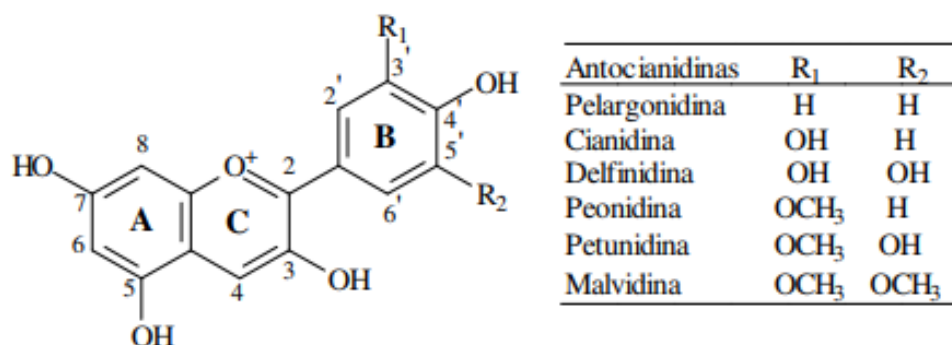


Figura 2. Representação da estrutura das antocianinas mais comuns em alimentos
Fonte: LIMA (2009).

As antocianinas podem ser encontradas em diversos tipos de alimentos, em diferentes quantidades, sendo que a principal fonte são as frutas, tais como acerola, mirtilo, amora, groselha, romã, cereja, framboesa, morango, dentre outras (ALBUQUERQUE et al., 2018). As antocianinas também estão presentes em vegetais de cor escura, tais como rabanete vermelho, cenoura preta, repolho roxo e batata-doce roxa (LI et al., 2013). Os grãos também podem conter o composto, tais como o arroz e trigo coloridos, a cevada, o sorgo, o centeio e o milho roxo (ZHU, 2018).

A estabilidade das antocianinas nos alimentos é influenciada por diversos fatores, tais como sua estrutura química, o conteúdo de sólidos na matriz, a disponibilidade de oxigênio, a incidência de luz, e a temperatura (HE et al., 2016). A temperatura é o fator de maior influência na degradação do composto, e o pH ácido é o que proporciona maior estabilidade para as antocianinas (CAVALCANTI et al., 2011). Quando isolado, o composto se torna altamente susceptível à deterioração (GIUSTI & WROLSTAD, 2003).

3.3. Secagem de frutas

3.3.1. O *drum drying*

O secador de cilindro rotativo (*drum dryer*), também chamado de tambor rotativo, possui diversas aplicações, sendo recomendado para a secagem de alimentos pastosos ou líquidos. A técnica pode ser utilizada para produzir diversos alimentos secos, tais como cremes, purês, papinhas para bebês, sopas, amidos pré-gelatinizados e outros (MOORE, 1995). Durante o processo no *drum dryer*, ocorre a pré-gelatinização do amido, que consiste no pré-cozimento do mesmo, auxiliando a formação do filme, e facilitando a posterior reidratação do produto, que pode ser usado em formulações instantâneas (VLACHOS & KARAPANTSIOS, 2000).

Embora envolva temperaturas altas ($\sim 140^{\circ}\text{C}$), o tempo de residência é curto (segundos), sendo, portanto, indicado para a secagem de matérias-primas termossensíveis. O equipamento pode apresentar um ou dois cilindros de metal, que giram em diferentes velocidades sobre o eixo horizontal, podendo ser aquecidos por vapor ou água quente. A secagem é realizada pela aplicação de uma película fina da matéria-prima, que entra em contato com a superfície quente do cilindro, formando um filme. A remoção do filme é feita pelo uso de uma lâmina, ou faca, posicionada longitudinalmente (AGUIRRE & GASPARINO FILHO, 2002). A transferência de calor ocorre por condução, através das paredes metálicas dos tambores, promovendo a vaporização da água do material para o ambiente (DAUD, 2006). O esquema de funcionamento do equipamento está representado na Figura 3.

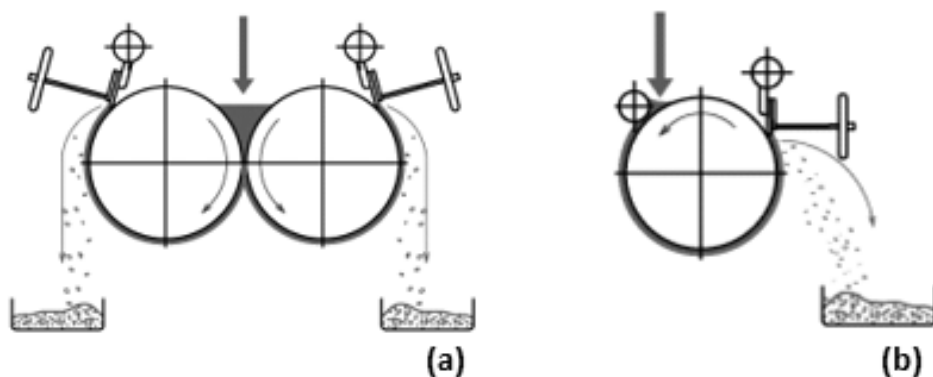


Figura 3. Esquema do equipamento *drum dryer*: cilindro duplo (a) e cilindro simples (b)

Fonte: KATSURAGI INDUSTRY CO., LTD. (2018)

Alguns parâmetros são relevantes para a realização do processo, e influenciam na formação do filme: temperatura do cilindro, vazão de alimentação, velocidade de rotação, teor de sólidos do produto e o espaçamento entre os cilindros. Essas variáveis podem influenciar a retenção de nutrientes e as propriedades de qualidade dos pós/flocos obtidos, tais como teor de umidade, solubilidade, higroscopicidade, cor, densidade, tamanho de partícula, dentre outros (PUA et al., 2010).

Dentre as vantagens mais importantes do *drum drying*, destacam-se: a alta eficiência energética; a flexibilidade para produções múltiplas e em diferentes escalas; a facilidade de secagem de produtos viscosos; a qualidade do produto final, principalmente com relação à porosidade, que ajuda na reidratação; e a facilidade de limpeza, operação e manutenção do equipamento. Em contrapartida, nem todos os produtos são adequados para o *drum drying*, resultando nos seguintes problemas tecnológicos: dificuldade para remoção do filme do tambor, especialmente quando os teores de açúcares são altos; queima, devido ao contato direto com a superfície aquecida do tambor; desenvolvimento de sabor de cozido; e perda de cor (TANG et al., 2003). Além disso destaca-se o alto custo de investimento.

Há poucos estudos na literatura sobre a secagem de frutas utilizando o *drum drying*: Tonin et al. (2018) avaliaram o desempenho de diferentes coadjuvantes para a desidratação de polpa de manga; Chia & Chong (2015) secaram pasta da casca da pitaita, analisando as características físico-químicas do pó; Galaz et al. (2017) utilizaram o *drum dryer* para secar pasta da casca da romã, analisando a influência da temperatura na qualidade do produto obtido. No entanto, até onde se sabe, não há relatos da aplicação do *drum drying* para polpa de jabuticaba na literatura técnico-científica.

3.3.2. Coadjuvantes de secagem

A aplicação de agentes carreadores no *drum drying* visa principalmente o aumento do teor de sólidos totais da matéria-prima, bem como o melhoramento das características termoplásticas do filme (TONIN et al., 2018). Outro objetivo do uso dos aditivos tecnológicos na secagem é o aumento da temperatura de transição vítrea do produto, tendo em vista uma maior estabilidade do mesmo no armazenamento. Na secagem de polpas de frutas, conforme anteriormente

colocado, devido às altas concentrações de açúcares redutores com baixo peso molecular, e, portanto, baixas temperaturas de transição vítrea, pode ocorrer aderências no equipamento (BHANDARI et al., 1997). Dessa forma, o uso de coadjuvantes de processo no *drum drying* de polpa de frutas é praticamente obrigatório. Há evidências, também, de que os coadjuvantes ajudam na proteção contra perdas de compostos naturais durante a secagem, como foi observado por Setyadjit & Sukasih (2015) durante o *drum drying* de pasta de cebola, utilizando maltodextrina e fécula de mandioca. Os aditivos foram eficazes na proteção dos aromas, antioxidantes e produtos sensíveis ao calor. Tonin et al. (2018) reportaram maior retenção de vitamina C e β -caroteno na secagem de polpa de manga em *drum drying* empregando amido de milho como coadjuvante.

Emprega-se, geralmente, de 1 a 20% (base seca) de coadjuvantes de processo no *drum drying*. Diferentes coadjuvantes são utilizados no processo de acordo com a literatura: goma arábica (DAZA et al., 2016); maltodextrina (DANTAS et al., 2018); amido (PRANGPRU et al., 2015); fécula de mandioca (SETYADJIT & SUKASIH, 2015), dentre outros. Diferentes tipos de aditivos, em diferentes proporções, também podem ser combinados.

De acordo com a definição da resolução nº 263, de 2005 da Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos, amido e fécula são os produtos amiláceos extraídos de vegetais, sendo o primeiro removido das partes aéreas comestíveis, como as sementes, e o outro, obtido das partes subterrâneas comestíveis, como tubérculos, raízes e rizomas. A fécula de mandioca também pode ser chamada de polvilho, sendo caracterizado de doce ou azedo, de acordo com o seu teor de acidez (BRASIL, 2005). Portanto, o amido de milho regular provém das sementes, e a fécula de mandioca é extraída da raiz. Ambos se apresentam como um pó branco, sem sabor e inodoro, que pode ser aplicado em diversos produtos e processos da atividade industrial: alimentos, embalagens, minérios, tecidos e fármacos (EFFERSON, 1979).

Os amidos são formados basicamente por dois tipos de polímeros de glicose: amilose e amilopectina. A proporção de cada polímero depende do tipo de planta. A amilopectina é ramificada, enquanto que a amilose possui estrutura linear, com poucas ramificações, sendo que a primeira possui maior peso molecular que a segunda (TESTER et al., 2004). A fécula de mandioca possui

maior quantidade de amilopectina que o amido de milho, com 83% e 72%, respectivamente (FRANCO et al., 2002).

No *drum drying* também é usual o emprego de monoestearato de glicerila (MSG), um agente emulsificante, que, possui a função de facilitar a formação do filme e evitar a aderência do mesmo no tambor (USDA, 2015). Germer et al. (2018) relataram que o emprego de MSG facilitou a remoção do filme no *drum drying* de polpa de manga.

3.4. Estabilidade de produtos desidratados

No armazenamento de um alimento, algumas alterações diminuem a sua qualidade ao longo do tempo, chegando a torná-lo, no limite, impróprio para o consumo. Vários são os fatores que contribuem para a degradação da qualidade dos alimentos: temperatura, umidade relativa, luz, presença de oxigênio, íons metálicos e outros (MOURA & GERMER, 2010). São sensíveis a esses fatores, principalmente, os conteúdos de vitaminas, pigmentos e compostos antioxidantes, bem como características físicas tais como cor, textura, e fluidez dos pós.

O estudo da estabilidade consiste, basicamente, em monitorar amostras armazenadas em condições controladas, avaliando, por um período de tempo, as perdas de qualidade (MOURA & GERMER, 2010). No caso do produto desidratado em pó, dependendo da embalagem empregada, tanto a temperatura, como a umidade relativa do ambiente, pode influenciar essas perdas, devendo ser, portanto, controladas.

3.4.1. Isotermas de sorção

O principal componente dos alimentos é a água, e sua presença pode influenciar mudanças indesejáveis durante o armazenamento.

A água pode estar presente no alimento basicamente de duas formas: 1) fracamente ligada ao substrato, facilitando a proliferação de microrganismos, acelerando as reações químicas, sendo, contudo, mais facilmente retirada do produto; 2) fortemente ligada ao substrato, portanto, mais difícil de ser eliminada, constituindo um conteúdo que não participa das reações químicas de degradação (BOBBIO & BOBBIO, 1992).

A atividade de água (a_w) está relacionada à água livre presente no alimento, ou seja, aquele conteúdo que não está ligado à matriz sólida e que contribui efetivamente para a degradação do produto (FENNEMA, 1996). A atividade de água, conseqüentemente, é uma propriedade que está fortemente relacionada às alterações do produto alimentício no armazenamento. A Figura 4 mostra as velocidades de algumas das principais reações de deterioração dos alimentos em função da atividade de água. Observa-se que quanto mais próximo da a_w 1,0, ou seja, maior quantidade de água livre no alimento, maior sua susceptibilidade à degradação.

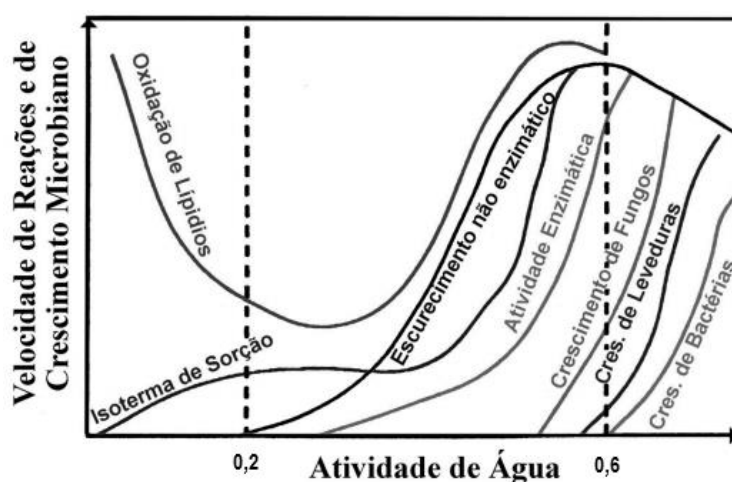


Figura 4. Variação das velocidades de algumas reações de degradação dos alimentos com a atividade de água

Fonte: adaptado de LABUZA (1968)

A a_w pode ser 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.

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

A umidade de equilíbrio, por sua vez, é aquela na qual a pressão de vapor da água no produto se equivale à pressão de vapor da água no ambiente. Quando o produto está com uma umidade menor que a sua umidade de equilíbrio na condição de armazenamento, este tende a absorver umidade do ambiente.

O estudo das variações das propriedades físicas de um alimento, com a umidade relativa de armazenamento, ou com a atividade de água, é muito importante, principalmente no caso de produtos desidratados, para o melhor entendimento da estabilidade do mesmo. Neste sentido, as isotermas de sorção, que relacionam os teores de umidade com as atividades de água no equilíbrio, a uma determinada temperatura, são ferramentas muito úteis nos estudos de estabilidade. As isotermas podem proporcionar, através de modelos matemáticos, o conhecimento de propriedades de equilíbrio, bem como das condições críticas de armazenamento, auxiliando no dimensionamento de embalagens, e na predição da vida-de-prateleira (GAL, 1987; ZHANG et al., 1996).

Há dois tipos de isotermas de sorção, a de adsorção e a de dessorção, conforme apresentado na Figura 5. No levantamento da isoterma de adsorção, o material seco é acondicionado em ambientes com diferentes umidades relativas, adsorvendo água do mesmo. A isoterma de dessorção, por sua vez, está relacionada com a perda de água de um material úmido exposto a ambientes de diferentes umidades relativas. A diferença dessas duas curvas é denominada de histerese, e pode ocorrer devido aos seguintes aspectos: mudanças na estrutura física do material nos processos de perda e ganho de água, mudanças de fase e condensação capilar (LABUZA, 1968).

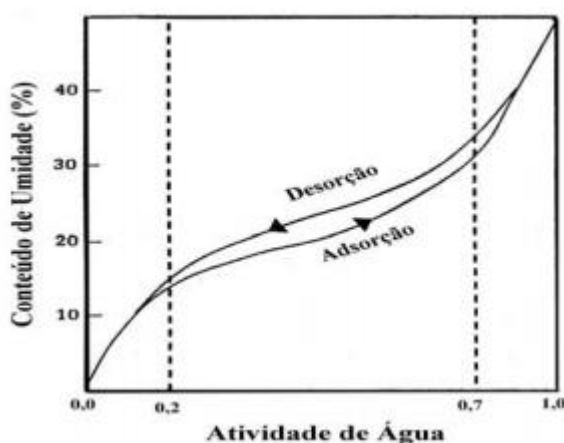


Figura 5. Histerese da isotermas de sorção
Fonte: PARK & NOGUEIRA (1992)

Segundo Brunauer et al. (1938), há cinco tipos de curvas de isotermas de sorção. A Figura 6 apresenta a ilustração dos diferentes tipos de isotermas, sendo que as de maior importância para alimentos são as do tipo II e III.

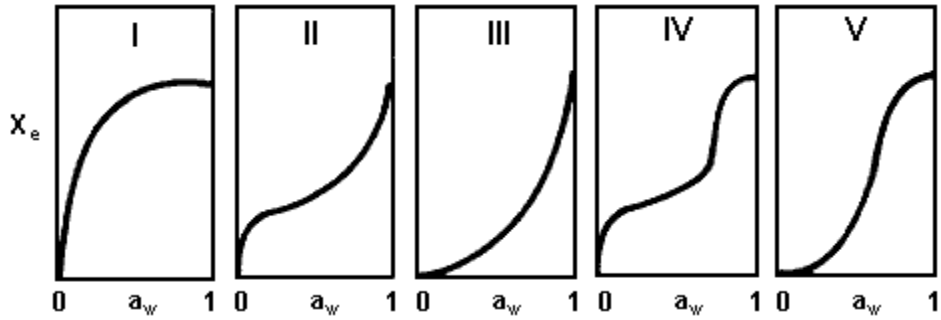


Figura 6. Tipos de isotermas de sorção

Fonte: BRUNAUER et al. (1938)

Diversos estudos sobre isotermas de frutas desidratadas são reportados na literatura: García-Tejeda & Barreira-Figueroa (2019) reportaram isotermas de adsorção de suco atomizado (*spray drying*) de açaí; Oliveira et al. (2014) estudaram o comportamento higroscópico do pó da polpa de cajá liofilizada; Ferreira (2017) obteve isotermas de adsorção do pó de casca e da polpa de jabuticaba obtidos pelo processo de secagem com camada de espuma; Yamato (2018) analisou as isotermas de flocos de manga obtidos por *drum drying*, com diferentes coadjuvantes de processo; Muzaffar & Kumar (2016) reportaram resultados do estudo de isotermas de polpa de tamarindo em pó obtido por *spray drying*.

3.4.1.1. Modelos matemáticos das isotermas de sorção

Muitos modelos matemáticos aplicados às isotermas de alimentos são reportados na literatura, dentre os quais: 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). Os dois primeiros modelos são os mais utilizados, pois através deles, dentre outros parâmetros, é possível determinar a umidade da monocamada (X_m). A monocamada é a quantidade de água que está fortemente adsorvida à matriz sólida do alimento, em sítios específicos, sendo considerada o valor ideal para garantir a estabilidade do mesmo (FENNEMA, 1996).

O modelo de GAB é considerado o mais versátil, pois considera valores de atividade água de 0,1 até 0,9 (VAN DEN BERG, 1984). O modelo de BET (BRUNAUER et al., 1938), que originou o anterior, é mais limitado, envolvendo uma faixa de a_w menor (0,45-0,5) (LABUZA et al. ,1985).

O modelo de Oswin é empírico, sendo uma expansão matemática da curva de modelo sigmoideal. Esse modelo possui apenas 2 constantes (a e b), sendo de fácil linearização. A equação de Halsey, por sua vez, representa um modelo que descreve a condensação de multicamadas em uma distância relativamente grande da superfície (PARK et al., 2008; BASU et al., 2006). O modelo de Henderson é comumente aplicado em alimentos e provém de uma equação empírica (PARK et al., 2008). Na Tabela 2 estão apresentados alguns modelos matemáticos de isotermas de sorção empregados para alimentos.

Tabela 2. 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 , b = constantes.

3.4.2. Transição vítrea

Os materiais sólidos podem estar no estado cristalino, ou no estado amorfo. No primeiro estado, as moléculas estão ordenadas e tendem a ser mais estáveis, enquanto que no segundo, as mesmas estão desordenadas, e, portanto, menos estáveis.

Alimentos são considerados sistemas complexos, pois são constituídos por diferentes compostos. Além disso, os processos produtivos tendem a resultar em produtos no estado amorfo, ou seja, em um estado não equilibrado (PIAZZA & MASI, 1997). Os produtos em estado amorfo tendem a ser mais susceptíveis a interações externas. Um produto desidratado, por exemplo, que esteja no

estado amorfo, tende a absorver mais água do ambiente. Isso devido a estrutura desordenada, com maior formação de poros (BHANDARI & HOWES, 2000).

A mais importante mudança característica do estado amorfo, que envolve a transição de um estado vítreo para um estado borrachento, ou gomoso, é denominada de transição vítrea (KUROZAWA et al., 2014). A temperatura, em um determinado conteúdo de umidade, na qual essa transição ocorre, é chamada de temperatura de transição vítrea (Tg).

O estado vítreo se assemelha ao estado cristalino. Por sua vez, na transição para o estado borrachento, o material adquire propriedades viscoelásticas, com um aumento significativo da mobilidade molecular, tornando-se mais susceptível a alterações físico-químicas (ROOS, 1995).

A água possui efeito plasticizante em um material sólido, sendo um dos fatores de maior influência da temperatura de transição vítrea. Esse efeito é importante em carboidratos de baixo peso molecular, levando a um aumento no espaço intermolecular livre, bem como a uma diminuição da viscosidade, com consequente aumento da mobilidade molecular (ROOS, 1995).

Os diagramas de estado representam os diferentes estados de um alimento em função de seus conteúdos de água, ou de sólidos, e permitem analisar o efeito plasticizante da água no produto (RAHMAN, 2006). Nesses diagramas, os resultados de temperatura de transição vítrea de um produto, em função de diferentes atividades de água, podem ser ajustados matematicamente pela equação de Gordon-Taylor (GORDON e TAYLOR, 1952), descrita no item 4.5.1. O modelo considera o alimento como uma mistura binária de água e sólidos.

A temperatura de transição vítrea é relevante para as indústrias que produzem alimentos em pó, pois a propriedade está relacionada a mudanças físicas como cristalização, pegajosidade, colapso e compactação durante a manipulação, o transporte e o armazenamento. O produto tende a ser mais estável quando se encontra armazenado em temperatura abaixo de sua temperatura de transição vítrea. Do contrário, o produto se torna mais susceptível a mudanças físicas, químicas e microbiológicas (SLADE & LEVINE, 1991).

3.4.3. Cinética de degradação

A temperatura é um dos fatores de maior influência na perda da qualidade de um alimento. A determinação da cinética das reações de degradação de um produto em diferentes temperaturas de armazenamento pode resultar no conhecimento de modelos matemáticos, cujos parâmetros permitem o cálculo e a simulação de sua vida de prateleira.

De acordo com Vitali et al. (2010), a definição de vida de prateleira de um alimento é “o tempo em que este pode ser conservado em determinadas condições de temperatura, umidade relativa, luz, etc., sofrendo pequenas, mas bem estabelecidas alterações que são, até certo ponto, consideradas aceitáveis pelo fabricante, pelo consumidor e pela legislação alimentar vigente”.

Parte do estudo da estabilidade de um alimento, portanto, pode ser o monitoramento da qualidade do mesmo, por determinado tempo, ao longo do armazenamento, em diferentes temperaturas controladas. A perda da qualidade pode ser avaliada através de diversos aspectos, tais como físicos, químicos, sensoriais ou microbiológicos (LABUZA, 1984). Através do emprego de modelos matemáticos de cinética de reações, parâmetros tais como energia de ativação (E_a), fator de aceleração das reações com a temperatura (Q_{10}) e tempo de meia vida ($t_{1/2}$) podem ser determinados. Esses parâmetros permitem um melhor entendimento da influência da temperatura nas modificações que ocorrem no alimento, bem como a estimativa das melhores condições de conservação do produto durante o armazenamento e comercialização.

3.4.3.1. Ordem das reações de degradação

Inúmeras são as reações que podem ocorrer no alimento durante seu armazenamento, sendo que algumas dessas reações produzem compostos, e outras os degradam, dificultando o entendimento e o dimensionamento da perda de qualidade. Para uma abordagem técnica, é feita uma simplificação, emprestando da química o conceito de reação química, e considerando que compostos desejáveis podem se transformar indesejáveis, de acordo com a Equação 7.



Onde, A é um composto inicial desejável e B, os produtos indesejáveis (AZEREDO et al., 2012). Assim, a taxa de reação (r_A) pode ser definida como a relação entre a concentração dos reagentes (C_A) pelo tempo da reação (t), de acordo com Equação 8:

$$r_A = \frac{-dC_A}{dt} = k \times C_A^n \quad (8)$$

A ordem da reação é definida pelo parâmetro n , podendo ser de ordem zero ($n=0$), 1ª ordem ($n=1$), 2ª ordem ($n=2$), dentre outras. Em alimentos, no geral, as reações de degradação tendem a ser de ordem zero ou 1ª ordem (TAOUKIS & LABUZA, 1996).

Nas reações de ordem zero, a velocidade de conversão é constante, sendo independente da concentração dos reagentes, e a Equação 8 integrada resulta na Equação 9.

$$C_A = C_{A0} - k \times t \quad (9)$$

Onde: C_A = concentração do componente A
 C_{A0} = concentração inicial do componente A
 k = constante da velocidade de reação
 t = tempo da reação

Nesse caso, os dados das concentrações dos reagentes (componente A), graficados em função do tempo, seguem comportamento linear de acordo com a Figura 7.

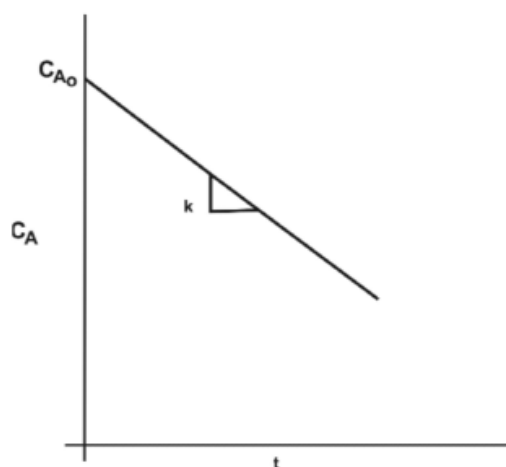


Figura 7. Representação esquemática da reação de ordem zero
Fonte: TEIXEIRA NETO et al. (2010)

De acordo com Taoukis et al. (1997), as principais reações de degradação de alimentos que seguem ordem zero são o escurecimento não enzimático e a qualidade geral de alimentos congelados. Wibowo et al. (2015) avaliaram as mudanças nos parâmetros de cor de suco de laranja pasteurizado através de modelos de ordem zero. Yamato (2018) reportou que os parâmetros de cor L^* , a^* , b^* e ΔE de flocos de manga obtidos por *drum drying* variaram de acordo com reação de ordem zero no armazenamento.

Por sua vez, nas reações de 1ª ordem, a velocidade de degradação depende da concentração dos reagentes, e a integração da Equação 8 resulta na Equação 10.

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

A representação esquemática gerada da equação de 1ª ordem se assemelha a ilustrada na Figura 8.

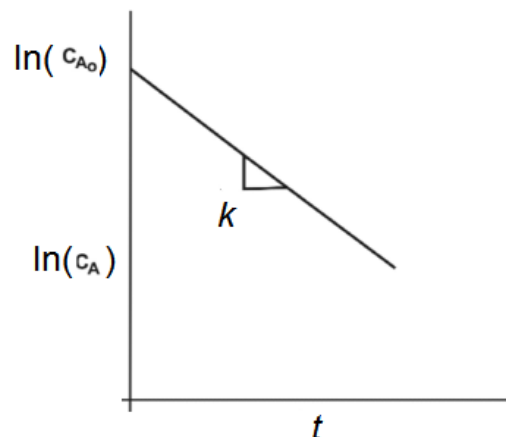


Figura 8. Representação esquemática da reação de primeira ordem
Fonte: YAMATO (2018)

As principais reações em alimentos que seguem primeira ordem são: perda de vitaminas, crescimento ou morte microbiana, oxidação da cor, perda de textura durante aquecimento (TAOUKIS et al., 1997). Zhang et al. (2019) reportaram que a degradação das antocianinas em vinho segue modelo de primeira ordem. Song et al. (2018) também obtiveram reação de primeira ordem na degradação de carotenoides em abóbora desidratada em diferentes condições de armazenamento.

Nas reações de 2ª ordem, a velocidade de conversão depende da concentração dos reagentes, e a integração da Equação 8 resulta na equação 11.

$$\frac{1}{C_A} = \frac{1}{C_{A0}} + k \times t \quad (11)$$

O gráfico de uma variação que segue equação de 2ª ordem é caracterizado pelo comportamento linear do inverso das concentrações do reagente em função do tempo, de acordo com a Figura 9.

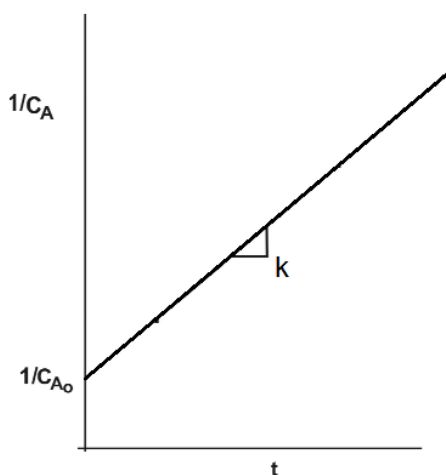


Figura 9. Representação esquemática da reação de segunda ordem
Fonte: TEIXEIRA NETO et al. (2010)

As reações de segunda ordem em alimentos não são muito comuns (VAN BOEKEL, 2008), porém há estudos na literatura que relatam esse comportamento. Kong et al. (2007) avaliaram o declínio da tiamina em salmão durante o processamento térmico, observando a cinética de segunda ordem. Hadjal et al. (2013) reportaram reação de segunda ordem na degradação de xantofilas em suco de laranja durante o processamento térmico.

3.4.3.2. Parâmetros das reações de degradação

3.4.3.2.1. Fator de aceleração das reações com a temperatura (Q₁₀)

O Q₁₀ é o fator de aceleração das reações em função da temperatura, sendo o 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), de acordo com a Equação 12.

$$Q_{10} = \frac{k_{(T+10^{\circ}C)}}{k_{(T)}} \quad (12)$$

O Q_{10} expressa, portanto, o quanto a velocidade de determinada alteração depende da temperatura (TEIXEIRA NETO et al., 2010). Quanto maior for o Q_{10} , maior será a influência do parâmetro na degradação, ou seja, maior será a aceleração da mesma 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 & SCHMIDL, 1985).

3.4.3.2.2. Tempo de meia vida ($t_{1/2}$)

O parâmetro tempo de meia vida ($t_{1/2}$) indica o tempo necessário para que determinado parâmetro de qualidade tenha seu valor reduzido em 50% com relação ao valor inicial. As equações para o cálculo do $t_{1/2}$ são diferentes para cada ordem de reação. A seguir, são apresentadas, para a reação de ordem zero, 1ª e 2ª ordem, respectivamente, as Equação 13, Equação 14 e Equação 15 para o cálculo do tempo de meia vida, de acordo com Teixeira Neto et al. (2010):

$$t_{1/2} = \frac{\text{Coeficiente linear}}{2 \times K} \quad (13)$$

$$t_{1/2} = \frac{0,693}{K} \quad (14)$$

$$t_{1/2} = \frac{1}{\text{Coeficiente linear} \times K} \quad (15)$$

3.4.3.2.3. Energia de ativação (E_a)

A energia de ativação é a energia mínima necessária para o início de uma determinada reação. O efeito da temperatura nas reações também pode ser avaliado através desse parâmetro. Quanto maior a E_a , maior a influência da temperatura na degradação do alimento, ou seja, maior será a aceleração da mesma com o aumento da temperatura. O parâmetro, portanto, indica a sensibilidade da reação, no determinado alimento, à temperatura (TEIXEIRA

NETO et al., 2010). A forma mais aceita para representar o efeito da temperatura nas velocidades das transformações é a equação de Arrhenius, Equação 16, da qual pode-se obter a E_a .

$$\frac{d(\ln k)}{dT} = \frac{E_a}{R \times T^2} \quad (16)$$

Onde: T = temperatura em Kelvin
R = constante dos gases
 E_a = energia de ativação
k = constante velocidade

Integrando a Equação 17, tem-se:

$$\ln k = \frac{-E_a}{R \times T} + \ln K \quad (17)$$

Onde: K = constante.

Assim, graficando-se, em escala linear, os valores do logaritmo das constantes da velocidade (k) de uma reação, em função do inverso das temperaturas, obtém-se uma reta quando a reação segue a equação de Arrhenius. Na Figura 10, está a representação descrita, sendo que da inclinação, obtém-se a E_a (Teixeira NETO et al., 2010).

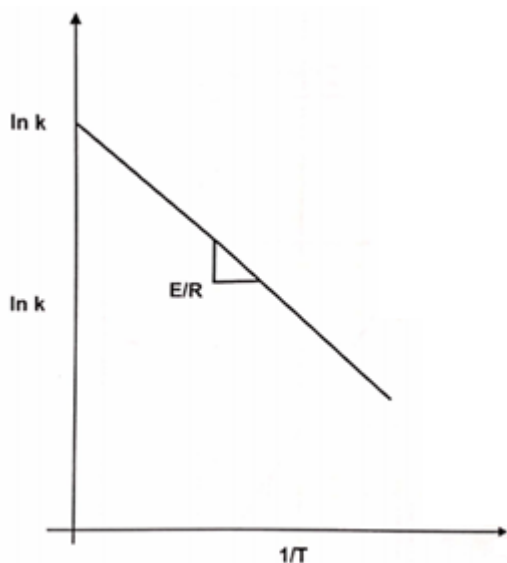


Figura 10. Representação esquemática da equação de Arrhenius
Fonte: TEIXEIRA NETO et al. (2010)

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Material

Polpa de jabuticaba congelada (DeMarchi, Jundiaí, São Paulo) foi utilizada como matéria-prima. Segundo o fabricante, a polpa era constituída da variedade Sabará, proveniente de um único produtor. De acordo com parâmetros físico-químicos da ficha técnica, a polpa possui de 8° a 10° Brix (20°C) de sólidos solúveis, pH de 3 a 4 e acidez de 13 a 21 ml (NaOH 0,1N/ 10 g). Os coadjuvantes de processo empregados foram amido de milho regular (Ingredion, Mogi Guaçu, São Paulo, Brasil), fécula de mandioca (General Mills, São Bernardo do Campo, São Paulo, Brasil) e monoestearato de glicerila (MSG) (Synth, Diadema, São Paulo). As fichas técnicas estão apresentadas no item 8.

4.2. Procedimentos experimentais

4.2.1. Caracterização da polpa

A polpa de jabuticaba descongelada foi caracterizada através das seguintes análises: composição centesimal (umidade, cinzas, lipídeos totais, proteínas, carboidratos totais), calorías, açúcares (totais, invertido, redutores e não redutores), teor de minerais, atividade de água, sólidos solúveis totais (°Brix), acidez titulável, pH, cor instrumental, teor de compostos fenólicos totais, teor de antocianinas e atividade antioxidante. As análises foram realizadas no mínimo em triplicata, através das metodologias analíticas descritas no item 4.6.

4.2.2. Etapas do processo de *drum drying* de polpa de jabuticaba

As descrições a seguir correspondem às etapas comuns dos ensaios de *drum drying* de polpa de jabuticaba, tendo sido definidas com base no trabalho de Tonin et al. (2018), realizado com polpa de manga. O estudo em questão avaliou o *drum drying* de polpa de manga (15 °Brix) com adição de 3% de amido regular ou maltodextrina e 0,5% de monoestearato de glicerila (MSG).

No item 4.2.3, estão descritos os ensaios realizados para o ajuste das condições do *drum drying* da polpa de jabuticaba.

Para cada ensaio, a polpa (aproximadamente 12 kg) foi descongelada à temperatura ambiente, em caixas de isopor. A polpa descongelada foi homogeneizada em moinho coloidal (Meteor, REX2-AL, Brasil), quando foram adicionados os coadjuvantes de processo, conforme ilustrado na Figura 11.



Figura 11. Homogeneização da polpa com os coadjuvantes (a) e moinho coloidal (b)

Posteriormente, a polpa homogeneizada foi desidratada no secador de cilindro rotativo *drum dryer* (Richard Simon & Sons, D139, Inglaterra). O equipamento é provido de cilindro único, com dois cilindros aplicadores, e área de secagem de aproximadamente 0,5 m², conforme ilustrado na Figura 12.



Figura 12. *Drum dryer* da planta de desidratados do FRUTHOTEC/ITAL

A Figura 13 ilustra o filme obtido no secador. Na sequência, o filme seco foi floculado em floculador (Fabbe, S508, Brasil), utilizando-se peneira com abertura de 2,5 mm, conforme mostrado na Figura 14.



Figura 13. Filme seco de polpa de jabuticaba obtido no *drum drying*

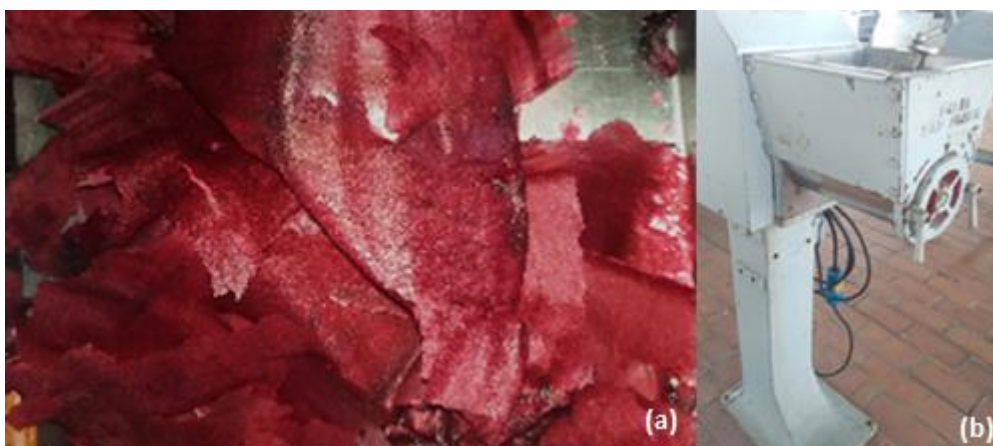


Figura 14. Filme seco de polpa de jabuticaba obtido no *drum drying* (a) e floculador empregado na flocculação do mesmo (b)

4.2.3 Estabelecimento das variáveis do *drum drying* de polpa de jabuticaba

Os ensaios para o estabelecimento das condições de processo do *drum drying* de polpa de jabuticaba foram realizados tendo por base o trabalho de Tonin et al. (2018), conforme anteriormente descrito, com os ajustes necessários para a polpa em questão.

Variaram-se a temperatura de processo (pressão de vapor) e o tempo de residência (velocidade de rotação), fixando-se o espaçamento entre os cilindros em 0,15 mm, e o nível de piscina de 400 ml. As condições dos ensaios estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros de processo dos ensaios preliminares do *drum drying* de polpa de jabuticaba

	Ensaio I	Ensaio II	Ensaio III
Temperatura	135°C (3,2 kgf/cm ²)	139°C (3,6 kgf/cm ²)	144°C (4,2 kgf/cm ²)
Tempo	17 segundos	24 segundos	18 segundos
% Coadjuvante	15%	20%	20%
% MSG	1%	0,5%	0,5%

O primeiro ensaio foi realizado apenas com a polpa acrescida de amido regular e MSG. O objetivo foi fazer uma primeira avaliação. No entanto, não houve formação do filme no secador. No Ensaio II, realizado em separado com a polpa acrescida dos diferentes coadjuvantes, foi feito um ajuste das condições de processo. Aumentaram-se a temperatura e o tempo de residência, bem como o percentual do principal coadjuvante empregado (amido de milho ou fécula de mandioca) e redução do MSG. As condições do Ensaio II se mostraram adequadas para a polpa com amido regular, porém não para aquela com fécula. Para efeito de comparação, desejava-se estabelecer as mesmas condições de processo para ambos os coadjuvantes principais. Realizou-se, portanto, mais um ensaio com os diferentes coadjuvantes, estabelecendo-se uma temperatura ligeiramente superior, e um tempo um pouco menor. No ensaio III houve a formação do filme de produto seco, tanto para a polpa com amido, como para a polpa com fécula. A Figura 15 mostra os flocos obtidos para os diferentes coadjuvantes.



Figura 15. Flocos de jabuticaba obtidos por *drum drying* com amido de milho (a) e fécula de mandioca (b)

Os flocos produzidos no Ensaio III foram empregados nas análises físicas e químicas, tendo em vista a avaliação de desempenho dos diferentes coadjuvantes (descrito no item 4.3), bem como no estudo das isotermas de sorção (descrito no item 4.4.1).

4.3. Avaliação do desempenho dos diferentes coadjuvantes de secagem

Conforme anteriormente citado, o produto do ensaio III (Tabela 3) foi empregado para a avaliação do desempenho dos diferentes coadjuvantes no *drum drying* de polpa de jabuticaba: amido de milho e fécula de mandioca. Foram realizadas as seguintes análises com os flocos obtidos: teor de umidade, atividade de água, cor instrumental, cor instrumental da polpa reconstituída, teor de compostos fenólicos totais, teor de antocianinas, atividade antioxidante, higroscopicidade, porosidade, solubilidade, densidade absoluta e aparente. As análises foram realizadas no mínimo em triplicata, através das metodologias analíticas descritas no item 4.6. O estudo de isotermas de sorção também foi realizado com o objetivo de comparar a estabilidade dos diferentes flocos quanto à exposição em diferentes umidades relativas, estando descrito no item 4.4.1.

4.4. Estabilidade dos flocos quanto ao armazenamento em diferentes umidades relativas

4.4.1. Isotermas de sorção

Para a realização das isotermas, os flocos obtidos por *drum drying*, empregando-se os dois tipos de amido, foram acondicionados em recipientes fechados, contendo soluções saturadas dos seguintes sais: LiCl (a_w 0,112), CH₃COOK (a_w 0,226), MgCl₂ (a_w 0,328), K₂CO₃ (a_w 0,432), Mg (NO₃)₂ (a_w 0,5289), KI (a_w 0,689), NaCl (a_w 0,751), KCl (a_w 0,843). Os recipientes foram armazenados em dessecadores à temperatura ambiente (aproximadamente 25°C). As amostras foram pesadas periodicamente a cada 3 dias, até atingirem o equilíbrio, com variação de massa $< \pm 0,0001$ g, o que ocorreu após 33 dias.

Os modelos matemáticos de GAB, BET, Halsey, Oswin e Henderson foram ajustados aos resultados experimentais empregando-se o software Statistica®8.0 (StatSoft Inc., Tulsa, EUA), por meio de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton. Os critérios utilizados para determinar o melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais foram: o coeficiente de determinação (R^2), o desvio relativo médio (P) entre os valores experimentais e os preditos, e o erro médio estimado (SE), que foram obtidos através da Equação 18 e Equação 19, respectivamente.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|V_E - V_P|}{V_E} \quad (18)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_P - V_E)^2}{n}} \quad (19)$$

Onde: P = desvio relativo médio (%)
 V_E = valores obtidos experimentalmente
 V_P = valores preditos pelo modelo
 n = número de dados experimentais
 SE= erro médio estimado

De acordo com Aguerre et al. (1989), para a obtenção de um bom ajuste do modelo das isotermas de sorção aos dados experimentais, os valores de P% devem ser inferiores a 10%, e os valores de R² devem ser altos, próximos de 1.

4.4.2. Cálculo da vida útil por permeabilidade da embalagem ao vapor de água

Conforme comentado anteriormente, o conhecimento da isoterma de sorção, juntamente com conhecimento da permeabilidade ao vapor de água da embalagem utilizada, permite o cálculo do tempo de vida útil do produto em termos do ganho de umidade. Quando se emprega o método estático para a obtenção das isotermas, é possível fazer observações quanto às alterações físicas no equilíbrio em diferentes umidades relativas (a_w). Nesse caso, a condição na qual as alterações físicas se tornam importantes pode ser determinada experimentalmente, sendo considerada como a condição crítica de armazenamento.

Para um produto desidratado em pó, uma das principais causas de perda de qualidade é o ganho de umidade, e, portanto, a vida útil do produto depende em grande parte do nível de proteção oferecido pelos materiais de embalagem (YAMAMOTO et al., 2011; ALVES & BORDIN, 1998). É possível, portanto, assumindo que o ganho de umidade limitará a vida de prateleira, fazer uma estimativa da mesma, empregando alguns modelos matemáticos.

Segundo Jaya & Das (2005), a taxa de variação do teor de umidade do produto desidratado com o tempo de armazenamento pode ser obtida a partir da Equação 20:

$$W_s \times \frac{dX}{dt} = K \times A_p (R_h \times p^* - a_w \times p^*) \quad (20)$$

Onde: W_s = peso seco do pó na embalagem (kg)
 p^* = pressão de vapor de saturação da água à temperatura ($^{\circ}\text{C}$) de armazenamento (Pa)
 R_h = umidade relativa do ambiente de armazenamento
 K = permeabilidade do material de embalagem ($\text{kg água} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{dia} \cdot \text{Pa}$)
 A_p = área da superfície da embalagem (m^2)
 a_w = atividade de água do pó
 X = umidade do pó (b.s.) após o tempo de armazenamento
 t = tempo de armazenamento (dia)

De acordo com Robertson (1993), Equação 20 pode ser resolvida, resultando na seguinte equação:

$$t = \frac{W_s a_w e S}{100 A_p W_V T R} \ln \frac{(X_e - X_o)}{(X_e - X_c)} \quad (21)$$

Onde: $a_w e$ = atividade de água no ambiente de armazenamento
 S = declive da isoterma de sorção do produto (é o coeficiente angular quando se assume linear a faixa de X_o a X_c)
 $W_V T R$ = taxa de permeabilidade ao vapor de água ($\text{g de água m}^{-2} \text{ dias}^{-1}$)
 X_e = teor de umidade do produto (b.s.) quando em equilíbrio com a atmosfera externa
 X_o = teor inicial de umidade do produto (b.s.)
 X_c = teor de umidade crítica do produto (b.s.) no armazenamento
 W_s = peso seco (kg)
 A_p = área da superfície da embalagem (m^2)

Empregou-se a Equação 21 para a estimativa do tempo de vida útil dos flocos obtidos com amido e com fécula em termos do ganho de umidade. Assumiu-se por condição ambiente a temperatura de 25°C e 75% de umidade relativa. Para uma embalagem contendo aproximadamente 191 g de flocos, os valores de peso seco (W_s) para o produto com amido e para o produto com fécula foram de 185,05 g e 188,51 g, respectivamente. A superfície da embalagem foi de $0,0225 \text{ m}^2$. Considerou-se o X_c sendo o teor de umidade do produto na condição crítica observada na isoterma, ou seja, quando o mesmo apresentava aglomeração. O X_e foi obtido de acordo com o modelo de GAB nas condições ambientes consideradas. Empregaram-se dois tipos de materiais de

embalagens, de acordo com Yamamoto et al. (2011): PETmet/PEBD (12 μm /58 μm) com WVTR = 0.38 g $\text{águ}\text{a m}^{-2}\text{ dias}^{-1}$); e PET/Al/PEBD (11 μm /10 μm /33 μm) com WVTR < 0.01 g $\text{águ}\text{a m}^{-2}\text{ dias}^{-1}$). Para a embalagem de PET/Al/PEBD, como a taxa de permeabilidade é menor que 0,01 g de $\text{águ}\text{a m}^{-2}\text{ dias}^{-1}$, utilizou-se para o cálculo a máxima permeabilidade, ou seja, de 0,01 g de $\text{águ}\text{a m}^{-2}\text{ dias}^{-1}$.

4.5. Estudo da estabilidade dos flocos no armazenamento em diferentes temperaturas

Após a escolha do coadjuvante, feita com base nos resultados das análises físicas, químicas, de equilíbrio (isotermas) e embalagem, realizou-se um novo processamento, conforme descrito anteriormente, para a obtenção dos flocos de jabuticaba com o coadjuvante escolhido, tendo em vista o estudo da estabilidade no armazenamento em diferentes temperaturas, bem como o estudo da transição vítrea.

Conforme descrito posteriormente, o coadjuvante escolhido para a sequência dos estudos foi a fécula de mandioca. No novo ensaio empregou-se 20% de fécula de mandioca e 0,5% de MSG, de acordo com as condições estabelecidas no Ensaio III, anteriormente apresentado (item 4.2.3).

Nesse ensaio, foi necessário um pequeno ajuste nas condições de processo para a formação do filme, uma vez que as condições ambientes estavam diferentes daquelas quando da realização do Ensaio III (temperatura ambiente de aproximadamente 35°C, contra temperatura ambiente de aproximadamente 23°C no Ensaio III). As novas condições empregadas foram temperatura de processo um pouco menor, de aproximadamente 138°C (3,5 kgf/cm^2) (era de 144°C), e tempo de residência um pouco maior, de 20 segundos (era de 18s). As demais variáveis permaneceram as mesmas do ensaio III, apresentado na Tabela 3.

Com a polpa utilizada nesse processamento realizaram-se as seguintes análises: atividade de água, teor de umidade, cor instrumental, teor de compostos fenólicos totais, teor de antocianinas e atividade antioxidante. As análises foram realizadas no mínimo em triplicata, através das metodologias analíticas descritas no item 4.6.

4.5.1. Determinação da temperatura de transição vítrea (T_g) e aplicação do modelo Gordon-Taylor

A análise foi realizada somente para os flocos obtidos no *drum drying* com fécula de mandioca, uma vez que esse foi escolhido para a sequência do estudo. Para realizar a análise de T_g, os flocos foram acondicionados, por aproximadamente 33 dias, em recipientes fechados contendo soluções saturadas, conforme descrito no item 4.4.1, tendo em vista o equilíbrio nas diferentes umidades relativas (atividades de água).

As análises de temperatura de transição vítrea foram realizadas no Laboratório de Engenharia de Processos (Faculdade de Engenharia de Alimentos – UNICAMP), utilizando-se o calorímetro TA-MDSC-2920 (TA Instruments, New Castle, EUA), com resfriamento controlado por um resfriador mecânico RCS (*Refrigerated Cooling Accessory*), operando com gás nitrogênio e utilizando hélio como gás de purga, com vazão constante de 25 ml/min. O equipamento foi calibrado com Índio e verificado com azobenzol (T_{fusão} = 68,0°C). Nestes ensaios, utilizaram-se aproximadamente 10 mg de amostra, que foram colocadas em cápsulas de alumínio e lacradas hermeticamente. As cápsulas foram colocadas no equipamento e resfriadas a -70°C, mantidas nesta temperatura por 10 minutos e em seguida aquecidas até 120°C, a uma taxa de aquecimento de 10°C/min. Este procedimento foi realizado duas vezes por amostra, para diminuir a entalpia de relaxação dos pós amorfos. A análise foi feita em triplicata. Os dados experimentais foram analisados utilizando-se o software *Universal Analysis 2.6* (TA Instruments, New Castle, EUA).

O efeito plasticizante da água sobre a temperatura de transição vítrea de um produto é descrito pelo modelo de Gordon-Taylor (GORDON & TAYLOR, 1952), Equação 22, que descreve a variação da T_g com a variação da fração de água do mesmo.

$$T_g = \frac{w_s \times T_{gs} + k_{GT} \times w_w \times T_{gw}}{w_s + k_{GT} \times w_w} \quad (22)$$

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

Segundo Couchman & Karasz (1978), o K_{GT} pode ser obtido pela razão das variações das capacidades caloríficas dos sólidos pela capacidade calorífica da água, porém é difícil encontrar os valores exatos das capacidades caloríficas. Assim, o valor de k_{GT} tem sido calculado como um parâmetro do modelo. Os parâmetros do modelo foram estimados utilizando-se a ferramenta *Solver* do *software* Microsoft Excel (Microsoft, USA), considerando a temperatura de transição vítrea da água de -135°C (JOHARI, 1987).

4.5.2. Estudo do efeito da temperatura no armazenamento dos flocos

Os flocos de polpa de jabuticaba obtidos com fécula de mandioca foram acondicionados em embalagem com estrutura de poliéster/alumínio/polietileno de baixa densidade (PET/Al/PEBD), com espessura nominal de $70\ \mu\text{m}$. Procurou-se trabalhar com um filme com alta barreira ao vapor de água para minimizar o ganho de umidade durante o armazenamento, avaliando-se somente o efeito da temperatura.

As embalagens foram armazenadas em estufa BOD (LS370, Logen Scientific, Brasil), nas temperaturas de 25°C e 35°C , a 65% de umidade relativa (UR), e em estufa BOD (Eletrolab, 101M/3, Brasil) na temperatura de 20°C , a 65%UR.

No planejamento, estabeleceu-se que o acompanhamento da qualidade dos flocos de jabuticaba seria realizado pelas análises do teor de antocianina, principal pigmento da polpa, bem como da cor instrumental dos flocos. Estabeleceu-se, inicialmente, que o tempo total de armazenamento seria de 180 dias na temperatura ambiente (25°C). A determinação dos períodos de análise nas diferentes temperaturas baseou-se no estudo de estabilidade de amora preta em pó, realizado por Ferrari et al. (2013), quanto ao teor de antocianina. O estudo em questão obteve, dentre outros resultados, o valor de $Q_{10} = 1,7$ para a degradação da antocianina. Considerando-se, no presente estudo, o período hipotético de 180 dias como sendo o limite de vida útil do produto a 25°C . Empregou-se o valor de Q_{10} citado anteriormente para o cálculo dos limites correspondentes nas temperaturas de 20°C e 35°C , de acordo com Moura & Germer (2010). Os intervalos foram divididos de forma a resultar em 12 períodos de monitoramento em cada temperatura. A Tabela 4 apresenta os períodos

estabelecidos para as análises principais no estudo de estabilidade dos flocos de jabuticaba no armazenamento.

Tabela 4. Períodos de análise, em dias, da polpa de jabuticaba em flocos nas diferentes temperaturas durante o armazenamento.

20°C	25°C	35°C
5	4	2
26	20	12
47	36	21
68	52	31
89	68	40
110	84	49
130	100	59
151	116	68
172	132	78
193	148	87
214	164	96
235	180	106

Além disso, no início, no meio e no final dos períodos foram realizadas as seguintes análises: teor de umidade, atividade de água, capacidade antioxidante (pelos métodos ABTS e DPPH) e compostos fenólicos totais. No início e no final dos períodos de armazenamento foram realizadas as seguintes análises: densidade real e aparente, higroscopicidade, solubilidade, índice de absorção de água, porosidade, diâmetro médio de partículas e microscopia eletrônica de varredura. As metodologias analíticas estão descritas no item 4.6.

A cinética de variação dos aspectos avaliados foi obtida analisando-se os ajustes dos modelos de reação de ordem zero, 1^a e 2^a aos resultados experimentais, de acordo com Moura & Germer (2010), e descritos no item 3.4.3.1. O critério para escolha do melhor ajuste foi o coeficiente de determinação da regressão (R^2). A partir do modelo, obtiveram-se os valores do fator de aceleração (Q_{10}), o tempo de meia vida ($t_{1/2}$) e a energia de ativação (E_a), de acordo com o descrito no item 3.4.3.2.

4.6. Metodologia Analítica

4.6.1. Extração amostra

A extração da amostra foi realizada de maneira sequencial, utilizando-se acetona como solvente. Aproximadamente 0,3 g dos flocos foram diluídos em 25

ml de acetona 70% e posteriormente misturada em homogeneizador (Turratec, Tecnal TE-102, Brasil) por 2 minutos, então esta era filtrada em papel filtro no funil de Büchner acoplado a bomba à vácuo (Cole Parmer, DAA Shown, Estados Unidos da América). A amostra que ficava depositada no papel filtro era recolhida e repetia-se mais 2 vezes o procedimento citado acima. Ao final da extração, o filtrado era completado com acetona 70% até 100 ml. A extração da polpa integral não foi sequencial, utilizou-se cerca de 1,5 g de amostra diluída em 50 ml de acetona 70% com posterior homogeneização por 2 minutos e filtrada, sendo completada com acetona 70% até 100 ml.

Estas extrações foram utilizadas para realizar as análises de teor de antocianinas, teor de compostos fenólicos e capacidade antioxidantes (DPPH e ABTS).

4.6.2. Composição centesimal (umidade, cinzas, proteínas, lipídeos e carboidratos) e calorias

Para a determinação do teor de umidade foi empregado o método gravimétrico descrito em AOAC (2006), que consiste em pesar e secar as amostras em estufa à vácuo à 70°C por 24 horas. Já a identificação dos teores de cinzas e proteínas foram de acordo com o descrito por Horwitz (2008). Para a análise de lipídeos utilizou-se a metodologia descrita por IAL (2005). Os carboidratos foram obtidos por diferença, através da Equação 23. E o cálculo das calorias foi baseado em Kalil (1975), de acordo com a Equação 24.

$$\%Carb = 100 - (\%Umidade + \%Cinza + \%Lipídeo + \%Proteína + \%Fibra_{total}) \quad (23)$$

$$Cal (Kcal/g) = (\%Proteína \times 4) + (\%Carboidrato \times 4) + (\%Lipídeo \times 9) \quad (24)$$

4.6.3. Açúcares totais, invertidos, não redutores e redutores

Estes foram determinados pelo método de Munson & Walker, descrito por Carvalho et al. (1990), devido à redução de íons de cobre bivalente em meio básico pelos açúcares redutores, como a glicose e a frutose. As fórmulas

utilizadas para determinar os açúcares redutores (AR), açúcares invertidos (AI), açúcares não redutores (ANR) e açúcares totais (AT) estão mostradas abaixo:

$$AR(g/100g) = \frac{M \times 250 \times 100}{A \times B \times 1000} \quad (25)$$

$$AI(g/100g) = \frac{M \times 250 \times 100 \times 100}{A \times B \times 1000 \times 50} \quad (26)$$

Onde: M = mg de açúcares invertido
A = massa da amostra
B = alíquota usada no Fehling

$$ANR(g/100g) = (AI - AR) \times 0,95 \quad (27)$$

$$AT(g/100g) = AR + ANR \quad (28)$$

4.6.4. Teor de minerais

As análises de minerais foram realizadas segundo o método descrito por Queiroz et al. (2008), sendo realizadas após a oxidação da matéria orgânica das amostras por via seca, em forno mufla, em temperatura $\leq 525^\circ\text{C}$ e a quantificação dos principais elementos minerais foi realizada através do espectrômetro de emissão com fonte de plasma com acoplamento indutivo ICP OES, após a construção de curvas analíticas multielementares.

4.6.5. Atividade de água (a_w)

Foi utilizado higrômetro digital (Decagon Devices Inc, Aqualab 3 TE, Estados Unidos da América), a $25 \pm 0,3^\circ\text{C}$, como descrito em Instituto Adolfo Lutz (2005).

4.6.6. Cor instrumental e cor reconstituída

A cor instrumental foi obtida por leitura direta no colorímetro (Konica-Minolta Sensing Inc., Chromameter CR-400, Japão) com 9 repetições, programado no sistema CieLab com os parâmetros L* (luminosidade), a* (+a*=vermelho e -a*=verde) e b* (+b*=amarelo e -b*=azul). Com esses parâmetros foram calculados o Croma (C), o ângulo de tom (Hue), e a diferença de cor da matéria-prima (ΔE) a partir das equações abaixo:

$$C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (29)$$

$$H = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (30)$$

$$\Delta E = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta a^*)^2)^{1/2} \quad (31)$$

A determinação da cor reconstituída a partir dos flocos obtidos por *drum drying* foi realizada, com modificações, de acordo com a metodologia descrita por Caparino et al. (2012), que consiste em reconstituir os flocos com os mesmos teores de umidade e sólidos totais da polpa de jabuticaba inicial. Os cálculos foram realizados por balanço de massa para determinar as quantidades necessárias de sólidos e água. A água destilada e os flocos foram misturados utilizando homogeneizador (TECNAL, Turratec TE-102, Brasil), por 2 minutos e foram feitas 9 repetições com o colorímetro (Konica-Minolta Sensing Inc., Chromameter CR-400, Japão) no sistema CieLab.

4.6.7. Teor de antocianinas

Para quantificação das antocianinas, foi utilizado o método de pH diferencial da AOAC (2005). A absorbância foi medida em um espectrofotômetro (Agilent Technologies, Cary 60 MY13110012, Estados Unidos da América) com comprimento de onda de 520nm (para a cianidina-3-glicosídeo) e 700nm em soluções de pH 1,0 e 4,5. Para calcular a absorbância da amostra diluída (A) aplicou-se a Equação 32. Para obter a concentração de antocianina por mg/L, utilizou-se o resultado na Equação 33. Para a conversão em mg/g amostra aplicou-se a Equação 34.

$$A_{real} = (A_{520} - A_{700})_{pH1,0} - (A_{520} - A_{700})_{pH4,5} \quad (32)$$

$$C_{(mg/L)} = \frac{A_{real}}{E \times L} \times 1000 \times FD \times PM \quad (33)$$

Onde: A = Absorbância

C = concentração em mg/L

E = Coeficiente de absorvidade molar (cianidina-3-glicosídeo = 26900 L/cm²mol)

FD = fator de diluição da amostra

PM = peso molecular da cianidina-3-glicosídeo (449,2 g/mol)

L = Largura da cubeta, que de acordo com a metodologia é de 1 cm

$$C_{(mg/g)} = \frac{C_{(mg/L)}}{m} \times V \quad (34)$$

Onde: V = volume extração (L)

m = massa amostra (g)

4.6.8. Teor de compostos fenólicos

Os compostos fenólicos totais foram obtidos por espectrofotometria de Folin Ciocalteu, descrito por Benvenuti et al. (2004). A leitura da absorbância das amostras foi realizada com o comprimento de onda de 750nm no espectrofotômetro (Agilent Technologies, Cary 60 MY13110012, Estados Unidos da América). A curva padrão foi elaborada com diferentes concentrações da solução de ácido gálico (0,1g/100 ml) diluído em água destilada obtendo-se as concentrações finais de: 40; 80; 120; 160 e 200 µg/mL. Para zerar o equipamento foi utilizado como branco a mistura de todos os reagentes, substituindo-se a amostra por água destilada.

4.6.9. Capacidade ou atividade antioxidante

Para a avaliação da atividade antioxidante foram realizados dois métodos: o primeiro foi determinado adaptando-se o método de Brand-Williams et al. (1995), que se baseia na captura do radical 2,2-difenil-1-picril-hidrazila (DPPH) por antioxidantes, produzindo um decréscimo da absorbância a 515 nm e metanol 80% como branco para calibrar o equipamento, determinada por espectrofotômetro (Agilent Technologies, Cary 60 MY13110012, Estados Unidos

da América). Para a curva de calibração utilizou a solução de Trolox (25 mg/ 50 mL) com álcool etílico PA nas diferentes diluições: 50; 100; 200; 400; 600 e 800 µM.

O outro método, foi através da inibição da absorbância do cátion-radical ABTS^{•+} determinada também por espectrofotometria, porém com leitura da absorbância em um comprimento de onda de 734 nm e como branco foi utilizado o álcool etílico PA, seguindo a metodologia adaptada de Rufino (2007). A curva de calibração utilizou a solução de Trolox (25 mg/ 50 mL) diluído em álcool etílico PA nas seguintes diluições: 100, 500, 1000, 1500 e 2000 µM.

4.6.10. Acidez titulável e pH

As metodologias de obtenção do pH e acidez titulável foram baseadas em Instituto Adolfo Lutz (2008), utilizando-se a polpa à temperatura ambiente (25°C) e medidos em pHmetro (Digimed, DM 20, Brasil).

4.6.11. Teor de sólidos solúveis (°Brix)

Para obtenção do °Brix utilizou-se refratômetro portátil digital de 0 a 85°Brix (Atago, PAL-A B225259, Japão), empregando a polpa à temperatura ambiente (25°C), segundo metodologia descrita em Instituto Adolfo Lutz (2008).

4.6.12. Solubilidade e índice de absorção de água (IAA)

A solubilidade foi determinada de acordo com o método de Eastman Moore (1984), citado por Cano-Chauca et al. (2005), com algumas modificações. O método consiste em pesar cerca de 2,5 g de amostra e adicionar 30 ml de água destilada. Agitou-se por 30 min e centrifugou a 3000xg durante 10 minutos. Retirou 10 ml do sobrenadante e secou em estufa a 105°C por 4 horas. A solubilidade foi calculada por diferença de peso, aplicando a Equação 35. Já o Índice de absorção de água utilizou a Equação 36.

$$\text{Solubilidade (\%)} = \left(\frac{\text{massa resíduo evaporação}}{\text{massa inicial amostra}_{base\ seca}} \right) \times 3 \times 100 \quad (35)$$

$$IAA (g/g) = \left(\frac{\text{massa resíduo centrifugação}}{\text{peso amostra} - \text{massa resíduo evaporação}} \right) \quad (36)$$

4.6.13. Higroscopicidade

A metodologia proposta por Cai & Corke (2000), com modificações, avaliou a higroscopicidade dos flocos, que consiste no armazenamento de aproximadamente 1 g de amostra em recipientes hermeticamente fechados possuindo solução saturada de NaCl (a_w 0,751) a 25 °C. As amostras foram pesadas diariamente até atingirem o equilíbrio, que ocorreu em 7 dias e foi expresso em g de umidade adsorvida/100 g de matéria seca de amostra. O cálculo foi baseado na Equação 37 de Jaya & Das (2004):

$$H = \frac{\frac{\Delta m}{M} + U}{1 + \frac{\Delta m}{M}} \quad (37)$$

Onde: H = higroscopicidade

Δm = (massa amostra em equilíbrio (b.u.) – massa amostra inicial (b.u.))

U = umidade inicial

M = massa da amostra inicial

4.6.14. Densidade aparente, densidade absoluta e porosidade

Para a densidade aparente (ρ_{ap}) das amostras empregou-se a metodologia descrita por Goula & Adamopoulos (2004), colocando a amostra em provetas graduadas e pesando posteriormente, a qual foi calculada utilizando a Equação 38. Já na determinação da densidade absoluta (ρ_{abs}) utilizou-se picnômetro, sendo o álcool etílico absoluto o líquido imiscível à 25°C. A porosidade (ε) foi obtida através da Equação 39.

$$\rho_{ap}(g/ml) = \frac{\text{massa amostra (g)}}{\text{volume da proveta (ml)}} \quad (38)$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_{abs}} \quad (39)$$

4.6.15. Diâmetro médio de partículas

Seguindo a metodologia de Horiba Instruments (2007), a análise de diâmetro médio e distribuição de tamanho de partículas dos flocos feita por difração a laser no equipamento Partica (Horiba, LA 950 V2, Japão). A análise foi feita em via úmida utilizando-se álcool etílico absoluto para dispersar a amostra e evitar aglomeração.

4.6.16. Morfologia

O estudo da morfologia das partículas foi avaliado através de microscopia eletrônica de varredura (MEV). A metodologia consiste em fixar os flocos em fita adesiva dupla face de carbono, recobrando a amostra 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 50x e 400x, nas condições de 20kV e 100pA de tensão e corrente, respectivamente.

4.7. Análise Estatística

Todas as análises foram realizadas pelo menos em triplicatas, e os resultados avaliados estatisticamente por meio de análise de variância (ANOVA) e pelo teste de Tukey a 5% de significância ($p \leq 0,05$), empregando-se o software Statistica®8.0 (StatSoft Inc., Tulsa, EUA).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Caracterização da polpa de jabuticaba

Na Tabela 5 estão apresentados os resultados da caracterização da polpa de jabuticaba utilizada no presente estudo.

Tabela 5. Composição centesimal da polpa de jabuticaba empregada no estudo

Valor Energético 36 Kcal/100g		Minerais (mg.100 g ⁻¹ b.s.)	
Umidade (% b.u.)	90,63±0,09	Cálcio	44,50±0,01
Carboidratos totais (g.100 g ⁻¹ b.u.)	8,84	Cobre	0,35±0,002
Cinzas (g.100 g ⁻¹ b.u.)	0,32±0,01	Ferro	1,6±0,01
Lipídios totais (g.100 g ⁻¹ b.u.)	ND < 0,10	Fósforo	81,86±0,06
Proteína (N x 5,75) (g.100 g ⁻¹ b.u.)	0,21±0,01	Magnésio	94,24±0,01
Açúcares (g.100 g⁻¹ b.u.)		Manganês	3,31±0,00
Açúcares totais	6,97±0,19	Potássio	1302,03±5
Açúcar redutor	5,42±0,04	Sódio	21,88±0,43
Açúcar não redutor	1,55±0,21	Zinco	1,53±0,001
Açúcar invertido	7,05±0,20		

Observa-se que a polpa é constituída predominantemente por água e carboidratos. Além disso, apresenta baixa quantidade de calorias, 36 kcal/100g, e quantidades não significativas de lipídeos e proteínas, <0,10 e 0,21 g/100 g, respectivamente. Os minerais também estão presentes, com destaque para o potássio, com 1302,03 mg/100 g, seguido de 94,24 mg/100 g de magnésio e 81,86 mg/100 g de fósforo, base seca. Lima (2009) reportou os seguintes valores para o fruto inteiro liofilizado, em base seca: 1180,00 mg/100 g de potássio; 100 mg/100 g de magnésio e 76,67 mg/100 g de fósforo; além da presença de cálcio, manganês, ferro, sódio e cobre, como observado também na polpa do presente estudo.

Com relação aos açúcares, observa-se que a polpa de jabuticaba apresenta 6,97 g/100 g de açúcares totais, dos quais 5,42 g/100 g são redutores (~78%) e 1,55 g/100 g (22%) são não redutores. Lima (2009) reportou, no fruto inteiro, variedade Sabará, valores superiores de açúcares totais, 11,34 g/100 g, dos quais a maior parte se refere a açúcares redutores, 9,74 g/100 g. A presença de açúcares redutores pode influenciar na qualidade dos produtos desidratados, uma vez que tanto no processo, como no armazenamento, pode haver formação de compostos escuros devido à reação de Maillard (NURSTEN, 2005). Além disso, devido ao baixo peso molecular desses açúcares, e conseqüentemente baixa temperatura de transição vítrea, no caso de produtos em pó, poderá

resultar em aglomerações no armazenamento. Nesses casos, conforme já comentado, o uso de coadjuvantes de processo de alto peso molecular é requerido (BHANDARI et al., 1997).

A Tabela 6 apresenta os resultados de outras análises físico-químicas realizadas com a polpa de jabuticaba utilizada.

Tabela 6. Algumas propriedades físico-químicas da polpa de jabuticaba empregada no estudo.

Análises	Polpa
Teor de sólidos solúveis (°Brix)	8,83±0,05
pH	3,76±0,08
Acidez (g ác. cítrico.100 g ⁻¹ b.u.)	0,85±0,05

Lima et al. (2008) reportaram valores superiores de sólidos solúveis no fruto inteiro de jabuticaba, de 11,20°Brix, para a variedade Sabará. Com relação ao pH, os autores reportaram o valor de 3,55. Por outro lado, a acidez se mostrou superior que a do presente estudo, 1,41 g ácido cítrico.100g⁻¹.

5.2. Desempenho dos diferentes coadjuvantes de processo no *drum drying* de polpa de jabuticaba

5.2.1. Propriedades físicas e químicas dos flocos obtidos com os diferentes coadjuvantes

Os resultados de algumas propriedades físico-químicas dos flocos de polpa de jabuticaba obtidos por *drum drying* com os diferentes coadjuvantes (Ensaio III do item 4.2.3), bem como da matéria-prima empregada estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Algumas propriedades físico-químicas da polpa e dos flocos de jabuticaba obtidos por *drum drying* com amido e fécula de mandioca

	Polpa	Flocos com Amido	Flocos com Fécula
Umidade (% b.u.)	90,93±0,01 ^a	2,11±0,02 ^b	1,27±0,04 ^c
a_w	0,995±0,001 ^a	0,283±0,001 ^b	0,265±0,017 ^b
Antocianinas (mg.100 g ⁻¹ b.s.)	158,24±2,50 ^a	123,17±4,34 ^b	104,36±1,73 ^c
Compostos fenólicos totais (mg ác. gálico.100 g ⁻¹ b.s.)	2887,30±43,50 ^a	2697,59±6,69 ^b	2518,10±5,35 ^c
Capacidade antioxidante (µmol TE/g b.s.)			
DPPH	311,17±9,80 ^a	252,45±2,20 ^b	252,01±3,88 ^b
ABTS	324,73±21,49 ^a	308,40±3,95 ^a	309,12±4,10 ^a
Cor			
L*	25,88±0,69 ^a	23,51±1,31 ^b	25,30±1,25 ^a
a*	15,12±0,23 ^c	25,28±1,53 ^a	22,60±0,92 ^b
b*	3,41±0,07 ^c	9,09±0,80 ^a	7,94±0,43 ^b
Croma	15,50±0,24 ^c	26,87±1,70 ^a	23,96±1,00 ^b
Tom	12,71±0,20 ^b	19,75±0,71 ^a	19,34±0,48 ^a

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

Observa-se que os flocos apresentaram teores de umidade baixos, mostrando a eficiência do processo de secagem: aproximadamente 2% para produto com o amido, e 1,3% para o produto com a fécula, com diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os valores. A atividade de água também reduziu no processo, sendo que os flocos com amido e com fécula apresentaram valores de 0,283 e 0,265, respectivamente, sem diferença significativa ($p > 0,05$) entre os mesmos. Yamato (2018) reportou teor de umidade de aproximadamente 1,7% e atividade de água de 0,254 para flocos de polpa de manga utilizando amido regular como coadjuvante no *drum drying*. Jittanit et al. (2011) apresentaram valores superiores no estudo do *drum drying* de polpa de tamarindo com maltodextrina como coadjuvante: teor de umidade foi de 3,38 e a_w de 0,326.

Houve diminuição dos teores de antocianinas com o processo de secagem, para ambos os coadjuvantes, de aproximadamente 158 mg.100 g⁻¹ (b.s.) na polpa, para 123 mg.100 g⁻¹ nos flocos com amido e 104 mg.100 g⁻¹, nos flocos com fécula, ambos em b.s. Essa redução pode estar relacionada à sensibilidade das antocianinas à temperatura (CAVALCANTI et al., 2011), bem como devido à adição de coadjuvantes de processo à polpa, incorporando massa no produto final. Outros estudos com jabuticaba reportaram valores de antocianinas de 367,3 mg/100 g a 837,0 mg/100 g, base seca, no fruto inteiro

fresco, com predomínio da cianidina-3-glucosídeo e delphinidina-3-glucosídeo (SANTOS et al, 2010; LIMA et al., 2011).

Quanto aos compostos fenólicos totais, observa-se que houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os teores da polpa e dos flocos. Os resultados mostram uma redução de 6,6% para os flocos obtidos com amido e 12,8% para os flocos com fécula de mandioca. A diminuição observada pode estar relacionada à adição de coadjuvantes no processo, da mesma forma que relatado anteriormente, incorporando massa no produto final. A presença de compostos fenólicos na jabuticaba provém da casca, e estudo realizado por Santos et al. (2010) reportou o teor de 2633,5 mg/100 g (b.s.) do composto na casca do fruto fresco, próximo ao valor determinado para a polpa do presente estudo.

Observa-se na Tabela 7 que houve redução da capacidade antioxidante no processo de secagem, para ambos os coadjuvantes empregados, por ambos os métodos de análise. Essa redução pode estar relacionada à sensibilidade de alguns compostos antioxidantes à temperatura, como é o caso das antocianinas, mencionado anteriormente. As capacidades antioxidantes dos diferentes flocos, determinadas pelo método DPPH, não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$), mostrando uma redução, em ambos os processos, de aproximadamente 18%. Da mesma forma a capacidade antioxidante obtida pelo método ABTS, sendo que a redução foi de 4,8%, em ambos os processos.

Quanto à cor instrumental, observa-se que o parâmetro L^* (luminosidade) da polpa é bastante baixo, próximo de 26, em uma escala que varia de 0 (+ escuro) até 100 (+ claro). O resultado evidencia a cor escura da polpa, característica da casca da fruta. Observa-se, também, que os valores de L^* dos flocos estão próximos ao valor obtido para a polpa, mostrando que não houve escurecimento importante com a secagem. Por sua vez, estudos com frutas de cores semelhantes resultaram em comportamentos diferentes. Tonon (2009), produziu polpa de açaí em pó por *spray drying*, resultando em produto mais claro, com parâmetro L^* de aproximadamente 33. O resultado pode ser explicado pela maior quantidade de agente carreador utilizado na secagem (6% p/p, isto é, com relação à massa de polpa). O mesmo comportamento foi reportado por Ferrari et al. (2012) em amora-preta em pó obtida por *spray drying* utilizando 25% (p/p)

de coadjuvante de processo. O resultado foi a obtenção de um produto mais claro, com a luminosidade próxima a 39.

Os valores do parâmetro a^* (vermelho-verde) foram superiores aos valores obtidos de b^* (amarelo-azul), para todas as amostras, evidenciando a importância relativa da cor vermelha no produto, característica das antocianinas em determinadas condições (DAVIES et al., 2017).

Os valores do parâmetro a^* e b^* aumentaram com a secagem, e esse incremento pode estar parcialmente relacionado com a retirada da água e a concentração dos pigmentos.

Percentualmente, o aumento de a^* , em ambos coadjuvantes, foi menor que o aumento de b^* , sendo 67% (amido) e 46% (fécula) contra 166% (amido) e 133% (fécula), respectivamente. Os flocos com amido apresentaram maior valor do parâmetro a^* em relação a fécula (25,28 e 22,60), o mesmo ocorreu na retenção das antocianinas após a secagem, que foi maior nos flocos com amido.

O aumento do parâmetro b^* , em ambos os tratamentos, indica um aumento da cor amarela. Ferreira (2017) relatou comportamento semelhante na secagem de polpa de jabuticaba em camada de espuma. Tal comportamento pode estar relacionado com a reação de Maillard, devido a formação de compostos amarronzados (PITALUA et al., 2010).

O Cromo aumentou nos produtos secos, indicando intensificação da cor do produto com a secagem devido a retirada da água. Quanto ao ângulo de tom (Hue), observou-se um aumento do valor de 12° na polpa, para aproximadamente 20° , nos flocos. O comportamento evidencia um aumento relativo da cor amarela (Hue = 90°) com relação a cor vermelha (Hue = 0), conforme comentado anteriormente.

Na Tabela 8, estão apresentados os parâmetros de cor da polpa reconstituída, obtidas a partir dos flocos de jabuticaba com os diferentes coadjuvantes.

Tabela 8. Parâmetros de cor da polpa reconstituída a partir dos flocos de jabuticaba obtidos com amido de milho e fécula de mandioca.

	Flocos com Amido	Flocos com Fécula
L*	26,27±0,37 ^a	25,10±0,52 ^b
a*	12,03±0,28 ^a	11,13±0,32 ^b
b*	2,52±0,08 ^a	2,57±0,16 ^a
Croma	12,29±0,29 ^a	11,42±0,34 ^b
Tom	11,85±0,18 ^b	12,98±0,50 ^a
ΔE	3,26±0,31 ^b	4,18±0,27 ^a

Letras diferentes, na mesma linha, indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$), de acordo com o teste de Tukey. O cálculo da diferença de cor (ΔE) da polpa reconstituída, foi realizado com relação a cor instrumental da polpa original.

Com exceção do parâmetro b^* , houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) em todos os parâmetros analisados das polpas reconstituídas a partir dos diferentes flocos. Comparando com a cor da polpa in natura (Tabela 7), observa-se que os valores da polpa reconstituída são semelhantes para os parâmetros L^* , b^* e tom. O parâmetro a^* reduziu ~20% em relação a polpa inicial, em ambos tratamentos. O comportamento pode estar relacionado com a perda de antocianinas, conforme discutido anteriormente. O Croma diminuiu aproximadamente 19%, tanto nos flocos com fécula como nos flocos com amido, indicando perda da intensidade da cor inicial da polpa. O resultado deve estar relacionado ao uso dos coadjuvantes, que incorporou massa de cor clara no produto final. Observou-se diferença de cor (ΔE) entre ambas as polpas reconstituídas com relação a polpa inicial, apresentada na Tabela 7. Houve diferença significativa do parâmetro entre os tratamentos ($p \leq 0,05$), sendo que aquela obtida a partir dos flocos com fécula foi maior. A análise da cor da polpa reconstituída é relevante para a aplicabilidade do produto seco, pois espera-se que a mesma deva estar semelhante à cor da polpa original quando reidratada. Nesse aspecto, os flocos obtidos apresentaram resultados satisfatórios, com destaque para os flocos com amido, cujo parâmetro diferença de cor (ΔE) resultou menor.

Na Tabela 9, estão apresentadas algumas outras propriedades dos flocos de jabuticaba obtidos com os diferentes coadjuvantes.

Tabela 9. Algumas propriedades dos flocos de jabuticaba obtidos com amido de milho e fécula de mandioca.

Propriedades	Flocos com Amido	Flocos com Fécula
Densidade Aparente (g. mL ⁻¹)	0,4169±0,0049 ^b	0,4346±0,0026 ^a
Densidade Absoluta (g. mL ⁻¹)	0,9689±0,0034 ^a	0,9679±0,0004 ^a
Porosidade (%)	56,97±0,52 ^a	55,10±0,26 ^b
Solubilidade (%)	69,15±0,83 ^b	72,76±0,49 ^a
Higroscopicidade (g.100 g ⁻¹)	23,52±0,56 ^a	23,64±0,22 ^a

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

Observa-se que a densidade aparente dos flocos com fécula se mostrou maior do que aquela obtida para o produto com amido. A razão para tal comportamento pode ser atribuída ao maior teor de amilopectina (83%) da fécula de mandioca em relação ao amido (72%), segundo Franco et al. (2002). A amilopectina, por ser uma molécula mais ramificada, é mais pesada do que a amilose. Portanto, o maior peso dos flocos obtidos com a fécula promoveu uma melhor acomodação dos mesmos na proveta, resultando em um maior peso da amostra, e conseqüentemente, maior densidade aparente. Da mesma forma Tonon (2009) observou que o pó de açaí obtido por *spray drying* com fécula de mandioca apresentou densidade aparente maior em comparação aos pós produzidos com maltodextrina (10 e 20DE) e goma arábica.

Os valores de densidade absoluta dos diferentes flocos não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$) entre si, conforme pode ser visto na Tabela 9. A densidade absoluta é a densidade real do sólido, não levando em consideração, diferentemente da densidade aparente, os espaços vazios entre as partículas.

Por sua vez, a porosidade mede a quantidade dos espaços vazios entre as partículas. Quanto maior for o valor dessa propriedade, maior será a quantidade de espaços vazios entre as partículas, maior deverá ser o volume de embalagem, e maior a possibilidade de ocorrer reações de oxidação durante o armazenamento devido a maior presença de ar (LEWIS, 1987). Os valores das porosidades dos flocos obtidos com amido e com fécula apresentaram diferença significativa entre si ($p \leq 0,05$). Os flocos obtidos com fécula apresentaram porosidade inferior à porosidade dos flocos do amido, com 55,10% e 56,97%, respectivamente. Os flocos produzidos com amido possuem, portanto, maior número de espaços vazios, e possivelmente estejam mais susceptíveis às reações de oxidação no armazenamento.

De acordo com a Tabela 9, as solubilidades dos flocos apresentaram diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre si, sendo que aqueles com fécula obtiveram valor ligeiramente superior (~5%). Essa diferença pode estar relacionada à fonte de obtenção dos diferentes amidos. Em estudo realizado por Mishra & Rai (2006), a solubilidade a 20°C do amido de milho foi menor do que da fécula de mandioca, com valores de 1% e 2%, respectivamente.

Gurak et al. (2014) reportaram, para a jabuticaba liofilizada (fruto inteiro) e para a casca de jabuticaba liofilizada, valores de solubilidade de ~83% e ~79%, respectivamente. Por outro lado, Tonon (2009) reportou solubilidade de aproximadamente 32% para o açaí em pó obtido por *spray drying* empregando fécula de mandioca como carreador. Segundo a autora, a fécula de mandioca é um granulo de amido na forma nativa, sendo, portanto, altamente insolúvel à temperatura ambiente. A razão para a solubilidade do presente estudo ser maior do que o valor reportado por Tonon (2009) pode ser o tipo de secagem empregado, pois segundo Vallous et al. (2002), no *drum drying*, o amido passa por processo de gelatinização. Mishra & Rai (2006) afirmam que a gelatinização do granulo de amido promove um colapso do arranjo molecular, com consequente perda da cristalinidade nativa, resultando no intumescimento e solubilização do mesmo.

De acordo com os resultados da Tabela 9, os flocos obtiveram higroscopiedades próximas a 24 g água adsorvida/ 100 g de massa seca, sem apresentar diferença significativa entre os tratamentos ($p > 0,05$). O valor equivale ao parâmetro obtido por Zotarelli et al. (2017), de aproximadamente 24 % em manga em pó obtida por *spray drying* com maltodextrina. Tonin (2017) reportou valores de higroscopiedade na faixa de 21 a 26 % para manga em pó obtida por *drum drying* com amido de milho.

5.2.2 Isotermas de sorção dos flocos obtidos com os diferentes coadjuvantes

A Tabela 10 apresenta os valores experimentais das umidades de equilíbrio obtidas para os flocos com os diferentes aditivos no estudo de isotermas.

Tabela 10. Umidades de equilíbrio experimentais dos flocos de jabuticaba obtidos com fécula de mandioca e amido de milho em função da atividade de água (a_w) a 25°C.

a_w	Flocos com	Flocos com
	Amido	Fécula
	$U_{eq_{exp}}$	$U_{eq_{exp}}$
0,1130	0,0197	0,0145
0,2251	0,0408	0,0347
0,3278	0,0683	0,0642
0,4316	0,1031	0,0986
0,5289	0,1367	0,1382
0,6886	0,2374	0,2394
0,7529	0,3154	0,3115
0,8434	0,4628	0,4561

$U_{eq_{exp}}$ =umidade de equilíbrio experimental

Na Tabela 10, observa-se que os flocos com amido de milho apresentaram comportamento ligeiramente mais higroscópico, tendo absorvido maior quantidade de água, nas mesmas atividades de água, do que os flocos com fécula de mandioca. No estudo realizado por Tonon (2009), o açaí em pó obtido por *spray drying* com fécula também apresentou-se menos higroscópico quando comparado com os produtos obtidos com maltodextrina (10DE e 20DE) e goma arábica. Segundo os autores, o comportamento pode estar relacionado com a estrutura química de cada agente carreador. A maltodextrina e a goma arábica apresentam muitas ramificações com grupos hidrofílicos, favorecendo a adsorção de água. A fécula, no entanto, é um amido nativo não hidrolisado, explicando a menor adsorção de água, e portanto, a menor higroscopicidade.

Conforme colocado anteriormente (item 4.4), algumas observações visuais foram realizadas durante o levantamento experimental das isotermas, e a Figura 16 e Figura 17 mostram as fotos dos flocos obtidos com fécula de mandioca e amido, respectivamente, no tempo inicial de armazenamento (zero dias), e após o equilíbrio (33 dias).

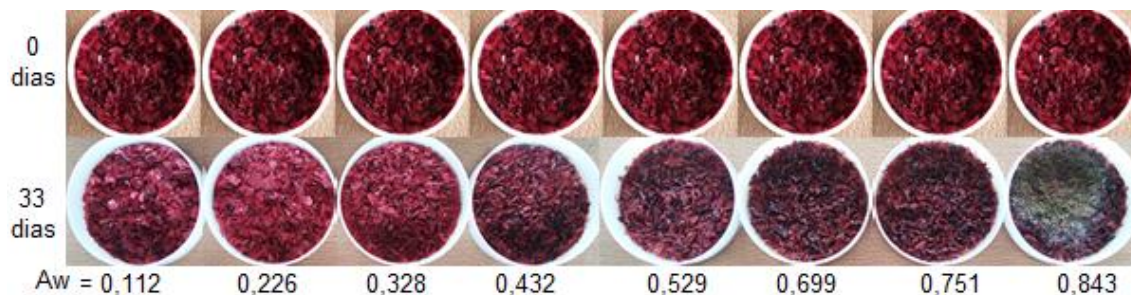


Figura 16. Flocos de jaboticaba obtidos por *drum drying* com fécula de mandioca, no equilíbrio em diferentes condições de atividade de água (a_w), a 25°C

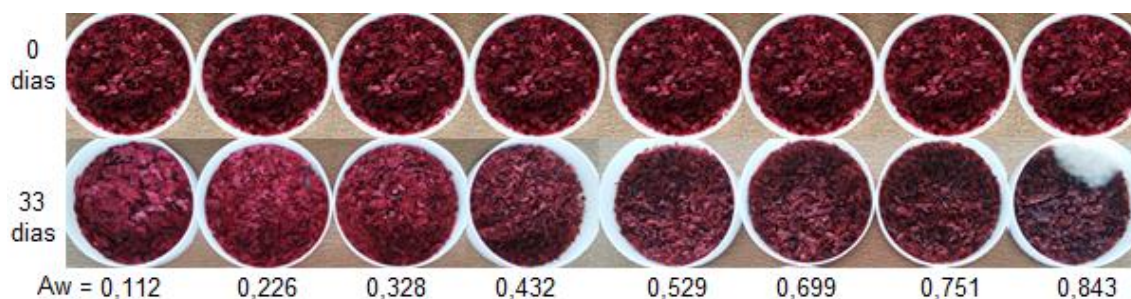


Figura 17. Flocos de jaboticaba obtidos por *drum drying* com amido de milho, no equilíbrio em diferentes condições de atividade de água (a_w), a 25°C.

Observou-se adsorção de água e escurecimento com o aumento da atividade de água, chegando ao crescimento de fungos na maior a_w (0,843), sendo que o comportamento foi semelhante, no geral, para ambos os coadjuvantes empregados. Os flocos armazenados na menor a_w (0,112) permaneceram, mesmo após 33 dias de armazenamento, semelhantes aos flocos do tempo zero, com coloração viva, e soltos. Por outro lado, com o aumento da atividade de água, gradativamente, os flocos se tornaram mais escuros e aglomerados. As principais mudanças foram verificadas a partir da atividade de água de 0,432, para ambos os coadjuvantes. Portanto, essa condição pode ser considerada a condição crítica de armazenamento para ambos os flocos.

A aglomeração dos pós é denominada *caking*, e ocorre ao longo do tempo de armazenamento. O fenômeno é resultado do umedecimento das superfícies devido aos seguintes efeitos: equilíbrio da umidade, ou resfriamento; recristalização, e solubilização das superfícies dos cristais de açúcares; atração eletrostática entre as partículas (AGUILERA et al., 1995). Inicialmente, os pós ou flocos são produtos secos com baixa umidade, apresentando alta fluidez. Ao longo do tempo de armazenamento, pontes entre as partículas vão se formando,

devido aos fatores anteriormente apresentados, promovendo o desenvolvimento de torrões, ou aglomerados, que podem se compactar com o decorrer do tempo. No estágio final, o material se torna mais pegajoso, podendo se liquefazer, e eventualmente apresentar crescimento de bolores. A Figura 18. ilustra os estágios do fenômeno *caking*.

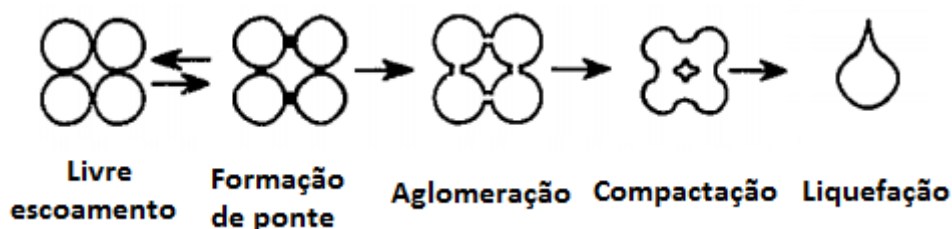


Figura 18. Estágios durante um processo típico de *caking*
 Fonte: AGUILERA et al. (1995)

Os valores experimentais de equilíbrio de ambos os flocos apresentados na Tabela 10 foram ajustados pelos modelos matemáticos de isoterma de sorção descritos no item 3.4.1.1. A Tabela 11 apresenta os parâmetros obtidos para os diferentes modelos e produtos.

Tabela 11. Constantes obtidas pelos modelos de GAB, BET, Halsey, Oswin e Henderson nos ajustes das isotermas de sorção dos flocos de jabuticaba com os diferentes coadjuvantes, na condição de temperatura de 25°C.

Modelo Matemático	Coadjuvante	Parâmetros			R ²	P (%)	SE (%)
		X _m	C	K			
GAB	Fécula	0,1596	0,9692	0,8802	0,9999	4,50	0,23
	Amido	0,1274	1,3640	0,9174	0,9998	1,92	0,31
BET	Fécula	X _m 52,1187	0,0014	4,0211	0,9969	12,70	1,13
	Amido	44,6340	0,0016	4,0243	0,9950	17,29	1,43
Halsey	Fécula	a 0,0786		b 1,0325	0,9924	35,95	1,78
	Amido	0,0790		1,0398	0,9945	23,34	1,51
Oswin	Fécula	a 0,1246		b 0,7832	0,9981	16,33	0,90
	Amido	0,1270		0,7777	0,9990	8,0	0,67
Henderson	Fécula	a 0,7877		b 3,5254	0,9998	1,45	1,82
	Amido	0,8338		3,7475	0,9989	3,49	1,25

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.
 Fécula = flocos de jabuticaba elaborados com fécula de mandioca; Amido = flocos de jabuticaba elaborados com amido de milho.

Conforme anteriormente descrito, para a escolha do melhor ajuste, foram analisados os seguintes parâmetros: coeficiente de determinação (R^2); desvio relativo médio (P); e erro médio estimado (SE). Observa-se na Tabela 11 que todos os modelos obtiveram ótimos resultados, com R^2 acima de 0,99, com destaque para o modelo GAB, para ambos os coadjuvantes. De acordo com Labuza et al. (1985), quanto menor o valor do parâmetro P, melhor a representatividade do modelo. De acordo com Aguerre et al. (1989), valores de P inferiores a 10% indicam bons ajustes. Desse modo, alguns modelos mostraram-se insatisfatórios para fécula (BET, Halsey e Oswin), e outros para o amido (BET e Halsey). Quanto ao modelo BET, além do parâmetro P não ser satisfatório, os valores obtidos de monocamada apresentaram-se incoerentes, para ambos os coadjuvantes, superiores a 1, ou seja, equivalentes a umidades maiores que 100%. Os modelos obtidos apresentaram baixos valores de SE, variando de 0,23 a 1,82. Quanto menor esse parâmetro, mais próximo do valor zero, menor será o erro do modelo. O destaque foi o modelo de GAB, com os menores valores de SE, para ambos os aditivos.

Segundo Blahovec (2004), os valores dos parâmetros do modelo de Oswin devem ser: $a > 0$ e $1 \geq b > 0$. Dessa forma, o ajuste do modelo de Oswin para os flocos com amido seria satisfatório. Já para o modelo de Henderson, os parâmetros devem ser $a > 0$ e $b \geq 1$. Portanto, o modelo apresentou bom ajuste para ambos os coadjuvantes.

Nesse contexto, o modelo que apresentou melhores resultados, para ambos os aditivos, foi o modelo de GAB. Na Figura 19 estão representados os resultados experimentais das isotermas de sorção dos flocos de jabuticaba com os diferentes aditivos, bem como as curvas do modelo de GAB ajustadas.

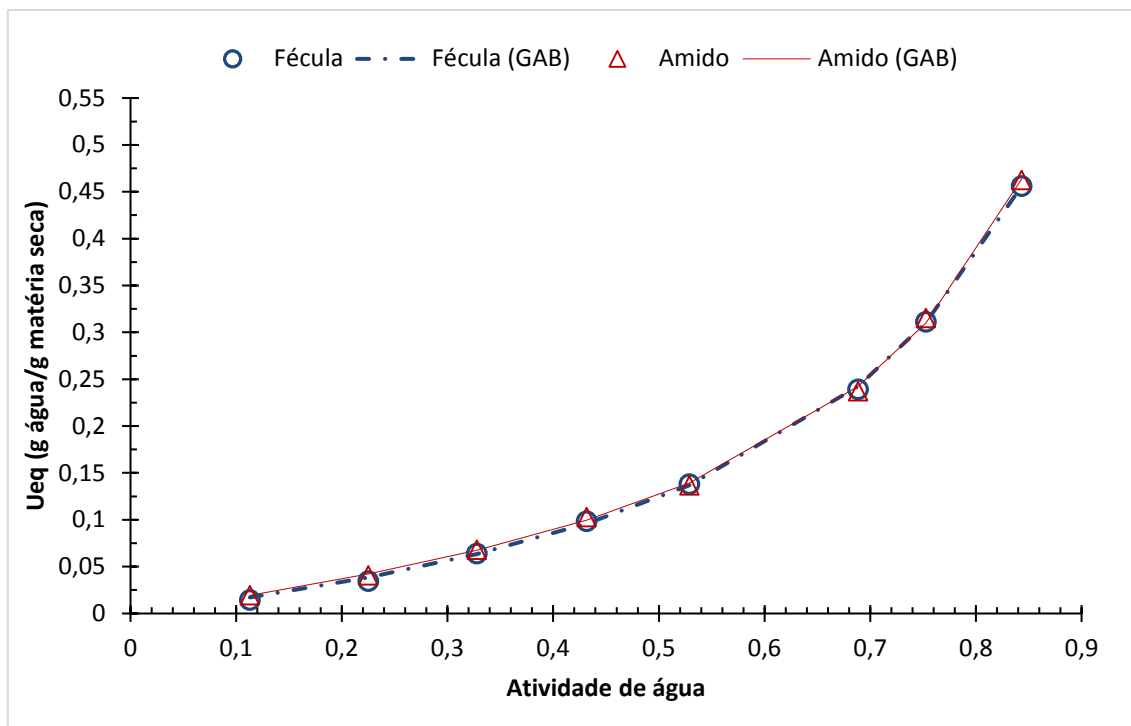


Figura 19. Isotermas de sorção dos flocos de jabuticaba obtidos por *drum drying* com fécula de mandioca e amido de milho a 25°C (dados experimentais e modelo GAB)

Observa-se, na Figura 19, que há um contínuo aumento da absorção de água com o aumento da atividade de água, em ambos os flocos. Além disso, observa-se que os valores dos dados experimentais estão muito próximos aos modelos obtidos. De acordo com a classificação de BET (BRUNAUER et al., 1938), as curvas obtidas podem ser classificadas como do tipo III. Por sua vez, de acordo com Brunauer (1943), o modelo de GAB pode ser classificado em função dos parâmetros K e C : tipo II quando $0 < K \leq 1$ e $C > 2$; tipo III quando $0 < K \leq 1$ e $0 \leq C \leq 2$. Segundo essa classificação, as curvas também seriam do tipo III, pois o parâmetro K, para ambos coadjuvantes esteve entre 0 e 1 (fécula = 0,8802 e amido = 0,9174), e o parâmetro C entre 0 e 2 (fécula = 0,9692 e amido = 1,3640). Segundo Labuza & Altunakar (2007), a isoterma do tipo III é característica de alimentos com açúcares.

Tonon (2009) reportou isoterma do tipo III para polpa de açaí em pó obtida por *spray drying* com fécula de mandioca. Pena et al. (2000) reportaram o mesmo para o pó do guaraná obtido por *spray drying*. Por outro lado, Muzaffar & Kumar (2016) relataram um resultado diferente, mostrando curvas sigmoidais do tipo II para polpa de tamarindo em pó obtida por *spray drying*.

Com o modelo de GAB, obteve-se o valor da monocamada X_m (g água/g matéria seca). A monocamada representa a quantidade de água fortemente ligada à matriz sólida do alimento, em sítios específicos. Quando o alimento é armazenado com teor de umidade inferior ao valor de monocamada, as reações desfavoráveis podem ser minimizadas, promovendo a estabilidade do produto. O X_m da amostra com fécula (0,1596 g água/g matéria seca) resultou maior em relação ao valor observado para flocos com amido (0,1274 g água/g matéria seca). López-Vidaña et al. (2015) reportaram um X_m de 0,2954 g água/g (m.s.) para farinha de jabuticaba obtida em câmara de secagem com circulação de ar. Moreira et al. (2013) obtiveram uma monocamada de 0,1171 g água/g m.s. para manga liofilizada. Castoldi et al. (2014) obtiveram valores próximos a 0,09 g água/g m.s. para tomate em pó obtido por *refractance window*. Por outro lado, valores menores que os obtidos no presente trabalho também foram observados. Tonon et al. (2009) reportaram X_m de 0,032 g água/g (b.s.) para açaí em pó obtido por *spray drying* com fécula de mandioca. Ribeiro (2014), por sua vez, reportaram valores de monocamada de 0,03626 e 0,04752 g água/g (b.s.) para acerola liofilizada e obtida por *spray drying*, respectivamente.

5.2.2.1 Cálculo da vida útil por permeabilidade da embalagem ao vapor de água

Para a estimativa da vida útil dos produtos com base no ganho de umidade devido à permeabilidade do vapor de água pela embalagem, descrito no item 4.4.2, utilizou-se por umidade crítica (X_c), para cada produto, o valor do teor de umidade em equilíbrio com a_w de 0,432, conforme anteriormente discutido (item 5.2.2): 10,31% para o produto com amido, e 9,86% para o produto com fécula. Desse modo, utilizando a embalagem de PETmet/PEBD, o tempo calculado para os flocos com amido atingir a condição crítica foi de 6,45 dias, e para os flocos com fécula de mandioca foi de 6,46 dias. Por outro lado, para o acondicionamento na embalagem de PET/Al/PEBD (a mesma utilizada no presente no estudo) o tempo calculado para o produto atingir a condição crítica seria de 245 dias, cerca de 8 meses, para ambos coadjuvantes de processos. No entanto, para a embalagem PET/Al/PEBD, esse tempo de vida útil pode ser ainda maior, pois na estimativa realizada empregou-se a maior taxa de permeabilidade do vapor d'água determinada para esse material ($WVTR < 0.01g$

água m^{-2} / dias) (item 4.4.2). Yamato et al. (2019) encontraram valores superiores para flocos de manga, elaborados com maltodextrina e amido, armazenados no mesmo tipo de embalagem com capacidade para 1000 g. As embalagens de PETmet/PEBD resultaram em 12 dias de vida útil para ambos coadjuvantes, enquanto que nas embalagens PET/Al/PEBD foram obtidos tempos de 440 dias para o produto com amido e 450 dias para os flocos produzidos com maltodextrina. Esses resultados devem ser entendidos como estimativos, mas mostram a importância do emprego de um material de alta barreira ao vapor de água para o acondicionamento de produtos desidratados com alta higroscopicidade.

Nesse contexto, a fécula de mandioca foi escolhida como o coadjuvante de processo no *drum drying* de polpa de jabuticaba, tendo em vista a continuidade do estudo. Embora tenham sido observadas algumas retenções de nutrientes e de parâmetros de qualidade ligeiramente superiores com o emprego do amido, conforme anteriormente discutido (item 5.2), levou-se em conta a menor higroscopicidade do produto obtido com a fécula. Além disso, outros fatores foram levados em consideração, tais como o fato da mandioca ser um produto nativo do Brasil, e o país ser um dos grandes produtores mundiais do alimento (BRASIL, 2019), bem como o fato da fécula ser pouco estudada como coadjuvante de secagem.

5.3 Temperatura de transição vítrea (T_g)

A transição de fase é representada pela mudança na linha do fluxo de calor com a temperatura, sendo possível a partir dela obter a T_g, considerando o ponto médio dessa transição. A Figura 20, apresenta a ilustração de um dos termogramas (fluxo de aquecimento x temperatura) obtidos para os flocos de jabuticaba com fécula de mandioca no equilíbrio na $a_w=0,11$.

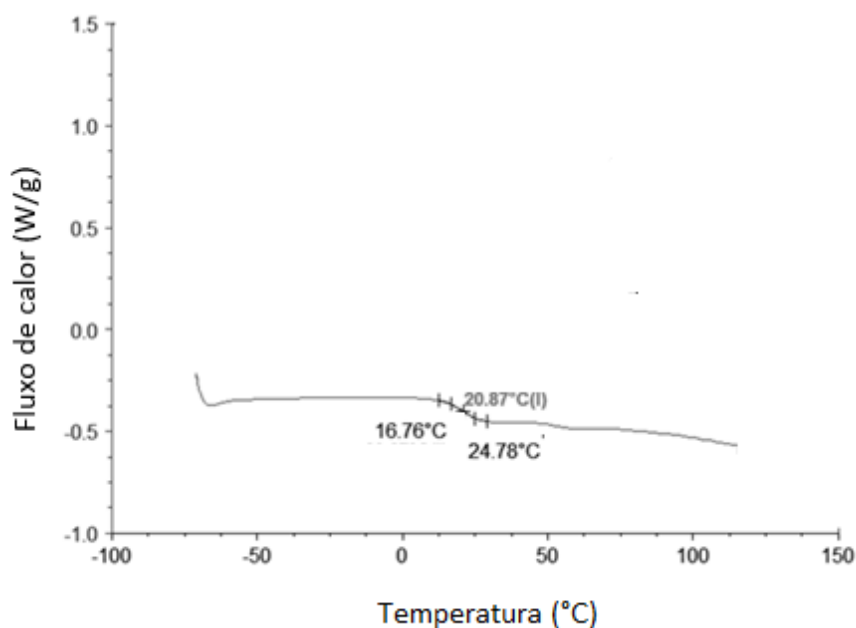


Figura 20. Ilustração do termograma dos flocos de jabuticaba obtidos com fécula de mandioca em equilíbrio com a umidade relativa de 11%.

A Tabela 12 apresenta as temperaturas de transição vítrea médias determinadas para amostras de flocos de jabuticaba obtidas com fécula de mandioca e em equilíbrio nas diferentes umidades relativas (atividades de água).

Tabela 12. Valores da temperatura de transição vítrea (T_g) experimentais dos flocos de jabuticaba com fécula de mandioca nas diferentes atividades de água (a_w).

a_w	T_g (°C)
0,1130	17,46±2,54
0,2251	8,13±2,93
0,3278	1,85±1,46
0,4316	-14,19±2,01
0,5289	-25,68±2,17
0,6886	-48,85±0,88
0,7529	-59,42±0,99

Observa-se que conforme a atividade de água aumenta, a temperatura de transição vítrea diminui, evidenciando o efeito plasticizante da água, comportamento reportado por Syamaladevi et al. (2010) em framboesa liofilizada, bem como por Moraga et al. (2006) em kiwi liofilizado, dentre outros. Ressalta-se que o equipamento empregado no presente estudo opera com uma temperatura mínima de -70°C, o que impossibilitou a determinação da T_g dos flocos na atividade de água de 0,843.

Os valores de T_g determinados para o produto obtido podem ser considerados baixos, quando comparados com os resultados reportados em outros trabalhos. Righetto & Netto (2007) reportaram, em suco de acerola encapsulado adicionado de 20% (p/p) de maltodextrina DE25, valores de T_g na faixa de 41,3°C a 1,84°C para as atividades de água de 0,33 e 0,51, respectivamente. Tonon (2009) relatou, em estudo da estabilidade de suco de açaí atomizado, elaborado com 6% de fécula de mandioca (p/p), valores de T_g na faixa de 73,95 °C ($a_w=0,112$) a -56,62 °C ($a_w= 0,843$). Possivelmente o comportamento observado no presente estudo esteja relacionado à baixa quantidade de agentes carreadores adicionados no processo, de aproximadamente 2% do peso da polpa da fruta (p/p), ou 20% sobre o teor de sólidos. Outra causa provável para o resultado foi a alta relação de açúcares redutores/açúcar total da polpa de jabuticaba, aproximadamente 78% dos açúcares totais (6,97 g/100g b.u.) (Tabela 5). Os açúcares redutores apresentam baixo peso molecular, e tendem a diminuir os valores da T_g .

Os dados experimentais das temperaturas de transição vítrea dos flocos de jabuticaba obtidos com fécula de mandioca foram ajustados pelo modelo de Gordon-Taylor (GORDON & TAYLOR, 1952), de acordo com o apresentado no item 4.5.1, gerando os parâmetros apresentados na Tabela 13.

Tabela 13. Parâmetros de ajuste do modelo Gordon-Taylor para flocos de jabuticaba obtidos com fécula de mandioca.

Produto	Parâmetros			
	T_{gs} (°C)	K_{GT}	R^2	P (%)
Flocos jabuticaba (Fécula de mandioca)	21,43	2,61	0,995	0,71

O alto valor de R^2 e o baixo desvio médio relativo (P%) obtido indicam que houve um bom ajuste do modelo em questão aos dados experimentais. O valor de K_{GT} se mostrou baixo quando comparado a alguns estudos da literatura. Moraga et al. (2004) relataram $K_{GT} = 4,14$ em morango liofilizado, e Wang et al. (2008) reportaram $K_{GT} = 5,72$ em groselha liofilizada. De acordo com Gordon & Taylor (1952), esse parâmetro indica o grau de curvatura da variação da T_g em relação ao conteúdo de água (em um sistema de água e sólidos), podendo ser relacionado à força de interação entre os componentes do sistema binário. Da mesma forma, o valor obtido de T_{gs} (Tabela 13) também pode ser considerado baixo em comparação a outros trabalhos. Tao et al. (2018) reportaram valores

de T_{gs} de 60,2°C e 74,6°C em mirtilo liofilizado e bagaço de mirtilo liofilizado, respectivamente. Silva (2011) reportou aumento na T_{gs} após a adição de 30% (p/p) de coadjuvantes de processo em hidrolisado proteico de moluscos em pó. O produto puro (sem adição de coadjuvantes) apresentou T_{gs} de 64,4°C, e com adição de maltodextrina e goma arábica aumento para 77,7°C e 97,9°C, respectivamente.

A Figura 21 apresenta os dados experimentais ajustados pelo modelo de Gordon-Taylor e o efeito da concentração de sólidos na T_g dos flocos de jabuticaba obtidos com fécula de mandioca.

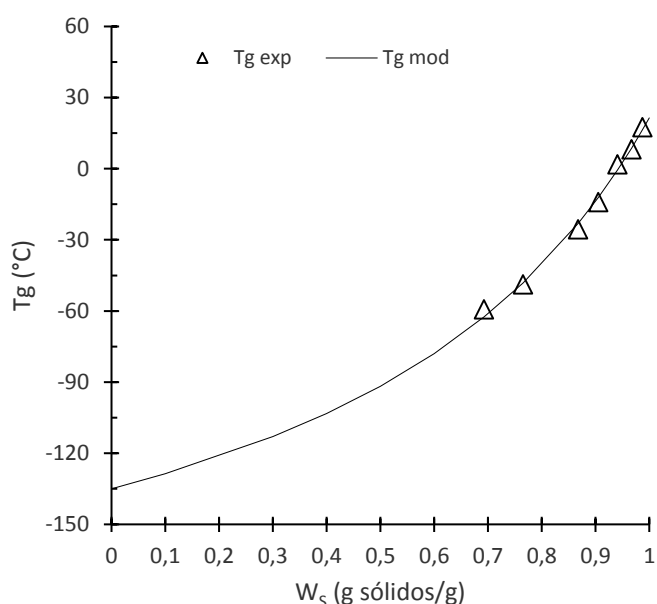


Figura 21. Efeito da fração de sólidos (w_s) na temperatura de transição vítrea (T_g) de flocos de jabuticaba obtidos com fécula de mandioca.

Observa-se que o aumento da fração de sólidos dos flocos resultou no aumento da temperatura de transição vítrea. O modelo obteve o valor T_{gs} , ou seja, a T_g do sólido puro, de aproximadamente 21°C (Tabela 13) para o produto. Esse é o maior valor de T_g , correspondente ao teor de sólidos de 1g sólidos/g na Figura 21. Por outro lado, para o produto com atividade de água na faixa de 0,22 a 0,33, a T_g estaria entre aproximadamente 8 e 2°C, respectivamente (Tabela 12). Portanto, de acordo com esses resultados, os flocos de jabuticaba obtidos por *drum drying* com fécula de mandioca, nas condições praticadas, estariam no estado borrachento (não vítreo) se armazenados à temperatura ambiente (25°C), em qualquer atividade de água.

De acordo com Truong et al. (2005), para produtos secos em pó, a pegajosidade ocorre em temperaturas de 10 a 23°C superiores à Tg. Esse parâmetro é denominado de “*sticky-point temperature*”, ou temperatura de ponto pegajoso. Fazendo um paralelo com o presente estudo, para a amostra em equilíbrio na mais baixa umidade relativa ($a_w = 0,11$), cuja Tg seria 17°C (Tabela 12), o produto se apresentaria pegajoso na faixa de 27°C a 40°C. De acordo com o apresentado anteriormente no item 5.2.2, no levantamento da isoterma a 25°C, nessa condição, as partículas se apresentaram soltas no equilíbrio a 25°C, corroborando o resultado estimado do “*sticky-point temperature*”. O mesmo vale para a amostra armazenada na umidade relativa de 23% ($a_w = 0,23$), que não apresentou aglomeração no equilíbrio a 25°C, sendo a faixa de “*sticky-point temperature*” de 18 a 31°C. Já para a amostra armazenada a 25°C e umidade relativa de 33% ($a_w = 0,33$), o parâmetro variaria de 12 a 25°C, e os primeiros sinais de aglomeração eram visíveis, porém ainda pontuais. A aglomeração tornou-se mais evidente na amostra armazenada na umidade relativa de ~43% ($a_w = 0,43$). Para essa condição, a temperatura de 25°C estaria acima da faixa de *sticky-point temperature*, de -4 a 9°C, e, portanto, a aglomeração era mesmo esperada.

A Figura 22 apresenta a variação da transição vítrea com o teor de umidade e da atividade de água de equilíbrio do produto. Trata-se da combinação do modelo obtido de Gordon-Taylor com a isoterma de sorção. Alguns trabalhos (MORAGA et al., 2006; FABRA et al., 2009; VASQUEZ et al., 2013) empregam esse diagrama para a determinação das condições críticas de armazenamento.

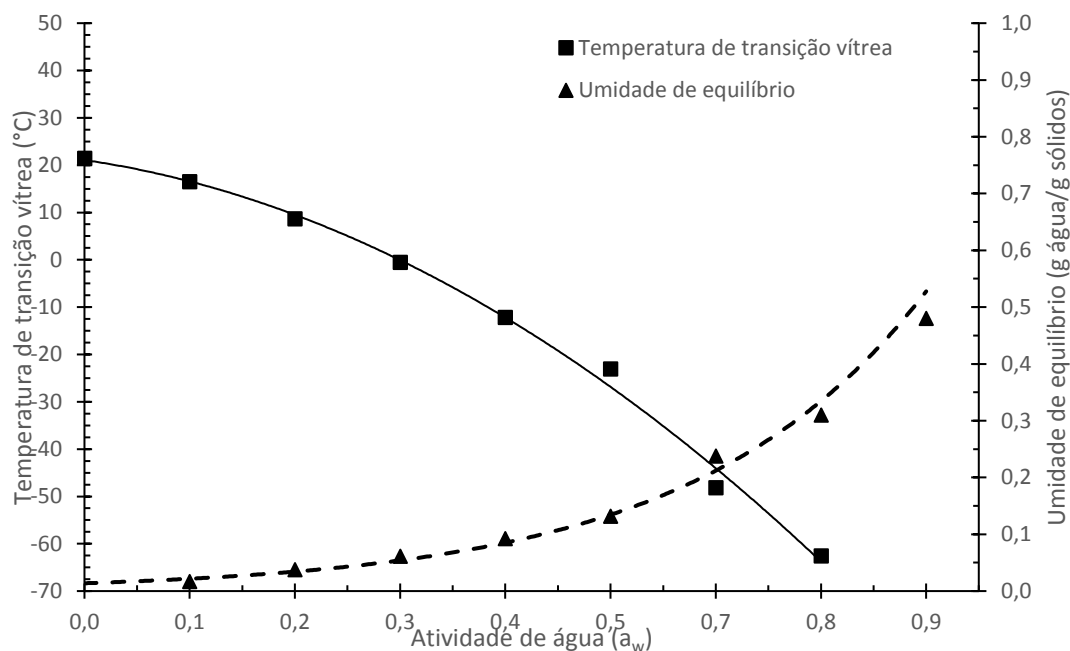


Figura 22. Variação da temperatura de transição vítrea e da umidade de equilíbrio, em função da atividade de água (a_w) para os flocos de jabuticaba com fécula de mandioca.

Nessa análise, a condição crítica (teor de umidade/ atividade de água) é determinada pelo diagrama quando a T_g é igual a temperatura ambiente (25°C). Como no presente estudo os valores de T_g resultaram inferiores a 25°C , essa análise não foi possível.

Os ingredientes tais como amido, maltodextrina, goma arábica, fécula de mandioca, conforme já mencionado, apresentam elevado peso molecular, e aumentam o valor da temperatura de transição vítrea quando empregados como coadjuvantes de processos. No presente estudo, empregou-se aproximadamente 20% de aditivos com relação ao teor de sólidos totais (base seca), resultando em aproximadamente 2% em relação ao peso total da polpa. Muitos trabalhos, tais como Tonon (2009) e Silva (2011), utilizaram maiores quantidades desses aditivos, na faixa de 50-60% base seca, gerando pós com valores de T_g superiores a 40°C , e conseqüentemente mais estáveis à temperatura ambiente. Sabe-se que quanto maior a adição de agentes carreadores, menor o impacto sensorial do produto, e menor a concentração de nutrientes. Por outro lado, esse balanço deve levar em conta a estabilidade do produto final.

5.4 Armazenamento controlado dos flocos de jabuticaba – estudo do efeito da temperatura ao longo do tempo

5.4.1 Variação do teor de umidade e da atividade de água no armazenamento controlado

A Tabela 14 apresenta os valores de teor de umidade e da atividade de água (a_w) dos flocos de jabuticaba obtidos por *drum drying* com fécula de mandioca, nos diferentes períodos e nas temperaturas do armazenamento avaliadas.

Tabela 14. Teor de umidade e atividade de água (a_w) dos flocos de jabuticaba obtidos com fécula de mandioca no início, no meio e no final do armazenamento nas diferentes temperaturas (T).

Período (dias)	T (°C)	Teor de Umidade (%)	Atividade de água (a_w)
0	-	1,87±0,15 ^c	0,275±0,002 ^a
109	20	2,76±0,12 ^b	0,280±0,002 ^a
84	25	2,66±0,08 ^b	0,256±0,002 ^{bc}
49	35	3,32±0,20 ^a	0,216±0,003 ^d
241	20	2,85±0,15 ^b	0,260±0,001 ^b
179	25	2,64±0,15 ^b	0,253±0,002 ^c
106	35	3,22±0,15 ^a	0,274±0,002 ^a

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

Observa-se que o produto obtido no *drum drying* resultou com um teor de umidade baixo, semelhante ao reportado por Yamato et al. (2019) para polpa de manga, de 1,73%, pelo mesmo processo, empregando amido de milho (5% b.s.). Gonzalez et al., (2019) reportaram um valor menor, de 1,5%, para toranja em pó obtida por *spray drying* com goma arábica, isolado protéico de soro e maltodextrina (9,4%, 1,44% e 1,25%, respectivamente). Por sua vez, Zea et al, (2013) apresentaram valores de teor de umidade superiores para pitaia e goiaba em pó liofilizadas adicionados de 10% de maltodextrina, de respectivamente 5,09 e 5,31%.

Conforme pode ser visto na Tabela 14, os flocos de jabuticaba apresentaram aumento significativo ($p \leq 0,05$) do teor de umidade no armazenamento, em todas as temperaturas avaliadas. Os aumentos observados foram de 34,38%, 29,16% e 41,92%, nas temperaturas de 20, 25 e 35°C, respectivamente.

Em estudo realizado com pitanga em pó, obtida por camada de espuma, Hofsky et al. (2014) também reportaram aumento do teor de umidade ao longo do armazenamento nas amostras acondicionadas em embalagem flexível (PET/PP). O armazenamento foi realizado em temperatura ambiente, por 60 dias. Lisboa et al., (2012) relataram comportamento semelhante no armazenamento de figo-da-índia em pó, obtido por camada de espuma, e acondicionado em embalagem laminadas composta de plástico, alumínio e papel. No estudo, o armazenamento foi realizado nas temperaturas de 25 e 40°C, umidades relativas de 55 e 83%, por 100 dias.

No presente estudo, o sistema de embalagem utilizado é considerado de alta barreira ao vapor de água (PET/Al/PEBD) (YAMAMOTO et al., 2011). O ganho de umidade observado, portanto, pode estar relacionado a falhas no fechamento da embalagem, que foi termicamente selada, ou mesmo na manipulação das amostras durante as análises, visto serem muito higroscópicas.

A atividade de água dos flocos de jabuticaba no início do estudo (Tabela 14) se aproxima do valor reportado por Yamato (2018) para manga em flocos obtida pelo mesmo processo, de 0,254. Zea et al, (2013) relataram valores muito próximos aos obtidos no presente estudo para pitaia e goiaba em pó liofilizados (10% maltodextrina), de respectivamente 0,29 e 0,28. Castoldi et al., (2014) reportaram uma atividade de água de 0,262 para tomate em pó, obtido por *refractance window* (sem coadjuvante).

Observa-se na Tabela 14, nas temperaturas de 20 e 25°C, que os valores de a_w do início e do final do armazenamento apresentaram diferença significativa ($p \leq 0,05$). Por sua vez, não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre os valores obtidos no início e no final do armazenamento a 35°C. Shishir et al. (2017) relataram aumento da atividade de água no armazenamento (5 e 25°C/ 10 semanas) de goiaba em pó obtida por *spray drying com* maltodextrina (17%), acondicionada nas embalagens de polietileno de baixa densidade (PEBD), poliéster laminado (PET) e polipropileno orientado (OPP) laminado. Caparino et al. (2016) também reportaram aumento da a_w em manga em pó obtida por *refractance window* (sem coadjuvante), armazenada durante 12 meses nas temperaturas de 5, 22 e 45°C.

Independente das análises estatísticas, pode-se dizer que as variações observadas na a_w , entre o início e o final do armazenamento, foram pequenas,

menores do que 10%. As diferenças podem, portanto, ser atribuídas a erro experimental, inerente da análise. Apesar do aumento observado do teor de umidade no armazenamento, a atividade de água praticamente se manteve no período. Além disso, os valores de atividade de água finais se mantiveram muito próximas ao valor de 0,25, no qual, segundo Labuza (1968), as velocidades de reações tais como escurecimento enzimático e não enzimático, bem como oxidação de lipídeos, são mínimas. Ou seja, o produto apresentou baixa atividade de água ao longo de todo o armazenamento, o que certamente contribuiu para sua estabilidade.

5.4.2 Variação dos compostos fenólicos e capacidade antioxidante (ABTS e DPPH) no armazenamento

A Tabela 15 apresenta os valores dos teores de compostos fenólicos e capacidade antioxidante (ABTS e DPPH) dos flocos de jabuticaba obtidos com fécula de mandioca, nos diferentes períodos e nas temperaturas do armazenamento avaliadas.

Tabela 15. Teor de compostos fenólicos e capacidade antioxidante (ABTS e DPPH) dos flocos de jabuticaba obtidos com fécula de mandioca no início, no meio e no final do armazenamento nas diferentes temperaturas (T).

T (°C)	Período (dias)		Teor de Compostos Fenólicos (mg EAG/100g b.s.)	Capacidade Antioxidante (TE (µmol/g b.s.))	
				DPPH	ABTS
-	0	Início	3086,1±85,92 ^a	218,78±1,95 ^c	220,96±6,28 ^e
20	109	Meio	2602,7±24,99 ^f	206,83±3,62 ^d	281,97±13,80 ^{ab}
25	84		2976,2±15,9 ^{ac}	222,08±6,86 ^c	235,42±14,56 ^{de}
35	49		3065,8±51,31 ^{ab}	250,03±0,69 ^a	276,36±13,70 ^{ac}
20	241	Fim	2910,0±16,13 ^{bcd}	236,20±5,35 ^b	255,63±11,11 ^{bcd}
25	179		2757,8±163,8 ^{def}	236,50±3,98 ^b	268,34±19,79 ^{ac}
35	106		2876,5±26,46 ^{ce}	253,44±0,89 ^a	286,19±3,55 ^a

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

Observa-se uma diminuição significativa ($p \leq 0,05$) do teor de compostos fenólicos ao longo do armazenamento, em todas as temperaturas: aproximadamente 6% a 20°C, 10% a 25°C e 7% a 35°C. Jimenez-Aguilar et al. (2011), entretanto, reportaram perdas maiores desses compostos em mirtilo em pó obtido por *spray drying* com goma mesquite (~11% b.s.). Segundo os autores, o pó apresentava inicialmente um teor de 2278,0 mg EAG/100g. Ao final de 4

semanas, foram observadas as seguintes perdas: 10% no armazenamento protegido de luz a 4°C; 33% no armazenamento com luz a 25°C; e 65% no armazenamento com luz a 25°C (produto obtido sem aditivo). Os resultados demonstram a proteção conferida pelo coadjuvante de processo empregado. Pode-se afirmar, portanto, que a perda de compostos fenólicos no presente estudo foi relativamente baixa, evidenciando a estabilidade dos mesmos no produto em questão.

Segundo Tonon et al. (2010), a reação de escurecimento não enzimático pode resultar na formação de compostos fenólicos no armazenamento. O fato pode explicar a menor perda observada (Tabela 15) dos compostos fenólicos no armazenamento realizado na temperatura de 35°C, quando comparada ao observado na temperatura de 25°C, considerando que o aumento de temperatura favorece a reação de escurecimento não enzimático.

Por outro lado, observa-se que a capacidade antioxidante aumentou significativamente ($p \leq 0,05$) entre o início e o final do armazenamento, em ambas análises realizadas (ABTS e DPPH). As maiores temperaturas apresentaram os maiores aumentos. Por outro lado, Jimenez-Aguilar et al. (2011) relataram perdas da capacidade antioxidante no armazenamento de mirtilo em pó obtido por *spray drying* com goma mesquite. No início do estudo o produto apresentava uma capacidade antioxidante (ABTS) de 101,89 $\mu\text{mol Trolox/g}$. Ao final de 4 semanas, foram observadas as seguintes perdas: 15% no armazenamento protegido de luz a 4°C; 33% no armazenamento com luz a 25°C; e 75% no armazenamento com luz a 25°C (produto obtido sem aditivo). Por sua vez, Yamato (2018) reportou aumento na atividade antioxidante em flocos de manga, obtidos por *drum drying* com amido regular, no armazenamento a 25°C. Segundo Ferrari et al. (2013), esse aumento pode ser decorrente da geração de compostos com capacidade antioxidante, ao longo do armazenamento, a partir das reações de Maillard.

5.4.3 Variação da solubilidade, índice de absorção de água (IAA) e higroscopicidade no armazenamento

A Tabela 16 apresenta os valores de solubilidade, índice de absorção de água (IAA) e higroscopicidade, dos flocos de jaboticaba obtidos com fécula de

mandioca, nos diferentes períodos e nas temperaturas do armazenamento avaliadas.

Tabela 16. Solubilidade, índice de absorção de água (IAA) e higroscopicidade dos flocos de jabuticaba obtido com fécula de mandioca no início e no final do armazenamento nas diferentes temperaturas (T).

T (°C)	Período (dias)		Solubilidade em água (%)	IAA (g água.g ⁻¹ sólidos)	Higroscopicidade (g água.100g ⁻¹ sólidos)
-	0	Inicial	72,55±3,78 ^a	3,06±0,03 ^a	22,36±0,72 ^b
20	241		74,67±1,76 ^a	3,04±0,06 ^a	23,99±0,25 ^a
25	179	Final	71,54±1,35 ^a	3,24±0,03 ^b	23,57±0,43 ^a
35	106		71,88±1,21 ^a	3,31±0,27 ^a	23,78±0,28 ^a

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

Com relação à solubilidade, observa-se que o valor inicial esteve abaixo do reportado por Germer et al. (2017) para manga em pó obtida por *drum drying*, na faixa de 77,85 a 83,03%. A solubilidade em água é uma importante propriedade tecnológica, tendo em vista a aplicabilidade do ingrediente. Mishalska et al. (2016) reportaram valores superiores de solubilidade em ameixa em pó obtida por liofilização, de 95,8%. Por sua vez, Chia & Chong (2015) reportaram solubilidade de aproximadamente 51% para casca de pitaia em pó obtida por *drum drying*, explicando o baixo valor observado em função da presença de fibras insolúveis no material.

Observa-se na Tabela 16 que não houve variação significativa ($p > 0,05$) da solubilidade dos flocos de jabuticaba ao longo do armazenamento, nas diferentes temperaturas. Liu et al. (2010) relataram que a solubilidade de tomate em pó obtido por *spray drying* (sem uso de coadjuvante) diminuiu de aproximadamente 60% para 31%, da mesma forma, nas temperaturas 0, 25 e 37°C. Segundo os autores o comportamento pode ser explicado em função dos seguintes fatores: aglomeração dos pós, reação de Maillard e desnaturação das proteínas.

O índice de absorção de água (IAA) obtido para a jabuticaba em pó no início do estudo esteve próximo a 3,1 g água/g sólidos, sendo esse valor intermediário àqueles reportados por Gurak et al. (2014) para jabuticaba liofilizada. Os autores obtiveram pó de diferentes partes da jabuticaba, reportando os seguintes valores de solubilidade em água: 2,63, 3,81 e 4,28 g

água/g sólidos para a fruta inteira, casca e bagaço, respectivamente. Chia & Chong (2015), por outro lado, reportaram valores menores de IAA para pó de casca de pitáia obtido por *drum drying*, de 2,52 g água/g sólidos.

Observa-se que o índice de absorção de água (IAA) não apresentou diferença significativa ($p>0,05$) entre as amostras do tempo inicial e do tempo final nas temperaturas de armazenamento de 20 e 35°C.

O valor inicial obtido da higroscopicidade do pó de jabuticaba é ligeiramente superior ao reportado por Germer et al. (2017) para manga em pó obtida por *drum drying* com amido regular (5% b.s.), na faixa de aproximadamente 19 a 21%. No entanto, o valor se aproxima daquele reportado por Shishir et al. (2017) para goiaba em pó obtida por *spray drying* com coadjuvante (17% maltodextrina), de 22,63%. Por outro lado, Ribeiro et al. (2016) reportaram valor de higroscopicidade de aproximadamente 6% em polpa de acerola liofilizada e adicionada de maltodextrina (~19% p/p). Oliveira et al. (2014) relataram higroscopicidade de 12,93% em polpa de cajá liofilizada, e de 8,51% com a adição de 17% (peso/peso) de maltodextrina. Os resultados evidenciam o papel dos coadjuvantes de processo na secagem de polpas de frutas, que não somente auxiliam no processo de secagem, como também contribuem para a estabilidade do pó, tornando-os menos higroscópicos.

Os valores de higroscopicidade, de acordo com a Tabela 16, apresentaram aumento significativo ($p\leq 0,05$) entre o início e o final do armazenamento, em todas as temperaturas. O aumento do parâmetro foi de aproximadamente 7%, 5% e 6% para as temperaturas de 20, 25 e 35°C, respectivamente. No final do estudo, as amostras não apresentaram diferença significativa ($p>0,05$) entre si.

5.4.4 Variação da densidade (aparente e absoluta) e porosidade no armazenamento

A Tabela 17 apresenta os valores de densidade (aparente e absoluta) e porosidade dos flocos de jabuticaba obtidos com fécula de mandioca, nos diferentes períodos e nas temperaturas do armazenamento avaliadas.

Tabela 17. Densidade (aparente e absoluta) e porosidade dos flocos de jabuticaba obtido com fécula de mandioca no início e no final do armazenamento nas diferentes temperaturas (T).

T (°C)	Período (dias)		Densidade (g/ml)		Porosidade (%)
			Aparente	Absoluta	
-	0	Inicial	0,3349±0,0340 ^{ab}	0,9877±0,0300 ^a	66,04±3,90 ^a
20	242		0,2752±0,0290 ^b	0,9712±0,0060 ^a	71,66±2,98 ^a
25	179	Final	0,3498±0,0490 ^a	0,9776±0,0020 ^a	64,22±5,03 ^a
35	148		0,3739±0,0170 ^a	0,9736±0,0030 ^a	65,59±3,57 ^a

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

As densidades aparente e absoluta estiveram menores do que os valores reportados por Yamato (2018) para flocos de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (5% b.s.), de 0,520 g/ml e 1,222 g/ml, respectivamente. Michalska et al. (2016) também reportaram valores maiores para ameixa em pó liofilizada: densidade aparente foi de 0,387 g/ml e densidade absoluta de 1,435 g/ml. Por sua vez, Zea et al. (2013) reportaram, para pitaiá e goiaba liofilizada, valores de densidade aparente de 0,372 g/ml e 0,596 g/ml e densidades absolutas de 0,490 g/ml e 1,474 g/ml, respectivamente.

Quanto à porosidade, o valor obtido no presente trabalho é superior ao valor reportado por Yamato (2018) para flocos de manga obtidos por *drum drying* com amido regular (5% b.s.), de 57,44 %. As porosidades de pitaiá e de goiaba em pó liofilizadas, calculadas a partir dos valores das densidades reportadas por Zea et al. (2013), são respectivamente de ~25% e de ~60%. A porosidade de abacaxi em pó e manga em pó obtidas por *spray drying*, calculadas a partir das densidades reportadas por Saifullah et al. (2016), são de ~56 e ~53%, respectivamente. Por outro lado, Michalska et al. (2016) reportaram porosidade maior, de 73%, para ameixa em pó liofilizada. Quanto maior a porosidade, maior a quantidade de espaços vazios, e maior a presença de oxigênio, favorecendo, portanto, reações de oxidação no armazenamento. Além disso, a porosidade influencia tanto no acondicionamento como no transporte, pois a quantidade de produto presente na embalagem será menor quando as porosidades são mais altas.

Observa-se na Tabela 17, que a densidade absoluta e a porosidade não apresentaram diferença significativa ($p \geq 0,05$) entre os valores iniciais e finais do armazenamento nas diferentes temperaturas, bem como entre si no tempo final. Quanto à densidade aparente, observa-se o mesmo comportamento quanto aos

tempos iniciais e finais. Entretanto, no tempo final do armazenamento, a amostra de 20°C diferiu significativamente ($p \leq 0,05$) das demais. A maior densidade aparente observada dos flocos armazenados a 35°C pode estar relacionada com a formação de aglomerados nessa amostra, visto que para realizar a análise pode ter havido quebra dos mesmos, formando partículas com tamanhos menores, que ocuparam os espaços vazios. Segundo Caparino et al. (2012), a redução da porosidade e o aumento da densidade aparente pode estar relacionado à redução do tamanho de partícula.

5.4.5 Cinética da degradação da qualidade dos flocos de jabuticaba ao longo do armazenamento controlado

5.4.5.1 Cinética da degradação das antocianinas

No tempo inicial do estudo de estabilidade, os flocos de jabuticaba obtidos com fécula de mandioca apresentaram teor de antocianina de $98,45 \pm 0,92$ mg/100 g (b.s.). O valor é inferior aos teores de antocianina reportados por Gurak et al. (2014) em jabuticaba liofilizada: 166 mg/100 g (b.s.) na fruta inteira e 506 mg/100 g (b.s.) na casca. O resultado obtido no presente estudo deve-se, provavelmente, ao fato de ter-se empregado uma polpa industrial congelada, portanto já com parte de seus nutrientes degradados devido ao processamento.

A Figura 23 apresenta a variação dos teores de antocianina ao longo do período de armazenamento dos flocos de jabuticaba obtidos com fécula de mandioca, nas temperaturas de 20, 25 e 35°C, além dos modelos cinéticos obtidos.

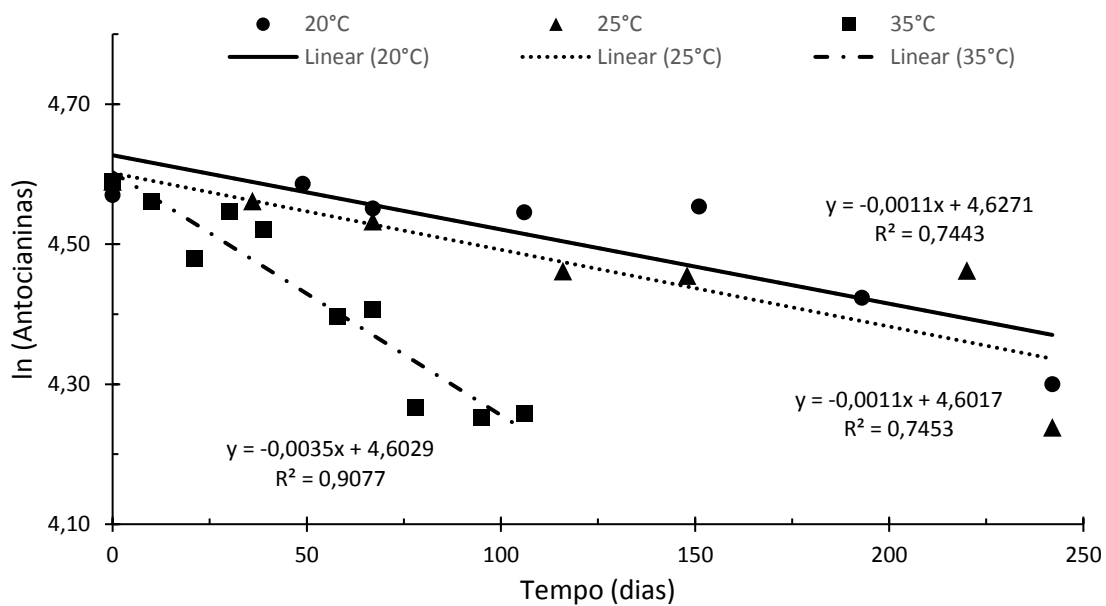


Figura 23. Cinética da degradação das antocianinas ($\text{mg} \cdot 100^{-1}$) nos flocos de jabuticaba obtidos com fécula de mandioca no armazenamento a 20°C, 25°C e 35°C.

A cinética de degradação das antocianinas foi melhor ajustada ao modelo de reação de primeira ordem, para todas as temperaturas de armazenamento, apresentando coeficientes de determinação (R^2) entre 0,74 e 0,90. A mesma ordem de reação para a degradação das antocianinas foi relatado em alguns estudos em diferentes produtos de frutas: suco de groselha preta (HELLSTROM et al., 2013); suco de uva (MUCHE et al., 2018); extrato liofilizado de casca de romã (AZARPAZHOOH et al., 2018), dentre outros.

A Tabela 18. Parâmetros cinéticos da degradação das antocianinas dos flocos de jabuticaba obtidos com fécula de mandioca, nas diferentes temperaturas (T). apresenta os parâmetros cinéticos de degradação das antocianinas, obtidos nas diferentes temperaturas de armazenamento, para o modelo de melhor ajuste.

Tabela 18. Parâmetros cinéticos da degradação das antocianinas dos flocos de jabuticaba obtidos com fécula de mandioca, nas diferentes temperaturas (T).

T (°C)	Ordem	K (dias ⁻¹)	Coefficiente Linear	R ²	Q ₁₀	t _{1/2} (dias)	E _a (kcal.mol ⁻¹)
20	1	-0,0011	4,6271	0,7443	-	630	14,8
25		-0,0011	4,6017	0,7453	3,18	630	
35		-0,0035	4,6029	0,9077		198	

No geral, de acordo com a Tabela 18, quanto maior a temperatura, maior a velocidade de reação e, conseqüentemente, menor o tempo de meia vida do produto no armazenamento. Observa-se que o valor da velocidade de reação (k) foi superior para a maior temperatura estudada (35°C). O mesmo comportamento foi reportado por Ferrari et al. (2013) na degradação das antocianinas em suco de amora em pó obtido por *spray drying* com 7% (p/p) de maltodextrina. No referido estudo, os valores reportados de k estão muito próximos dos valores obtidos no presente estudo, sendo de 0,0019 e 0,0032 dias⁻¹ nas temperaturas de 25 e 35°C respectivamente. Por sua vez, em decorrência dos valores de k terem sido iguais nas temperaturas de 20 e 25°C (Tabela 18), os tempos de meia vida em ambas as temperaturas resultaram iguais a 630 dias. Por outro lado, na maior temperatura 35 °C, o tempo requerido para degradar 50% das antocianinas presentes na polpa de jabuticaba em pó, $t_{1/2}$, foi de 198 dias. Azarpazhooh et al. (2018) determinaram para extrato de romã liofilizado encapsulado com 15% de maltodextrina, e acondicionado em embalagem PEBD (polietileno de baixa densidade), tempo de meia vida de aproximadamente 102 dias, no armazenamento a 25°C e 75% umidade relativa. Fracasseti et al. (2013) reportaram tempo de meia vida de 139 dias para mirtilo selvagem em pó liofilizado, armazenado a 25°C, em sacos plásticos comercial estilo *zip-lock*.

O valor de Q_{10} (3,18) obtido (Tabela 18) indica alta influência da temperatura na reação de degradação das antocianinas no produto, evidenciando a sensibilidade das mesmas à temperatura. Tonon (2009) reportou um valor de Q_{10} de 1,87 para a mesma reação em suco de açaí atomizado, obtido com 6% (p/p) de fécula de mandioca. Fracasseti et al. (2013) relataram Q_{10} de 2,15 para a reação em mirtilo liofilizado.

Com relação à energia de ativação, convertendo os valores para kilojoule (kJ), obteve-se no presente estudo o valor de 61,97 kJ/mol, enquanto Fracasseti et al. (2013) relataram valor de 58,26 kJ/mol para a reação em mirtilo liofilizado e Muche et al. (2018) reportaram o valor de 43,49 kJ/mol para a reação em suco de uva da variedade “Ruby”. Menores valores de E_a indicam menores resistências para o início da reação. Entretanto, menores valores de E_a indicam menor dependência da reação com relação à temperatura (MOURA & GERMER, 2010).

A degradação das antocianinas provoca alteração da cor vermelha/roxa, típica do pigmento, para a coloração marrom. O fenômeno está relacionado com a ligação das moléculas das antocianinas com produtos gerados na reação de Maillard (escurecimento não enzimático), notadamente o furfural e o hidroximetilfurfural. A reação ocorre na presença de açúcares redutores e proteínas com o calor, tanto no processamento como no armazenamento (PITALUA et al., 2010). A atividade de água também influencia a reação de degradação, visto que a reação de Maillard se inicia em a_w superiores a 0,2, sendo intensificada na faixa de 0,5 e 0,75 devido à maior mobilidade molecular (FENEMMA, 1996). O produto do presente estudo apresentava a_w ligeiramente superior a 0,2, o que desfavorece a reação. No entanto, a degradação do pigmento também é influenciada pelo tipo de antocianina presente no alimento. Na jabuticaba há a presença das cianidinas e delphinidinas, sendo que a primeira aparece em maior quantidade (LIMA, 2009). De acordo com Fleschhut et al. (2006), as delphinidinas são menos estáveis, visto que estas possuem maior quantidade de hidroxilas no anel B, sendo mais susceptíveis às reações de degradação. Portanto, a característica das antocianinas presente na jabuticaba também favorecem a estabilidade das mesmas.

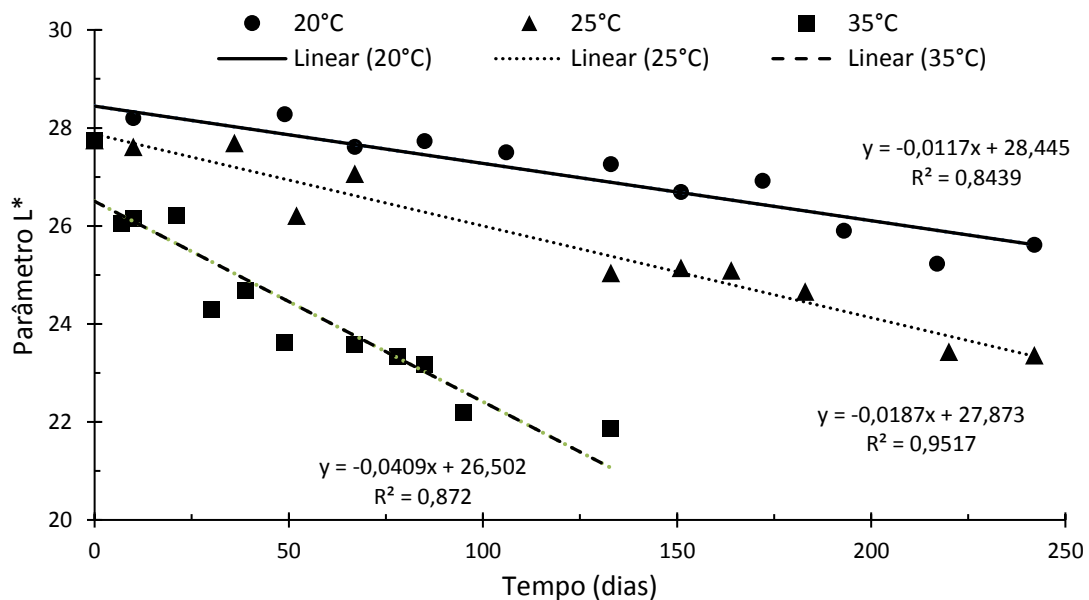
Pelo exposto, pode-se dizer que a reação de degradação das antocianinas na jabuticaba em pó do presente estudo apresentou velocidade baixa na temperatura ambiente, resultando em um tempo de meia vida relativamente longo, de 1,7 anos (Tabela 18). No entanto, a reação no produto tem uma energia de ativação (E_a) relativamente alta, apresentando conseqüentemente um coeficiente de aceleração (Q_{10}) também alto. Os parâmetros indicam baixa estabilidade da reação com a temperatura.

5.4.5.2 Cinética da variação dos parâmetros de cor (L^* , a^* , b^*)

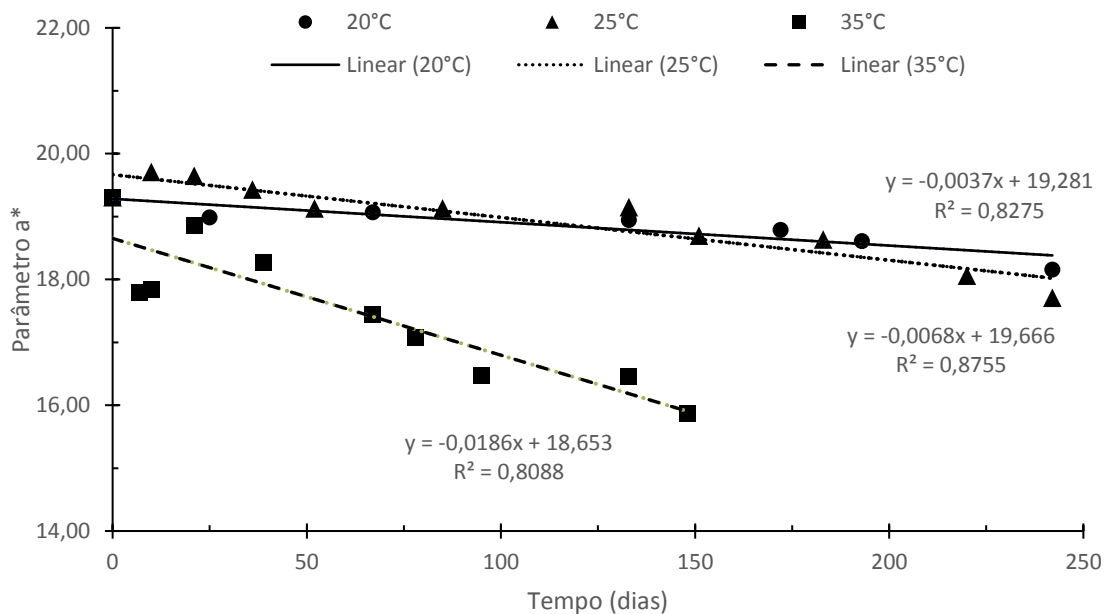
Os flocos de polpa de jabuticaba, obtidos por *drum drying* com fécula de mandioca, apresentaram os seguintes resultados para os parâmetros de cor: luminosidade (L^*) igual a 27,75, parâmetro a^* (verde-vermelho) igual a 19,31 e parâmetro b^* (azul-amarelo) igual a 5,07. Conforme esperado, o parâmetro a^* é aquele de maior relevância para a cor do produto. Ferreira (2017) reportou os seguintes valores para pó de jabuticaba obtido por camada de espuma: L^* = 43,95; a^* = 9,91 e b^* = 7,14. A maior luminosidade pode ser devido à menor

temperatura de processo do método de secagem empregado (50°C), além das maiores quantidades de aditivos empregados para a formação da espuma, resultando em pós mais claros: 1% emulsificante, 1% liga neutra e 0,5% goma (todos calculados em peso/peso). Por fim, o teor de umidade do produto em questão é alta (10,44%), acarretando em uma menor concentração dos pigmentos.

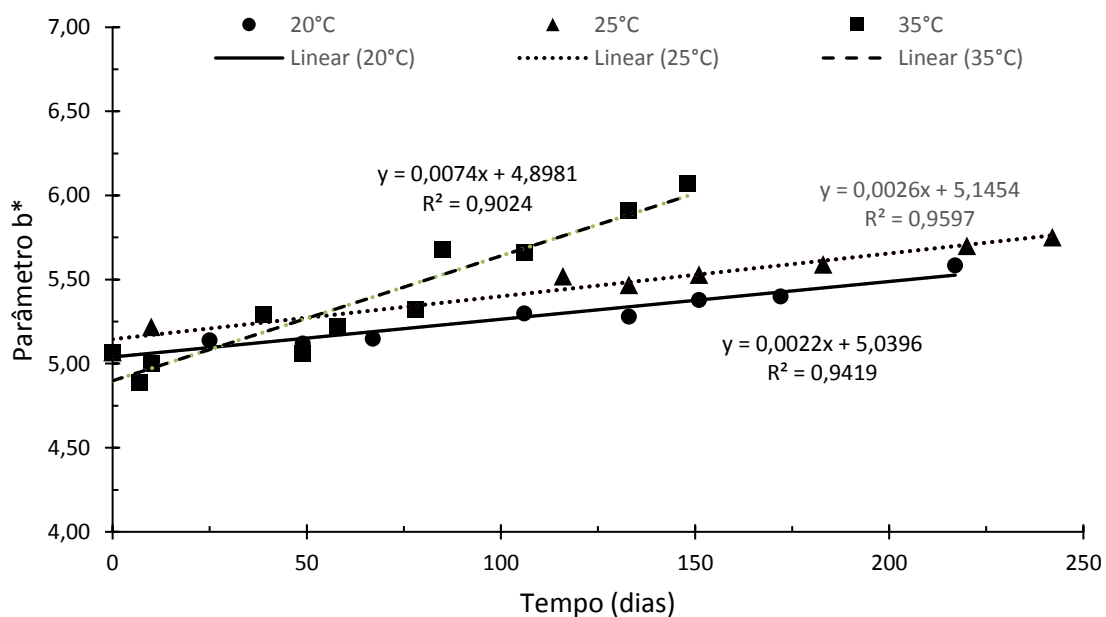
As Figura 24 (a, b, c) apresentam as variações dos parâmetros de cor L*, a*, b*, respectivamente, ao longo do período de armazenando dos flocos de jabuticaba obtidos com fécula de mandioca, nas temperatura avaliadas, bem como os modelos cinéticos obtidos.



(a)



(b)



(c)

Figura 24. Cinética da variação dos parâmetros de cor L^* (a), a^* (b), b^* (c) dos flocos de jabuticaba obtidos no *drum drying* com fécula de mandioca no armazenamento a 20°C, 25°C e 35°C.

Os parâmetros de cor (L^* , a^* , b^*) foram melhor ajustados ao modelo de ordem zero, com variação do R^2 de 0,87 a 0,95 para a luminosidade (L^*), de 0,81 a 0,87 para o parâmetro a^* , e de 0,90 a 0,96 para o parâmetro b^* . Outros trabalhos da literatura reportam cinética de ordem zero para parâmetros de cor em produtos de frutas: suco integral de manga (OLIVEIRA et al., 2013); mamão

desidratado (GERMER et al., 2014); e manga em pó (YAMATO, 2018), dentre outros.

A Tabela 19 apresenta os parâmetros cinéticos de degradação dos parâmetros de cor (L^* , a^* , b^*), obtidos nas diferentes temperaturas de armazenamento, para o modelo de melhor ajuste.

Tabela 19. Parâmetros cinéticos de cor para as coordenadas L^* , a^* e b^* dos flocos de jabuticaba obtidos com fécula de mandioca, nas diferentes temperaturas (T).

Parâmetro	T (°C)	Ordem	k (dias ⁻¹)	Coefficiente Linear	R ²	Q ₁₀	t _{1/2} (dias)	E _a (kcal mol ⁻¹)
L*	20		-0,0117	28,447	0,8444	-	1216	14,88
	25	0	-0,0187	27,873	0,9517	2,19	745	
	35		-0,0409	26,502	0,8721		324	
a*	20		-0,0037	19,281	0,8275	-	2606	19,19
	25	0	-0,0068	19,666	0,8755	2,74	1446	
	35		-0,0186	18,653	0,8088		501	
b*	20		0,0022	5,040	0,9419	-	1145	15,11
	25	0	0,0026	5,145	0,9597	2,85	990	
	35		0,0074	4,898	0,9024		331	

No geral, de acordo com a Tabela 19, quanto maior a temperatura de armazenamento, maior a velocidade das reações de degradação da cor nos flocos de jabuticaba, e conseqüentemente menor o tempo de meia vida obtido para a reação. De acordo com Lund (1979), o valor de energia de ativação das alterações de cor nos alimentos varia na faixa de 10-30 kcal/ mol, corroborando os resultados obtidos no presente estudo.

Com relação à luminosidade, as velocidades de reação (k) variaram de 0,0117 a 0,0409 dias⁻¹ com o aumento de 15°C da temperatura, influenciando assim no tempo de meia vida, que reduziu de 3,4 anos para menos de 1 ano. Moura et al. (2007) apresentaram para maçã passa valores de velocidades de reação de 0,039 a 0,0174 dias⁻¹, nas temperaturas respectivamente de 5°C e 35°C. A partir dos valores de coeficiente angular e coeficiente linear da equação da maçã passa, os autores calcularam o tempo de meia vida, que se mostrou inferior ao do presente estudo, variando de ~1020 dias (5°C) a ~240 dias (35°C). Em contrapartida, Yamato (2018) reportou, no estudo de manga em flocos obtida por *drum drying*, velocidades de reação de 0,0139 dias⁻¹ (25°C) e 0,0183 dias⁻¹

(35°C), resultando em maior tempo de meia vida da reação se comparado ao presente estudo, com cerca de 6 anos e 5 anos, respectivamente.

Com o aumento de 10°C na temperatura a velocidade da reação de degradação do parâmetro L^* aumentou em 2,18 vezes (Q_{10}). Yamato (2018) relatou um valor menor de Q_{10} (1,31) para flocos de manga obtidos por *drum drying*, evidenciando uma menor influência da temperatura na variação da luminosidade no produto. Moura et al. (2007) reportaram, em maçã-passa, valor de E_a , para a reação de 7,6 kcal/mol, enquanto que nos flocos de jaboticaba esse valor foi aproximadamente o dobro, 14,88 kcal/mol.

Observa-se, pelo exposto, que a degradação da cor original do produto no armazenamento resultou em escurecimento, ou seja, uma redução da luminosidade (L^*). O fato pode estar relacionado a várias reações: oxidação de pigmentos (ENDO et al., 2007), no caso das antocianinas, bem como na reação de Maillard (PITALUA et al., 2010).

O parâmetro a^* está relacionado com a coloração vermelha, característica das antocianinas, e de acordo com a Tabela 19, houve uma diminuição de seu valor em todas as temperaturas do armazenamento. Os flocos armazenados a 35°C obtiveram a maior redução, de aproximadamente 18% do valor inicial, seguido daqueles armazenados a 25°C (~8%) e por fim, nos flocos armazenados na temperatura de 20°C, a redução foi menor, de aproximadamente 6%. A perda da coloração vermelha ao longo do armazenamento também foi relatada em outros estudos, tais como: em geleia de amora tradicional e geleia com baixa adição de açúcar armazenadas a 10 e 25°C (MOURA et al., 2012); em sobremesa elaborada com uva, cereja, framboesa e groselha, armazenada a 8, 21 e 30°C (GARCIA-ALONSO et al., 2003); em suco de morango pasteurizado armazenado a 20, 28, 35 e 42°C (BUVE et al., 2018).

No presente estudo, as velocidades da reação (k) de degradação do parâmetro a^* estiveram entre 0,0037 (20°C) e 0,0186 (35°C) dias⁻¹, com o tempo de meia vida ($t_{1/2}$) variando de 501 a 2606 dias. Buve et al. (2018) relataram, em suco de morango pasteurizado, valores de k de 0,009 dias⁻¹ e 0,007 dias⁻¹, armazenado na temperatura de 20°C em diferentes tipos de garrafas. Yamato (2018) obteve, em flocos de manga obtido por *drum drying* com amido, valores de k variando de 0,0053 dias⁻¹ (25°C) a 0,0102 dias⁻¹ (35°C), e tempos de meia vida de 1212 dias (25°C) a 629 dias (35°C).

No presente estudo, o valor de Q_{10} calculado para o parâmetro a^* (2,74) é intermediário aos valores reportados por Yamato (2018) em flocos de manga obtidos com amido (1,92) e com maltodextrina (4,34). Por sua vez, o valor de E_a obtido, de ~19 kcal/mol, é superior ao valor reportado por Buve et al. (2018), de ~13 kcal/mol em suco pasteurizado de morango. Palazón et al. (2009), relataram valores de 13,5 kcal/mol para a reação em compota de maçã.

A variação observada da cor vermelha durante o armazenamento pode estar relacionada tanto à polimerização das antocianinas com outros fenólicos (WROLSTAD et al., 1990), como também à degradação das antocianinas e a formação de pigmentos escuros (SKREDE et al., 1992). Além disso, o comportamento pode ser devido à reação de Maillard, e à ligação das antocianinas aos produtos dessa reação (furfural e hidroximetilfurfural), conforme anteriormente comentado, formando compostos de coloração marrom (PITALUA et al., 2010).

O parâmetro b^* está relacionado com a coloração amarela, e no presente estudo, em todas as temperaturas de armazenamento, observou-se um aumento de seu valor nos flocos de jabuticaba. O maior aumento foi observado no produto armazenado a 35°C (~20%), seguido daquele no produto armazenado a 25°C (~13%), e por fim, daquele armazenado a 20°C (~10%). O mesmo comportamento foi reportado por Moura et al. (2012) em geleia de amora com pouca adição de açúcar armazenada a 10°C.

No presente estudo, os valores de k da reação foram de 0,0022 a 0,0074 dias⁻¹, nas temperaturas de 20 e 35°C, respectivamente. Os tempos de meia vida resultaram em 1145 dias e 331 dias, nas temperaturas de 20 e 35°C, respectivamente. Germer et al. (2014) reportaram, em mamão passa obtido por método combinado de desidratação osmótica e ar quente, velocidades de degradação da cor amarela (parâmetro b^*) de 0,113 dias⁻¹ (25°C) e 0,26 (35°C), com menores tempos de meia vida, de 207 dias (25°C) e 92 dias (35°C). No presente estudo, os valores de E_a e de Q_{10} , de 15,11 kcal mol⁻¹ e 2,85, respectivamente, demonstram forte influência da temperatura na reação. Germer et al. (2014) reportaram um valor de Q_{10} de 2,30 em mamão passa. Palozon et al. (2009) relataram valor de E_a de 15,6 kcal mol⁻¹, em compota de maçã.

O aumento do parâmetro b^* pode estar relacionado, conforme comentado anteriormente, à degradação das antocianinas, e à ligação dessas aos

compostos da reação de Maillard, gerando pigmentos escuros, com tonalidade amarronzada.

5.4.5.3 Cinética da variação do ângulo de tom (Hue)

A Figura 25 apresenta a variação do ângulo de tom (Hue) ao longo do período de armazenamento dos flocos de jabuticaba obtidos com fécula de mandioca, nas temperatura avaliadas, bem como os modelos cinéticos obtidos.

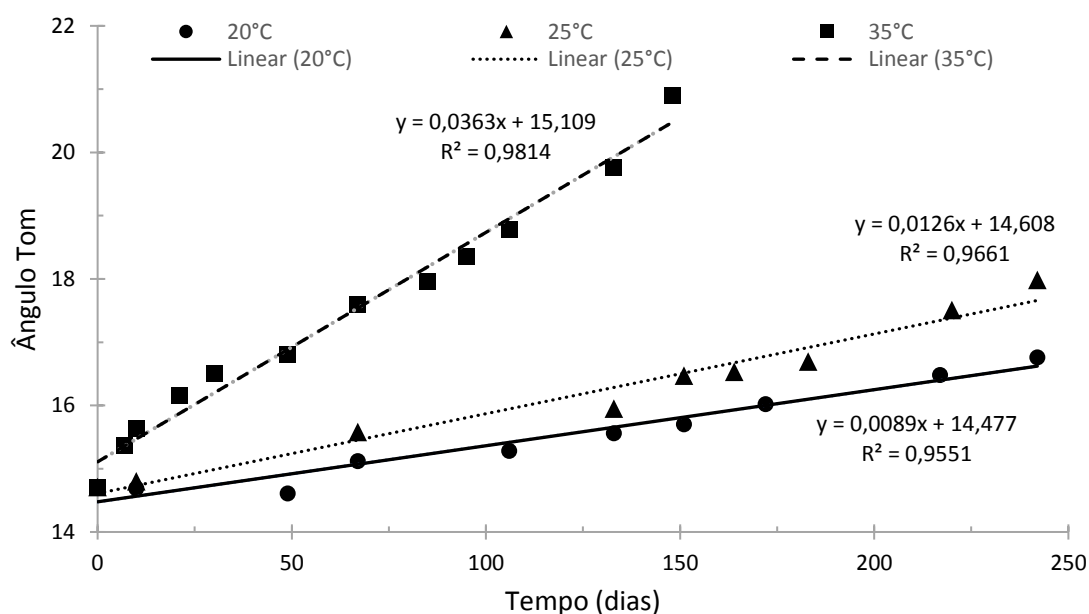


Figura 25. Cinética da degradação do ângulo de tom (Hue) nos flocos de jabuticaba obtidos com fécula de mandioca no armazenamento a 20°C, 25°C e 35°C.

Observa-se que houve aumento do ângulo de tom em todas as temperaturas de armazenamento. O Hue do produto inicial era de 14,71°, aumentando para 20,90° (35°C), 17,98° (25°C) e 16,76° (20°C), ao fim do período de armazenamento, nas respectivas temperaturas. Ou seja, a tonalidade, inicialmente mais avermelhada, adquiriu uma coloração levemente mais amarelada ao final do armazenamento. O comportamento é resultado das tendências de diminuição do parâmetro a*, e aumento do parâmetro b*, discutido anteriormente.

A título de ilustração, a Figura 26 mostra no diagrama CIELAB a posição do ângulo de tom no tempo zero (T0) e nas diferentes temperaturas ao final do armazenamento (20, 25 e 35°C).

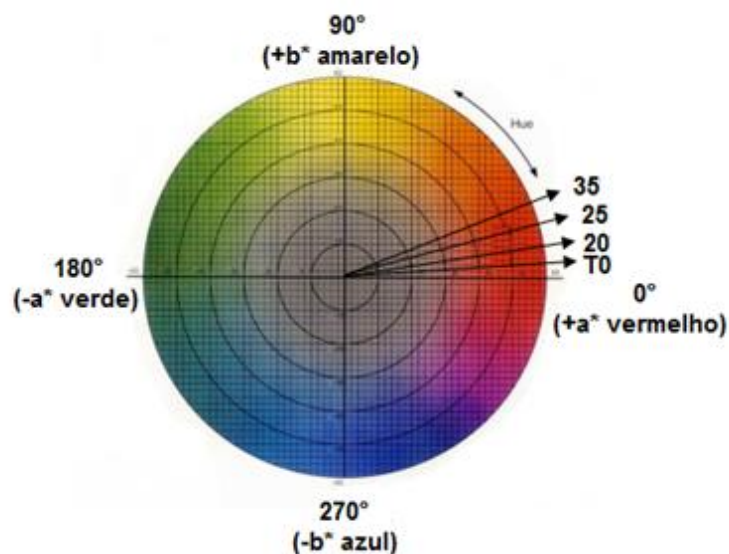


Figura 26. Diagrama dos parâmetros de cor com a posição de cada ângulo de tom (Hue) no tempo zero (T0) e nas diferentes temperaturas (20, 25 e 35°C) ao final do armazenamento.

É possível observar, entretanto, que apesar da tendência de aumento da cor amarela (parâmetro b^*) e diminuição da cor vermelha (parâmetro a^*) com o tempo, e com a temperatura, a cor predominante ao final do armazenamento ainda é a vermelha.

Os resultados da variação do ângulo de tom no armazenamento foram melhores ajustados pelo modelo de ordem zero, para todas as temperaturas. Os valores de R^2 variaram de 0,95 a 0,98, indicando um bom ajuste do modelo.

A Tabela 20 apresenta os parâmetros cinéticos de variação do ângulo de tom, obtidos nas diferentes temperaturas de armazenamento, para o modelo de melhor ajuste.

Tabela 20. Parâmetros cinéticos da degradação do ângulo de tom (Hue) dos flocos de jabuticaba obtidos com fécula de mandioca, nas diferentes temperaturas (T).

Parâmetro	T (°C)	Ordem	k (dias ⁻¹)	Coefficiente Linear	R ²	Q ₁₀	E _a (kcal/mol)
Ângulo	20		0,0089	14,477	0,9551	-	
Tom	25	0	0,0126	14,608	0,9661	2,88	17,14
(Hue)	35		0,0363	15,109	0,9814		

Os valores de k aumentaram com o aumento da temperatura. O valor de Q_{10} obtido mostrou forte dependência da temperatura, da mesma forma que o valor da energia de ativação (E_a). Observa-se que os parâmetros cinéticos de variação do Hue (Q_{10} e E_a) estão próximos daqueles obtidos para a variação dos teores de antocianina, e indicados na Tabela 18.

5.4.5.4 Cinética da variação da diferença de cor (ΔE)

A Figura 27 apresenta as variações da diferença de cor (ΔE) ao longo do período de armazenamento dos flocos de jabuticaba obtidos com fécula de mandioca, nas temperatura de 25 e 35°C, além dos modelos cinéticos obtidos. Os resultados da diferença de cor (ΔE) calculados para os flocos armazenados em 20°C não foram ajustados por modelos cinéticos de degradação, e seus resultados estão apresentados na sequência.

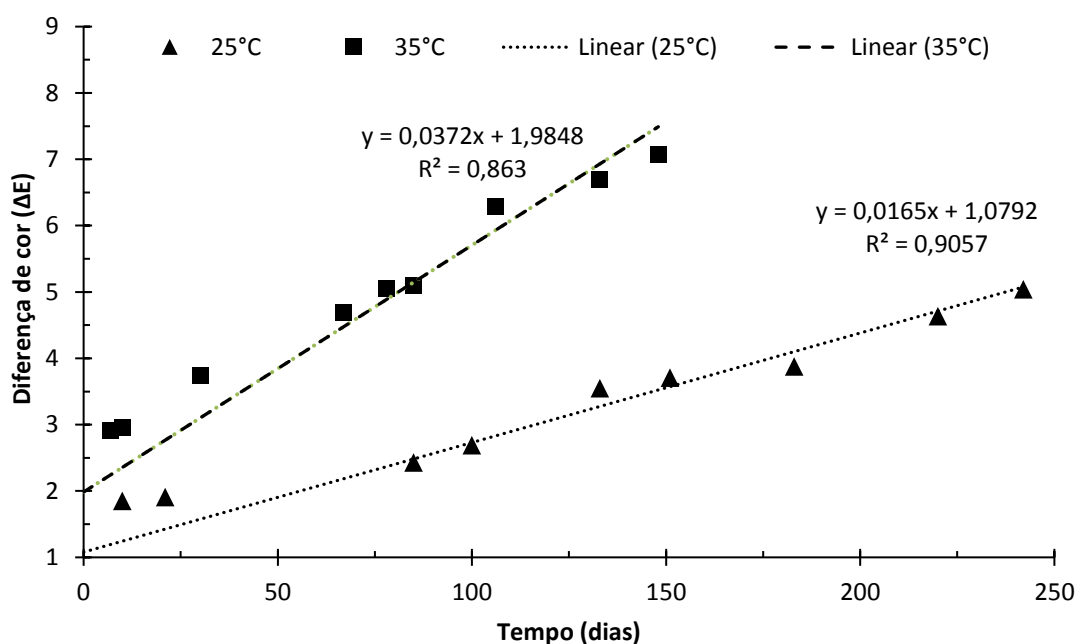


Figura 27. Cinética da variação da diferença de cor (ΔE) nos flocos de jabuticaba obtidos com fécula de mandioca no armazenamento a 25°C e 35°C.

Em ambas as condições houve aumento da diferença de cor ao longo do armazenamento dos flocos de jabuticaba. A diferença de cor final foi maior na maior temperatura, 35°C, de aproximadamente 7, e menor na temperatura de 25°C, de aproximadamente 5. O aumento na diferença de cor mostra que o produto perdeu a cor característica inicial.

A diferença de cor foi melhor ajustada pelo modelo de ordem zero nas temperaturas de 25 e 35°C. O mesmo comportamento foi relatado em alguns trabalhos da literatura para produtos de frutas: geleia de morango (MIGUEL et al., 2009) e geleia de goiaba (MOURA et al., 2011).

A Tabela 21 apresenta os parâmetros cinéticos dos modelos ajustados para a variação da diferença de cor, obtidos nas diferentes temperaturas de armazenamento, para o modelo de melhor ajuste.

Tabela 21. Parâmetros cinéticos da variação da diferença de cor (ΔE) dos flocos de jabuticaba obtidos com fécula de mandioca, nas diferentes temperaturas (T).

Parâmetro	T (°C)	Ordem	k (dias ⁻¹)	Coefficiente Linear	R ²	Q ₁₀
ΔE	25	0	0,0165	1,0792	0,8630	2,25
	35		0,0372	1,9848	0,9057	

A diferença de cor (ΔE) no tempo inicial é zero, e o valor aumenta continuamente, portanto não se aplicou o conceito de tempo de meia-vida ($t_{1/2}$).

Observa-se que a velocidade da reação aumentou com o aumento da temperatura. Comportamentos semelhantes foram reportados por outros trabalhos, com valores cinéticos muito próximos dos obtidos no presente trabalho. Moura et al. (2012) obtiveram, em geleia de amora tradicional, valores de k para a diferença de cor de 0,0169 dias⁻¹ a 10°C, e de 0,0282 dias⁻¹ a 25°C, com Q₁₀ de 2,0. Em outro estudo, com geleia de goiaba, Moura et al. (2011) reportaram valores de k para a diferença de cor igual a 0,0031 dias⁻¹ a 10°C e k igual 0,0112 dias⁻¹ a 25°C, resultando em Q₁₀ de 2,35. No mesmo estudo, com geleia de morango, Moura et al. (2011) relataram k para a diferença de cor igual a 0,0097 dias⁻¹ a 10°C, k igual a 0,0298 dias⁻¹ a 25°C, e Q₁₀ de 2,11.

A variação de diferença de cor (ΔE) dos flocos de jabuticaba armazenados na temperatura de 20°C, conforme citado anteriormente, não obteve bom ajuste aos modelos cinéticos de degradação. A Tabela 22 apresenta as médias das variações de cor, ao longo do período de armazenamento dos flocos de jabuticaba obtidos com fécula de mandioca, na temperatura de 20°C.

Tabela 22. Diferença de cor (ΔE) dos flocos de jabuticaba obtidos com fécula de mandioca a 20°C ao longo do armazenamento.

20°C	
Tempo (dias)	Diferença de cor (ΔE)
10	2,16±0,79 ^{ab}
25	2,08±0,84 ^{ab}
49	1,83±1,37 ^{ab}
67	1,16±0,87 ^b
85	1,50±0,54 ^{ab}
106	1,83±0,9 ^{ab}
133	1,74±1,15 ^{ab}
151	1,44±0,47 ^{ab}
172	1,48±0,75 ^{ab}
193	2,38±0,89 ^{ab}
217	2,78±0,54 ^a
242	2,56±1,28 ^{ab}

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

Observa-se que os valores de ΔE não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$) entre o início e o final do armazenamento, bem como ao longo do estudo. Esse resultado mostra que a diferença de cor apresentada aos 10 dias de armazenamento a 20°C com relação a amostra inicial é a mesma daquela apresentada aos 242 dias, no final do monitoramento.

5.4.5.5 Variação do Croma dos flocos de jabuticaba ao longo do armazenamento controlado

As variações no Croma, para todas as temperaturas de armazenamento, não obtiveram bons ajustes aos modelos cinéticos de degradação. A Tabela 23 apresenta as variações da saturação da cor ao longo do período de armazenamento dos flocos de jabuticaba obtidos com fécula de mandioca, nas temperatura de 20, 25 e 35°C.

Tabela 23. Cromo dos flocos de jabuticaba obtidos com fécula de mandioca a 20°C, 25°C e 35°C ao longo do armazenamento.

20°C		25°C		35°C	
Tempo (dias)	Croma	Tempo (dias)	Croma	Tempo (dias)	Croma
0	19,96±1,59 ^{ab}	0	19,96±1,59 ^a	0	19,96±1,59 ^{ab}
10	21,15±1,57 ^a	10	20,39±1,49 ^a	7	18,46±2,21 ^{abc}
25	19,67±1,79 ^{ab}	21	20,39±1,21 ^a	10	18,53±1,99 ^{abc}
49	20,3±1,46 ^{ab}	36	20,18±1,12 ^a	21	19,64±1,86 ^{abc}
67	19,76±1,33 ^{ab}	52	19,93±0,96 ^a	30	20,07±1,56 ^a
85	19,95±1,24 ^{ab}	67	20,84±2,41 ^a	39	19,02±1,29 ^{abc}
106	20,13±1,0 ^{ab}	85	19,83±1,82 ^a	49	17,49±1,59 ^{abc}
133	19,67±0,95 ^{ab}	100	21,06±2,28 ^a	58	18,02±1,61 ^{abc}
151	19,87±0,66 ^{ab}	116	20,56±1,11 ^a	67	18,3±1,41 ^{abc}
172	19,55±0,75 ^{ab}	133	19,92±1,88 ^a	78	17,89±1,2 ^{abc}
193	19,34±1,06 ^{ab}	151	19,5±2,12 ^a	85	18,41±1,5 ^{abc}
217	19,67±1,03 ^{ab}	164	19,02±1,6 ^a	95	17,35±1,59 ^{bc}
242	18,96±0,78 ^b	183	19,46±1,74 ^a	106	17,58±1,6 ^{abc}
		220	18,94±1,07 ^a	133	17,49±1,58 ^{abc}
		242	18,62±1,63 ^a	148	16,99±1,82 ^c

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

Os valores de Cromo não obtiveram um comportamento padrão ao longo do tempo de armazenamento. Nas temperaturas de 20 e 25°C não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre as médias das amostras do início e do final do estudo. Por outro lado, houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) nos flocos armazenados a 35°C, com diminuição de 15% ao final do armazenamento. O Cromo é o parâmetro que indica a intensidade da cor, portanto, sua redução evidência perda de cor do produto. A perda de cor ocorreu, possivelmente pelas reações anteriormente já descritas, tendo sido mais intensa na maior temperatura.

5.4.6 Avaliação visual da variação da cor dos flocos de jabuticaba no armazenamento controlado

Ao longo do armazenamento, conforme anteriormente já comentado, foi realizado um acompanhamento visual das amostras, fazendo um registro de seus aspectos. A Figura 28 apresenta as fotos dos flocos de jabuticaba no início e no final do armazenamento, nas temperaturas de 20, 25 e 35°C.

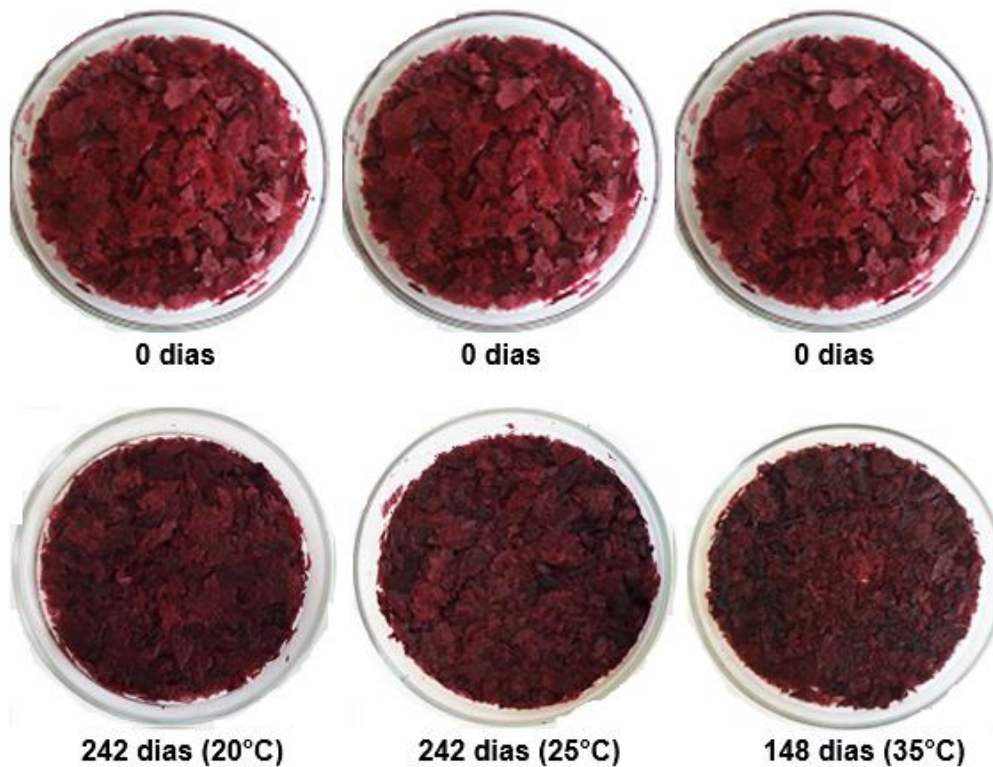


Figura 28. Flocos de jaboticaba no início e no final do armazenamento, nas temperaturas de 20, 25 e 35°C.

Algumas considerações podem ser feitas, de forma a melhor entender os resultados de cor instrumental obtidos. Como pode ser observado, inicialmente, os flocos se apresentavam com uma coloração viva, com tonalidade avermelhada, característica da polpa de jaboticaba. Ao final do tempo de armazenamento, em todas as temperaturas, os flocos apresentavam igualmente mais escurecidos, com uma coloração vermelha menos intensa. Analisando os produtos no final do armazenamento, entretanto, sem a comparação como o produto inicial, o aspecto ainda é aceitável. Visualmente não foi possível observar, nos diferentes produtos finais (armazenados nas temperaturas de 20, 25 e 35°C), diferenças entre os mesmos, tanto quanto à cor, como quanto ao aspecto.

5.4.7 Distribuição do tamanho de partícula dos flocos de jabuticaba ao longo do armazenamento

A Figura 29 representa a distribuição do tamanho de partículas dos flocos no tempo inicial (T0) e no final do armazenamento nas temperaturas de 20°C, 25°C e 35°C.

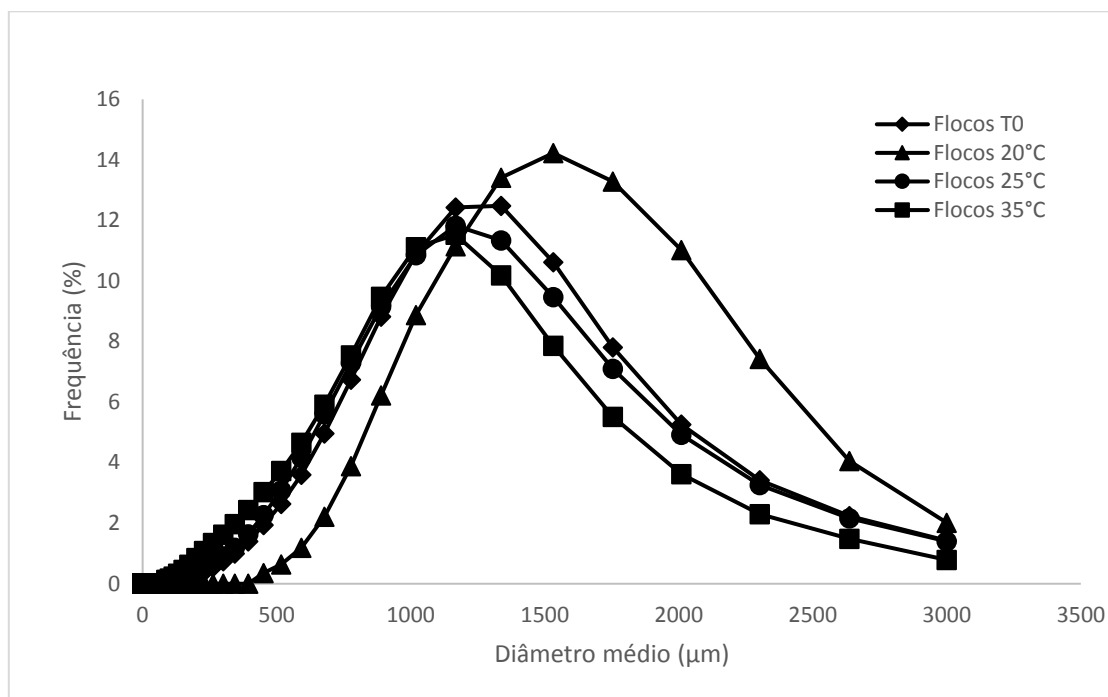


Figura 29. Distribuição do tamanho de partícula dos flocos de jabuticaba obtido com fécula de mandioca no início (T0) e no final do armazenamento a 20°C, 25°C e 35°C.

Observa-se que as partículas estão distribuídas entre as dimensões de 0µm à 3000µm. Os flocos apresentaram, no geral, distribuição monomodal no início e no final do armazenamento, nas diferentes condições. O comportamento evidencia a característica homogênea de distribuição de tamanho das partículas da amostra. Um comportamento semelhante foi reportado pelos seguintes trabalhos: Gagneten et al. (2019) em *spray drying* de *berries* em pó (framboesa, groselha e sabugueiro); Zotarelli et al. (2017) em *cast-tape drying* de manga e Moser et al. (2016) em *spray drying* de suco de uva. Em contrapartida, Tonon et al. (2010) reportaram comportamento bimodal na distribuição do tamanho de partícula em *spray drying* de açaí, bem como Ferrari et al. (2012), em *spray drying* de amora-preta.

Observa-se no presente estudo, entretanto, que no limite de tamanho máximo, as curvas não encostaram no eixo x. Tal comportamento demonstra que pode haver a presença de partículas maiores que 3000 μm , que é o limite de detecção do equipamento.

A Tabela 24 apresenta os resultados dos diâmetros médios de partícula (D [4,3]) dos flocos de jabuticaba no início e no final do armazenamento, nas diferentes temperaturas.

Tabela 24. Diâmetro médio (D [4,3]) dos flocos de jabuticaba obtidos com fécula de mandioca no início e no final do armazenamento a 20°C, 25°C e 35°C.

Temperatura armazenamento	Período	Diâmetro médio D [4,3] (μm)
-	Inicial	1045,93 \pm 73,96 ^b
20°C		1590,32 \pm 113,05 ^a
25°C	Final	861,03 \pm 64,11 ^{bc}
35°C		817,88 \pm 134,00 ^c

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

Os flocos de jabuticaba obtidos apresentaram inicialmente um diâmetro menor do que o observado por Yamato (2018) em flocos de manga obtidos por *drum drying* com amido, de aproximadamente 1153 μm , bem como com maltodextrina, de 1204 μm .

Os flocos armazenados a 20, 25 ou 35°C apresentaram, ao final do estudo, aglomerações, possivelmente relacionado ao ganho de umidade, conforme anteriormente apresentado (Tabela 14). Por esse motivo, todos os flocos tiveram que ser peneirados para a análise, utilizando-se uma peneira com abertura de 4,76 mm.

Observou-se que os flocos armazenados a 25°C e 35°C apresentaram aglomerações maiores do que os flocos armazenados a 20°C, entretanto, de acordo com os resultados da Tabela 24, esses foram os que apresentaram os menores diâmetros médios. O comportamento pode ser explicado pelo fato de que, nessas amostras, houve quebra dos aglomerados no processo, formando partículas menores, além de ocorrer retenção dos aglomerados maiores na peneira. Por outro lado, os flocos armazenados a 20°C apresentaram diâmetro médio maior, significativamente diferente ($p \leq 0,05$) dos demais. Como os aglomerados dessa amostra eram menores, possivelmente os mesmos

passaram pela abertura da peneira no peneiramento, não havendo quebra em pedaços menores.

Outros trabalhos reportaram diferentes valores de diâmetro médio em frutas em pó obtidas por diferentes processos. Saifullah et al. (2016), em estudo sobre *spray drying*, obtiveram diâmetro médio de 25,07 μm para pitáia, 38,30 μm para abacaxi e 25,07 μm para manga. Germer et al. (2017) relataram valores de D [4,3] variando de 1090 μm a 1400 μm para flocos de manga produzidos em *drum drying*. Gurak et al. (2014) reportaram diferentes valores de diâmetro médio de acordo com a forma de liofilização da jabuticaba: 64,83 μm para a fruta inteira; 95,69 μm para a casca da jabuticaba e 103,51 μm para o bagaço da fruta.

5.4.8 Morfologia dos flocos de jabuticaba ao longo do armazenamento

Segundo Liu et al. (2010), através da análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV), é possível identificar e observar alterações físicas nas partículas de produtos secos ao longo do armazenamento controlado. Nesse sentido, essa análise foi realizada nos flocos de jabuticaba, e a morfologia dos mesmos, nos tempos inicial e final, nas diferentes temperaturas de armazenamento, está apresentada na Figura 30.

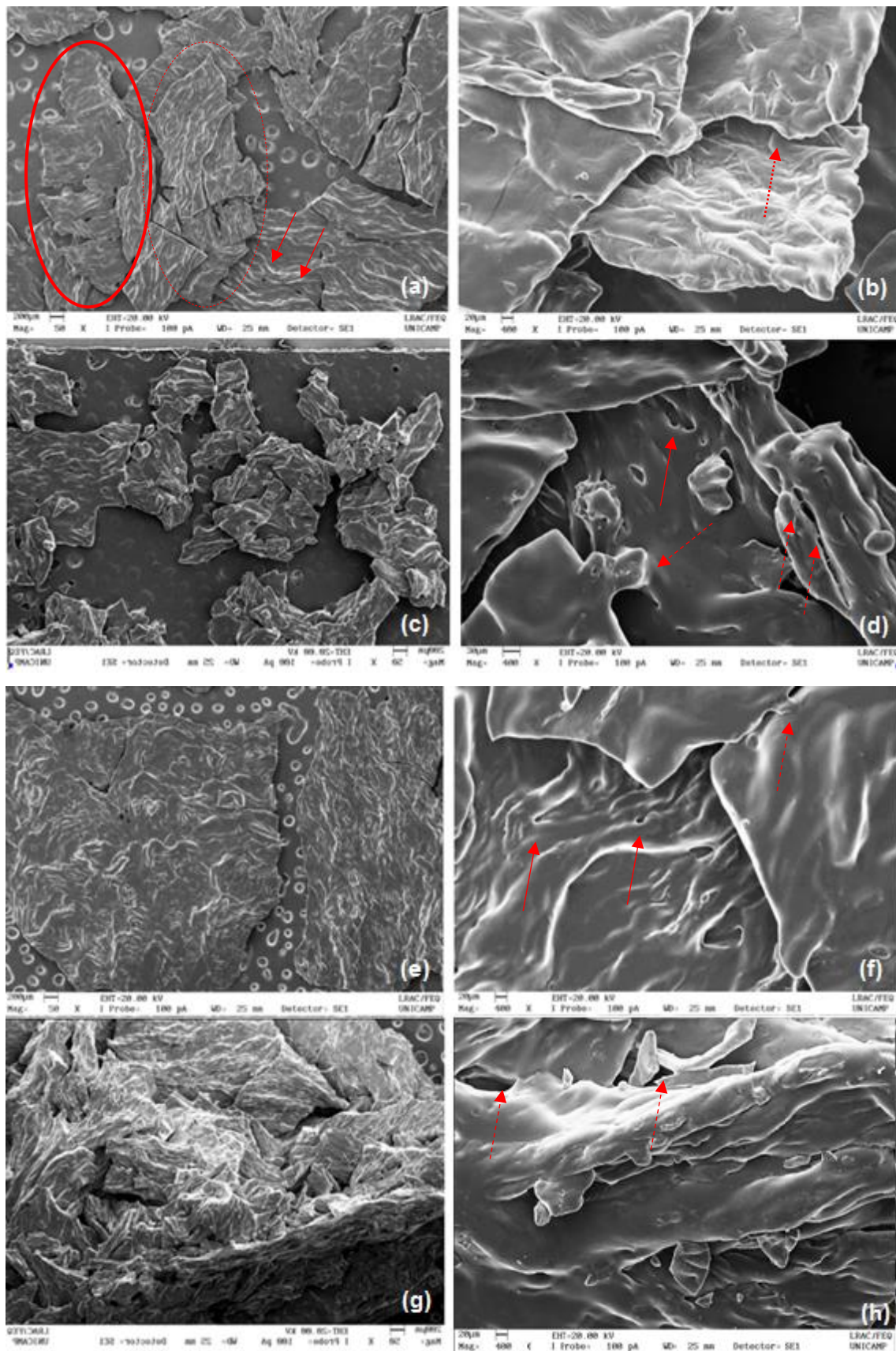


Figura 30. Micrografias com ampliação de 50x e 400x no início (a, b) e no final do armazenamento a 20°C (c, d), 25°C (e, f) e 35°C (g, h).

Observa-se que os flocos iniciais (Figura 30 (a), (b)) apresentam-se soltos, com tamanhos irregulares, com texturas rugosas. Chia & Chong (2015) também relataram, no *drum drying* de casca de pitaia, formato irregular das partículas e superfície rugosa. Os autores justificaram essa aparência à raspagem da faca para a retirada do filme do tambor, formando rugas na superfície dos flocos. Yamato (2018) e Germer et al. (2018), por sua vez, reportaram diferenças de textura nos lados dos flocos de manga obtidos por *drum drying*, sendo um lado liso, atribuído à parte do filme em contato com cilindro, e o rugoso, atribuído ao lado livre do filme na secagem. Os autores atribuíram o aspecto rugoso à gelatinização dos grânulos de amido. No presente trabalho, as diferenças de textura também são observadas, conforme apresentado na Figura 30. A elipse pontilhada mostra o lado liso, e a elipse cheia o lado rugoso. No entanto, essas diferenças estão menos evidenciadas nos flocos de jabuticaba, em comparação aos flocos de manga reportados por Germer et al. (2018).

Por outro lado, no tempo zero (Figura 30 (a), (b)), as bordas dos flocos de jabuticaba se mostraram mais arredondadas (seta pontilhada), e menos afiadas do que o reportado em outros trabalhos (CAPARINO et al., 2012 e CHIA & CHONG, 2015; GERMER et al., 2018). Possivelmente esse formato esteja relacionado ao estado do filme (não vítreo) na floculação. A fragmentação do filme nesse caso pode não ter sido por uma quebra rápida na peneira do equipamento, comportamento mais esperado de um produto no estado vítreo, e sim por um esmagamento do mesmo contra a peneira.

Nas Figuras 30 (a), (b), (c), (d), (e), (f) as setas cheias mostram alguns poros. Estes podem ter sido formados com a evaporação da água no nível de piscina, e ao longo do contato com o cilindro quente (CHIA & CHONG, 2015). No armazenamento, com o ganho de umidade, conforme anteriormente apresentado, esses poros podem ter ficados mais visíveis, devido ao inchaço do floco.

Observa-se que os flocos armazenados a 20°C e 25°C (Figura 30 (c), (d), (e), (f)), estão aglomerados ao final do armazenamento, havendo a formação de “pontes” entre os flocos (seta tracejada). Os flocos finais apresentam uma aparência menos rugosa em comparação aos flocos iniciais, provavelmente devido ao ganho de umidade ao longo do armazenamento, e ao inchaço dos

mesmos. Por sua vez, observa-se uma aglomeração maior entre as partículas (seta tracejada) dos flocos armazenados a 35°C (Figuras 30 (g), (h)).

A aglomeração de partículas, ou o *caking*, conforme anteriormente já comentado, ocorre em função da absorção de água em produtos secos particulados ao longo do armazenamento, sendo favorecido pelo aumento da temperatura (ANGLEA et al., 1993). Observa-se que estas transformações se intensificaram com relação ao tempo e à temperatura (Figura 30 (d), (f) e (h)). O fenômeno da aglomeração ao longo do armazenamento foi reportado em outros estudos com frutas em pó, tais como: goiaba (SHISHIR et al., 2017), manga (YAMATO, 2018), tomate (LIU et al., 2010) amora-preta (FERRARI et al., 2013), dentre outras.

6. CONCLUSÕES

- O estudo demonstrou ser possível a obtenção de flocos de jabuticaba por *drum drying* com o emprego de 20% (b.s.), tanto de amido de milho regular, como de fécula de mandioca, ambos com 0,5% (b.s.) de monoestearato de glicerila. No processo, houve redução significativa do teor de umidade e da atividade de água (a_w) da polpa, evidenciando a eficiência da secagem por *drum drying*. A retenção de antocianinas, de compostos fenólicos e da capacidade antioxidante ficaram na faixa de 66% a 95%. Quanto à cor instrumental, os flocos apresentaram leve escurecimento e aumento dos parâmetros cromáticos (a^* , b^*), indicando concentração dos pigmentos, típica de processos de secagem.

- As isotermas de sorção de ambos os flocos foram melhor ajustadas pelo modelo de GAB, e classificadas como do tipo III, característica de produtos com açúcar. Os valores da monocamada (X_m) foram de 0,1596 g água/ g matéria seca para os flocos com fécula de mandioca e de 0,1274 g água/ g matéria seca para os flocos com amido, evidenciando o comportamento menos higroscópico do produto com fécula. De acordo com observações visuais, a atividade de água crítica para ambos os coadjuvantes foi de 0,432, sendo que em valores superiores de a_w ocorreram, gradativamente, aglomerações e escurecimento.

- A fécula de mandioca foi escolhida como coadjuvante de processo na sequência do estudo em função da menor higroscopicidade do produto final. Outro fato que pesou para a escolha foi ser esse um ingrediente obtido de uma planta nativa do Brasil. Além disso, o emprego de fécula de mandioca como coadjuvante do *drum drying* é pouco estudado.

- Os dados experimentais das temperaturas de transição vítrea dos flocos com fécula de mandioca foram ajustados pelo modelo de Gordon-Taylor, que obteve a temperatura de transição vítrea dos sólidos (T_{gs}) de 21°C. O resultado indica que na temperatura ambiente (25°C), em qualquer condição de atividade de água, o produto estaria no estado não vítreo (borrachento).

- As cinéticas de degradação das antocianinas e dos parâmetros de cor foram melhor ajustadas pelos modelos de primeira ordem e ordem zero, respectivamente. Em ambos estudos, os flocos apresentaram boa estabilidade

na temperatura ambiente (25°C), com tempos de meia vida variando de 630 dias a 1446 dias. No entanto, os valores de Q_{10} (2,19 a 3,18) e E_a (14,8 kcal/mol a 19,19 kcal/mol) mostraram uma forte influência da temperatura nas reações avaliadas. Apesar das mudanças observadas de cor instrumental, visualmente os flocos se mantiveram, até o final do armazenamento (aproximadamente de 150 a 240 dias), com o predomínio da cor vermelha, característica da polpa de jabuticaba.

- Nesse contexto, embora os flocos com fécula de mandioca estariam no estado não vítreo (borrachento), segundo o modelo de Gordon-Taylor, algumas considerações gerais podem ser feitas quanto à estabilidade do produto. As transformações físicas tais como aglomeração (*caking*) e escurecimento não foram verificadas visualmente em $a_w \leq 0,328$. Além disso, o estudo de cinética mostrou que o produto apresentou, na temperatura ambiente (25°C), uma boa estabilidade, com longos tempos de meia vida. Portanto, se os flocos de jabuticaba obtidos por *drum drying* com fécula de mandioca (20% b.s.) tiverem $a_w \leq 0,328$, forem acondicionados de forma a evitar o ganho de umidade, e forem armazenados em temperaturas amenas (<25°C), a vida de prateleira poderia ser de 630 dias (1,7 anos), com base na cinética das antocianinas.

- O *drum drying* de polpas de frutas é uma alternativa que visa, dentre outros aspectos, a possibilidade do emprego de menores quantidades de coadjuvantes, resultando em um produto mais rico em sólidos naturais. Entretanto, verificou-se que, na forma que foi realizado, o processo de *drum drying* de polpa de jabuticaba resultou em produto com estabilidade limitada. Uma solução possível para o processo é o emprego de maiores quantidades do coadjuvante avaliado, a fécula de mandioca. Outra solução seria o uso combinado (ou não) de outros carreadores, tais como amido de milho, maltodextrina, gomas, dentre outros. Ambas as soluções devem ser avaliadas por outros estudos experimentais.

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. and 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.

ALBUQUERQUE, T. G.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, M. B. P. P.; COSTA, H. S. Analysis, Identification, and Quantification of Anthocyanins in Fruit Juices. **Fruit Juices**. 2018, v. 9, cap. 34, p. 693–737.

ALVES, R. M. V.; BORDIN, M. R. Estimativa da vida útil de café solúvel por modelo matemático. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.18, n.1, p.19-24, 1998.

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.

AOAC. Official Methods of Analysis of the Association Analytical Chemists. 18th Edition, Maryland: **AOAC International**, 2005.

AOAC. Official Methods of Analysis of the Association Analytical Chemists. 19th Edition, Washington: **AOAC International**, 2012.

ASAE. American Society of Agricultural Engineers. ASAE Standard: D245.4: Moisture Relationship of Grains, 1991.

AVELAR, H.M.; RODRIGUES, C. G.; ARRUDA, A.C.; SILVA, E. C.; CARLOS, L.A. desenvolvimento de balas de goma elaboradas com frutas do Cerrado. **Revista Magistra**, v. 28, n.1, p.21-28, 2016.

AZARPAZHOOH, E.; SHARAYEI, P.; ZOMORODI, S.; RAMASWAMY, H. S. Physicochemical and Phytochemical Characterization and Storage Stability of Freeze-dried Encapsulated Pomegranate Peel Anthocyanin and In Vitro Evaluation of Its Antioxidant Activity. **Food Bioprocess Technology**, v. 11, n. 102, p. 1-12, 2018.

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.

BARBOSA-CÁNOVAS, G. V., ORTEGA-RIVAS, E., JULIANO, P., & YAN, H. Food Powders - Physical Properties, Processing, and Functionality. **Kluwer Academic/Plenum Publishers**. 2005.

BARROS, R.S.; FINGER, F.L.; MAGALHAES, M.M. Changes in non-structural carbohydrates in developing fruit of *Myrciaria jaboticaba*. **Scientia Horticulturae**, v. 66, n. 3- 4, p.209-215, 1996.

BASU, S.; SHIVHARE, U. S.; MUJUMDAR, A. S. Models for Sorption Isotherms for Foods: A Review. **Drying Technology**, v. 24, n. 8, p. 917-930, 2006.

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

BHANDARI, B. R., DATTA, N., HOWES, T. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. **Drying technology**, v. 15, n. 2, p. 671-684, 1997.

BHANDARI, B.R.; HOWES, T. Drying of sticky materials – Relevance to glass transition temperature. In: International food dehydration conference – 2000 and Beyond, **Food Science Australia**, 2000, Melbourne, Australia, Proceedings, p.8.2-8.12.

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

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. São Paulo: Varela, 1992, 151p.

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

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Regulamento Técnico Geral para fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para polpa de fruta. Instrução Normativa n. 01 de janeiro de 2000.

BRASIL. ANVISA - Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 263 de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos – Setembro, 2005.

BRASIL. CEAGESP - Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo, 2017. Disponível em: <<http://www.hortiescolha.com.br>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2019.

BRASIL. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: < <https://www.embrapa.br>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2019.

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.

BRUNAUER, S. The absorption of the gases and vapors. Physical adsorption. Princeton: **Princeton University Press**, 1943.

BRUNINI, M. A.; OLIVEIRA, A. L.; SALANDINI, C.A.R.; BAZZO, F.R. Influência de embalagens e temperatura no armazenamento de jabuticabas (*Myrciaria jabuticaba* (Vell) Berg) cv 'SABARÁ'. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.24, n.3, p. 378-383, 2004.

BUENO, J.M.; RAMOS-ESCUADERO, F.; SÁEZ-PLAZA, P.; MUÑOZ, A.M.; JOSÉ NAVAS, M.; ASUERO, A.G. Analysis and antioxidant capacity of anthocyanin pigments. Part II: Chemical structure, color, and intake of anthocyanins. **Critical Reviews in Analytical Chemistry**, v. 42, n. 2, p. 102–125, 2012.

BUVÉ, C., KEBEDE, B. T., BATSELIER, C., CARRILLO, C., PHAM, H. T., HENDRICKX, M., VAN LOEY, A. Kinetics of colour changes in pasteurised strawberry juice during storage. **Journal of Food Engineering**, v. 216, p. 42-51, 2018.

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

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

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

CAPARINO, O. A.; NINDO, C. I.; TANG, J.; SABLANI, S. S.; CHEW, B. P.; MATHISON, B. D.; FELLMAN, J. K.; 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, 2016.

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

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.

CAVALCANTI, R.N.; SANTOS, D.T.; MEIRELES, M.A.A. Non-thermal stabilization mechanisms of anthocyanins in model and food systems-An overview. **Food Research International**, v. 44, n. 2, p. 499–509, 2011.

CELESTINO, S. M. C. Princípios de Secagem de Alimentos. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Planaltina: EMBRAPA, 2010. n. 2176–5081, 50p.

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.
- CITADIN, I.; DANNER, M. A.; SASSO, S. A. Z. Jabuticabeiras. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 2, p. 343-656, 2010.
- CORREIA, R. T.; BORGES, K. C.; MEDEIROS, M. F.; GENOVESE, M. I. Bioactive compounds and phenolic-linked functionality of powdered tropical fruit residues. **Food Science and Technology International**, v.18, n. 6, p. 539-547, 2012.
- COSTA, H. C. B.; SILVA, D. O.; VIEIRA, L. G. M. Physical properties of açai-berry pulp and kinetics study of its anthocyanin thermal degradation. **Journal of Food Engineering**, v. 239, p. 104–113, 2018.
- CROZIER, A.; JAGANATH, I. B.; CLIFFORD, M. N. Dietary phenolics: chemistry, bioavailability and effects on health. **Natural Product Reports**, v. 26, n. 8, p. 1001-1043, 2009.
- COUCHMAN, P.R.; KARASZ, F.E.A. A classical thermodynamic discussion of the effect of composition on glass transition temperatures. **Macromolecules**, v.11, n.1, p.117-119, 1978.
- DANTAS, D.; PASQUALI, M. A.; CAVALCANTI-MATA, M.; DUARTE, M. E.; LISBOA, H. M. Influence of spray drying conditions on the properties of avocado powder drink. **Food Chemistry**, v. 266, p. 284-291, 2018.
- DAUD, W.; RAMLI, W. Drum Dryers. In: MUJUMDAR, A.S. Handbook of industrial drying, 3 ed. **CRC Press**, 2006. cap.9. 1348p.
- DAVIES, K. M.; SCHWINN, K. E.; GOULD, K. S. Anthocyanins. Encyclopedia of Applied Plant Sciences, 2 ed. Amsterdam: **Elsevier**, 2017. v. 2, 355–363p.
- DAZA, L. D.; FUJITA, A.; FÁVARO-TRINDADE, C. S.; RODRIGUES-RACT, J. N.; GRANATO, D.; GENOVESE, M. I. Effect of spray drying conditions on the physical properties of Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) fruit extracts. **Food and bioproducts processing**, v. 97, n. 1, p. 20-29, 2016.
- DE LA ROSA; L. A., MORENO-ESCAMILLA; J. O., RODRIGO-GARCÍA, J.; ALVAREZ-PARRILLA, E. Phenolic Compounds. Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables. Amsterdam: **Elsevier**, 2019, cap 12, p. 253–271.
- DORNAS, W. C.; OLIVEIRA, T. T.; RODRIGUES-DAS-DORES, R. G.; SANTOS, A. F.; NAGEM, T. J. Flavonóides: potencial terapêutico no estresse oxidativo. **Revista de ciências farmacêuticas básica e aplicada**, v. 28, n.3, p. 241- 249, 2007.
- EFFERSON, N. Nuevos usos de la mandioca. **Agricultura de las Américas**, v.28, n.11, 1979.
- EINBOND, L. S.; REYNERTSON, K. A.; LUO, X. D.; BASILE, M. J.; KENNELLY, E. J. Anthocyanin antioxidants from edible fruits. **Food Chemistry**, v. 84, n. 1, p. 23-28, 2004.

ENDO, E.; BORGE, S. V.; DAIUTO, E. R., CEREDA, M. P.; AMORIM, E. Avaliação da vida de prateleira do suco de maracujá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) desidratado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 2, p. 383-386, 2007.

FABRA ET AL., 2009 M.J. FABRA, P. TALENS, G. MORAGA, N. MARTÍNEZ-NAVARETE 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.

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, 2013.

FERREIRA, M. N. **Estudo da secagem de jabuticaba (polpa e casca) pelo método de camada de espuma**. 2017. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Goiás (UFG). Goiânia, GO.

FIESP/ITAL. Brasil Food Trends 2020. Disponível em: <http://www.brazilfoodtrends.com.br/Brasil_Food_Trends/index.html>. Acesso em: 21 fev. 2017.

FLESCHHUT, J., KRATZER, F., RECHKEMMER, G., KULLING, S.E., 2006. Stability and biotransformation of various dietary anthocyanins in vitro. **European Journal of Nutrition**, v. 45, n.1, p. 7–18, 2006.

FRACASSETTI, D.; DEL BO, C.; SIMONETTI, P.; GARDANA, C.; KLIMIS-ZACAS, D.; CIAPPELLANO, S. Effect of Time and Storage Temperature on Anthocyanin Decay and Antioxmidant Activity in Wild Blueberry (*Vaccinium angustifolium*) Powder. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 12, p. 2999-3005, 2013.

FRANCIS, F.J. & MARKAKIS, P.C. Food colorants: Anthocyanins. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 28, n.4, p. 273-314, 1989.

FRANCO, C.M.L.; DAIÚTO, E.R.; DEMIATE, I.M.; CARVALHO, L.J.C.B.; LEONEL, M.; CEREDA, M.P.; VILPOUX, O.F.; SARMENTO, S.B.S. Produção e uso de amido. In: Culturas de tuberosas amiláceas latino americanas. São Paulo: **Fundação Cargill**, 2002, v.1, cap.2, 21-56p.

GAGNETEN, M.; CORFIELD, R.; MATTSON, M. G.; SOZZI, A.; LEIVA, G.; SALVATORI, D.; SCHEBOR, C. Spray-dried powders from extract obtained upon several processing steps to improve the bioactive components content. **Powder Technology**, v. 342, p. 1008-1015, 2019.

GAL S. The need for, and practical applications of sorption data. In: JOWITT R, ESCHER F, HALLSTRÖM B, MEFERT H, SPIESS W, VOS G, editors. Physical properties of foods-2. London: **Elsevier Applied Science**, 1987, 13–25p.

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 Food Engineering**, v. 208, p. 19-27, 2017.

GARCÍA-ALONSO, F.J.; PERIAGO, M.J.; VIDAL-GUEVARA, M.L.; CANTOS, E.; ROS, G.; FERRERES, F.; ABELLÁN, P. Assessment of the Antioxidant Properties During Storage of a Dessert Made from Grape, Cherry, and Berries. **Journal of Food Science**, v. 68, n.4, p. 1525-1530, 2003.

GARCIA-SALAS, P.; MORALES-SOTO, A.; SEGURA-CARRETERO, A.; FERNÁNDEZ-GUTIÉRREZ, A. Phenolic compound extraction systems for fruit and vegetables samples. **Molecules**, v. 15, n. 12, p. 8813-8826, 2010.

GARCÍA-TEJEDA, Y. V.; BARRERA-FIGUERO, V. Least squares fitting-polynomials for determining inflection points in adsorption isotherms of spray-dried açai juice (*Euterpe oleracea* Mart.) and soy sauce powders. **Powder Technology**, v. 342, n.15, p. 829-839, 2019.

GAVA, A. J. Princípios de tecnologia de alimentos. São Paulo: **Nobel**, 1984.

GERMER, S. P., FERRARI, C. C., LANCHÁ, 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.

GERMER, S. P. M., TONIN, I. P., DE 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. 1-13, 2017.

GIBNEY, M. J.; LANHAM-NEW, S. A.; CASSIDY, A.; VORSTER, H. H. Introduction to Human Nutrition. The Nutrition Society Textbook, 2 ed. Nova Jersey: **Wiley-Blackwell**, 2009.

GIUSTI, M. M., SCHWARTZ, S. J., ELBE, J. H. V. Corantes. In: FENNEMA, O. R. Química dos Alimentos de Fennema. 4 ed. São Paulo: **Artmed**, 2010, 463-468p.

GONZALEZ, F.; GARCIA-MARTINEZ, E.; CAMACHO, M. M.; MARTINEZ-NAVARRETE, N. Stability of the physical properties, bioactive compounds and antioxidant capacity of spray-dried grapefruit powder. **Food Bioscience**, v. 28, p.74-82, 2019.

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.

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

GURAK, P. D.; BONA, G. S.; TESSARO, I. C.; MARCZAK, L. D. F. Jaboticaba Pomace Powder Obtained as a Co-product of Juice Extraction: A Comparative Study of Powder Obtained from Peel and Whole Fruit. **Food Research International**, v. 62, n.1, p. 786–792, 2014.

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.

HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J.M.C. Free Radicals in Biology and Medicine, 2 ed. Oxford: **Clarendon Press**, 1989.

HALSEY, G. Physical adsorption on uniform surfaces. **The Journal of Chemical Physics**, v. 16, n. 10, p. 931-937, 1948.

HE, Z.; XU, M.; ZENG, M.; QIN, F.; CHEN, J. Preheated milk proteins improve the stability of grape skin anthocyanins extracts. **Food Chemistry**, v. 210, p. 221–227, 2016.

HOFISKY, V. A.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; OLIVEIRA, E. N. A. Armazenamento de pitanga em pó. **Comunicata Scientiae**, v.5, n. 1, p. 83-91, 2014.

HORIBA, I. Monitoring coffee grinding with laser diffraction particle size analyses. Applications note AN148 – Coffee. 2007.

HORWITZ, W. Official methods of analysis of AOAC International. 18. ed., Gaithersburg, Maryland, 2005.

IAL. INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos. 4 ed. 1ª Edição Digital. 2005.

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

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

JAYA, S.; DAS, H. Accelerated Storage, Shelf Life and Color of Mango Powder. **Journal Food Process Preser**, n. 29, p. 45–62, 2005.

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.

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

KALIL, A. C. Manual básico de nutrição. São Paulo: **Instituto de Saúde**, 1975.

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

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.

KUROZAWA, L. E., TERNG, I., HUBINGER, M. D., PARK, K. J. Ascorbic acid degradation of papaya during drying: effect of process conditions and glass transition phenomenon. **Journal of Food Engineering**, v. 123, p. 157-164, 2014.

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

LABUZA, T. P. **Application of chemical kinetics to deterioration of foods**. 1984.

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, 1985.

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

LABUZA, T. P., ALTUNAKAR, L. Water activity prediction and moisture sorption isotherms. **Water activity in foods: fundamentals and applications**. 2007. v. 109, 154p.

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

LI, J.; LI, X. D.; ZHANG, Y.; ZHENG, Z. D.; QU, Z. Y.; LIU, M.; ZHU, S. H.; LIU, S.; WANG, M.; QU, L. Identification and thermal stability of purple-fleshed sweet potato anthocyanins in aqueous solutions with various pH values and fruit juices. **Food Chemistry**, v. 136, n. 3-4, p. 1429-1434, 2013.

LIMA, A. J. B.; CORRÊA, A. D.; ALVES, A. P. C.; ABREU, C. M. P.; DANTAS-BARROS, A. M. Caracterização química do fruto jabuticaba (*Myrciaria cauliflora* Berg) e de suas frações. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v. 58, n.4, p.416-421, 2008.

LIMA, A. J. B. **Caracterização e atividade antioxidante da jabuticaba [*Myrciaria cauliflora* (Mart.) O. Berg]**. 2009. Dissertação (doutorado) – Universidade Federal de Lavras (UFLA). Lavras, MG.

LIMA, A. J. B.; CORREA, A. D. C.; SACZK, A. A.; MARTINS, M. P.; CASTILHO, R. O. Anthocyanins, pigment stability and antioxidant activity in jabuticaba [*Myrciaria cauliflora* (Mart.) O. Berg]. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 3, p. 877–887, 2011.

LISBOA, C. G. C.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Armazenamento de figo-da-índia em pó. **Revisita Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n.2, p.216-221, 2012.

LIU, F.; CAO, X.; WANG, H.; LIAO, X. Changes of tomato powder qualities during storage. **Powder Technology**, v. 204, n.1, p. 159-166, 2010.

LÓPEZ-VIDAÑA, E. C.; ROJANO, B. A.; FIGUEROA, I. P.; ZAPATA, K.; CORTÉS, F. B. Evaluation of the Sorption Equilibrium and Effect of Drying Temperature on the Antioxidant Capacity of the Jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*). **Chemical Engineering Communications**, v. 203, n. 6, p. 809-821, 2016.

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

MAGALHÃES, M. M; BARROS, R. S; FINGER, F. L. Changes in structural carbohydrates in developing fruit of *Myrciaria jaboticaba*. **Scientia Horticulturae**, v. 66, n. 1-2, p. 17-22, 1996.

MATTOS, J. R. **Frutíferas nativas do Brasil: jaboticabeiras**. Porto Alegre, 1983, 92p.

MENDES, M. J. A. **Desidratação em Drum Dryer da polpa de banana (*Musa cavendishii*) verde com casca para o desenvolvimento a frio de recheios de fruta forneável**. 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, SC.

MICHALSKA, A.; WOJDYLO, A.; LECH, K.; LYSIAK, G. P.; FIGIEL, A. Physicochemical properties of whole fruit plum powders obtained using different drying technologies. **Food Chemistry**, v. 207, p. 223–232, 2016.

MISHRA, S.; RAI, T. Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. **Food Hydrocolloids**, v.20, n.5, p.557-566, 2006.

MOORE, J.G. Drum Dryers. In *Handbook of Industrial Drying*, 2 ed.; Mujumdar, A.S., Ed.; New York: **Marcel Dekker**, 1995, v. 1, 249–262p.

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.

MOREIRA, T.B.; ROCHA, E. M. F. F.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Comportamento das isoterms de adsorção do pó da polpa de manga liofilizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.10, p.1093–1098, 2013.

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

MOURA, S. C. S.R.; BERBARI, S. A.; Sílvia Pimentel Marconi GERMER, S. P. M.; ALMEIDA, M. E.M.; FEFIM, D. A. Determinação da vida-de-prateleira de

maçã-passa por testes acelerados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 1, p. 141-148, 2007.

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

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.; TAVARES, P. E. R.; GERMER, S. P. M.; NISIDA, A. L. A. C. ALVES, A. B.; KANAAN, A. S. Degradation Kinetics of Anthocyanin of Traditional and Low-Sugar Blackberry Jam. **Food Bioprocess Technology**, v.5, n.6, p. 2488–2496, 2012.

MUCHE, B. M.; SPEERS, A.; RUPASINGHE, H. P. V. Storage Temperature Impacts on Anthocyanins Degradation, Color Changes and Haze Development in Juice of “Merlot” and “Ruby” Grapes (*Vitis vinifera*). **Frontiers in Nutrition**, v.5, n.100, p. 1-9, 2018.

MUZAFFAR, K. & KUMAR, P. Moisture sorption isotherms and storage study of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, v. 291, p. 322–327, 2016.

NURSTEN, H.E. **The Maillard reaction: chemistry, biochemistry, and implications**. Reading, Royal Society of Chemistry, 2005, 214p.

OCHSE, J. J. et al. Tropical and subtropical agriculture. 3. ed. New York: **The Macmillan Company**, 1961, v. 3, 684-686p.

OLIVEIRA, A. N.; RAMOS, A. M.; CHAVES, J. B. P.; VALENTE, M. E. R. Cinética de degradação e vida-de-prateleira de suco integral de manga. **Ciência Rural**, v.43, n.1, p.172-177, 2013.

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.

PALAZÓN, M. A; PÉREZ-CONESA, D.; ABELLAN, P.; ROS, G.; ROMERO, F.; VIDAL, M.V. Determination of shelf-life of homogenized apple-based beikost storage at different temperatures using Weibull hazard model. **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, p. 319–326, 2009.

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

PARK, K. J. B., PARK, K. J., CORNEJO, F. E. P., FABBRO, I. M. D. Considerações termodinâmicas das isoterma. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 10, n. 1, p. 83-94, 2008.

PIAZZA, L. & MASI, P. Development of Crispness in Cookies During Baking in an Industrial Oven. **Cereal Chemistry**, v. 74, n. 2, p.135-140, 1997.

PITALUA, E.; JIMENEZ, M.; VERNOND-CARTER, E.J.; BERISTAIN, C.I. Antioxidative activity of microcapsules with beetroot juice using gum arabic as wall material. **Food and Bioproducts Processing**, v. 88, n. 2–3, p. 253–258, 2010.

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

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

QUEIROZ, V. A. V., BERBERT, P. A., MOLINA, M. A. B., GRAVINA, G. A., QUEIROZ, L. R.; SILVA, J. A. Qualidade nutricional de goiabas submetidas aos processos de desidratação por imersão-impregnação e secagem complementar por convecção. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28, n.2, p.329–340, 2008.

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.

RIBEIRO, L. C. **Produção de acerola em pó: métodos de secagem e avaliação da estabilidade**. 2014. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, CE.

RIBEIRO, L.C.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A. Hygroscopic behavior of lyophilized acerola pulp powder. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.3, p.269–274, 2016.

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

ROBERTSON, G. L. Food Package: Principles and Practice. New York: **Marcel Dekker**, 1993.

ROOS, Y.; KAREL, M. Amorphous state and delayed ice formation in sucrose solutions. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 26, n. 6, p. 553–566, 1991.

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

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

SAIFULLAH, M.; YUSOF, Y. A.; CHIN, N. L.; AZIZ, M. G. Physicochemical and flow properties of fruit powder and their effect on the dissolution of fast dissolving fruit powder tablets. **Powder Technology**, v. 301, p. 396–404, 2016.

SALOMÃO, L. C. C.; SIQUEIRA, D. L.; AQUINO, C. F.; LINS, L. C. R. Exotic Fruits. Reference Guide. Cambridge: **Academic Press**, 2018, 237–244p.

SANTOS, D. T.; VEGGI, P. C.; MEIRELES, M. A. A. Extraction of antioxidant compounds from Jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) skins: Yield, composition and economical evaluation. **Journal of Food Engineering**, v. 101, n.1, p.23-31, 2010.

SATO, A. C. K; CUNHA, R. L. Influência da temperatura no comportamento reológico da polpa de jaboticaba. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 4, p. 890-896, 2007.

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

SHAHIDI, F. Natural antioxidants: chemistry, health effects, and applications. Newfoundland: **AOCS press**, 1996, cap. 1, 1-11p.

SHISHIR, M. R. I.; TAIP, F. S.; SAIFULLAH, M.; AZIZ, N. A.; TALIB, R. A. Effect of packaging materials and storage temperature on the retention of physicochemical properties of vacuum packed pink guava powder. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 12, p. 83-90, 2017.

SILVA, V. M. **Estudo da hidrólise enzimática, microencapsulação e secagem por spray dryer da carne de mexilhão**. 2011. Dissertação (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP.

SKREDE, G.; WROLSTAD, R.E.; LEA, P.; ENERSEN, G. Color Stability of Strawberry and Blackcurrant Syrups. **Journal of food science**, v. 57, n. 1, p. 172-177, 1992.

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.

SONG, J.; WANG, X.; LI, D.; LIU, C. Degradation kinetics of carotenoids and visual colour in pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) slices during microwave-vacuum drying. **International Journal of Food Properties**, v. 20, n. 1, p. 632-643, 2017.

SYAMALADEVIA, R. M.; SABLANIA, S. S.; TANGA, J.; POWERS, J.; SWANSONB, B. G. Water sorption and glass transition temperatures in red raspberry (*Rubus idaeus*) **Thermochimica Acta**, v. 503–504, p.90–96, 2010.

TACO. Tabela Brasileira de Composição de Alimentos. 4ª edição. Campinas: **NEPA-UNICAMP**, 2011, 161p.

TANG, J. & FENG, H. Drum Drying. Encyclopedia of Agricultural, Food, and Biological Engineering, Eds.; **AVI Publishing Company**: Connecticut, 1986, 264–266p.

TANG, J.; FENG, H.; SHEN, G-Q. Drum drying. In: Encyclopedia of Agricultural and Food and Biological Engineering. ed. D. R. HELDMA. New York: **Marcel Dekker**, 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 Technology**, v. 323, p. 208–218, 2018.

TAOUKIS, P., LABUZA, T. P. Summary: integrative concepts. **Food chemistry**, v. 3, p. 1013-1042, 1996.

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, 1997, p. 361–407.

TEIXEIRA NETO, R. O.; VITALI, A. A.; MOURA, S. C. S. R. Introdução à Cinética de reação em Alimentos. In: S. C. S. R. MOURA & S. P. M. GERMER (Eds.). **Reações de Transformação e Vida-de-Prateleira de Alimentos Processados**. Campinas: ITAL, 2010. 24-46p.

TERCI, D. B. L. **Aplicações analíticas e didáticas de antocianinas extraídas de frutas**. 2004. Dissertação (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP.

TESTER, R.F.; KARKALAS, J.; QI, X. Starch – composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, v.39, n. 2, p.151-165, 2004.

TONIN, I. P. **Desidratação de polpa de manga em secador de cilindro rotativo (Drum drying): variáveis de processo**. 2017. Dissertação (mestrado) – Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL). Campinas, SP.

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. **Secagem por atomização do suco de açaí: 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. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. **Food Research International**, v. 43, n. 3, p. 907-914, 2010.

TREVISAN, L.M., BOBBIO, F.O., BOBBIO, P.A. Carbohydrates, organic acids and anthocyanins of *Myrciaria jacobinica*. **Journal of Food Science**, v. 37, p. 818– 819, 1972.

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.

USDA. United States Department of Agriculture. Glycerids (mono and di) – Handling/Processing. **Technical Evaluation Report**, p.1-14, 2015.

VALLOUS, N. A.; GAVRIELIDOU, M. A.; KARAPANTSIOS, T. D.; KOSTOGLU, M. Performance of a Double Drum Dryer for Producing Pregelatinized Maize Starches. **Journal of Food Engineering**, v. 51, n.3, p. 171–183, 2002.

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.

VLACHOS, N. A. AND KARAPANTSIOS, T. D. Water content measurement of thin sheet starch products using a conductance technique. **Journal of Food Engineering**, v. 46, n. 2, p. 91–98, 2000.

WANG, H.; ZHANG, S.; CHEN, G. Glass transition and state diagram for fresh and freeze dried Chinese gooseberry. **Journal of Food Engineering**, v.84, n.2, p.307-312, 2008.

WIBOWO, S., GRAUWET, T., GEDEFA, G. B., HENDRICKX, M., VAN LOEY, A. Quality changes of pasteurised mango juice during storage. Part II: Kinetic modelling of the shelf-life markers. **Food Research International**, v. 78, p. 410-423, 2015.

WROLSTAD, R. E.; SKREDE, G.; LEA, P.; ENERSEN, G. Influence of Sugar on Anthocyanin Pigment Stability in Frozen Strawberries. **Journal of Food Science**, v. 55, n. 4, p. 1064-1072, 1990.

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 umidade. In: **CIIC 2011**, 5º Congresso Interinstitucional de Iniciação, 2011, Campinas. 2011.

YAMATO, M. A. C. **Estabilidade de flocos de manga obtidos por drum drying no armazenamento controlado**. 2018. Dissertação (mestrado) – Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL). Campinas, SP.

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**, p. 1-15, 2019.

ZEA, L. P.; YUSOF, Y. A.; AZIZ, M. G.; LING, C. N.; AMIN, N. A. M. Compressibility and dissolution characteristics of mixed fruit tablets made from guava and pitaya fruit powders. **Powder Technology**, v. 247, p. 112–119, 2013.

ZHANG, X.; LIU, X.; GU, D.; ZHOU, W.; WANG, R.; LIU, P. Desorption Isotherms of Some Vegetables. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 70, p. 303-306, 1996.

ZHANG, Z.; LI, J.; FAN, L. Evaluation of the composition of Chinese bayberry wine and its effects on the color changes during storage. **Food Chemistry**, v. 276, p. 451-457, 2019.

ZHU, F. Anthocyanins in cereals: Composition and health effects. **Food Research International**, v. 109, n. 23, p. 232-249, 2018.

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.

8. ANEXOS

8.1. Anexo 1 (Ficha técnica - Polpa de jabuticaba)

	FICHA TÉCNICA DE PRODUTO	Código
		DMFT-P40 01
TÍTULO:	POLPA INDUSTRIAL DE JABUTICABA SUPERGELADA	

1. DESCRIÇÃO

Polpa de jabuticaba pasteurizada e congelada, obtida a partir de matéria-prima selecionada.

- Ingredientes: Jabuticaba

O processo consta de uma linha contínua, onde após a recepção das frutas é feito um rigoroso processo de seleção evitando as frutas que não estão no ponto ideal de maturação. As frutas são higienizadas e na seqüência são cozidas em tacho com água e depois despulpadas e refinadas. Em seguida, a polpa é pasteurizada, envasada e congelada.

2. ESPECIFICAÇÕES

- Sensoriais:

Parâmetros	Especificações
Cor	Arroxeadado, característico
Odor	Característico, livre de odores estranhos
Sabor	Característico, sem sabores estranhos
Aspecto	Congelado. Isento de impurezas, insetos e materiais estranhos contaminantes ou tóxicos à saúde

- Físico-Químicos:

Parâmetros	Especificações
°Brix (20°C)	8º a 10º
pH	3 a 4
Acidez(ml NaOH 0,1N/ 10g)	13 a 21 ml

- Microbiológicos:

Parâmetros	Especificações
Contagem Padrão em Placas	Max 100 UFC/g
Bolores e Leveduras	Max 100 UFC/g
Coliformes totais (35°C)	< 10 UFC/g
e.Coli	Ausência/g
Salmonella sp/25g	Ausência \ 25g

OBS: Essa versão da Especificação é Prévia. Sendo assim, os parâmetros físico químicos e microbiológicos podem sofrer mudanças após análise das primeiras produções.

3. EMBALAGEM

CÓDIGOS INTERNOS	EMBALAGEM
A definir	Bloco 12 kg – Sacos de polietileno de 12 kg em embalagem individual ou em sacos de rafia com até 3 blocos

TÍTULO:	POLPA INDUSTRIAL DE JABUTICABA SUPERGELADA	Página 2/2	Código DM/FT-P40 01
----------------	---	----------------------	-------------------------------

4. ROTULAGEM

No rótulo do produto deverão constar as seguintes informações:

Dados do fabricante (nome, endereço, CNPJ, Inscrição Estadual, Telefone); Nome do Produto; Nº Lote; Data de Fabricação; Prazo de Validade; Peso Líquido; Peso Bruto; Ingredientes; Condições de Armazenagem

5. TRANSPORTE

Deverá ser transportado em caminhão refrigerado fechado, protegido de forma adequada, que garanta a integridade do material e sem a presença de outros materiais que possam contaminar o produto com substâncias estranhas e ao abrigo de chuva e poeira. Em nenhum momento durante a distribuição, a temperatura deve ser maior que -12°C (Portaria CVS 6 DE 1999, de 10/03/1999).

6. ARMAZENAGEM

Deve ser armazenado em embalagem fechada, em câmara fria com temperatura ideal controlada a -18°C (-16° a -20°C) em local livre de sujidades, protegido da luz e do ataque de insetos e roedores.

7. PRAZO DE VALIDADE

2 anos, mantidas as condições de armazenagem.

8. INFORMAÇÃO NUTRICIONAL (p/ 100g)

Informação Nutricional: Porção de 100g;** Valor Energético 51kcal = 214 kj (3%VD*); Carboidratos 11g (4%VD*); Proteínas 1,0g (1%VD*); Fibra alimentar 0g (0%VD*); Sódio "ND" "Não contém quantidade significativa de Gorduras totais, Gorduras saturadas, Gorduras trans".

* Valores Diários de referência com base em uma dieta de 2.000 kcal ou 8.400kj. Seus valores diários podem ser maiores ou menores dependendo de suas necessidades

** Corresponde a quantidade suficiente para preparar 1e1/2 porção de referência de 200ml.

***Fonte: ANVISA

****ND: Não disponível

9. REGISTRO NO MINISTÉRIO DA SAÚDE

Esse produto é isento de registro, conforme resolução RDC nº 278 de 22/09/2005, da agência Nacional de Vigilância Sanitária.

8.2. Anexo 2 (Ficha técnica - Fécula de mandioca)

Requisitos químicos

Requisitos químicos usados para cálculos

Propriedade	Destino
% voláteis	13,50000

Requisitos químicos

Propriedade	Atributo	Min.	Objetivo	Máx.	Unidade de medida (UOM)	Método	Obrigatório no COA	Teste na recepção	Requisitos de qualidade	Comentário	Atributo da GM
Cinzas insolúveis de HCl	-			0,2000	%			☑			☑
Cinzas	-			1,4000	%		Cada lote				☑
Gelatinização	-	60,0000		65,0000	C		Cada lote				☑
Umidade	-	12,0000		13,5000	%		Cada lote	☑			☑
pH	-	4,5000		6,5000			Cada lote	☑			☑

Outros Requisitos Químicos

Propriedade	Min.	Objetivo	Máx.	Unidade de medida (UOM)	Método	Obrigatório no COA	Teste na recepção	Requisitos de qualidade	Comentário	Atributo da GM
Acidez			1,5000	ml de NaOH 0,1 N/10g		Cada lote	☑			☑
Vazamento	97,8000			%		Cada lote	☑			☑
Fator Ácido			4,0000	ml de HCl 0,1N/25g		Cada lote	☑			☑
Polpa			0,5000	ml		Cada lote	☑			☑

Requisitos físicos

Requisitos físicos

Defeitos

Propriedade	Tipo de defeito	Min.	Objetivo	Máx.	Unidade de medida (UOM)	Método	Obrigatório no COA	Teste na recepção	Requisitos de qualidade	Comentário
Defeitos	Materiais prejudiciais à saúde humana							☑	Ausência	em 225g
Defeitos	Pontos Pretos			50,0000			Cada lote	☑		em 50g

Requisitos sensoriais

Avaliação sensorial_atualização

Propriedade	Especificação objetivo/padrão	Método	Obrigatório no COA	Comentário	Atributo da GM
Aparência/visual	Pó		Cada lote		☑
Cor	9A		Cada lote		☑
Aroma	Característico		Cada lote		☑
Odor	Característico		Cada lote		☑
Textura	Fino		Cada lote		☑

Requisitos microbiológicos

Análise microbiológica

Propriedade	Especificação	Método	Obrigatório no	Comentário	Atributo da
Bacilo Cereus	<3,000 cfu/g		Cada lote	RDC Nº 12, DE 2 DE JANEIRO DE 2001 - Item 10A	☑
Coliformes a 45 °C	<100 cfu/g		Cada lote	RDC Nº 12, DE 2 DE JANEIRO DE 2001 - Item 10A	☑
Salmonella	Negativo em 25 g		Cada lote	RDC Nº 12, DE 2 DE JANEIRO DE 2001 - Item 10A	☑

Nutrição

Dados nutricionais

NUTRIENTE	Atributo	Fornecedor	GMI	Indústria	Perfil comum	Diversos	Selecionado por 100g	Unidade de medida (UOM)	Fonte
Energia	kcal	330,900					330,900	kcal	Fornecedor
Energia	kJ	1390,000					1390,000	kJ	Fornecedor
Total de gordura	-	0,300					0,300	g	Fornecedor
Gordura saturada	-	0,000					0,000	g	Fornecedor
Gordura trans	-	0,000					0,000	g	Fornecedor
Carboidratos	Fibra	81,900					81,900	g	Fornecedor
Carboidratos	Não Fibra	81,200					81,200	g	Fornecedor
Fibra dietética	-	0,700					0,700	g	Fornecedor
Proteína	-	0,500					0,500	g	Fornecedor
Sódio	-	2,500					2,500	mg	Fornecedor

8.3. Anexo 3 (Ficha técnica - Amido de milho)

FICHA TÉCNICA



Amido de Milho AMISOL® 3408

Amido com grau alimentício obtido através de tecnologia de industrialização do milho por via úmida.

Especificações:

Físico-Químicas:

	Min.	Máx.
Identificação	Passa	Teste
Proteína Total, %	-	0,40
Umidade, %	-	14,00
pH	4,5	5,5
SO ₂ , ppm	-	50,0

Microbiológicas:

	m	M
Bacillus Cereus, ufc/g	100	-
Clostrídio sulfito redutor, ufc/g	10	-
Coliformes Fecais /g	Ausente	-
Salmonella /25g	Ausente	-
Staphylococcus aureus, /5g	Ausente	-
Coliforme Total, ufc/g	10	-
Fungos, ufc/g (n=5, c=2)	250	2500
Lveduras ufc/g (n=5, c=2)	250	2500
Contagem Total de Bactérias, ufc/g	10000	-

n: número de unidades amostrais escolhidas separada e independentemente;
m: nível de organismos em teste aceitável e tolerável no produto;
c: número tolerável de amostras com resultados entre m e M;
M: a máxima concentração de organismos em teste aceitável.
Valores acima de M em qualquer unidade amostral são inaceitáveis.

Informações sensoriais:

Aspecto	Pó
Cor	Branco
Odor	Característico
Sabor	Característico

Informações nutricionais/100g *VT:

Valor Calórico, kcal	344
Carboidrato, g	86
Fibra Alimentar, g	2,0
Gorduras Totais, g	0,0
Proteínas, g	0,30
Ferro, mg	0,7
Cálcio, mg	9,5
Sódio, mg	4,5

*VT - Valores Típicos ou de referência. Não constituem especificação do produto.

Principais aplicações:

Alimentos processados, Biscoitos, Bolos e Misturas para bolo, Caldos, Confeitos, Massas, Melhoradores para Panificação, Misturas em pó, Molho tipo Mostarda, Pastilhas, Produtos cárneos, Snacks, Sobremesas em pó, Sobremesas lácteas, Sopas em pó

Funcionalidade:

- Agente de corpo.
- Agente gelificante.
- Atua como aglutinante.
- Veículo de Vitamina C.
- Confere textura.
Sopas e Caldos:
- Promove viscosidade.
Melhoradores de panificação:
- Agente emulsificante.
- Branqueamento de farinha de trigo.
Biscoitos:
- Quebra da força do glúten.

Embalagem - Vida útil:

A granel: 180 dias
Big bag 500, 700, 1000, 1200 kg: 730 dias
Saco de papel valvulado (s/liner interno) 25 kg: 730 dias
Saco plástico 25 kg: 730 dias

Armazenagem:

Armazenar sobre pallets, em local coberto, seco e ventilado.

Informações Regulatórias:

AUP: 1582/02
Certificado Kosher
Certificado Halal
Food Chemical Codex (FCC)
GRAS: 21CFR182.90
MS: Dispensado de registro (Res. RDC n°27, 06/08/10-ANVISA)
Decreto 55.871 26/03/65-ANVISA
Resolução RDC n°14, 28/03/2014 - ANVISA
Resolução RDC n° 263, 22/09/05-ANVISA
Resolução RDC n°12, 02/01/01-ANVISA

06/11/2015

Novembro, 2012

As informações aqui contidas são de título meramente indicativo das possibilidades técnicas de utilização do produto, não aplicando garantia de resultado e não dispensando o usuário da verificação de eventuais limitações técnicas de uso em condições ou finalidades específicas. A Ingredion Incorporated e as empresas do seu grupo reservam-se o direito de modificar as especificações do produto.

As marcas e o logotipo aqui referidos são marcas registradas do grupo INGREDION e utilizadas pela Ingredion Brasil Ing. Ind. Ltda.
Todos os direitos reservados. Copyright 2012

Ingredion Brasil Ing. Ind. Ltda.
Av. do Café, 277 - 2º andar
04311-000 - São Paulo - SP

t: 0300 7895800 / 55 11 5070-7835
e: sac.br@ingredion.com

www.ingredion.com

8.4. Anexo 4 (Ficha técnica - Monoestearato de glicerila)



DEPARTAMENTO DE CONTROLE DE QUALIDADE		
ESPECIFICAÇÃO		
PRODUTO		VALIDADE
MONOESTEARATO DE GLICERILA PURO		12 meses
FÓRMULA	PESO MOLECULAR	CHAVE AUTENTICIDADE
-----	-----	MEWHY-IQLAA-ZYUQU-ZILEV

TESTES	LIMITES
001 CARACTERÍSTICAS	Pó ou escamas
002 ALFA MONOGLICERÍDIO	mín. 40,0%
003 ÍNDICE DE ACIDES	máx. 6,0
004 ÍNDICE DE ICDO	máx. 3,0
005 ÍNDICE DE SAPONIFICAÇÃO	158 à 177
006 PONTO DE SOLIDIFICAÇÃO	mín. 55°C
007 TEOR DE GLICEROL	máx. 7%

EMIÇÃO	REVISÃO	ELABORADO POR	RESPONSÁVEL
26/06/2018	02	Elaine - Ger. Qualidade	Isilda Morelli - Ger. Gar. Qualidade

Página 01 de 01

LABSYNTH PRODUTOS PARA LABORATÓRIO LTDA

Avenida Doutor Ulysses Guimarães, 3257 - Vila Mary - Diadema - SP - CEP 09950-080 - Tel (11)4072-6100 - Fax (11)4072-6122 - C.N.P.J. 51462471000152 - I.E.286056465111

www.labsynth.com.br

E-mail : synth@synth.com.br