

Ana Caroline Cichella Frabetti

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE POLPA DE GOIABA
(*Psidium guajava* L.) EM PÓ POR *CAST-TAPE DRYING***

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

Orientador: Prof. Dr. João Borges Laurindo

Florianópolis
2017

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

Frabetti, Ana Caroline
Produção e caracterização de polpa de goiaba
(Psidium guajava L.) em pó por cast-tape drying /
Ana Caroline Frabetti ; orientador, João Borges
Laurindo, 2017.
139 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós
Graduação em Engenharia de Alimentos, Florianópolis,
2017.

Inclui referências.

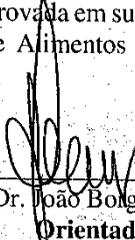
1. Engenharia de Alimentos. 2. secagem. 3. polpa
de goiaba. 4. pó. 5. cast-tape drying. I. Laurindo,
João Borges. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Alimentos. III. Título.

“PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE POLPA DE GOIABA (*Psidium guajava* L.) EM PÓ POR CAST-TAPE DRYING”

Por

Ana Caroline Cichella Frabetti

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

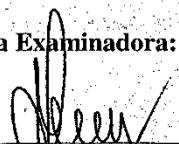


Prof. Dr. João Borges Laurindo
Orientador



Prof. Dr. Bruno Augusto Mattar Carciofi
Coordenador

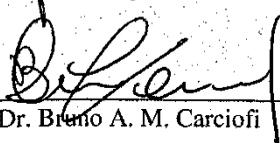
Banca Examinadora:



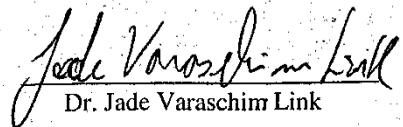
Prof. Dr. João Borges Laurindo



Prof. Dr. Giustino Tribuzi



Prof. Dr. Bruno A. M. Carciofi



Dr. Jade Varaschim Link

Florianópolis, 31 de março de 2017.

Este trabalho é dedicado
aos meus amados pais.

AGRADECIMENTOS

A meus pais, Tânia e Junior, pelo apoio incondicional e incessante, não medindo esforços para que eu siga um caminho de conquistas e seja feliz com as minhas escolhas.

A meu orientador professor João Borges Laurindo, por me incentivar a dar sempre meu melhor e buscar respostas para minhas dúvidas, assim como pelo conhecimento transmitido e a confiança depositada na minha capacidade de realização.

Aos membros da banca por se disponibilizarem a analisar e contribuir com esse estudo.

Ao meu irmão Gustavo pela ajuda sempre que necessário.

À minha amiga e exemplo Angelise Durigon, por ser tão prestativa e sempre colaborar com meu trabalho, desde a graduação, repassando toda a sua experiência com muito zelo e carinho.

Às minhas queridas amigas e colegas de trabalho Emanuelle Parisotto e Paula Gimenez, pelo auxílio em momentos de dúvidas, dando dicas, participando de discussões e buscando sempre os melhores resultados para meus experimentos.

Aos colegas do PROFIL, especialmente ao Jade e Leno, pela ajuda em dúvidas nos experimentos e no tratamento de dados. Aos demais, pelas conversas, momentos de alegria, descontração e conselhos dados que me enriqueceram muito. É um grande prazer trabalhar ao lado de todos.

Aos alunos de iniciação científica do laboratório, Luís e Jéssica, pela assistência e cuidado nos experimentos.

À minha amiga Camila Casagrande Paganini, pela parceria e amizade durante os anos de faculdade e de mestrado.

Às minhas melhores amigas de Cascavel, Camila Forigo e Carolina Fornari, por tantos anos de amizade sincera, essencial e verdadeira. As outras grandes amigas feitas na minha cidade natal, que me proporcionam muita felicidade e estarão sempre em meu coração.

Às amigas que fiz nesses anos morando em Florianópolis, que em suas presenças e mesmo ausências, são tão especiais e importantes na minha vida.

RESUMO

A goiaba é rica em licopeno e em compostos fenólicos com atividade antioxidante, mas seu consumo ainda é pequeno. Uma forma de agregar valor à fruta e aumentar seu aproveitamento é realizar a sua desidratação, para a produção de pó de goiaba desidratado. Este produto pode ser comercializado como matéria-prima em várias indústrias de alimentos. O processo de secagem *Cast-Tape Drying* (CTD) emprega temperaturas moderadas em tempos de processo relativamente curtos, com baixa degradação de compostos termosensíveis. Pó de goiaba foi obtido por CTD, espalhando-se polpa de 2 mm e 3 mm de espessura sobre suporte de poliéster (*Mylar*[®]) e suporte teflonado (*Teflon*[®]) e usando água de aquecimento a 98 ± 1 °C. Pó de goiaba também foi produzido por liofilização, para comparação. As evoluções temporais da umidade e da temperatura da polpa durante a secagem por CTD foram determinadas. Os pós foram caracterizados quanto à umidade, atividade de água (a_w), distribuição do tamanho de partículas, microestrutura, massas específicas aparente e real, porosidade do leito, tempo de dispersão, solubilidade, cor, compostos fenólicos totais, carotenoides totais e atividade antioxidante. A reidratação dos pós também foi estudada. Os resultados indicaram que o tipo de suporte não influenciou as taxas de secagem e a capacidade evaporativa do processo. A taxa de secagem no período de taxa constante foi 2,1 vezes maior usando espessura de polpa de 2 mm (em suporte de *Mylar*[®] ou *Teflon*[®]), quando comparada à espessura de 3 mm. A capacidade evaporativa do processo diminuiu cerca de 35%, quando a espessura da polpa passou de 2 para 3 mm. Os pós de goiaba produzidos por CTD e liofilização apresentaram estrutura e formato irregulares, baixo tempo de dispersão, de 3,05 a 9,03 segundos, e solubilidade de 13,93 a 15,99%. A degradação de carotenoides durante o processo CTD foi de 36,02 a 45,08%. A atividade antioxidante dos pós foi de 926,16 a 981,76 $\mu\text{M TE}$ por grama de extrato seco. Os pós reidratados mostraram cor próxima à da polpa de goiaba. Assim, polpa de goiaba pode ser desidratada por CTD, para a produção de goiaba em pó de excelente qualidade. O processo permite operação contínua, o que possibilita seu uso industrial em diferentes escalas.

Palavras-chave: Secagem, goiaba, pós, *cast-tape drying*, liofilização.

ABSTRACT

Guava is rich in lycopene and phenolic compounds with antioxidant activity, but its consumption is still low. One way to add value to the fruit and increase its use is to perform the dehydration, for the production of dehydrated guava powder. This product can be marketed as feedstock in various food industries. The Cast-Tape Drying (CTD) process utilize moderate temperatures in relatively short process times, with minor degradation of thermosensitive compounds. Guava powder was obtained by CTD, spreading pulp of 2 mm and 3 mm thickness on polyester support (Mylar[®]) and teflonized support (Teflon[®]) and using heating water at 98 ± 1 °C. Guava powder was also produced by freeze drying, for comparison. The temporal evolutions in moisture and pulp temperature during CTD drying were determined. The powders were characterized for moisture content, water activity (a_w), particle size distribution, microstructure, apparent and bulk densities, bed porosity, dispersion time, solubility, color, total phenolic compounds, total carotenoids and antioxidant activity. The rehydration of the powders was also studied. The results indicated that the type of support did not influenced the drying rates and the evaporative capacity of the process. The drying rate in the constant rate period was 2.1 times higher using a 2 mm pulp thickness (Mylar[®] or Teflon[®]), when compared to the 3 mm thickness. The evaporative capacity of the process decreased about 35% when the pulp thickness increased from 2 to 3 mm. Guava powders produced by CTD and freeze drying presented irregular structure and shape, low dispersion time, from 3.05 to 9.03 seconds, and solubility from 13.93 to 15.99%. The degradation of carotenoids during the CTD process was 36.02 to 45.08%. The antioxidant activity of the powders was 926.16 to 981.76 $\mu\text{M TE}$ per gram of dry extract. The rehydrated powders showed color close to that of the guava pulp. Thus, guava pulp can be dehydrated by CTD for the production of guava powder of excellent quality. The process allows continuous operation, which enables its industrial use in different scales.

Keywords: Drying, guava, powders, cast-tape drying, freeze-drying.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma das etapas de produção de polpa de fruta congelada.....	30
Figura 2 - Curva de velocidade de secagem em função do conteúdo de umidade livre.....	36
Figura 3 - Esquema do processo <i>tape-casting</i>	38
Figura 4 - Diagrama esquemático de secador <i>Refractance Window</i>	39
Figura 5 - Etapas da liofilização.....	42
Figura 6 - Diagrama de fases da água.	43
Figura 7 - Configuração de um liofilizador.....	43
Figura 8 - Aparato experimental cast-tape drying. Detalhes: (a) tanque e (b) tanque com cabine de ventilação e exaustão.	52
Figura 9 - Posições dos termopares para medida da temperatura da polpa (posições T1, T2, T3, T4, T5 e T6), do ar (T7, T8, T9, T10, T11 e T12) e da superfície inferior do suporte (posições T13, T14, T15 e T16) e posições do anemômetro para leitura da velocidade do ar (V1, V2, V3 e V4).	54
Figura 10 - Aparato experimental para análise do tempo de dispersão.	60
Figura 11 - Curvas de secagem da polpa de goiaba desidratada em CTD usando diferentes espessuras de espalhamento e suportes: (a) 2 mm e (b) 3 mm em filme de poliéster (Mylar®); (c) 2 mm e (d) 3 mm em filme teflonado (Teflon®).	67
Figura 12 - Evolução temporal da temperatura da polpa de goiaba (termopares: T1, T2, T3, T4, T5 e T6), do ar (T7, T8, T9, T10, T11 e T12) e da superfície inferior do suporte (T13, T14, T15 e T16).....	72
Figura 13 - Perfil de velocidade do ar durante os processos de secagem: (a) espessura de espalhamento de 2 mm e (b) 3 mm.	75
Figura 14 - Imagens termográficas da evolução da temperatura durante a secagem utilizando 2 mm de espessura de polpa de goiaba e filme de poliéster como suporte (Mylar®).	76
Figura 15 - Imagens termográficas da evolução da temperatura durante a secagem utilizando 3 mm de espessura de polpa de goiaba e filme de poliéster como suporte (Mylar®).	77
Figura 16 - Distribuição do tamanho da partícula dos pós de goiaba produzidos.	82
Figura 17 - Morfologia dos pós de goiaba produzidos por CTD com condições: (a) espalhamento de 2 mm e (b) 3 mm em filme de poliéster	

(Mylar®); (c) espalhamento de 2 mm e (d) 3 mm em filme teflonado (Teflon®); (e) pó obtido por liofilização.....	85
Figura 18 - Microscopia óptica dos pós de goiaba produzidos por CTD com condições: (a) espalhamento de 2 mm e (b) 3 mm em filme de poliéster (Mylar®); (c) espalhamento de 2 mm e (d) 3 mm em filme teflonado (Teflon®); (e) pó obtido por liofilização.	86
Figura 19 - Fotografias dos pós de goiaba produzidos por CTD com condições: (a) espalhamento de 2 mm e (b) 3 mm em filme de poliéster (Mylar®); (c) espalhamento de 2 mm e (d) 3 mm em filme teflonado (Teflon®); (e) pó obtido por liofilização.	97
Figura 20 - Polpas de goiaba (a) original, (b) processada; pós produzidos em CTD e reidratados, com espessuras de espalhamento de (c) 2 mm e (d) 3 mm em filme de poliéster (Mylar®); (e) 2 mm e (f) 3 mm, em filme teflonado (Teflon®); (g) pó liofilizado e reidratado.	111
Figura 21 - Microscopia óptica das polpas de goiaba (a) original, (b) processada; pós produzidos em CTD e reidratados, com espessuras de espalhamento de (c) 2 mm e (d) 3 mm em filme de poliéster (Mylar®); (e) 2 mm e (f) 3 mm, em filme teflonado (Teflon®); (g) pó liofilizado e reidratado.	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análises realizadas na polpa, no pó e na polpa reconstituída.	57
Tabela 2 - Composição centesimal da polpa de goiaba original.	65
Tabela 3 - Taxa de secagem e capacidade evaporativa da secagem de polpa de goiaba em CTD nas condições de processo investigadas.	69
Tabela 4 - Temperatura média da superfície inferior do suporte, da polpa de goiaba e do ar durante a secagem em período de taxa constante.....	73
Tabela 5 - Umidade, em base seca, e atividade de água dos pós de goiaba produzidos em CTD e por liofilização.	80
Tabela 6 - Diâmetro médio - D [4,3] - das partículas de pó utilizando as condições de processo estudadas.....	83
Tabela 7 - Massa específica aparente e real dos pós produzidos por CTD e liofilização.	89
Tabela 8 - Tempo de dispersão e solubilidade dos pós produzidos por CTD e liofilização.	91
Tabela 9 - Parâmetros de cor dos pós de goiaba produzidos por CTD e liofilização.....	94
Tabela 10 - Teor de fenólicos totais, expresso em mg de ácido gálico por 100 g de amostra seca, da polpa de goiaba original e processada, e dos pós obtidos por CTD e liofilização.....	98
Tabela 11 - Carotenoides totais, expressos em equivalente de licopeno, e perda de licopeno dos pós de goiaba produzidos por CTD e liofilização.	101
Tabela 12 - Atividade antioxidante da polpa de goiaba e dos pós obtidos pelos processos de secagem, determinada pelo método ABTS. Valores expressos em μM de Trolox equivalente por g de extrato seco.....	104
Tabela 13 - Avaliação dos parâmetros de sólidos solúveis, umidade, pH e atividade de água das polpas de goiaba e dos pós reidratados.....	107
Tabela 14 - Parâmetros de cor da escala CIELAB para a polpa de goiaba processada e para as polpas reconstituídas a partir dos pós, bem como as respectivas diferenças de cor.....	109

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

- $\frac{dx_s}{dt}$: Taxa de secagem; (kg kg⁻¹ h⁻¹ base seca)
- ΔE : Diferença de cor
- a*: Cromaticidade de a*
- A_{bs}: Absorbância
- a_w: Atividade de água
- b*: Cromaticidade de b*
- b.s.: Base seca; (g g⁻¹)
- b.u.: Base úmida; (g g⁻¹)
- CAR: Carotenoides totais
- CTD: *Cast-tape drying*
- CV: Coeficiente de Variação
- D[4,3]: Diâmetro Médio de Brouckere; (µm)
- DP: Desvio Padrão
- E_{1cm}^{1%}: Coeficiente de absorção do licopeno em éter de petróleo
- m_l: massa de sólidos secos; (g)
- FAO: Food and Agriculture Organization
- IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- L: Espessura, (m)
- L*: Luminosidade
- MAPA: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
- MEV: Microscópio Eletrônico de Varredura
- P: Pressão de vapor da água; (Pa)
- pH: Potencial hidrogeniônico
- P_o: Pressão de vapor da água pura; (Pa)
- q_{rad}: Fluxo de transferência de calor por radiação; (W m⁻²)
- RW: *Refractance Window*
- T_S: Temperatura da superfície; (K ou °C)
- T_{VIZ}: Temperatura da vizinhança; (K ou °C)
- V_d: Volume de diluição; (mL)
- X_U: Umidade em base úmida, (kg kg⁻¹)
- ε: Emissividade
- θ: Porosidade do leito de partículas
- ρ: Massa específica, (kg m⁻³)
- ρ_{real}: Massa específica real; (g cm⁻³)
- ρ_{ap}: Massa específica aparente; (g cm⁻³)
- σ_{BOL}: Constante de Stefan-Boltzmann; (5,670 x 10⁻⁸ W m⁻²)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	23
1.1.OBJETIVOS	25
1.1.1.Objetivo Geral	25
1.1.2.Objetivos Específicos.....	25
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
2.1. GOIABA (<i>Psidium guajava L.</i>).....	27
2.2. SECAGEM.....	31
2.3. MECANISMOS BÁSICOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR.....	33
2.3.1. Condução	33
2.3.2. Convecção	33
2.3.3. Radiação.....	33
2.4. CINÉTICA DE SECAGEM	34
2.5. TERMOGRAFIA	36
2.6. MÉTODOS DE SECAGEM PARA OBTENÇÃO DE PÓS..	37
2.6.1. Tape-Casting.....	37
2.6.2. Refractance Window (RW)	38
2.6.3. Liofilização.....	41
2.7. CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE ALIMENTOS EM PÓ.....	44
2.7.1. Atividade de água	45
2.7.2. Capacidade de reidratação	46
2.7.3. Massa específica	48
2.7.4. Cor	48
3. MATERIAIS E MÉTODOS	51
3.1. PREPARO DAS AMOSTRAS	51
3.2. APARATO EXPERIMENTAL.....	51
3.3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	53
3.4. CINÉTICAS DE SECAGEM DA POLPA DE GOIABA....	53
3.5. MEDIDAS DE TEMPERATURA	54
3.6. TAXA DE SECAGEM E CAPACIDADE EVAPORATIVA	55
3.7. LIOFILIZAÇÃO	55
3.8. MOAGEM E CLASSIFICAÇÃO	55
3.9. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	56
3.9.1. Composição Centesimal da polpa de goiaba	57
3.9.2. Umidade e Atividade de Água.....	58
3.9.3. Cor	58
3.9.4. Microscopia Óptica	58

3.10.	CARACTERIZAÇÃO DA POLPA E POLPAS RECONSTITUÍDAS	59
3.10.1.	Sólidos Solúveis	59
3.10.2.	Potencial Hidrogeniônico (pH)	59
3.11.	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO PÓ	59
3.11.1.	Solubilidade Aparente	59
3.11.2.	Tempo de dispersão	59
3.11.3.	Massa Específica e Porosidade do Leito de Partículas.....	60
3.11.4.	Distribuição de Tamanho das Partículas	61
3.11.5.	Morfologia dos Pós.....	61
3.12.	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO PÓ	62
3.12.1.	Preparação dos Extratos	62
3.12.2.	Compostos Fenólicos Totais	62
3.12.3.	Carotenoides Totais	63
3.12.4.	Determinação da Atividade Antioxidante.....	64
3.13.	ANÁLISE ESTATÍSTICA	64
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	65
4.1.	CARACTERIZAÇÃO DA POLPA DE GOIABA	65
4.2.	CURVAS DE SECAGEM, TAXAS DE SECAGEM E CAPACIDADES EVAPORATIVAS	66
4.3.	EVOLUÇÃO TEMPORAL DA TEMPERATURA DA POLPA DE GOIABA, DA SUPERFÍCIE INFERIOR DOS SUPORTES E DO AR E VELOCIDADE DO AR DE SECAGEM	71
4.4.	CARACTERIZAÇÃO DOS PÓS	79
4.5.1.	Umidade e Atividade de Água.....	79
4.5.2.	Distribuição do Tamanho de Partículas.....	81
4.5.3.	Microestrutura	84
4.5.4.	Massa Específica e Porosidade.....	88
4.5.5.	Tempo de Dispersão e Solubilidade Aparente.....	90
4.5.6.	Cor.....	93
4.5.7.	Compostos Fenólicos Totais	98
4.5.8.	Carotenoides Totais	101
4.5.9.	Atividade Antioxidante.....	104
4.5.	CARACTERIZAÇÃO DOS PÓS REIDRATADOS	106
4.6.1.	Cor.....	108
4.5.7.	Microscopia Óptica	112
5.	CONCLUSÕES.....	115
6.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	117
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119
	APÊNDICE A.....	137

DIAGRAMA CONCEITUAL DO ESTUDO

O que?

Estudo da secagem de polpa de goiaba sobre suporte flexível, para a produção de goiaba desidratada em pó.

Por quê?

A goiaba é uma excelente fonte de vitamina C, licopeno, beta-caroteno, minerais e fibras. Apesar da grande produção brasileira (359.349 toneladas em 2014), a industrialização dessa fruta ainda é pequena. Pode-se desenvolver produtos para uso industrial (“Business to Business” – B to B) e para o consumidor final (“Business to Customer” – B to C).

Literatura sobre o assunto?

Obtenção de goiaba em pó por secagem em camada de espuma, estudo nutricional de goiabas submetidas aos processos de desidratação osmótica e secagem por convecção, avaliação físico-química e comportamento higroscópico de goiaba em pó obtida por *spray-dryer* e por liofilização; Avaliação da secagem de goiaba em leito fixo.

Hipóteses

- Pode-se produzir goiaba em pó por *cast-tape drying*, com tempo de secagem relativamente curto e sem a adição de agentes carreadores, obtendo-se um produto com baixa umidade e atividade de água;
- Os produtos desidratados por essa técnica têm estabilidade físico-

Respostas avaliadas

Tempo, taxas de secagem e capacidade evaporativa do processo e características dos pós produzidos por CTD e liofilização.

1. INTRODUÇÃO

A goiaba é uma fruta nativa da América tropical e, atualmente, pode ser encontrada em todas as regiões do Brasil. Sua produção em escala industrial no país teve início na década de 70, quando grandes áreas tecnificadas foram implantadas, com produção direcionada para os mercados nacional e internacional, na forma *in natura*, industrializada (doces e sucos) e desidratada (SEMANA INTERNACIONAL DA FRUTICULTURA, FLORICULTURA E AGROINDÚSTRIA - FRUTAL, 2007).

A produção de frutas é comprometida pelas características de sazonalidade e alta perecibilidade desses produtos, que acarretam grandes perdas aos produtores. A média de perdas por amadurecimento precoce, por tratamento pré/pós-colheita e, devido à conservação, muitas vezes, inadequada está entre 30 e 40%, o que representava algo ao redor de 2,8 bilhões de dólares anuais (AMORIM, 2004).

Com a mudança no mercado consumidor, nas demandas e no surgimento de novos produtos, tornou-se necessário que os produtores desenvolvam produtos com benefícios nutricionais e para a saúde. Neste contexto, a goiaba tem excelente valor digestivo e nutritivo, sabor agradável, alta palatabilidade e disponibilidade em abundância por preço moderado. A goiaba pode ser consumida fresca ou pode ser processada na forma de sucos, polpas, geléias, fatias em calda, barra de frutas ou produtos desidratados, assim como pode ser usada como um aditivo para outros sucos de frutas ou polpas. Devido à sua vida útil limitada, é imprescindível utilizar a goiaba para fazer produtos diferentes e aumentar a sua disponibilidade ao longo de um período prolongado, bem como estabilizar o preço durante o período de baixa colheita e aproveitar o excedente da produção. Portanto, faz-se necessária a busca de alternativas de processamento destinadas a esse objetivo, e uma das possibilidades é o emprego da secagem (KADAM; KAUSHIK; KUMAR, 2012; QUEIROZ et al., 2007).

A secagem é usada pela indústria de alimentos para promover estabilidade microbiológica, reduzir reações químicas deteriorantes, facilitar estocagem e minimizar custos com transporte. Além disso, permite obter novos produtos com valor agregado, como os pós. Os pós obtidos por secagem de sucos de frutas concentradas ou polpas podem representar um produto interessante, pois podem ser utilizados como ingrediente, facilmente manipulado e usado na formulação de alimentos.

Desta forma os alimentos desidratados têm despertado interesse das indústrias, restaurantes e mercados (CABRAL et al., 2007).

Os pós de frutas tropicais têm despertado interesse dos consumidores, bem como das indústrias, devido à sua cor natural, sabor e valor nutricional. Os pós de frutas podem ser usados diretamente na fabricação de bebidas ou como ingredientes secundários em alimentos infantis, doces, iogurtes de frutas, em confeitaria e sopas (CRUZ, 2013).

Os métodos de desidratação frequentemente utilizados na indústria alimentícia para a produção de alimentos em pó incluem a secagem por tambor rotativo (*drum drying*), *spray drying*, microondas, secagem por camada de espuma (*foam-mat*), leite fluidizado e liofilização (NINDO; TANG, 2007; MARQUES, 2008). Porém, novas tecnologias de secagem estão emergindo para promover algumas vantagens significativas em termos de consumo de energia, qualidade do produto, segurança, impacto ambiental, custo de desidratação e produtividade (NINDO; TANG, 2007).

A liofilização consiste na redução da atividade de água dos alimentos pelo processo de separação por sublimação. O vapor de água é removido dos alimentos congelados com aumento gradativo da temperatura sob vácuo, até se obter um produto estável seco. A água congelada do alimento muda de fase (de sólido para vapor) sem alterar as paredes celulares do alimento. A maior vantagem desse processo está ligada às alterações mínimas nos alimentos quanto aos aspectos nutricionais e sensoriais (MARQUES; COSTA, 2015).

A técnica de secagem por *Refractance Window* (RW) é adequada para o processamento de produtos líquidos e semi-líquidos, a fim de obter pós, flocos e filmes desses produtos (PAVAN; SCHMIDT; FENG, 2012). A secagem por RW se apresenta como uma boa alternativa para a aplicação em polpas e purês de frutas e vegetais, uma vez que a matéria-prima atinge temperaturas moderadas (na faixa entre 70-75 °C), e apresenta curtos tempos de secagem (escala de minutos), além de reduzido valor de operação, de forma a permitir a obtenção de produtos com valores mais acessíveis (SOUZA, 2015).

Apesar do RW ser considerado um processo que utiliza os três mecanismos de transferência de calor (condução, convecção e radiação) para a secagem, Ortiz-Jerez e Ochoa-Martínez (2015) mostraram que o mecanismo primariamente envolvido é a condução, nomeando a técnica como “*Conductive Hydro-drying*”. Zotarelli, Carciofi e Laurindo (2015) comprovaram que a importância da radiação na transferência de calor é negligenciável, sendo menor do que 5% do fornecimento de energia total ao alimento durante o processo de secagem. Assim, o RW deve ser considerado uma secagem condutiva semelhante ao processo de *tape-*

casting, que consiste em uma secagem por espalhamento sobre chapa aquecida, podendo então ser denominado de *Cast-Tape Drying* (CTD).

1.1.OBJETIVOS

1.1.1.Objetivo Geral

O objetivo central deste estudo foi a obtenção de goiaba desidratada em pó por *Cast-Tape Drying*, investigando a influência do tipo de suporte e da espessura de espalhamento na cinética de secagem e nas características do produto final.

1.1.2.Objetivos Específicos

- Determinar a variação temporal da umidade e a taxa de secagem da polpa de goiaba em CTD, com espessuras de espalhamento de 2 mm e 3 mm, e utilizando filmes de *Mylar*[®] e de *Teflon*[®] como suporte;
- Avaliar a evolução temporal da temperatura da polpa por meio de termopares e termografia de infravermelho durante a secagem por CTD;
- Produzir goiaba em pó pela moagem de produtos secos por CTD e por liofilização;
- Caracterizar físico-quimicamente o pó de goiaba produzido por CTD e por liofilização.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. GOIABA (*Psidium guajava* L.)

A goiabeira é nativa de regiões tropicais e subtropicais das Américas e pertence ao gênero *Psidium*, da família Myrtaceae, que é composta por mais de 70 gêneros e 2.800 espécies (ABREU, 2010). Vários cultivares têm sido selecionados para o cultivo comercial de goiaba. Entre eles destacam-se Paluma, Ogawa, Kamagai, cultivares de casca lisa e Pedro Sato e Sassaoka de casca rugosa. Para a industrialização, existe a preferência pela goiaba de polpa vermelha, ficando as de polpa branca destinadas exclusivamente para o consumo de mesa (SOUZA, [20--]).

Os frutos da goiabeira são amplamente consumidos no Brasil, e a *Psidium guajava* L. é cultivada em grande parte do território nacional, apresentando excelentes condições para exploração comercial, além de ser muito apreciada, devido às suas características organolépticas e nutricionais (SPILLER, 2012).

De acordo com a *Food and Agriculture Organization* (FAO), das Nações Unidas, em 2014 a produção mundial de manga, mangostão e goiaba foi de 45.225.211 toneladas e os grandes produtores foram a Índia, com 18.431.330 toneladas e a China, com 4.674.951 toneladas. O Brasil ocupava a sétima colocação, logo atrás do Paquistão, com 1.132.463 toneladas (FAOSTAT, 2014). O volume brasileiro de produção de goiaba em 2014, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), foi de 359.349 toneladas, em uma área colhida de 15.831 hectares e concentrada principalmente nas regiões sudeste e nordeste do país. Esta produção, estimada em R\$ 358,96 milhões de reais, está centralizada nos estados de São Paulo, Pernambuco, Bahia e Ceará, que juntos respondem por aproximadamente 80% do volume produzido no país (IBGE, 2014). Cerca de 56% da goiaba colhida destinou-se às indústrias e 44% ao mercado “*in natura*”; a exportação é da ordem de 700 toneladas de produtos derivados da fruta (MENDONÇA et al., 2007).

Em condições de sequeiro, a safra brasileira de goiabas ocorre entre os meses de janeiro e abril, com maior concentração em fevereiro, época em que o produto alcança os menores preços no mercado e a oferta varia tanto em volume quanto em qualidade, em consequência do regime de chuvas que ocorre antes e durante o período da safra (SERVIÇO

BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS, 2014).

A goiaba apresenta intenso metabolismo pós-colheita, o que a torna perecível, com capacidade de conservação de apenas três dias, quando mantida em ambiente a 25-30°C. Os fatores que aceleram o amadurecimento são: rápida perda da coloração verde da casca, tornando-a amarela; o amolecimento, ocasionado pela perda da água, causando o murchamento e a aparência do brilho no fruto, tornando um amarelo brilhoso. As perdas de pós-colheita estão estritamente ligadas às doenças de pós-colheita, colheita em estágio de maturação precoce ou avançada e danos no manejo, sejam manuais ou mecânicos (GUERRA; MENDONÇA; MENDONÇA, 2008).

O Brasil é o maior produtor mundial de goiabas vermelhas, produzidas para a indústria (variedades “Paluma”, “Rica”, entre outras) e para o consumo *in natura* (variedades “Sassaoka” e “Pedro Sato”, entre outras). A goiabeira é de suma importância para o Nordeste brasileiro, como uma atividade econômica e social de grande expressão, garantindo renda para muitas famílias e empresas (OLIVEIRA et al., 2012).

A goiaba tem sido considerada uma “super fruta”, devido à sua importância nutricional considerável em termos de vitaminas A e C, além das importantes quantidades de ômega 3, ômega 6, ácidos graxos poli-insaturados, riboflavina, proteínas e sais minerais presentes em suas sementes. O elevado teor de vitamina C (ácido ascórbico) na goiaba, de mais de 100 mg em 100 g de fruta, torna-a potente na luta contra os radicais livres e a oxidação, que causam muitas doenças degenerativas (KADAM; KAUSHIK; KUMAR, 2012). Além disso, contém carotenóides e polifenóis, às quais pertencem as principais classes de pigmentos antioxidantes. Como esses pigmentos produzem a cor nas frutas, goiabas vermelhas ou laranjas possuem maior concentração de antioxidantes do que as verdes-amereladas (NIMISHA et al., 2013).

Segundo Lima et al. (2011), a composição da goiaba vermelha, com casca e crua, em 100 gramas de parte comestível, é de 85% de umidade, 54 kcal, 1,1 g de proteína, 0,4 g de lipídeos, 13 g de carboidratos, 6,2 g de fibra alimentar, 0,5 g de cinzas, 4 mg de cálcio e 7 mg de magnésio.

A goiaba tem vida útil que pode chegar de 3 até 5 dias sob temperatura ambiente. A firmeza dos frutos verdes e maduros é devida principalmente aos polímeros de pectina, que podem estar metilados e com graus variados de metilação e também ligados a íons, principalmente Ca^{++} , que mantêm cadeias adjacentes unidas entre si. A perda de firmeza durante o armazenamento é provocada pela atividade de enzimas

hidrolíticas (esterases), principalmente poligalacturonases, celulases e pectinases, que promovem intensa solubilização das pectinas constituintes da parede celular (SPILLER, 2012).

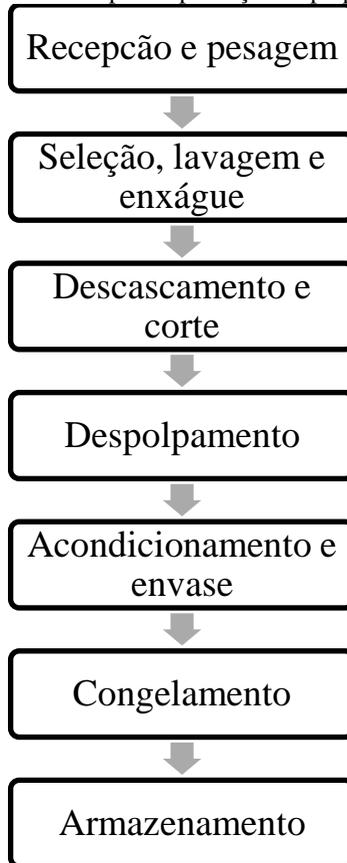
Uma das principais dificuldades enfrentadas pelos produtores da goiaba em relação à baixa produção e comercialização do produto no exterior é a carência de tecnologia adequada, durante o manuseio, transporte e estocagem para a sua conservação e transformação, mantendo estes produtos com boa qualidade e aparência (RODRIGUES et al., 2002).

Apesar da elevada produção, o comércio brasileiro de goiabas é limitado pela má condição física dos frutos, provenientes de uma pós-colheita inadequada e da falta de estrutura na comercialização. A goiaba é um fruto tropical climatérico, com altas taxas de respiração e vida útil curta após a colheita, atingindo a senescência rapidamente. Após atingir essa fase, a fruta perde seus atributos de qualidade (físicos, sensoriais e nutricionais), e o período de transporte e armazenamento torna-se limitado (MOURA NETO et al., 2008). A perda da qualidade da fruta se deve à descoloração da sua casca, ao amolecimento, à incidência de podridões, murchamento e perda de brilho (MOURA NETO et al., 2008).

A indústria de polpas de frutas se tornou um dos maiores agronegócios do mundo. O Brasil é o principal exportador de sucos de frutas concentrados, porém técnicas alternativas de processamento e preservação devem ser exploradas, principalmente no domínio de frutas tropicais (CABRAL et al., 2007).

Polpa de fruta é o produto não-fermentado, não-concentrado e não-diluído, com teor mínimo de sólidos totais definido, provenientes da parte comestível da fruta, obtido de frutas polposas, por processo tecnológico adequado (MATTA et al., 2005). A Figura 1 apresenta as etapas do processo de produção de polpa de fruta congelada.

Figura 1 - Fluxograma das etapas de produção de polpa de fruta congelada.



Fonte: MATTA et al., 2005.

As goiabas devem ser colhidas no estágio de maturação de coloração verde-mate, considerado o ponto ideal para comercialização e consumo. Para a manutenção das qualidades físicas, químicas e biológicas, o transporte das frutas para a área de processamento deve ser feito logo após a colheita, ou nas horas mais frescas do dia. Na etapa de recepção, as goiabas devem ser mantidas em ambiente com temperatura aproximada de 22 °C, durante 2 dias, para permitir a evolução da coloração interna e amaciar a superfície, facilitando, assim, o descasque. Durante o período entre a recepção e o processamento, as frutas devem ser mantidas em local frio ou bem ventilado. As goiabas devem ser lavadas com água corrente e detergente neutro para retirar as sujeiras da

superfície e sanitizadas por 5 minutos, imergindo-as em solução sanitizante. Em seguida ocorre o descasque e corte, e as frutas são levadas ao despolpamento em despolpadeiras mecânicas. No caso da goiaba, é necessária a repetição do processo utilizando-se uma peneira mais fina, para refinar a polpa, conferindo ao produto melhores características. A polpa extraída é acondicionada em sacos plásticos, congelada e armazenada entre -18°C e -22°C , em câmaras frigoríficas (BASTOS, 2006; MATTA et al., 2005).

A goiaba tem sido indicada para a prevenção de diferentes tipos de câncer, pois possui propriedade antioxidante, o que permite combater a ação dos radicais livres. Devido a isso, para a obtenção de goiaba em pó, é necessário obter-se um método de desidratação que mantenha sua função antioxidante, além de seus componentes nutricionais, e também facilite seu aproveitamento para demais utilizações bem como sua conservação por maior período de tempo (SCREMIN, 2007).

2.2. SECAGEM

A secagem é uma operação unitária em que o principal objetivo é a retirada da água de um material, em um determinado tempo (AGUILERA; CHIRALT; FITO, 2003). A secagem ou desidratação é provavelmente o método mais antigo e mais utilizado para preservação de alimentos. É uma tecnologia versátil e difundida na indústria alimentícia, bem como tema de interesse contínuo em pesquisas nessa área (RATTI, 2008).

Basicamente, a secagem é um processo em que a água é transferida a partir de um alimento para um gás ou para uma mistura de gases (normalmente ar). O gás é, em seguida, descartado para a atmosfera ou pode ser recirculado. Após tempo suficiente para que o equilíbrio entre o gás e o alimento aconteça, deve ocorrer uma redução efetiva na atividade de água (TROLLER; CHRISTIAN, 1978).

A remoção de água de alimentos sólidos é uma forma de conservação, de inibir o crescimento de microrganismos, além de evitar uma grande parte das reações bioquímicas que ocorrem na presença de umidade. É também um meio de reduzir os custos de energia, que são relevantes no transporte, embalagem e armazenamento de alimentos com alto conteúdo de água (PARK; BIN; BROD, 2002).

A secagem de alimentos é um fenômeno complexo, envolvendo transporte de massa e energia. O calor transferido do meio secante ao

sólido úmido pode ser por convecção, condução ou radiação e, em alguns casos, uma combinação dos três mecanismos de transferência de calor. A transferência de massa depende do transporte da umidade no interior do sólido e, também, da transferência do vapor de água da superfície do produto para o meio externo (RATTI, 2008).

A água contida na superfície do produto é removida e substituída pela água que se encontra no interior através da transferência de umidade interna, um termo utilizado para descrever uma série de processos, tais como difusão, convecção, fluxo capilar, deformação física dos alimentos (encolhimento), entre outros. A pressão de vapor aumenta com a temperatura, resultado do fornecimento contínuo de calor. Assim, a transferência de calor para o material sendo secado mantém a força-motriz para a secagem, ou seja, a diferença de pressão de vapor entre a superfície de evaporação e a atmosfera de secagem (TROLLER; CHRISTIAN, 1978).

Os métodos e processos de secagem são classificados de maneiras diferentes; se dividem em processos em batelada, quando o material é introduzido no equipamento de secagem e o processo é efetuado durante um período; ou contínuos, se o material é adicionado continuamente no equipamento de secagem e o produto seco é obtido em regime contínuo (GEANKOPLIS, 1998).

Os processos de secagem também são classificados de acordo com as condições físicas utilizadas para adicionar calor e remover vapor de água: (1) na primeira categoria, o calor é adicionado por contato direto com ar quente à pressão atmosférica, e o vapor de água formado é removido através do mesmo ar; (2) secagem a vácuo, onde a evaporação da água ocorre mais rapidamente à baixas pressões, e o calor é cedido indiretamente por contato com uma superfície metálica ou por radiação; (3) liofilização, em que a água sublima diretamente a partir do material congelado e (4) micro-ondas, através do aquecimento de moléculas de água pela transformação da energia da onda eletromagnética em energia térmica (GEANKOPLIS, 1998).

O processamento térmico pode desnaturar proteínas e alterar a interação de proteínas com lipídios, água, e com outros compostos. A inativação das enzimas é essencial para a produção de alimentos com vida útil longa. Além disso, estruturas de membrana, como os cloroplastos, são irreversivelmente alteradas pelo calor, tornando os componentes (por exemplo, clorofila, lipídios e proteínas) mais disponíveis para participar nas reações. A destruição do ambiente nativo que rodeia os pigmentos também resulta em alterações de cor (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2008).

A secagem de tecidos vegetais provoca um aumento na concentração de solutos, bem como sua migração e, dependendo do processo de secagem utilizado, pode expor o tecido a altas temperaturas e ao oxigênio. Todas essas mudanças favorecem taxas elevadas de reações químicas. Além disso, a migração e a concentração de solutos podem ter um efeito profundo sobre as macromoléculas e alterar muito o comportamento de reidratação de produtos desidratados (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2008).

2.3. MECANISMOS BÁSICOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

2.3.1. Condução

A condução ocorre por meio da transferência de energia cinética entre moléculas adjacentes. Em um gás as moléculas “mais quentes”, que tem mais energia e movimento, são responsáveis pela transmissão de energia para as moléculas vizinhas, que estão em níveis mais baixos de energia. Este tipo de transferência está sempre presente, em maior ou menor grau, em sólidos, líquidos e gases em que existe um gradiente de temperatura (GEANKOPLIS, 1998).

2.3.2. Convecção

A transferência de calor por convecção envolve o transporte de calor em um volume e a mistura macroscópica de porções quentes e frias de um gás ou líquido. Também inclui a transferência de energia entre uma superfície sólida e um fluido. A transferência de calor por convecção forçada, em que se provoca o fluxo de um fluido sobre uma superfície sólida por meio de bomba, ventilador ou outro dispositivo mecânico, difere da convecção livre ou natural, na qual o fluido mais quente ou mais frio que está em contato com a superfície sólida provoca uma circulação, devido à diferença de densidades que resulta do gradiente de temperaturas no fluido (GEANKOPLIS, 1998).

2.3.3. Radiação

A radiação difere da condução e da convecção, uma vez que não é necessário um meio físico para a transferência de calor. Radiação é a

transferência de energia através do espaço por meio de ondas eletromagnéticas, de forma semelhante às ondas eletromagnéticas que propagam e transferem a luz. A transferência de calor radiante é regida pelas mesmas leis que ditam o comportamento da transferência de luz. Os sólidos e líquidos tendem a absorver a radiação que incide sobre eles, aumentando suas energias internas (GEANKOPLIS, 1998).

2.4. CINÉTICA DE SECAGEM

A cinética de secagem, ou seja, a rapidez com que o alimento perde umidade, depende das variáveis de processo (temperatura, umidade relativa e velocidade do ar de secagem), dos mecanismos de transferência de calor e dos fenômenos de transporte de massa. As características da matriz do alimento influenciam muito a cinética de secagem, por sua influência sobre as propriedades de transporte dos materiais, sendo parte essencial do modelo matemático real de qualquer operação de desidratação, que busca uma estimativa adequada do tempo de secagem envolvido (CELESTINO, 2010; KROKIDA e PHILIPPOPOULOS, 2006).

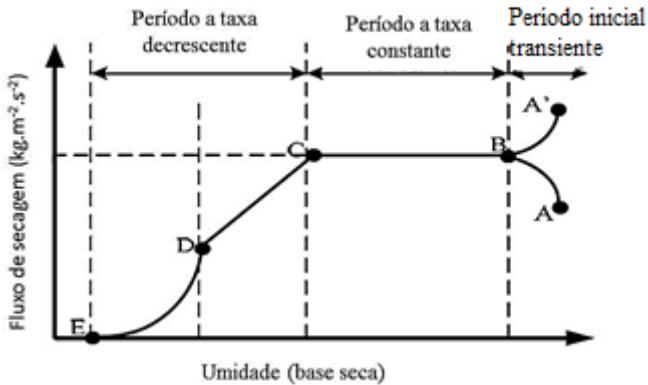
A cinética de secagem é investigada por meio de estudos experimentais. A medição da umidade do material como uma função do tempo e sob condições de secagem constantes, constitui a chamada curva de secagem (KROKIDA; PHILIPPOPOULOS, 2006).

A maioria dos processos de secagem ocorrem em dois períodos distintos. O primeiro período é o de taxa constante, quando a remoção de umidade ocorre em um ritmo permanente, porque a umidade interna do produto é transportada para a superfície na mesma taxa em que ocorre a evaporação. A quantificação da secagem nesse período é feita pela avaliação da energia recebida pelo material que está sendo seco. Esta energia é igual à energia necessária para a vaporização da água removida durante a secagem. No segundo período, de taxa decrescente, o comportamento do material durante a secagem é devido ao predomínio de resistência interna. Pode ocorrer em várias taxas diferentes, conforme a variação da umidade do produto e as mudanças sofridas por sua estrutura. O teor de umidade em que ocorre a transição do período de secagem à taxa constante para o período à taxa decrescente é denominado "Teor de umidade crítico", sendo uma característica única de cada processo, para um determinado produto. Em outras palavras, o teor de umidade crítico não é um valor universal para um dado produto, pois as condições de

processo influenciam muito o seu valor (COHEN; YANG, 1995; PARK; BIN; BROD, 2002).

A Figura 2 representa uma curva típica de velocidade de secagem. A partir do tempo zero, o conteúdo inicial de umidade corresponde ao ponto A. Em princípio, o sólido normalmente se encontra a uma temperatura inferior à que terá ao final da secagem, por isso o período inicial é caracterizado pela adaptação da temperatura do produto com o ambiente de secagem. Ao chegar no ponto B, a temperatura da superfície alcança um valor de equilíbrio. Por outro lado, se o sólido estiver quente ao iniciar-se a operação, a velocidade de secagem pode começar em um ponto A'. Esse período inicial de ajuste, em estado não-estacionário, em geral é bastante curto e costuma ser negligenciado na análise dos tempos de secagem. O período de taxa constante de secagem corresponde à linha BC da Figura 2. Durante este período, o sólido está com uma umidade tal que um filme de água existe sobre toda a superfície de secagem e esta água atua como se o sólido não estivesse presente. A velocidade de secagem nessa situação é totalmente controlada pelas condições externas. Aumentos na temperatura do ar ou em sua velocidade conduzem a um correspondente aumento na velocidade de secagem. A temperatura do sólido aproxima-se da temperatura de bulbo úmido do ar de secagem se não houver troca de calor por radiação ou condução por contato direto. O valor de umidade que marca o final do período de taxa constante é denominado "umidade crítica". No ponto C, a taxa de secagem começa a diminuir, no período de taxa decrescente, até chegar ao ponto D. Nesse primeiro período de velocidade decrescente, a velocidade corresponde à linha CD, que é normalmente linear, porém o formato da curva depende do tipo de material e a velocidade de secagem é controlada pelas condições internas do sólido. A partir do ponto D, a velocidade de secagem diminui mais rapidamente, até que se atinja o ponto E (GEANKOPLIS, 1998).

Figura 2 - Curva de velocidade de secagem em função do conteúdo de umidade livre.



Fonte: Adaptado de GEANKOPLIS, 1998.

2.5. TERMOGRAFIA

Termografia é uma técnica de processamento de imagem que transforma radiação térmica, gravada por uma câmera, em uma imagem termográfica ou termograma. O termograma é uma representação da distribuição específica de temperatura na superfície de um objeto. A termografia é uma técnica de medida muito rápida, o que permite a medição de campos de temperatura em objetos em movimento. É também uma ferramenta sem contato com o objeto e não destrutiva, evitando contaminação ou injúria mecânica no material de estudo durante a medição (VERAVERBEKE et al., 2006; JONES, 1998).

A termografia quantifica as mudanças na temperatura da superfície em alta resolução temporal e espacial, quando comparada com medições em pontos únicos, como é o caso de métodos de contato (por exemplo, termopares e termômetros). As imagens térmicas por infravermelho podem ser usadas para medir ou controlar a qualidade de frutas (GOWEN et al., 2010; VERAVERBEKE et al., 2006).

O princípio básico da imagem térmica baseia-se no fato de que todos os materiais emitem radiação infravermelha. A intensidade da radiação emitida por um objeto é dependente da temperatura e da emissividade. Quanto maior a temperatura do corpo, maior é a intensidade da radiação infravermelha emitida pelo objeto. Emissividade é definida como a razão entre a energia emitida pelo objeto e a emitida por um corpo

negro à mesma temperatura, podendo variar de 0 (corpo branco perfeito) a 1 (corpo negro perfeito). Em câmeras de infravermelho a energia emitida a partir de um objeto é convertida em um sinal elétrico através de detectores de infravermelho na câmera e exibida como uma imagem térmica colorida ou monocromática (GONÇALVES, 2014).

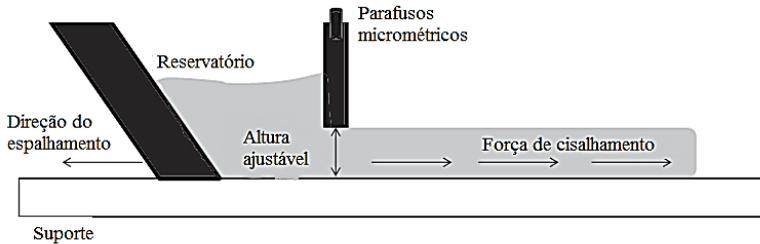
A crescente demanda por objetividade, consistência e eficiência dentro da indústria de alimentos faz com que haja a necessidade da introdução de técnicas de processamento de imagem, baseadas em computador, como é o caso da termografia (GOWEN et al., 2010).

2.6. MÉTODOS DE SECAGEM PARA OBTENÇÃO DE PÓS

2.6.1. *Tape-Casting*

No processo de *Tape -Casting*, representado na Figura 3, uma suspensão é colocada em um reservatório com uma lâmina niveladora, chamada de *doctor-blade*, cuja altura pode ser ajustada com parafusos micrométricos. A suspensão é moldada como uma camada fina sobre um suporte (fita polimérica) aquecido através de um banho de água, e o seu espalhamento ocorre em decorrência do movimento do suporte (processo contínuo) ou do movimento da lâmina (processo descontínuo). A velocidade de espalhamento utilizada depende das características da suspensão e da configuração da lâmina niveladora, como altura do espalhador e volume do reservatório. O método de *tape -casting* é um processo promissor para o aumento de escala na produção de filmes biodegradáveis, pois pode aproveitar o que já foi desenvolvido para as indústrias cerâmicas e de papel (MORAES et al., 2013).

Figura 3 - Esquema do processo *tape-casting*.



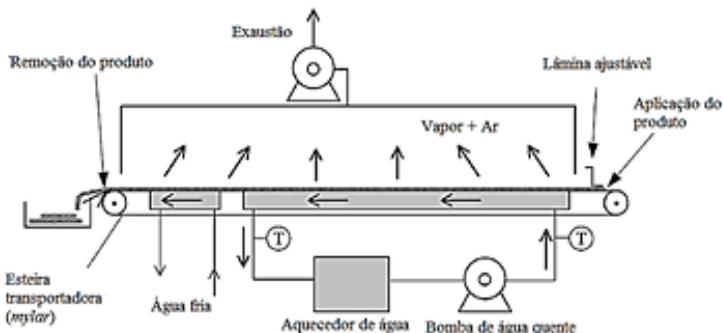
Fonte: Adaptado de MORAES et al., 2013.

2.6.2. *Refractance Window (RW)*

O *refractance window* é uma tecnologia de secagem patenteada por Magoon (1986) e foi desenvolvida por MCD Technologies, Inc. (Tacoma, WA). Nesse processo o material a ser seco é espalhado sobre uma esteira de poliéster semitransparente à radiação infravermelha, cuja face inferior está em contato direto com água aquecida. Desta maneira, o calor necessário para o processo de secagem é fornecido para o produto (na forma de solução ou suspensão) pela água quente, através dos mecanismos de condução e radiação. Essa técnica tem a característica de manter a temperatura do alimento próxima a 70 °C, permitindo que baixas umidades sejam atingidas em tempos de secagem curtos (3-5 minutos para polpas de frutas de espessura de aproximadamente 1 mm), em comparação com o processo de liofilização (ABONYI et al., 2002; NINDO; TANG, 2007; OCHOA-MARTÍNEZ, et al. 2012).

Para a secagem de uma quantidade semelhante de produto, o custo do equipamento RW é estimado em cerca de um terço do custo de um liofilizador, e o consumo de energia do RW é menor do que a metade do consumo de um liofilizador. O sistema de secagem RW utiliza água circulante a 95-97 °C como um meio de transferir energia térmica ao material a ser desidratado. Produtos pastosos são espalhados em uma esteira transportadora feita de plástico *Mylar*[®] transparente, que se move acima de água circulante em um reservatório – conforme esquema representado na Figura 5 - e a energia térmica não utilizada é reciclada. Ao final da esteira, água fria circula para facilitar o desprendimento do material seco por raspagem (BAEGHBALI; NIAKOUSARI; FARAHNAKY, 2016; CELLI et al., 2016).

Figura 4 - Diagrama esquemático de secador *Refractance Window*.



Fonte: Adaptado de BAEGHBALI; NIAKOUSARI; FARAHNAKY, 2016.

Na secagem por RW os três modos de transferência de calor, condução, convecção e radiação, estão envolvidos. A transferência de calor ocorre por convecção entre a água quente e o Mylar[®] e entre a superfície superior da polpa e o ar que circula acima dela, condução através do Mylar[®] e da polpa e radiação proveniente da água quente (NINDO; TANG, 2007).

Quando não há nenhum produto no sistema ou o produto está “seco”, o valor da diferença entre o índice de refração da água e do ar é tão alto que a energia radiativa incidente na interface água-plástico é quase totalmente refletida. Quando um produto a ser seco, tipicamente um purê contendo uma quantidade significativa de água (aproximadamente 90%), é espalhado no Mylar[®], a diferença entre o índice de refração da água e do produto é reduzida e os índices se tornam mais próximos, reduzindo a reflexão na interface e aumentando a transmissão da energia radiativa para o alimento. A “janela de refractância” refere-se à possibilidade de passagem da radiação térmica pelo suporte plástico, quando o mesmo está em contato com um material úmido, correspondendo ao estado de janela aberta. Conforme o produto é secado, o índice de refração aumenta e a radiação térmica é refletida, interrompendo a secagem (ORTIZ-JEREZ et al., 2015).

Abonyi et al. (2002) relataram grande retenção da qualidade do produto (cor, vitaminas e antioxidantes), quando compararam a secagem em RW a outros métodos convencionais, em experimentos com purês de morango e cenoura. Por exemplo, a quantidade de beta-caroteno em purê de cenoura foi reduzida em apenas 9,9 % quando utilizada a técnica

refractance window, enquanto 57 % do beta-caroteno foi perdido quando seco em um secador de tambor (*drum drying*).

O método RW mostrou-se eficiente na retenção da cor e vitaminas em diversos estudos e as características dos produtos desidratados puderam ser comparadas às de produtos produzidos por liofilização, método de secagem amplamente conhecido por sua capacidade de retenção da qualidade nutricional. Esse resultado é motivador para o estudo dessa técnica de desidratação, pois a secagem em RW é mais rápida e tem maior eficiência energética que a liofilização, além da menor necessidade de investimento (NINDO; TANG, 2007; CELLI et al., 2016).

Zotarelli, Carciofi e Laurindo (2015), em estudo sobre a influência das variáveis de processo sobre a velocidade de secagem de polpa de manga por RW, avaliaram a importância relativa da radiação sobre a taxa de secagem. Através da lei de Stefan-Boltzmann, apresentada na Equação 1, calculou-se o fluxo de calor líquido máximo vindo da água aquecida e que atinge a polpa por radiação. A emissividade foi considerada igual à do corpo negro ($\epsilon = 1$) e os valores de temperatura da água e da polpa foram utilizados.

$$q_{\text{rad}} = \epsilon \sigma_{\text{BOL}} (T_{\text{W}}^4 - T_{\text{P}}^4) \quad (1)$$

onde q_{rad} representa o fluxo de calor radiativo, ϵ é a emissividade do meio, σ_{BOL} é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$), T_{W} é a temperatura da água e T_{P} é a temperatura da polpa.

O fluxo de evaporação foi determinado através dos dados experimentais das curvas de secagem e obteve-se um fluxo de calor de aproximadamente $6,7 \text{ kW m}^{-2}$. A comparação entre o fluxo de calor por radiação, de 208 W m^{-2} , e o estimado através do fluxo de evaporação, mostra que apenas aproximadamente 3% do calor total fornecido à polpa durante a secagem no período de taxa constante é devido à radiação emitida pela água quente. Este resultado foi obtido considerando que toda a radiação emitida pela água é transmitida através do *Mylar*[®] e atinge a polpa, embora apenas uma fração da radiação térmica, não superior a 50%, atinge a polpa de fruta.

Ortiz-Jerez e Ochoa-Martínez (2015) e Ortiz-Jerez et al. (2015) encontraram resultados semelhantes em estudo sobre secagem de pedaços de abóbora usando o RW, concluindo que a condução é o principal modo de transferência de calor para o material, enquanto que a radiação térmica contribui com apenas 1% do calor total transferido.

Através dessas constatações, fica claro que o processo de secagem por *refractance window* consiste em um método de *tape-casting* que utiliza água aquecida como meio de aquecimento. Desta forma, o método de secagem por RW será denominado de *cast-tape drying* (CTD) neste documento (DURIGON, 2016; SOUZA, 2015).

2.6.3. Liofilização

A liofilização (também conhecida como *freeze drying*) é um processo de secagem em que o alimento é primeiro congelado e, em seguida, seco por sublimação direta do gelo (isto é, ocorre mudança de fase do estado sólido para vapor) sob pressão reduzida. O produto recebe calor por condução, se o contato com a prateleira aquecida é adequado, e também por radiação vinda das prateleiras superiores e arredores. A convecção não é relevante sob vácuo (BARBOSA-CÁNOVAS; VEGA-MERCADO, 1996).

A liofilização é um dos métodos utilizados nas indústrias de processamento de alimentos e é indicado para a secagem de produtos de alto valor agregado e sensíveis ao calor. A principal vantagem da liofilização é a preservação da maioria das propriedades da matéria-prima, como forma, aparência e atividade biológica, além de prevenir o encolhimento indesejado e produzir materiais com alta porosidade, perda nutricional reduzida, retenção de aroma, sabor e cor, bem como alimentos com melhores propriedades de reidratação (OIKONOMOPOULOU et al., 2011; GHIO; BARRESI; ROVERO, 2000). As condições operacionais utilizadas nesse método de secagem não propiciam desnaturação protéica, perda de compostos voláteis (sabor e aroma) e vitaminas termosensíveis, assim como dificultam a proliferação de microorganismos. Além disso, o encolhimento é mínimo, não ocorre formação de camadas duras e impermeáveis e não há migração de sólidos solúveis para a superfície durante a secagem (MARQUES, 2008).

O uso da liofilização em indústrias de alimentos é empregado na secagem de cafés, chás, frutas, ingredientes para alimentos prontos para comer (vegetais, macarrão, carne, peixe, etc.) e ervas aromáticas (GHIO; BARRESI; ROVERO, 2000).

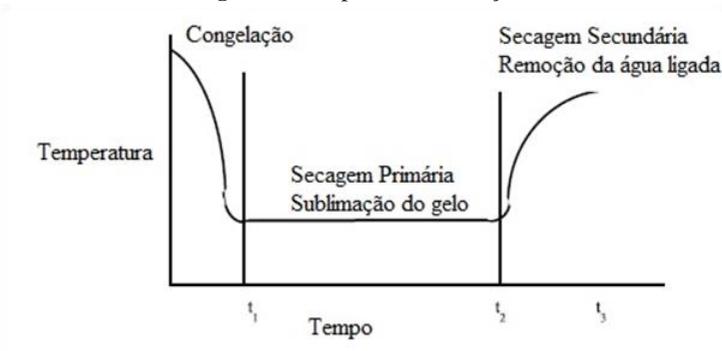
A técnica de liofilização envolve três estágios principais, representados na Figura 5:

- Congelamento: reduz rapidamente a temperatura do produto abaixo da sua temperatura de congelamento, para maximizar a quantidade de gelo. Deve ser muito rápido, para obter um produto com cristais pequenos e em um estado amorfo;

- Secagem primária: etapa onde é promovida a sublimação do gelo à temperatura abaixo de zero e sob pressão reduzida (abaixo do ponto triplo);

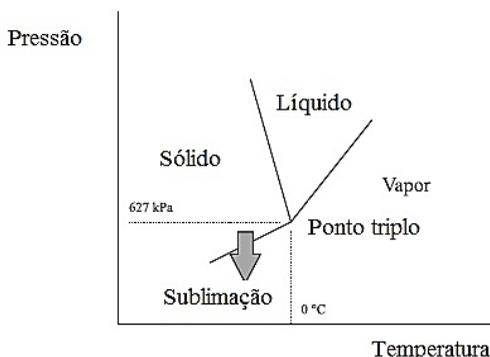
- Secagem secundária: remoção de água ligada não congelada, por meio de evaporação a temperatura acima de 0° C (VEGA-MERCADO; GÓNGORA-NIETO; BARBOSA-CÁNOVAS, 2001; PAVAN, 2010).

Figura 5 - Etapas da liofilização.

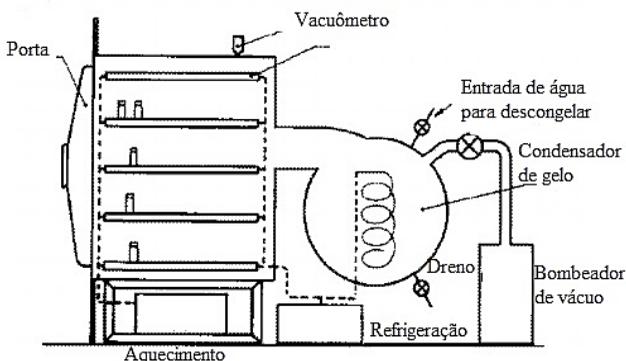


Fonte: Adaptado de VEGA-MERCADO; GÓNGORA-NIETO; BARBOSA-CÁNOVAS, 2001.

A Figura 6 representa o diagrama de fases da água, evidenciando a sublimação. A Figura 7 mostra a configuração de um liofilizador.

Figura 6 - Diagrama de fases da água.

Fonte: Adaptado de VEGA-MERCADO; GÓNGORA-NIETO; BARBOSA-CÁNOVAS, 2001.

Figura 7 - Configuração de um liofilizador.

Fonte: Adaptado de PAVAN, 2010.

O vapor de água, retirado da câmara com o produto por uma bomba de vácuo, é dirigido a um condensador, onde é retido congelado. É importante assegurar que a temperatura do produto seja inferior à sua temperatura de transição vítrea, para evitar o colapso. A sublimação começa na superfície do produto e, em seguida, move-se em direção ao seu interior. Durante o processo, a camada seca age como um material de isolamento e a taxa de secagem desacelera conforme a frente de desidratação avança (camada seca aumenta) (PAVAN, 2010).

As desvantagens do processo de liofilização são o longo período de secagem e, conseqüentemente, alto consumo de energia e o alto custo do equipamento (HAMMAMI; RENÉ, 1997).

A secagem de alimentos em liofilizador tem duas principais características:

1. Ausência de ar durante o processamento: a temperatura baixa e a ausência de ar previnem a deterioração devido à oxidação ou modificações químicas no produto;

2. Secagem a temperaturas muito mais baixas do que a temperatura ambiente: produtos que se decompõem ou sofrem alterações na estrutura, textura, aparência e/ou sabor como consequência da alta temperatura podem ser secos a vácuo com mínimos danos (TERRONI et al., 2013).

2.7. CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE ALIMENTOS EM PÓ

A maioria dos alimentos contém compostos que são degradados durante o processamento térmico, como ocorre em processos de concentração por evaporação, pasteurização, esterilização, secagem, entre outros. As variações nutricionais variam com o tipo de produto, o processo e o grau de controle utilizado. Essas mudanças são dependentes do tempo e temperatura e, assim, tempos de residência curtos e temperaturas amenas têm sido utilizadas para produzir alimentos de qualidade superior. Análises de cor, sabor, aroma, teor de vitaminas, acidez e teor de ácidos solúveis são frequentemente usadas para medir a qualidade de sucos de frutas e purês (NINDO, POWERS; TANG, 2007).

Os alimentos em pó apresentam diferentes propriedades físicas (tamanho e distribuição das partículas, densidade aparente e densidade das partículas, porosidade, solubilidade, molhabilidade, dispersibilidade, entre outras), sendo que a medida e a caracterização destas propriedades ajudam a definir o produto, os parâmetros do processo de produção e os fenômenos que influenciam no seu comportamento (VISSOTTO et al., 2006).

As propriedades físicas do material em pó, utilizadas para facilitar a reconstituição, incluem a porosidade da partícula, tamanho e distribuição, densidade aparente e real, dispersabilidade e umidade (LEÓN-MARTÍNEZ; MÉNDEZ-LAGUNAS; RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, 2010). A aparência física e mudança de cor total (ΔE) são importantes propriedades físicas de frutas desidratadas. É importante

avaliar visualmente a fruta desidratada, porque o primeiro julgamento feito pelo consumidor sobre a qualidade dos alimentos é pela aparência física e cor (CHONG et al., 2013).

2.7.1. Atividade de água

A água presente nos alimentos pode apresentar-se na forma de moléculas livres ou ligadas ao substrato. A atividade de água (a_w) é um dos fatores intrínsecos dos alimentos e é uma medida qualitativa que possibilita avaliar a disponibilidade de água livre que é suscetível a diversas reações, ao passo que o teor de umidade é uma medida meramente quantitativa, medindo o percentual em massa de toda água presente no alimento, tanto livre quanto ligada (SCOTT, 1957).

A razão entre a pressão parcial de água na amostra (P) ou pressão de vapor da solução (soluto + solvente), sobre a pressão de vapor da água pura (solvente), em temperatura e pressão constantes, é chamada de atividade de água (a_w), conforme a Equação 2 (TROLLER; CHRISTIAN, 1978):

$$a_w = \left[\frac{P}{P_o} \right]_{P,T} \quad (2)$$

onde a_w é a atividade de água, P é a pressão de vapor da água no alimento e P_o é a pressão de vapor na água pura.

A atividade de água está relacionada com o conteúdo de umidade do alimento, à temperatura constante, por meio de isotermas de sorção (TROLLER; CHRISTIAN, 1978).

A atividade de água é um índice de grande importância para alimentos desidratados, devido à sua influência sobre a vida útil do produto. Alta atividade de água indica mais água livre disponível para as reações bioquímicas e, conseqüentemente, vida útil mais curta. Geralmente, alimentos com a_w menor que 0,6 são considerados microbiologicamente estáveis e a ocorrência de deteriorações é induzida por reações químicas ao invés da ação de microrganismos (QUEK; CHOK; SWEDLUND, 2007).

Na faixa de atividade de água de 0,2 a 0,3 a umidade da monocamada representa a região ótima de conteúdo de umidade, em que os alimentos desidratados têm uma vida útil máxima. No intervalo de atividade de água de 0,35 a 0,45 as mudanças de estado físico começam,

como a perda de crocância, aderência de pós e doces duros, seguido pela recristalização de açúcares no estado amorfo, causando aglomeração irreversível (BARBOSA-CÁNOVAS et al., 2007).

2.7.2. Capacidade de reidratação

Alimentos preparados na forma de pó precisam ser dissolvidos para o consumo. A dissolução é uma referência de qualidade particularmente importante para fabricantes e consumidores. Assim, interações da água em produtos desidratados pulverizados e sua dissolução são fatores importantes no desenvolvimento de alimentos e formulações (BHANDARI, 2013; FANG; SELOMULYA; CHEN, 2007).

A reconstituição ou dissolução de alimentos em pó em geral consiste de três etapas ou fases: molhamento ou afundamento das partículas de pó, dispersão e dissolução, para a formação de uma solução. Essas fases conduzem às quatro propriedades de reconstituição de alimentos em pó; nomeadamente, molhabilidade, imersão, dispersabilidade e solubilidade (FANG; SELOMULYA; CHEN, 2007).

- **Molhabilidade:** habilidade das partículas de pó de superar a tensão superficial entre si e a água; capacidade necessária para certa quantidade de pó penetrar a superfície parada da água. Em outras palavras, é a capacidade de um pó adsorver água sobre a superfície e ficar “molhado”. Em geral, a molhabilidade de pós depende da atividade de superfície de suas partículas, da área e carga de superfície, tamanho das partículas, densidade, porosidade e presença de substâncias absorvedoras de umidade (BHANDARI, 2013; FANG; SELOMULYA; CHEN, 2007).

- **Imersão:** após o pó ter sido molhado, a fase gasosa que rodeia cada partícula é gradualmente substituída pela fase aquosa à medida que as partículas começam a afundar. Nesse estágio, o pó é capaz de iniciar o processo de solubilização. Simplificadamente, a imersão é definida como a queda das partículas de pó abaixo da superfície de uma fase aquosa ou líquida. Essa propriedade de pós é influenciada por forças que tendem a submergir uma partícula sobre a superfície e depende da densidade das partículas, da massa das partículas e da quantidade de ar ocluso. Maior densidade da partícula e menor quantidade de ar ocluso fazem com que a partícula imirja (BHANDARI, 2013; FANG; SELOMULYA; CHEN, 2007).

- **Dispersibilidade:** uma vez que os aglomerados de partículas estão molhados e imersos, eles começam a se dispersar uniformemente como

partículas individuais, enquanto os aglomerados deixam de existir. É a capacidade dos agregados de partículas de pó de se tornarem uniformemente dispersos, quando em contato com água. A dispersibilidade aumenta com o tamanho da partícula e diminui com a porcentagem de partículas finas (abaixo de 90 μm). Partículas porosas e/ou partículas de alta densidade em geral apresentam uma boa dispersibilidade (GOALARD et al., 2006; PISECKÝ, 2012; SELOMULYA; CHEN, 2007; VOJDANI, 1996).

- Solubilidade: na maioria dos casos, o pó alimentar deve ser capaz de fornecer boa solubilidade para ser útil e funcional. É o passo final da dissolução do pó e é considerada como o determinante-chave da qualidade da reconstituição. Geralmente a solubilidade é favorecida pela presença de pequenas moléculas hidrofílicas na superfície. O índice de solubilidade indica o volume de sedimento após a reidratação em água (BHANDARI, 2013; LILLFORD; FRYER, 1998; MORR et al., 1985; THOMAS et al., 2004).

Propriedades de reidratação instantânea são desejáveis para permitir pós com molhabilidade e dispersibilidade rápidas, sem formação de aglomerados ou sedimentos. A solubilidade instantânea de um pó é diretamente ligada à sua microestrutura (CANO-CHAUCA et al., 2005; HLA; HOGEKAMP, 1999).

Na reidratação o produto seco entra em contato com a água ou vapor com objetivo de retomar as propriedades de um produto fresco. Inicialmente, o alimento absorve água rapidamente. Em seguida, essa taxa decresce até que todos os poros sejam preenchidos, quando então o produto atinge o equilíbrio e uma porcentagem de sua umidade quando fresco (LEE; FARID; NGUANG, 2006).

A reidratação depende do grau de rompimento celular e estrutural. A reidratação ideal deve ser a mais rápida possível, de modo a manter as características estruturais e químicas adequadas. Isto possibilita obter uma melhor qualidade dos produtos reconstituídos, preservando características como aroma, textura e qualidade nutricional (GARCÍA-SEGOVIA; ANDRÉS-BELLO; MARTÍNEZ-MONZÓ, 2011).

As propriedades instantâneas tais como tempo de dispersão e solubilidade são influenciadas pela natureza dos alimentos, por exemplo, teor de sólidos, viscosidade e temperatura da água de reconstituição. A solubilidade do pó está associada com a sua umidade e com as condições operacionais dos secadores, aumentando com a diminuição no teor de umidade. Os sólidos amorfos possuem elevada solubilidade e alta

velocidade de dissolução, em comparação com o estado cristalino. Por isso, considera-se que um maior nível de material amorfo propicia uma elevação da solubilidade do pó na água (GOULA; ADAMOPOULOS, 2008).

2.7.3. Massa específica

As massas específicas de pós são apresentadas de duas maneiras, como massa específica aparente (*bulk density*) e massa específica real (*real density*).

- Massa específica aparente: calculada pela razão entre a massa de amostra em uma proveta graduada pelo volume total que ela ocupa. Essa medida depende da massa específica da partícula e do ar ocluso e intersticial. É uma propriedade muito importante, do ponto de vista dos requerimentos de custos e de mercado.

- Massa específica real: calculada pela razão entre uma dada massa de partículas e o volume real que ela ocupa, sendo influenciada principalmente pela quantidade de ar aprisionado no interior das partículas. Os picnômetros de gás são comumente utilizados para medir a massa específica de partículas. Este método utiliza um gás (ar, nitrogênio ou hélio) para medir o volume de uma dada massa de partículas, medindo o volume de gás deslocado por elas (SCHUCK, 2013).

2.7.4. Cor

A cor dos alimentos é considerada um dos mais importantes atributos de qualidade. É um fator de aceitação para o consumo, antes mesmo do *flavor* e da textura. Muitos protocolos de controle de qualidade usam a cor como parâmetro para medir o grau de qualidade em frutas e alimentos em geral (CHONG et al., 2013).

A mudança de cor após a desidratação se deve muito às grandes quantidades de açúcares redutores, como glicose, sacarose, frutose e carboidratos. Estes açúcares redutores podem sofrer reação de *Maillard*, através da intervenção de compostos “amino” durante a secagem. Além disso, reações enzimáticas alteram a cor do fruto desidratado para marrom ou cor mais escura, devido à oxidação (CHONG et al., 2013).

Os flavonoides são compostos amplamente difundidos nas plantas pois quase todos os tecidos vegetais são capazes de sintetizá-los. Há também uma grande variedade de tipos - pelo menos 2.000 flavonoides que ocorrem naturalmente. Flavonoides estão presentes em frutas

comestíveis, legumes, raízes, tubérculos, bulbos, ervas, especiarias, chá, café e vinho tinto (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2008).

A cor atraente da maioria das frutas e seus sucos derivados é devido a um pigmento da classe dos flavonoides chamado antocianina. As frutas, principalmente as que apresentam coloração vermelha/azul, são as mais importantes fontes de compostos fenólicos em dietas alimentares e dentre esses compostos, destacam-se as antocianinas. As antocianinas são pigmentos solúveis em água e amplamente presentes no reino vegetal. A preservação desse pigmento em sucos e purês é importante devido à contribuição de antioxidantes que promovem a saúde humana (NINDO, POWERS e TANG, 2006; SILVA et al., 2010).

Os carotenoides são pigmentos naturais responsáveis pelas cores amarela, laranja e vermelha de muitos alimentos de origem vegetal e alguns de origem animal. São encontrados em frutas, vegetais, flores, peixes, invertebrados e pássaros (PINTO, 2006). Dentre os carotenoides, o β -caroteno e o licopeno constituem uma classe de fitoquímicos importantes, pois o β -caroteno desempenha papel de pró-vitamina A, evitando doenças como a xeroftalmia (não-produção de lágrimas e dificuldade para enxergar), enquanto que o licopeno ajuda na prevenção de alguns tipos de câncer (PINTO, 2006). Entretanto, os carotenoides se degradam facilmente. Sua estabilidade depende de uma série de fatores, como temperatura, disponibilidade de oxigênio, transmissão de luz através do material de embalagem, atividade de água, entre outros. Por seu alto teor de insaturação, os carotenoides são muito suscetíveis à isomerização e à oxidação, que resultam em perda de cor e da atividade de pró-vitamina A (FENNEMA, 2008).

Entre as várias formas de alimentos processados, os produtos desidratados são mais propensos à degradação de carotenoides durante a estocagem, em decorrência do aumento da área superficial. A liofilização é considerada uma técnica apropriada para preservar amostras estocadas para análise de carotenoides, no entanto, ocorre degradação desses pigmentos durante o processamento, pois o pó apresenta mais porosidade, aumentando a exposição dos carotenoides ao oxigênio durante a estocagem ((RODRIGUEZ-AMAYA, 2001). Segundo Lavelli, Zanoni e Zaniboni (2007), na faixa de a_w de 0,34 a 0,54, os carotenoides apresentam máxima estabilidade.

A vitamina C é o ácido ascórbico na sua forma reduzida e o ácido dehidroascórbico na forma oxidada. Ambos têm atividade oxidante, sendo facilmente degradados pelo calor. A goiaba é uma importante fonte

de carotenoides e apresenta alto teor de ácido ascórbico (quatro vezes mais vitamina C do que a laranja) e licopeno (dobro da quantidade presente no tomate). Concentrações de 44,8 a 60 $\mu\text{g/g}$ de licopeno e 3,0 a 5,8 $\mu\text{g/g}$ de β -caroteno são encontrados na goiaba *in natura* (PINTO, 2006).

Abonyi et al. (2002) realizaram estudos sobre cenouras e morangos. Os resultados dos ensaios mostraram que a secagem em RW produziu produtos mais semelhantes aos liofilizados em relação à cor, quando comparados aos secos em tambor e *spray dryer*. Além disso, concluíram que purês secos em RW apresentaram cores mais intensas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A secagem da polpa de goiaba e a caracterização da goiaba em pó foram realizadas no Laboratório de Propriedades Físicas de Alimentos (PROFI) do Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina.

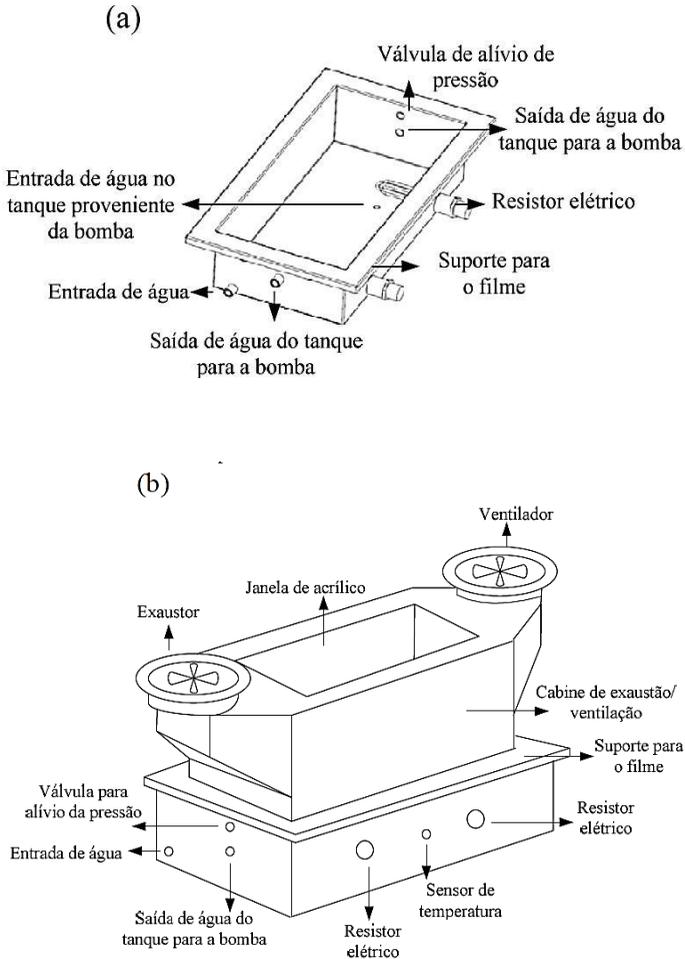
3.1. PREPARO DAS AMOSTRAS

Polpa de goiaba comercial foi adquirida em comércio local (Florianópolis, SC, Brasil). As embalagens do produto continham 100 g, conservantes INS 211 e INS 223. A polpa foi triturada em liquidificador (Arno, São Paulo, SP, Brasil) à potência mínima por um minuto e peneirada em peneira de 16 *mesh*. As amostras apresentaram concentração de sólidos solúveis (determinada em triplicata) entre 3,8 e 6,6 °Brix, avaliada através de refratômetro portátil (ATAGO, modelo PAL-BX/RI, Tóquio, Japão). A umidade inicial da polpa, em base seca, variou entre 8,19 e 12,6 g g⁻¹ e foi determinada por método gravimétrico, em estufa a vácuo (TECNAL, modelo TE-395, Piracicaba, Brasil) a 70 °C (AOAC, 2005).

3.2. APARATO EXPERIMENTAL

O dispositivo utilizado, que opera em batelada e utiliza vapor como meio de aquecimento, é representado esquematicamente na Figura 8.

Figura 8 - Aparato experimental cast-tape drying. Detalhes: (a) tanque e (b) tanque com cabine de ventilação e exaustão.



Fonte: DURIGON, 2016.

O equipamento consiste em um reservatório de aço inoxidável (0,8 m x 0,4 m x 0,20 m) com dois resistores elétricos (Figura 8.a) e parcialmente preenchido com água. Uma bomba (KOMECA, modelo TP 40 G3, Palhoça, SC, Brasil) foi utilizada para realizar a circulação de água no reservatório, favorecendo a homogeneidade de temperatura do

sistema. Dois resistores elétricos promoveram o aquecimento da água (98 ± 1 ° C) para produzir vapor, que preencheu o espaço entre a água e o suporte fixado sob o reservatório. A temperatura da água foi medida por um sensor tipo PT100 (Alutal® Controles Industrial, modelo TRS12, Votorantim, SP, Brasil). O fluxo de ar foi gerado por um ventilador e um exaustor (Qualitas Indústria Eletromecânica Ltda., modelo FAQ8, Itapira, SP, Brasil) acoplados acima das extremidades do equipamento (Figura 8.b).

Dois filmes flexíveis com espessura de 0,25 mm foram utilizados (separadamente, para comparação) como suporte para o espalhamento da polpa, um tecido de fibra de vidro com 59% de politetrafluoroetileno (Teflon®) aderido à sua superfície (Indaco, Folha Armalon® Standard, São Paulo, Brasil) e um filme de poliéster (Mylar® tipo D, DuPont, Wilmington, DE, EUA), ambos de grau alimentício. Os filmes (Mylar® e Teflon®) foram fixados na parte superior do reservatório, sendo uma de suas faces utilizada para o espalhamento enquanto a outra permanecia em contato com o vapor.

3.3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O sistema foi pré-aquecido até atingir a temperatura desejada para o processo (água quente a 98 °C). Em seguida, a polpa de goiaba foi espalhada sobre o suporte flexível (filme teflonado e filme de poliéster), usando um espalhador manual chamado de *doctor-blade* (Tape Casting Warehouse, modelo Doctor Blade Assembly, Morrisville, PA, EUA), que permite o controle micrométrico de sua abertura para a determinação da espessura do espalhamento. Nos experimentos, as espessuras utilizadas foram de 2 mm e 3 mm, de acordo com estudos realizados anteriormente por Durigon (2016), Souza (2015), Castoldi et al. (2015), entre outros.

3.4. CINÉTICAS DE SECAGEM DA POLPA DE GOIABA

Os experimentos foram realizados em triplicata com temperatura do ar de entrada ($21,0 \pm 5,0$ ° C) e umidade relativa (65 a 74,9%) medidas por um termo-higrômetro (Testo, modelo 610, Lenzkirch, Baden-Württemberg, Alemanha).

A polpa de goiaba foi retirada de três regiões diferentes, durante a secagem, a cada intervalo de tempo pré-determinado (2 minutos). O teor de umidade (X) da polpa foi determinado por método gravimétrico sob

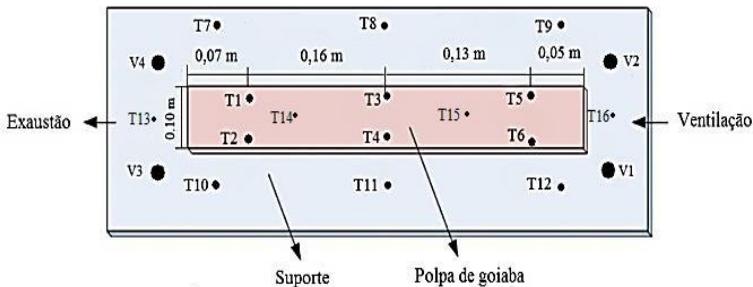
vácuo, a 70 °C (TECNAL, modelo TE-395, Piracicaba, SP, Brasil), de acordo com AOAC (2005).

3.5. MEDIDAS DE TEMPERATURA

A evolução temporal da temperatura da polpa (posições T1, T2, T3, T4, T5 e T6 na Figura 9), do ar (posições T7, T8, T9, T10, T11 e T12 na Figura 9) e do vapor que toca a face inferior do suporte (posições T13, T14, T15 e T16 na Figura 9) foram medidas a cada intervalo de 1 segundo, utilizando-se termopares de tipo T (IOPE, A-TX-TF-R-30AWG, São Paulo, SP, Brasil) acoplados a um sistema de aquisição de dados (Agilent, 34970A, Bayan Lepas, Penang, Malásia).

As velocidades do ar durante a secagem foram monitoradas por um anemômetro térmico (Testo, modelo 425, Lenzkirch, Alemanha), colocado a aproximadamente 2 cm acima do suporte e em 4 pontos diferentes da cabine de ventilação e exaustão (V1, V2, V3 e V4, como mostrado na Figura 9).

Figura 9 - Posições dos termopares para medida da temperatura da polpa (posições T1, T2, T3, T4, T5 e T6), do ar (T7, T8, T9, T10, T11 e T12) e da superfície inferior do suporte (posições T13, T14, T15 e T16) e posições do anemômetro para leitura da velocidade do ar (V1, V2, V3 e V4).



Fonte: Autor.

O campo superficial de temperaturas da polpa de goiaba também foi medido através de uma câmara termográfica (FLIR, modelo T360, Täby, Suécia), que foi colocada a aproximadamente 1,5 m acima da polpa. As imagens termográficas foram capturadas logo após o espalhamento e, em seguida, a cada 2 minutos, sendo posteriormente analisadas por meio de software específico (FLIR QuickReport 1.2 SP2, Täby, Suécia).

3.6. TAXA DE SECAGEM E CAPACIDADE EVAPORATIVA

O coeficiente angular da equação da reta ajustada aos dados experimentais relativos à porção linear de cada curva de secagem foi usado para determinação da taxa de secagem no período de secagem à taxa constante. Os experimentos foram realizados em triplicata para cada condição de secagem e a taxa representativa foi o valor médio das taxas de secagem em cada condição de processo.

A capacidade evaporativa (CE), caracterizada pela taxa de evaporação da água por unidade de área e dada em $\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-1}$, foi calculada de acordo com a Equação 3 (DURIGON et al., 2016):

$$CE = - \frac{dX_s}{dt} (1 - X_U) \rho L \quad (3)$$

em que $\frac{dX_s}{dt}$ é a taxa de secagem ($\text{kg kg}^{-1} \text{h}^{-1} \text{b.u.}$), X_U é a umidade inicial da polpa ($\text{kg kg}^{-1} \text{b.u.}$) determinada como o valor médio das triplicatas (0,895 a 0,909 $\text{kg kg}^{-1} \text{b.u.}$), ρ é a massa específica da polpa (kg m^{-3}) obtida através de picnômetro de vidro (1020,0 kg m^{-3}) e L é a espessura da polpa espalhada, em metros (2 e 3 mm).

3.7. LIOFILIZAÇÃO

A polpa de goiaba processada foi congelada a -60°C por 12 horas, sendo posteriormente desidratada em liofilizador (Liotop L101, Liobrás, São Carlos, Brasil) por 48 horas e 0,02 kPa.

3.8. MOAGEM E CLASSIFICAÇÃO

Ao final do processo de secagem, definido quando o espalhamento de polpa atingisse aproximadamente 3 % de umidade em base úmida, os flocos de goiaba resultantes do processo CTD, bem como a polpa seca em liofilizador, foram submetidos à moagem em um moinho de facas (TECNAL, TE 631/2, Brasil) por aproximadamente 40 segundos na velocidade 7 (aproximadamente 19445 rpm) e posteriormente classificados em peneiras consecutivas de 20 e 25 *mesh*.

3.9. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

As análises de caracterização foram realizadas na polpa de goiaba original, vinda diretamente do fornecedor, bem como na polpa após trituração em liquidificador e peneiramento, a qual será referida como polpa processada.

Os pós foram reidratados com água destilada até aproximadamente a concentração de sólidos solúveis da polpa original, de $3,2 \pm 0,0$ °Brix.

As análises executadas nas amostras (pós, polpas e polpas reconstituídas) estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Análises realizadas na polpa, no pó e na polpa reconstituída.

Análise	Polpa de goiaba	Pó	Polpa reconstituída
Composição Centesimal (Laboratório de Análises Físico-Químicas – UFSM)			
Umidade (AOAC, 2005)	X	X	X
Atividade de água (Higrômetro digital)	X	X	X
Cor (Colorímetro, escala CIELAB, Laboratório de Compostos Bioativos)	X	X	X
Microscopia Óptica (Microscópio invertido Olympus, LAMEB)	X	X	X
Solubilidade Aparente (Eastman e Moore, 1984)		X	
Tempo de Dispersão (Dacanal, 2005)		X	
Massa Específica e Porosidade do Leito (Barbosa-Cánovas et al., 2005; Goula e Adamopoulos, 2008; Keng, 1970)		X	
Distribuição do tamanho de partícula (Difração de laser, Laboratório de Farmacotécnica)		X	
Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) (LCME)		X	
Determinação dos fenólicos totais (Singleton, Orthofer e Lamuela-Raventos, 1999)	X	X	
Determinação de carotenóides totais (Rodríguez-Amaya, 2001)	X	X	
Determinação da atividade antioxidante (ABTS)	X	X	
Sólidos solúveis (Refractômetro portátil)	X		X
Potencial hidrogeniônico (pH) (pHmetro)	X		X

Fonte: Autor.

3.9.1. Composição Centesimal da polpa de goiaba

As análises de umidade, proteínas, lipídeos, fibras, cinzas e açúcares totais foram realizadas no Laboratório de Análises Físico-Químicas da Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil, e seguiram as metodologias do Instituto Adolfo Lutz (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

3.9.2. Umidade e Atividade de Água

As umidades da polpa de goiaba, dos pós e das polpas reconstituídas foram determinadas pelo método gravimétrico em estufa sob vácuo (TECNAL, modelo TE-395, Piracicaba, Brasil), a 70 °C (AOAC, 2005).

As atividades de água (a_w) da polpa, dos pós e das polpas reconstituídas foram determinadas através de um higrômetro digital (Aqualab, Decagon Devices, EUA). As análises foram feitas em triplicata.

3.9.3. Cor

A cor das amostras – polpa, pós e polpas reconstituídas – foi analisada no Laboratório de Compostos Bioativos da Universidade Federal de Santa Catarina através de um colorímetro (Minolta Chroma Meter CR- 400, Konica Minolta, Osaka, Japão) e determinada de acordo com a escala CIELAB através dos parâmetros de luminosidade L^* ($L^* = 0$: preto; $L^* = 100$: branco), a^* ($+a^*$ = vermelho, $-a^*$ = verde) e b^* ($+b^*$ = amarelo; $-b^*$ = azul). As medidas dos parâmetros foram feitas em triplicata e a diferença de cor (ΔE) entre as polpas reconstituídas e a polpa processada foi obtida através da Equação 4:

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad (4)$$

onde ΔE é a variação de cor dos pós reidratados em relação à polpa processada, e o subscrito “0” representa o parâmetro respectivo da cor original da polpa.

3.9.4. Microscopia Óptica

As amostras de polpa, pós reidratados e partículas de pó dispersas em glicerol foram colocadas em lâminas, cobertas com lamínulas de vidro e observadas em microscópio óptico invertido, com aumento de 40 vezes (Microscópio Invertido Olympus, modelo IX83) no Laboratório Multiusuário de Estudos em Biologia (LAMEB).

3.10. CARACTERIZAÇÃO DA POLPA E POLPAS RECONSTITUÍDAS

3.10.1. Sólidos Solúveis

O teor de sólidos solúveis da polpa e das polpas reconstituídas, medido em °Brix, foi determinado em triplicata através de refractômetro portátil (Zeiss, Jena, Alemanha). A reidratação dos pós foi realizada com adição de água destilada à temperatura ambiente, até que a concentração de sólidos solúveis fosse próxima à da polpa de goiaba original ($3,2 \pm 0,0$ °Brix).

3.10.2. Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH foi medido utilizando um pHmetro (Quimis, Modelo Q400A, Brasil), em triplicata.

3.11. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO PÓ

3.11.1. Solubilidade Aparente

O teste de solubilidade foi realizado seguindo a metodologia descrita por Cano-Chauca et al. (2005), adaptada de Eastman e Moore (1984). A amostra de pó (aproximadamente 1 g) juntamente com 100 mL de água destilada foi adicionada a um liquidificador operando à potência máxima por 5 minutos. Então, a solução foi centrifugada a $3000 \times g$ por 5 minutos e uma alíquota de 25 mL do sobrenadante foi colocada em uma placa de Petri pré-pesada, que imediatamente foi colocada em estufa a 105 °C por 5 h. A solubilidade foi calculada por diferença de massa.

3.11.2. Tempo de dispersão

O aparato experimental utilizado para o teste de dispersão está apresentado na Figura 10, tendo sido desenvolvido e adaptado por Dacanal (2005), com base no dispositivo apresentado por Hoge Kamp e Schubert (2003). O instrumento consiste de um reservatório com água e um compartimento para o acondicionamento do pó, separados por uma lâmina presa a um elástico através de um pino. Foi aferido 80 mL de água destilada a 25 °C e aproximadamente 1 g de pó, que foram devidamente

colocados no aparelho, nos espaços destinados a cada um. Para o início da análise, o pino que unia a lâmina e o elástico foi retirado, fazendo com que o elástico impulsionasse a retirada da lâmina, liberando o pó sobre a água. Nesse instante o cronômetro foi acionado e foi observado o tempo para a imersão completa da camada de partículas.

Figura 10 - Aparato experimental para análise do tempo de dispersão.



Fonte: Autor.

3.11.3. Massa Específica e Porosidade do Leito de Partículas

A massa específica aparente dos pós obtidos por *cast-tape drying* e liofilização foi determinada vertendo-se aproximadamente 5 g de pó em uma proveta graduada (10 mL), que foi repetidamente batida sobre uma superfície reta até que não houvesse mais modificação na altura do leito de partículas. Em seguida, observado o volume ocupado pela massa de pó na proveta, foi calculada a massa específica aparente (g cm^{-3}).

A massa específica real das partículas foi determinada através de um picnômetro de gás hélio (Micromeritics, AccuPyc II 1340, EUA) no Laboratório de Extração Supercrítica e Termodinâmica da Universidade Federal de Santa Catarina. Colocou-se a amostra a ser analisada em uma cápsula, de forma a ocupar $2/3$ de seu volume. Foi pesada a massa de pó adicionado (desconsiderando a massa da cápsula) e o conjunto foi posicionado dentro do equipamento. O valor da massa de pó foi informado no *software* do equipamento e 10 leituras do volume foram feitas. O princípio do analisador é o deslocamento de gás hélio para o interior da amostra, medindo-se o volume transferido. A razão entre a massa de pó e o volume de gás representa a massa específica real das partículas, expressa em g cm^{-3} .

A porosidade do leito de partículas (θ) foi calculada de acordo com a Equação 5:

$$\theta = \frac{\rho_{\text{real}} - \rho_{\text{ap.}}}{\rho_{\text{real}}} \quad (5)$$

onde θ é a porosidade do leito e ρ_{real} e $\rho_{\text{ap.}}$ são as massas específicas real e aparente das partículas, respectivamente, medidas em g cm^{-3} .

3.11.4. Distribuição de Tamanho das Partículas

A distribuição de tamanho das partículas foi determinada por difração a laser (Mastersizer, Mastersizer 2000, Malvern Instruments, Reino Unido), no Laboratório de Farmacotécnica da Universidade Federal de Santa Catarina. As amostras foram dispersas em etanol (99,5 %) e o diâmetro médio de Brouckere ($D[4,3]$), em μm , que indica o tamanho das partículas que constituem a maior parte do volume da amostra, foi determinado de acordo com a Equação 6:

$$D[4,3] = \frac{\sum_{i=1}^n n_i d_i^4}{\sum_{i=1}^n n_i d_i^3} \quad (6)$$

3.11.5. Morfologia dos Pós

As microscopias dos pós foram obtidas através de microscópio eletrônico de varredura convencional (JEOL, Modelo JSM-6390LV, E.U.A.) no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica da Universidade Federal de Santa Catarina. O recobrimento das amostras com ouro, anteriormente às análises, foi realizado utilizando um metalizador (LEICA, modelo SCD 500, Buffalo Grove, IL, EUA) e um feixe de elétrons de 10 kV. A ampliação utilizada foi de 100 vezes.

3.12. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO PÓ

A caracterização química foi realizada para estimar perdas de carotenoides totais, fenólicos e atividade antioxidante resultantes do processo de secagem da polpa de goiaba. Para as análises, foram preparados extratos a partir da polpa original, da polpa processada e das amostras de pó.

3.12.1. Preparação dos Extratos

Foi preparada uma solução extratora a base de metanol/água/ácido fórmico (50:48,5:1,5). Posteriormente, 25 mL da solução extratora foram adicionados a 0,5 g de amostra (pós e polpa). Em seguida, o material foi mantido em ultrassom (UltraSonic Clean, Maxi Clean, Modelo 1400A, Unique, Brasil) por 2 min e centrifugado (SIGMA, Modelo 4K15, Alemanha) por 5 min a 6000 rpm. O sobrenadante foi então filtrado e repetiu-se o procedimento, adicionando-se 25 mL da solução extratora, por mais duas vezes. Ao final, a solução obtida foi completada em balão volumétrico de 100 mL com água destilada. Para a polpa, realizou-se o cálculo da massa equivalente a 0,5 g de pó considerando o teor de sólidos do produto de 7 % em base úmida; sendo o extrato preparado conforme descrito anteriormente.

3.12.2. Compostos Fenólicos Totais

A concentração de compostos fenólicos foi determinada pelo método de Singleton, Orthofer e Lamuela-Raventos (1999). Inicialmente, 0,5 mL de extrato foram colocados em vidros âmbar, aos quais foram adicionados 2,5 mL de solução de reagente Folin-Ciocalteu (diluído 1:10 em água destilada). Depois de 5 min, 2 mL de solução de carbonato de sódio 7,5 % foram adicionados e as absorbâncias foram lidas em espectrofotômetro (FEMTO, Modelo 800XI, São Paulo, Brasil) no comprimento de onda de 760 nm, após período de 2 h de reação sob ausência de luz. Os resultados foram expressos em mg de ácido gálico equivalentes por 100 g de amostra seca, sendo a concentração de ácido gálico obtida a partir da equação linear da curva de calibração.

3.12.3. Carotenoides Totais

Os carotenoides totais foram analisados seguindo metodologia descrita por Rodriguez-Amaya (2001). O experimento foi realizado sob proteção da luz. Foram adicionados 50 mL de acetona previamente refrigerada à cerca de 2 g de amostra e esta solução foi filtrada três vezes, vertendo-se o filtrado novamente no filtro. A seguir, adicionou-se 40 mL de éter de petróleo ao filtrado, que foi colocado em balão de separação juntamente com 300 mL de água destilada. Após a separação, a água destilada foi descartada do balão e repetiu-se sua adição e descarte por mais duas vezes. Ao fim, a solução foi colocada em balão volumétrico de 100 mL e completada com éter de petróleo. Uma alíquota de 5 mL foi adicionada a um balão de 10 mL, que foi preenchido com éter de petróleo, promovendo uma maior diluição para diminuição dos valores das leituras de absorbância. Posteriormente, a absorbância foi medida em espectrofotômetro (FEMTO, Modelo 800XI, São Paulo, Brasil), em comprimento de onda de 472 nm, usando éter de petróleo puro como branco. Para a polpa original e processada, realizou-se o cálculo da massa equivalente a 2 g de pó considerando o teor de sólidos do produto de 7 % em base úmida, sendo o procedimento de extração de carotenoides realizado conforme já descrito. Os carotenoides totais (CAR) foram expressos como equivalente de licopeno ($\mu\text{g g}^{-1}$ b.s.), por ser este o carotenoide em maior quantidade em goiabas, constituindo 86% do conteúdo total de carotenóides (PADULA; RODRIGUEZ-AMAYA, 1986), como dado pela Equação 7:

$$\text{CAR} = \frac{V_d \times A_{bs} \times 10^4}{E_{1\text{ cm}}^{1\%} \times m_1} \quad (7)$$

em que V_d é o volume de diluição (mL), A_{bs} é a absorbância, $E_{1\text{ cm}}^{1\%}$ é a absorvidade do licopeno em éter de petróleo e m_1 é massa de sólidos secos das amostras (g).

A degradação de licopeno (%) foi calculada de acordo com a Equação 8:

$$\text{Degradação de licopeno} = 100 - \left(\frac{\text{CAR}_{\text{amostra}}}{\text{CAR}_{\text{polpa original}}} \times 100 \right) \quad (8)$$

onde $CAR_{amostra}$ são os carotenoides totais determinados para cada amostra de pó e para a polpa processada e $CAR_{polpa\ original}$ é a quantidade de carotenoides na polpa de goiaba.

3.12.4. Determinação da Atividade Antioxidante

Captura do radical livre ABTS

Uma solução estoque de ABTS 7 mM em persulfato de potássio 2,45 mM foi preparada e armazenada em local escuro e à temperatura ambiente por 12 – 16 horas, segundo descrito por Re et al. (1999). Anteriormente as análises, essa solução foi diluída em etanol até que atingisse a absorbância de $0,70 \pm 0,02$ no comprimento de onda de 734 nm. Seguidamente, adicionou-se 3 mL da solução diluída de ABTS em 30 μ L de extrato, incubando-os a 30 °C por 25 min ao abrigo da luz. O espectrofotômetro (FEMTO, Modelo 800XI, São Paulo, Brasil) foi calibrado com a solução de etanol e o cálculo da atividade antioxidante (percentagem de inibição), foi realizado a partir da Equação 9:

$$\text{Inibição (\%)} = \left(\frac{A_{bs(\text{controle})} - A_{bs(\text{amostra})}}{A_{\text{controle}}} \right) \times 100 \quad (9)$$

onde, $A_{bs(\text{controle})}$ e $A_{bs(\text{amostra})}$ são as absorbâncias do controle (sem extrato) e das amostras com extrato, respectivamente.

A partir dos valores calculados, utilizou-se a curva padrão Trolox para comparação, de forma a expressar a atividade antioxidante em μ M de Trolox equivalentes por grama de amostra seca.

3.13. ANÁLISE ESTATÍSTICA

O tratamento dos dados foi realizado através do *software* estatístico Statistica 7.0 (Statsoft Inc., Tulsa, EUA) utilizando a análise de variância simples (ANOVA). A comparação múltipla das médias foi analisada pelo uso do teste de Tukey a 10 % de probabilidade de erro ($p < 0,10$), por serem amostras alimentícias com grande variabilidade entre si.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA POLPA DE GOIABA

Na Tabela 2 encontra-se a composição centesimal da polpa de goiaba original, adquirida em comércio local. A análise foi realizada no Laboratório de Análises Físico-Químicas da Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil.

Tabela 2 - Composição centesimal da polpa de goiaba original.

Componentes	Polpa de goiaba
Umidade (g 100 g ⁻¹)	91,00 ± 0,01
Proteínas (g 100 g ⁻¹)	0,32 ± 0,01
Lipídeos (g 100 g ⁻¹)	0,07 ± 0,01
Fibras (g 100 g ⁻¹)	2,36 ± 0,04
Cinzas (g 100 g ⁻¹)	0,54 ± 0,01
Açúcares totais (g 100 g ⁻¹)	5,72 ± 0,05

Fonte: Laboratório de Análises Físico-Químicas, UFSM.

De acordo com o rótulo da polpa de goiaba utilizada no estudo, dois tipos de conservantes foram adicionados. Segundo Normativa nº 01, de 7 de janeiro de 2000 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2000), polpas de frutas podem ter adição de conservantes químicos, desde que respeitados os mesmos limites estabelecidos para sucos (máximo de 0,1%).

No entanto, o valor mínimo de sólidos solúveis (°Brix) a 20 °C determinado pelo mesmo regulamento técnico do MAPA (2000) é de 7,0 °Brix. A faixa de sólidos solúveis apresentada na polpa de goiaba vinda do fabricante, a aproximadamente 25 °C, variou entre 3,2 e 6,6 °Brix, abaixo do delimitado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Maciel (2016), em estudo sobre obtenção de pó a partir de polpa de goiaba através do método de camada de espuma, obteve valor de sólidos solúveis da polpa de 4 °Brix, também abaixo do estabelecido pelo

MAPA. Segundo a autora, isso pode ter ocorrido devido a variações nos fatores climáticos durante o cultivo, tipos de solo, espécie, maturação da fruta e/ou eventual adição de água durante o processamento da polpa.

Evangelista e Vieites (2006), avaliando a qualidade da polpa de goiaba congelada comercializada na cidade de São Paulo, observaram que os teores de sólidos solúveis de 5 marcas diferentes variaram de 5,67 a 11,27 °Brix, e duas das marcas analisadas também estavam com o valor de sólidos solúveis abaixo do mínimo exigido.

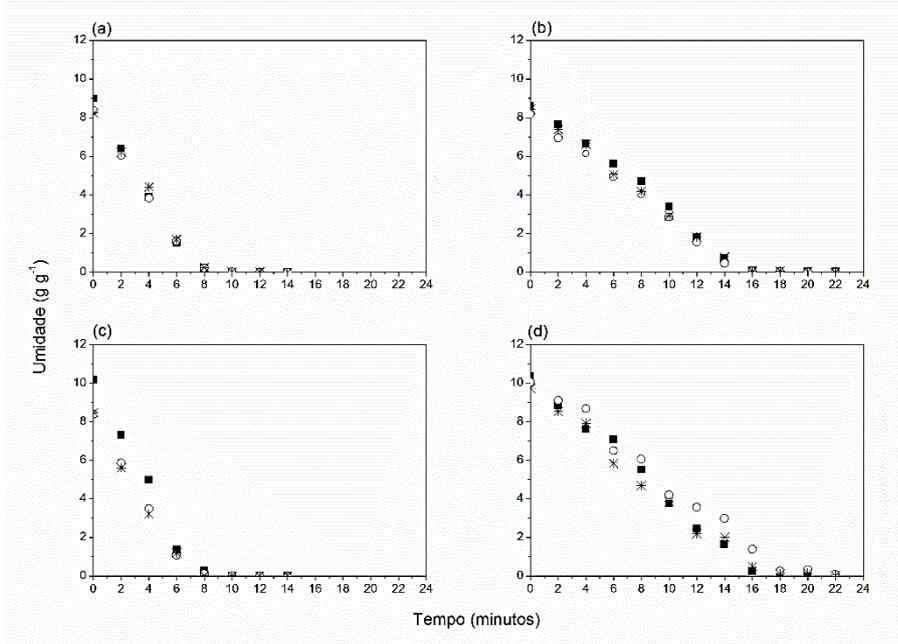
Contudo, o valor de sólidos solúveis obtido neste estudo é abaixo dos reportados por Cruz (2013), Brunini, Oliveira e Varanda (2003) e Kadam, Kaushik e Kumar (2012) em polpas de goiaba produzidas pelos próprios autores, o que evidencia que variações da matéria prima e os processamentos podem ter sido responsáveis pelas diferenças de concentração de sólidos solúveis observadas.

Silva, Carvalho e Pinto (2009), em estudo da elaboração e caracterização de fruta estruturada mista de goiaba e cajá, realizaram a caracterização físico-química da polpa de goiaba e encontraram valor de umidade de 88,59%, sólidos solúveis (°Brix) de 7,15%, açúcares totais igual a 4,13%, fibras de 2,50%, 0,39% de proteínas e 0,45% de lipídeos. Os valores encontrados estão em conformidade com os obtidos nesse trabalho, porém os teores de sólidos solúveis e lipídeos estão acima dos obtidos pelas referidas autoras.

4.2. CURVAS DE SECAGEM, TAXAS DE SECAGEM E CAPACIDADES EVAPORATIVAS

Na Figura 11 estão apresentadas as curvas de secagem (triplicatas) da polpa de goiaba por CTD. As condições de processo investigadas foram de espalhamento com 2 mm e 3 mm de espessura, usando filme teflonado (Teflon®) e filme de poliéster (Mylar®) como suporte. Cada ponto das curvas representa a média de três medidas de umidade realizadas.

Figura 11 - Curvas de secagem da polpa de goiaba desidratada em CTD usando diferentes espessuras de espalhamento e suportes: (a) 2 mm e (b) 3 mm em filme de poliéster (Mylar®); (c) 2 mm e (d) 3 mm em filme teflonado (Teflon®).



Fonte: Autor.

Os tempos de secagem da polpa de goiaba com espessura de espalhamento de 2 mm foram similares para ambos os suportes (*Mylar*[®] e Teflon), próximos de 10 minutos, considerando umidade final próxima a 0,01 g g⁻¹ (em base seca). Polpas espalhadas com espessura de 3 mm sobre ambos os suportes também apresentaram tempos de secagem semelhantes, de aproximadamente 20 minutos para que a umidade final atingisse valores próximos a 0,02 g g⁻¹. Assim, pode-se afirmar que o tipo de suporte não influenciou o processo de secagem da polpa de goiaba.

Durigon (2016) em estudo da secagem de polpa de tomate em CTD com o uso do sistema de ventilação e exaustão, utilizando espessura de espalhamento de 2 mm, observou tempos de secagem próximos a 10 minutos, tanto para filme de poliéster, como para filme teflonado como suporte. A autora também concluiu através desse resultado que o suporte usado não interferiu na secagem, corroborando os resultados do presente estudo.

Ortiz-Jerez e Ochoa-Martínez (2015) estudaram a secagem de fatias de abóbora em um processo que foi denominado de *conductive-hidro drying*, com água aquecida a 90 ± 2 °C. Foram aplicados como suportes um filme de poliéster (*Mylar*[®]) e o mesmo filme de poliéster (*Mylar*[®]), porém com uma folha de alumínio aderida a ele. Os autores reportaram que o suporte adotado não influenciou significativamente na secagem das fatias.

Os valores das taxas de secagem e das capacidades evaporativas nas diferentes condições avaliadas neste estudo estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Taxa de secagem e capacidade evaporativa da secagem de polpa de goiaba em CTD nas condições de processo investigadas.

Tipo de suporte	Espessura de polpa (mm)	Taxa de secagem Média ± DP (g g ⁻¹ min ⁻¹) CV (%)	Capacidade evaporativa Média ± DP (kg m ⁻² h ⁻¹) CV (%)
Filme de poliéster	2	1,15 ± 0,09 ^a (7,83)	14,70 ± 1,18 ^a (8,03)
	3	0,55 ± 0,01 ^b (1,64)	10,70 ± 0,20 ^b (1,87)
Filme teflonado	2	1,29 ± 0,13 ^a (10,08)	16,10 ± 1,65 ^a (10,25)
	3	0,59 ± 0,05 ^b (8,47)	9,92 ± 0,79 ^b (7,96)

a-b Médias seguidas das mesmas letras sobrescritas na coluna indicam que não há diferença estatística pelo teste de Tuckey (p<0,10).

Fonte: Autor.

Em todas as curvas de secagem houve um período visual de taxa constante, onde as umidades finais atingidas, em base seca, foram próximas a 2 g g⁻¹: 6 minutos para espessura de polpa de 2 mm em ambos os suportes (Fig.11.a, Fig.11.c), 12 minutos para espessura de espalhamento de 3 mm e *Mylar*[®] como suporte (Fig. 11.b) e 14 minutos para espessura de 3 mm e Teflon[®] como suporte (Fig.11.d).

Diversos autores observaram períodos de taxa constante durante a secagem de polpas de frutas com espessura de 2 mm e 3 mm por CTD, utilizando água quente como fonte de aquecimento. Esse comportamento pode ser explicado pelo alto teor de umidade inicial da polpa e pela fina espessura do espalhamento. Também, a quantidade de água disponível no produto é muito grande assim evapora como água livre. Nesse período, a pressão de vapor de água na superfície do produto é constante e igual à pressão de vapor de água pura (ZOTARELLI, CARCIOFI, LAURINDO, 2015; DURIGON et al., 2016; PARK et al., 2014).

Conforme observado na Tabela 3, a espessura da camada de polpa teve influência considerável nas taxas de secagem e nas capacidades evaporativas. A taxa de secagem em período de taxa constante foi 2,1 vezes maior usando uma espessura de 2 mm, tanto em *Mylar*[®] como em Teflon[®]. A capacidade evaporativa quando a espessura da polpa passou de 2 para 3 mm diminuiu cerca de 28% e 37%, utilizando *Mylar*[®] e Teflon[®], respectivamente.

Estes resultados estão de acordo com os observados por Zotarelli, Laurindo e Carciofi (2015), no estudo da secagem em CTD de polpa de manga utilizando três temperaturas de água aquecida e três espessuras de espalhamento. Os autores relataram que a taxa de secagem em período de taxa constante diminuiu pelo menos 40% quando a espessura da polpa aumentou de 2 mm para 3 mm.

Castoldi et al. (2015), na produção de pó de tomate em RW utilizando água aquecida a 95 °C, relataram que o tempo de secagem para que a umidade atingisse 0,03 g g⁻¹ (b.s.) aumentou em 30% quando a espessura de espalhamento foi mudada de 2 mm para 3 mm. Estes autores obtiveram valores de taxa de secagem de 1,20 e 0,84 g g min⁻¹, na secagem com espessuras de 2 mm e 3 mm, na devida ordem.

Ocoró-Zamora e Ayala-Aponte (2013) demonstraram a influência da espessura da camada de polpa sobre a secagem do purê de mamão (*Carica papaya* L.) com RW e água circulante a 70 °C. Foram avaliadas três espessuras de amostra (2 mm, 3 mm e 4 mm) e os resultados mostraram que quanto menor a espessura, mais rápida a secagem. Após 60 minutos, as umidades atingidas foram de 0,0652, 0,1132 e 0,2624 g água/g de sólido seco, para polpas com espessura de 2 mm, 3 mm e 4 mm, respectivamente.

A utilização do processo CTD com Mylar® e água quente abaixo do suporte proporcionou valores elevados de capacidade evaporativa em diversos estudos. Durigon et al. (2016) obtiveram um valor de capacidade evaporativa de 17,02 kg m⁻² h⁻¹ para a secagem de suco de tomate aplicando espessura de polpa de 2 mm. Zotarelli, Carciofi e Laurindo (2015) atingiram 10,75 kg m⁻² h⁻¹ na secagem por CTD de polpa de manga, utilizando também 2 mm de espessura para o espalhamento.

Segundo Abonyi, Tang e Edwards (1999), em avaliação da eficiência térmica e retenção da qualidade na secagem de purê de cenoura e polpa de morango através do sistema *Refractance Window*, a capacidade evaporativa do secador é de 6 kg m⁻² h⁻¹ (temperatura da água aquecida de 95 °C e espessura de espalhamento de 1 mm).

Nindo et al. (2003), em estudo da utilização energética do RW e redução microbiana em purê de abóbora, compararam a capacidade evaporativa de diferentes tipos de secadores. Para o teste utilizando o RW, a espessura do espalhamento de polpa foi de 0,4 a 0,6 mm e a temperatura da água circulante de 95 °C. Os valores obtidos foram de 10 kg m⁻² h⁻¹ para RW em escala piloto e 3,1 a 4,6 kg m⁻² h⁻¹ para RW em escala industrial.

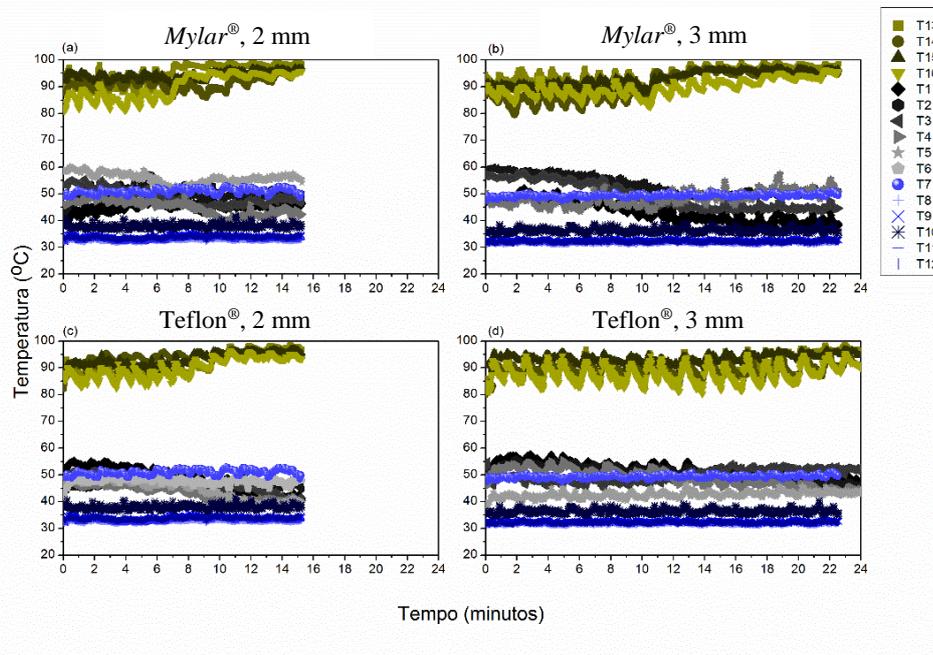
Os valores das taxas de secagem e das capacidades evaporativas empregando-se a mesma espessura de espalhamento em suportes

diferentes não apresentaram diferenças significativas, sugerindo que o tipo de suporte não influenciou na secagem. Contudo, devido à remoção mais fácil do produto seco, o filme teflonado foi o mais adequado para o processo. Durigon (2016), no estudo da secagem de polpa de tomate em CTD, concluiu da mesma forma que a substituição do filme de poliéster pelo filme teflonado, além de não modificar as taxas de secagem, ainda possui como vantagens a baixa aderência do produto, menor custo e maior disponibilidade para compra.

4.3. EVOLUÇÃO TEMPORAL DA TEMPERATURA DA POLPA DE GOIABA, DA SUPERFÍCIE INFERIOR DOS SUPORTES E DO AR E VELOCIDADE DO AR DE SECAGEM

Na Figura 12 mostram-se as evoluções temporais da temperatura da polpa de goiaba nas espessuras de espalhamento de 2 mm e 3 mm, da superfície inferior dos filmes (poliéster e teflonado) e do ar em cada processo de secagem.

Figura 12 - Evolução temporal da temperatura da polpa de goiaba (termopares: T1, T2, T3, T4, T5 e T6), do ar (T7, T8, T9, T10, T11 e T12) e da superfície inferior do suporte (T13, T14, T15 e T16).



Fonte: Autor.

Logo após o espalhamento da polpa sobre os suportes aquecidos (poliéster e teflonado), sua temperatura se eleva para ambas as condições de espessura (2 mm e 3 mm). Após esse período inicial de adaptação térmica do produto, inicia-se o período de secagem à taxa constante, em que ocorre a evaporação da água livre. Pelo fato da camada de polpa ser relativamente fina e não formar uma camada com menor permeabilidade na superfície, praticamente toda a água é removida sob este período à taxa constante e a temperatura da polpa permanece constante (DURIGON, 2016).

Na Tabela 4 apresentam-se as médias dos valores de temperatura da superfície inferior dos filmes de poliéster e teflonado, da polpa de goiaba e do ar durante a secagem (período de taxa constante).

Tabela 4 - Temperatura média da superfície inferior do suporte, da polpa de goiaba e do ar durante a secagem em período de taxa constante.

Tipo de suporte	Espessura de polpa (mm)	Temperatura média no período de taxa constante de secagem \pm DP ($^{\circ}$ C)		
		CV (%)		
		Suporte	Polpa	Ar
Filme de poliéster	2	90,40 \pm 1,33 ^a (1,47)	50,14 \pm 0,98 ^a (1,95)	36,62 \pm 0,31 ^a (0,85)
	3	89,38 \pm 1,93 ^c (2,16)	50,15 \pm 2,43 ^a (4,84)	35,47 \pm 0,35 ^b (0,99)
Filme teflonado	2	89,86 \pm 1,11 ^b (1,23)	48,21 \pm 0,78 ^c (1,62)	36,62 \pm 0,31 ^a (0,85)
	3	89,71 \pm 2,20 ^b (2,45)	49,49 \pm 1,08 ^b (2,18)	35,48 \pm 0,36 ^b (1,01)

a-c Médias seguidas das mesmas letras sobrescritas na coluna indicam que não há diferença estatística pelo teste de Tuckey ($p < 0,10$).

Fonte: Autor.

As temperaturas das superfícies inferiores dos suportes, da polpa de goiaba e do ar são próximas às observadas por Durigon (2016) na secagem de polpa de tomate em CTD com espessura de espalhamento de 2 mm e uso de ventilação e exaustão.

Os valores de temperaturas médias da polpa de goiaba durante a secagem foram inferiores aos encontrados por Souza (2015) na secagem

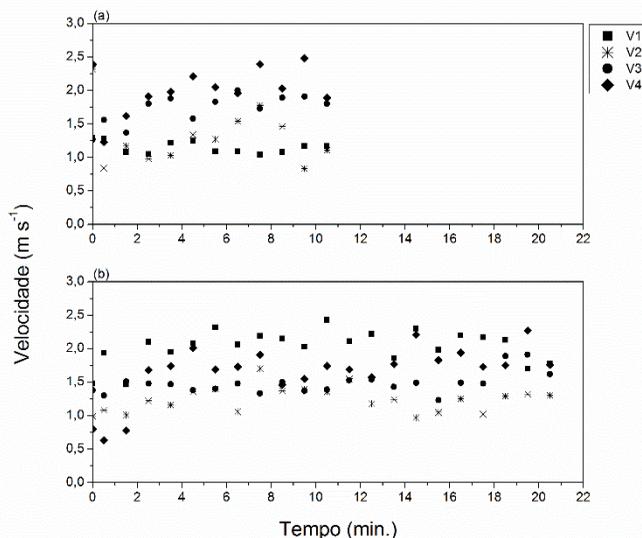
de polpa de açaí com o uso de água a 90 °C como fonte de aquecimento. Resultados da literatura sobre secagem de polpa de manga (ZOTARELLI; CARCIOFI; LAURINDO, 2015) e de tomate (CASTOLDI et al., 2015) por RW indicam que as temperaturas das polpas permanecem em aproximadamente 70 °C, quando se utiliza água a 95 °C para aquecer o sistema RW.

Outros resultados da literatura também relatam que o processo de secagem em RW usando água aquecida a 95 °C ocasiona temperaturas do produto de aproximadamente 70 °C (ABONYI; TANG; EDWARDS, 1999; NINDO; TANG, 2007). Porém, a utilização de um sistema de ventilação e exaustão acoplado ao sistema de *cast-tape drying* no presente estudo, aumentou a retirada dos vapores de água gerados pela secagem e causou resfriamento da polpa, contribuindo para uma possível preservação de características como cor, aroma e componentes nutricionais.

Durigon (2016) e Ortiz-Jerez e Ochoa-Martínez (2015) verificaram redução da temperatura dos produtos estudados (polpa de tomate e fatias de abóbora, nessa ordem) ao aplicar-se convecção forçada ao processo de secagem, em comparação aos com uso apenas de convecção natural.

Na Figura 13 mostra-se o perfil de velocidade do ar durante a secagem utilizando-se espessuras de polpa de 2 mm e 3 mm.

Figura 13 - Perfil de velocidade do ar durante os processos de secagem: (a) espessura de espalhamento de 2 mm e (b) 3 mm.



Fonte: Autor.

Observa-se que a velocidade do ar permaneceu em 1 a 2,5 m s⁻¹, faixa de valores também utilizada por Durigon (2016) na secagem de polpa de tomate com 2 mm de espessura e uso de ventilação e exaustão. Como já mencionado anteriormente, a utilização do sistema de ventilação e exaustão acomplado ao CTD permitiu o resfriamento da polpa e a retirada do vapor de água gerado pela secagem, impedindo a saturação do ar e mantendo a diferença de pressão de vapor entre a superfície da polpa e o ar de secagem.

A Figura 14 e a Figura 15 mostram a evolução temporal da temperatura da polpa através imagens termográficas realizadas durante a secagem. A emissividade (ϵ) das amostras (93 % b.u.) foi assumida como 0,96, igual à do seu componente majoritário, a água (INCROPERA et al., 2008) e a emissividade da superfície do *Mylar*[®] igual a 0,92 (DURIGON, 2016).

Figura 14 - Imagens termográficas da evolução da temperatura durante a secagem utilizando 2 mm de espessura de polpa de goiaba e filme de poliéster como suporte (*Mylar*[®]).

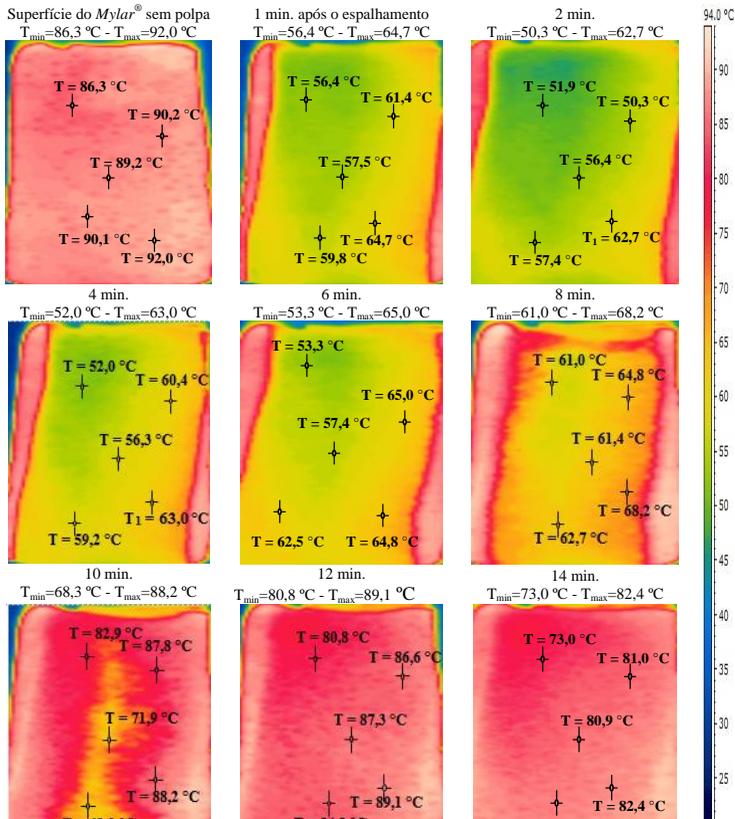
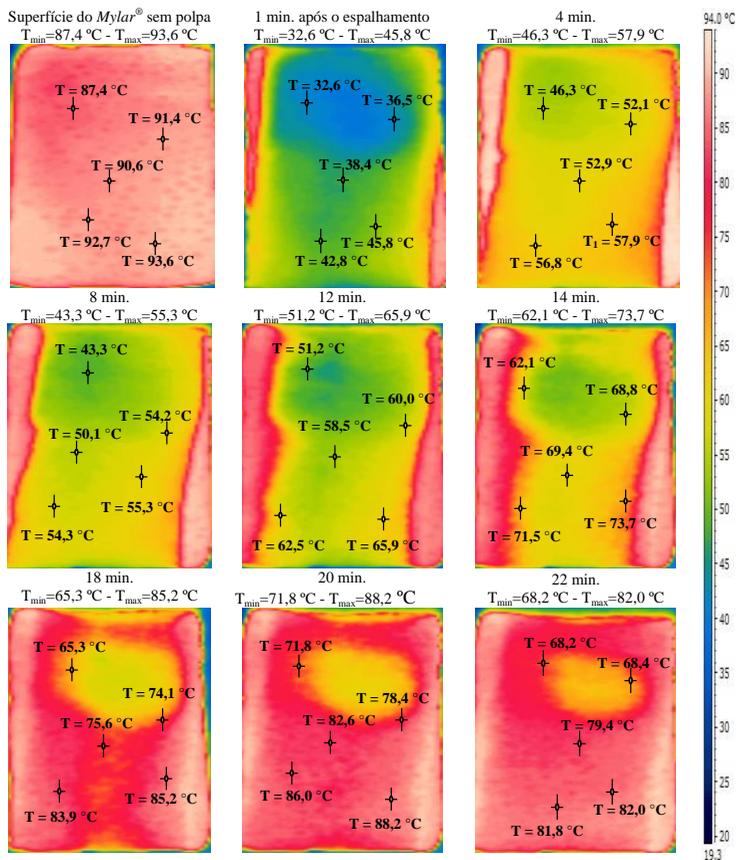


Figura 15 - Imagens termográficas da evolução da temperatura durante a secagem utilizando 3 mm de espessura de polpa de goiaba e filme de poliéster como suporte (*Mylar*[®]).



Fonte: Autor.

As imagens termográficas dos experimentos realizados sobre o filme teflonado (Teflon[®]), para espessuras de espalhamento de polpa de 2 mm e 3 mm, encontram-se apresentadas no Apêndice A.

No início dos experimentos a temperatura dos suportes estava ligeiramente abaixo da temperatura do vapor responsável pelo aquecimento do sistema, conforme pode ser visto nas primeiras imagens das Figura 13 e Figura 14 (Mylar[®]) e Figura A e Figura B no Apêndice A (Teflon[®]).

Assim como observado por meio dos termopares, a análise das imagens termográficas evidencia que ocorreu um aumento gradual na temperatura da polpa de goiaba após o espalhamento, a qual, tendo fim o período de adaptação térmica, se mantém constante. Diversos autores já reportaram o mesmo perfil de temperatura durante a secagem de produtos em RW, como Ortiz-Jerez e Ochoa-Martínez (2015) na secagem de fatias de abóbora (*Cucurbita maxima*) com CTD, Ochoa-Martínez et al. (2012) na secagem de fatias de manga, Nindo et al. (2003) em secagem de purê de abóbora, entre outros.

Para a secagem com espessura de espalhamento de 2 mm e em filme de poliéster (Mylar[®]) a média de temperaturas foi de $58,62 \pm 4,50$ °C até 6 minutos de secagem, Figura 14. A espessura de espalhamento de 3 mm no mesmo suporte forneceu média de temperaturas de $50,87 \pm 8,89$ °C até 12 minutos, Figura 15. Na secagem em filme teflonado (Teflon[®]) e espessura de espalhamento de 2 mm, a média de temperaturas foi de $57,88 \pm 5,11$ °C até 6 minutos e empregando-se espessura de espalhamento de 3 mm a média foi de $57,99 \pm 8,59$ °C até 14 minutos, Figura A e Figura B do Apêndice A, respectivamente.

A temperatura da polpa permaneceu relativamente estável devido à evaporação da água do produto a uma taxa constante. Em geral, as posições na polpa que apresentaram temperaturas mais altas são as mais próximas às regiões onde as resistências elétricas estão localizadas abaixo dos suportes.

O aumento gradual da temperatura no final do processo é observado devido à diminuição das umidades e, conseqüentemente, das taxas de secagem (ORTIZ-JEREZ et al., 2015).

Conforme observado por Castoldi et al. (2015) na secagem de polpa de tomate e Souza (2015) na secagem de polpa de açaí, ambas em CTD, os registros dos termopares (Figura 12) mostram diferenças entre as temperaturas detectadas pela termografia. Esta variação deve-se à imprecisão na inserção dos termopares na camada de polpa bem como a uma possível não homogeneidade de espessura da polpa. Zotarelli,

Carciofi e Laurindo (2015) observaram a mesma variação nas medidas dos termopares e obtidas pelas imagens termográficas durante a secagem de polpa de manga e atribuíram a diferença à diminuição da espessura de polpa durante a secagem ("encolhimento"), à movimentação dos termopares durante a secagem e ao seu posicionamento na polpa e também à não exatidão na determinação da emissividade da polpa.

Em todos os experimentos, pela observação dos dados dos termopares e das imagens termográficas, a temperatura da polpa se manteve abaixo da temperatura do suporte e do vapor sob ele. O mesmo comportamento foi observado por Ortiz-Jerez e Ochoa-Martínez (2015) na secagem de fatias de abóbora (*Cucurbita maxima*) com CTD, temperatura do banho de água de 90 °C e Mylar® como suporte. Utilizando a convecção forçada e medindo as temperaturas da superfície da amostra, os autores obtiveram valores próximos a 50 °C, o que é próximo às temperaturas médias atingidas neste estudo.

4.4. CARACTERIZAÇÃO DOS PÓS

4.5.1. Umidade e Atividade de Água

A Tabela 5 apresenta os valores de umidade e atividade de água dos pós de goiaba obtidos nas duas condições de espessura de espalhamento e em cada um dos suportes utilizados.

Tabela 5 - Umidade, em base seca, e atividade de água dos pós de goiaba produzidos em CTD e por liofilização.

Processo	Tipo de suporte	Espessura de polpa (mm)	Umidade (g g ⁻¹ b.s.) Média ± DP	Atividade de água Média ± DP
CTD	Filme de poliéster	2	0,03 ± 0,00 ^b	0,27 ± 0,00 ^b
		3	0,03 ± 0,00 ^b	0,26 ± 0,00 ^{b,c}
	Filme teflonado	2	0,03 ± 0,00 ^b	0,23 ± 0,01 ^d
		3	0,03 ± 0,00 ^b	0,24 ± 0,01 ^{c,d}
Liofilização	-	-	0,04 ± 0,00 ^a	0,33 ± 0,02 ^a

a-d Médias seguidas das mesmas letras sobrescritas na coluna indicam que não há diferença estatística pelo teste de Tuckey ($p < 0,10$).

Fonte: Autor.

Todas as amostras apresentaram valores de atividade de água inferiores a 0,6, indicando estabilidade microbiológica dos pós obtidos. Durigon (2016) desidratou polpa de tomate em CTD com diferentes condições de processo, até valores de atividade de água abaixo de 0,4. Souza (2015), através de liofilização e RW (temperatura da água de 90 °C e espessuras de espalhamento de 2 mm e 3 mm) para secagem de polpa de açaí, também desidratou as amostras até valores de atividade de água abaixo de 0,4.

Para pós de manga obtidos por liofilização, *spray drying* e *Refractance Window* (temperaturas da água de aquecimento de 75, 85 e 95 °C e espessuras de espalhamento de 2 mm, 3 mm e 5 mm), Zotarelli (2014) obteve valores de atividade de água inferiores a 0,3 no final da secagem.

Castoldi et al. (2015) relataram que o pó de tomate seco em RW apresentou valores de atividade de água entre 0,262 e 0,293, usando espessuras de espalhamento de 2 mm e 3 mm e temperaturas da água de processamento de 65, 75, 85 e 95 °C.

Ocoró-Zamora e Ayala-Aponte (2013) estudaram a influência da espessura de espalhamento do purê de mamão (*Carica papaya L.*) em secagem por RW (temperatura da água a 70 °C). Após 60 minutos de secagem, amostras de 2 mm e 3 mm atingiram valores de a_w abaixo de 0,6, mas as amostras de 2 mm atingiram o valor mais baixo (0,41).

Nunes et al. (2016), em avaliação dos efeitos do método de secagem em compostos voláteis, perfil fenólico e capacidade antioxidante de pós de goiaba, realizaram a secagem da goiaba através de liofilização e forno, encontrando valores de atividade de água de até 0,46.

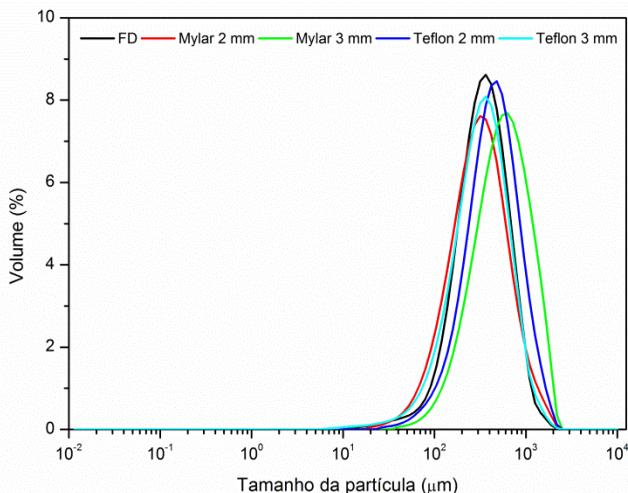
Ochoa-Martínez et al. (2012), ao secarem fatias de manga de 1 mm e 2 mm de espessura em RW (temperatura da água aquecida a 92 °C), encontraram valor de umidade de 0,013 g g⁻¹ e 0,048 g g⁻¹ (b.s.) aos 60 minutos de experimento de secagem e espessuras de 1 mm e 2mm, respectivamente. A atividade de água obtida foi menor do que 0,5.

Caparino et al. (2012) estudaram os efeitos de métodos de secagem nas propriedades físicas e microestruturas de pó de manga e, ao utilizar RW com água a 95 °C e espessura de espalhamento de 0,5 a 0,7 mm, obteve valor médio de umidade final de 0,017 g g⁻¹ (b.s.). O pó liofilizado apresentou umidade de 0,023 g g⁻¹ (b.s.). A atividade de água encontrada foi de 0,177 no pó produzido por RW e 0,174 no pó liofilizado.

Os valores obtidos neste estudo estão próximos dos valores encontrados na literatura, mas é importante ressaltar que as umidade e atividades de água finais dependem das condições e do tempo de secagem utilizados.

4.5.2. Distribuição do Tamanho de Partículas

A Figura 16 mostra a distribuição dos tamanhos das partículas de pó produzidas nas condições de processo avaliadas, em relação ao volume ocupado.

Figura 16 - Distribuição do tamanho da partícula dos pós de goiaba produzidos.

Fonte: Autor.

Nota-se que, em todos os casos, a distribuição do tamanho da partícula é unimodal, ou seja, simétrica em relação à média. Isso indica a predominância de uma faixa de tamanhos de partícula, resultado direto do método e do tempo de moagem dos pós.

Da mesma forma, Durigon (2016), Souza (2015) e Zotarelli (2014) também observaram o comportamento unimodal em seus respectivos pós produzidos por CTD e liofilização.

Neste estudo, a faixa de tamanho de partícula dos pós feitos por secagem em CTD, seguida de moagem, foi de 5,75 a 2187 μm e de 11,48 a 2187 μm para o pó liofilizado. Estes valores são similares aos encontrados por Durigon (2016) e Castoldi et al. (2015) ao analisar os tamanhos de pós de tomate produzidos pelo mesmo processo de secagem-moagem. Isso indica que os processos de moagem e peneiramento controlam a distribuição de tamanho das partículas. Caparino et al. (2012), em secagem de purê de manga, obtiveram valores de tamanho de partículas de pó entre 180 e 250 μm utilizando RW (temperatura da água aquecida de 95 a 97 $^{\circ}\text{C}$ e espessuras de espalhamento de 0,5 mm a 0,7 mm) e liofilização.

O diâmetro médio das partículas foi expresso como $D [4,3]$ (diâmetro médio de Brouckere), que indica o ponto central em torno do

qual gira a frequência de volume de distribuição (TONON; BRABET; HUBINGER, 2009).

A Tabela 6 apresenta os valores de diâmetro médio obtidos nos processos de secagem.

Tabela 6 - Diâmetro médio - D [4,3] - das partículas de pó utilizando as condições de processo estudadas.

Processo	Tipo de suporte	Espessura de polpa (mm)	Diâmetro médio D [4,3] (μm)
CTD	Filme de poliéster	2	364,25 \pm 25,61 ^c
		3	613,14 \pm 29,07 ^a
	Filme teflonado	2	483,35 \pm 16,97 ^b
		3	365,10 \pm 31,35 ^c
Liofilização	-	-	371,98 \pm 36,93 ^c

a-c Médias seguidas das mesmas letras sobrescritas na coluna indicam que não há diferença estatística pelo teste de Tuckey ($p < 0,10$).

Fonte: Autor.

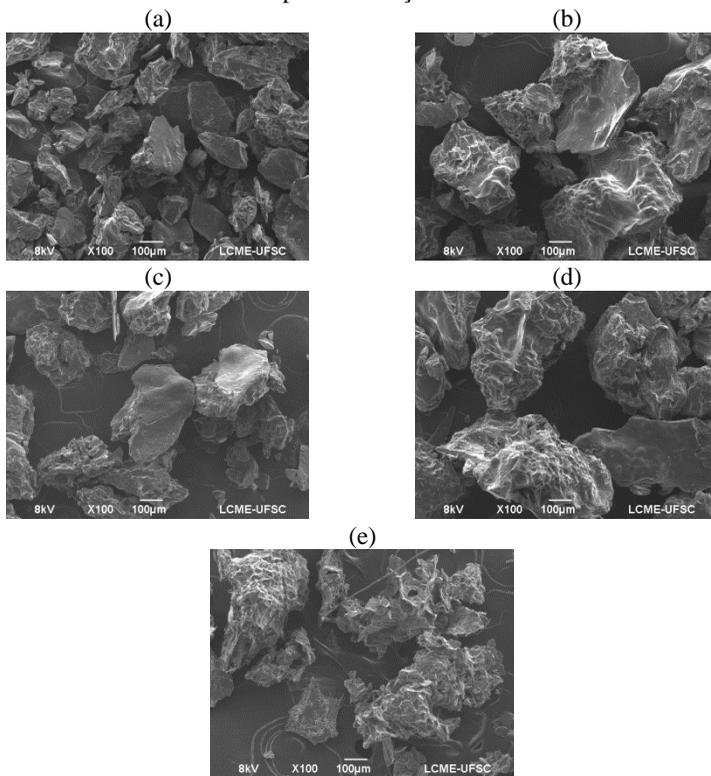
O diâmetro médio das partículas não apresentou relação com o suporte utilizado na secagem em CTD ou com a espessura da polpa espalhada. Souza (2015), na secagem de polpa de açaí através de RW, também não observou associação entre as variações de diâmetro médio e as temperaturas da água aquecida e espessuras de espalhamento utilizadas, justificando as diferenças de diâmetro unicamente ao processo de moagem.

Durigon (2016) encontrou valores de diâmetro médio de 364,58 μm para amostras produzidas por CTD e de 231,94 μm para o pó liofilizado. Castoldi et al. (2015) obtiveram um valor médio de diâmetro de partícula de 204,70 μm , sendo ambos os estudos aplicados ao pó de tomate, com espessura de espalhamento de 2 mm de polpa durante a secagem.

4.5.3. Microestrutura

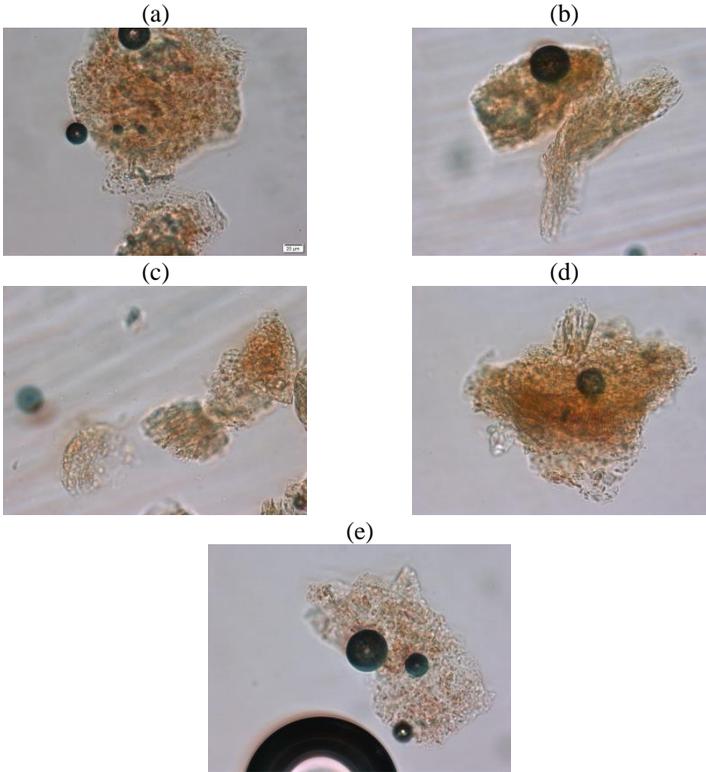
As imagens da microestrutura dos pós, obtidas através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) com aumento de 100 vezes, estão mostradas na Figura 17. A Figura 18 apresenta as imagens registradas por microscópio óptico com aumento de 40 vezes.

Figura 17 - Morfologia dos pós de goiaba produzidos por CTD com condições: (a) espalhamento de 2 mm e (b) 3 mm em filme de poliéster (*Mylar*[®]); (c) espalhamento de 2 mm e (d) 3 mm em filme teflonado (*Teflon*[®]); (e) pó obtido por liofilização.



Fonte: Autor.

Figura 18 - Microscopia óptica dos pós de goiaba produzidos por CTD com condições: (a) espalhamento de 2 mm e (b) 3 mm em filme de poliéster (Mylar[®]); (c) espalhamento de 2 mm e (d) 3 mm em filme teflonado (Teflon[®]); (e) pó obtido por liofilização.



Fonte: Autor.

Os pós de goiaba produzidos por CTD e por liofilização apresentaram estrutura e formato irregulares, como pode ser notado nas Figuras 17 e 18. As pequenas esferas pretas que aparecem na Figura 18 são gotas de glicerol, o qual é utilizado para dispersão das amostras de pó nas lâminas previamente à análise.

Pela imagem dos pós liofilizados obtida por microscopia eletrônica de varredura (Figura 17, 17.e), observa-se que as partículas não apresentam nenhuma superfície regular e lisa, inferindo-se assim uma maior porosidade, o que já era esperado, devido à sublimação do gelo que estava presente no material durante o processo de secagem.

Caparino et al. (2013), em estudo da transição vítrea e das microestruturas de pós de manga liofilizados e produzidos por RW, perceberam que a moagem dos flocos de manga secos em RW produziu partículas de pó com formatos irregulares, enquanto que suas espessuras permaneceram inalteradas. Os dois lados de uma única partícula eram lisos, indicando mais fluidez e menos susceptibilidade à oxidação, devido à menor área de superfície. Os autores perceberam que a aplicação de temperaturas maiores do que a temperatura de transição vítrea do alimento, como aconteceu durante a secagem em RW (74 ± 2 °C), resultou em um pó rígido com menor porosidade.

Caparino et al. (2013) descreveram que o pó de manga liofilizado apresentou uma estrutura esquelética com espaços vazios evidentes, os quais eram previamente ocupados por gelo antes da secagem por liofilização. Isso ocorre devido à ausência de uma fase líquida no material durante o processo, o que suprime a transferência de água líquida para a superfície e às forças capilares, responsáveis pela deformação da estrutura. Como efeito, o encolhimento e colapso do produto é impedido, resultando assim num material poroso seco.

Souza (2015) em estudo da secagem de polpa de açaí, relatou que os pós produzidos por CTD também exibiram variados tamanhos com superfície irregular e rugosa e o pó liofilizado apresentou-se mais poroso que os demais. Durigon (2016) também observou que os pós de tomate produzidos em CTD e por liofilização apresentaram formatos assimétricos resultados do processo de moagem.

4.5.4. Massa Específica e Porosidade

Na Tabela 7 estão apresentados os valores de massa específica aparente, massa específica real das partículas dos pós de goiaba produzidos e porosidade do leito (θ).

Massa específica aparente é a massa de partículas que ocupa uma unidade de volume de um leito, enquanto porosidade é definida como o volume de vazios dentro do leito dividido pelo seu volume total (BARBOSA-CÁNOVAS et al., 2005). Alimentos em pó possuem massa específica aparente entre 0,3-0,8 g cm⁻³ e massa específica real próxima de 1,4 g cm⁻³. A massa específica aparente de pós depende do efeito combinado de diversos fatores, como a intensidade das forças de atração inter-partículas, tamanho de partícula e número de pontos de contato. Além disso, muitos pós são altamente higroscópicos, o que resulta em baixos valores de massa específica aparente (BARBOSA-CÁNOVAS et al., 2005).

A massa específica aparente das amostras mostrou-se menor que a massa específica real, como esperado, por considerar os espaços vazios entre as partículas.

Tabela 7 - Massa específica aparente e real dos pós produzidos por CTD e liofilização.

Processo	Tipo de suporte	Espessura de polpa (mm)	Massa específica aparente (g cm ⁻³)	Massa específica real (g cm ⁻³)	Porosidade (%)
CTD	Filme de poliéster	2	0,82 ± 0,01 ^a	1,48 ± 0,00 ^c	45
		3	0,73 ± 0,01 ^c	1,47 ± 0,00 ^e	50
	Filme teflonado	2	0,75 ± 0,01 ^c	1,49 ± 0,00 ^b	50
		3	0,78 ± 0,00 ^b	1,50 ± 0,00 ^a	48
Liofilização	-	-	0,28 ± 0,01 ^d	1,47 ± 0,00 ^d	81

a-d Médias seguidas das mesmas letras sobrescritas na coluna indicam que não há diferença estatística pelo teste de Tuckey (p<0,10).

Fonte: Autor.

Mahendran (2010), em estudo do efeito do método de secagem nas propriedades físico-químicas e características sensoriais da goiaba concentrada desidratada, relatou massa específica aparente do pó de goiaba liofilizado de $0,65 \text{ g cm}^{-3}$ e massa específica real de $1,71 \text{ g cm}^{-3}$, valores próximos aos encontrados nesse estudo.

Caparino et al. (2012) reportou que o pó obtido por RW exibiu menor porosidade do que o pó liofilizado e o pó produzido por *spray drying*. O pó liofilizado apresentou menor massa específica aparente, próxima a $0,4 \text{ g cm}^{-3}$, quando comparado aos outros dois métodos de secagem avaliados. O pó produzido em RW mostrou valores de massa específica aparente entre $0,6$ e $0,8 \text{ g cm}^{-3}$, dependendo do tamanho da partícula. Quanto maior a massa específica aparente, menor a porosidade do leito.

Durigon (2016) também observou que os pós de tomate produzidos no CTD apresentaram maiores massas específicas aparentes e menores valores de porosidade, sendo as massas específicas aparentes de $0,39 \text{ g cm}^{-3}$ para o pó liofilizado e próximo a $0,80 \text{ g cm}^{-3}$ para o pó produzido por CTD. Os valores de porosidade foram de 75% para a amostra liofilizada e cerca de 50 % para o pó de tomate produzido por CTD. De modo geral, partículas mais irregulares e mais higroscópicas não empacotam bem na formação do leito, levando a massas específicas aparentes menores. Partículas arredondadas tendem a empacotar bem, formando leitões mais compactos e, conseqüentemente, com maiores massas específicas aparentes.

4.5.5. Tempo de Dispersão e Solubilidade Aparente

A Tabela 8 mostra os valores de tempo de dispersão e solubilidade dos pós de goiaba produzidos pelos processos de secagem avaliados. Os pós de goiaba produzidos por CTD e liofilização apresentaram baixos tempos de dispersão e valores de solubilidade.

Embora a escolha do tempo máximo de dispersão para cada produto seja arbitrária, um bom parâmetro é que 90% do pó imirja no líquido em até 5 minutos (LANNES; MEDEIROS, 2003).

O tempo de dispersão é diretamente relacionado à molhabilidade do pó, a qual pode ser caracterizada pela susceptibilidade das partículas em serem penetradas pela água, e está associada tanto à composição química do alimento, quanto aos fatores físicos, especialmente tamanho e

forma das partículas e temperatura da água de reconstituição (TONON, 2009).

Tabela 8 - Tempo de dispersão e solubilidade dos pós produzidos por CTD e liofilização.

Processo	Tipo de suporte	Espessura de polpa (mm)	Tempo de dispersão (s)	Solubilidade (%)
CTD	Filme de poliéster	2	3,05 ± 0,74 ^c	15,99 ± 2,73 ^a
		3	5,11 ± 1,26 ^b	13,93 ± 0,58 ^a
	Filme teflonado	2	3,14 ± 0,27 ^c	15,92 ± 1,32 ^a
		3	3,25 ± 0,32 ^c	14,97 ± 0,60 ^a
Liofilização	-	-	9,03 ± 0,46 ^a	14,30 ± 1,23 ^a

a-c Médias seguidas das mesmas letras sobrescritas na coluna indicam que não há diferença estatística pelo teste de Tuckey ($p < 0,10$).

Fonte: Autor.

A molhabilidade pode ser acelerada principalmente aumentando o tamanho de partícula e sua porosidade, apesar de haver uma “porosidade crítica” que não deve ser ultrapassada. Porém, o tempo de dispersão não pode ser predito se o ângulo de contato da partícula com o menisco de líquido é desconhecido (HOGEKAMP; SCHUBERT, 2003).

A análise de solubilidade permite verificar a capacidade do pó em manter-se como uma mistura homogênea em água (MAIA; GOLGHER, 1983).

A literatura relata solubilidades de pós bastante elevadas, porém a adição de agentes coadjuvantes ao produto previamente à secagem é frequente. Esses agentes podem influenciar no grau de homogeneidade da solução de pó em água, bem como na instantaneidade da dissolução.

Tonon (2009), ao secar suco de açaí por atomização, reportou tempos de dispersão para o pó de açaí entre 2,67 e 8,61 minutos. As

solubilidades foram de 32,08 %, utilizando-se fécula de mandioca como agente carreador, e de 94,44 % a 96,12 % aplicando maltodextrina e goma arábica.

Bezerra (2014) realizou a caracterização física, química e morfológica de polpa de marolo liofilizada, e obteve valores de tempo de dispersão de 14 a 39 segundos, considerando assim como rápida a dispersão do pó liofilizado.

Castoldi et al. (2015) verificaram tempos de dispersão entre 4,13 a 8,65 segundos para pós de tomate obtidos por RW com temperaturas da água de aquecimento de 65,75,85 e 95 °C e espessuras de espalhamento de polpa de 2 mm e 3 mm. As solubilidades encontradas variaram entre 87,11% (3 mm) e 94,76% (2 mm), demonstrando ser assim, influenciadas pela espessura de espalhamento.

Alguns relatos da literatura indicam que um grau mais elevado de desordem estrutural (superfícies amorfas) aumenta a solubilidade dos pós na água. Por outro lado, uma ordem estrutural maior (estado cristalino) resulta em menor solubilidade (CANO-CHAUCA et al., 2005).

Maciel (2016) e Cruz (2013) utilizaram a mesma metodologia de análise de solubilidade aplicada nesse estudo (descrita por Cano-Chauca et al. (2005) e adaptada de Eastman e Moore (1984)), ao estudar a obtenção do pó de goiaba pelo método de camada de espuma. A média de solubilidade encontrada por Maciel (2016) foi de 59,06%, no entanto, com adição de 5% de albumina como agente espumante. Cruz (2013) registrou valores de solubilidade de 89%, com o uso de 2,5% e 5% de emulsificante.

Cano-Chauca et al. (2005), em estudo da secagem por atomização de suco de manga, também observaram valores de solubilidade em torno de 95% para os pós produzidos com adição de maltodextrina e goma arábica.

Bezerra (2014), na caracterização da polpa de marolo liofilizada, alcançou solubilidades entre 99,22% a 99,38%. Porém, anteriormente à liofilização, adicionou-se sacarose, etanol e maltodextrina à polpa *in natura*. A autora concluiu que a adição destes aditivos interferiu no comportamento do pó liofilizado, sendo que a maltodextrina é amplamente conhecida por ser altamente solúvel em água.

Caparino et al. (2012) ao estudarem os efeitos dos métodos de secagem nas propriedades físicas e nas microestruturas dos pós de manga, determinaram solubilidade de 90,8% para o pó produzido por RW, de 89,7% para o pó liofilizado e de 95,3% para o pó obtido em *spray-dryer*. Os autores atribuíram a alta solubilidade do pó de manga gerado por *spray drying* à adição de maltodextrina e à atomização do purê de manga

durante esse processo de secagem, o que deve ter quebrado as fibras presentes no produto em pequenos pedaços. Os altos valores de solubilidade dos pós produzidos por RW e liofilização (sem adição de maltodextrina) provavelmente se devem ao alto teor de sólidos solúveis da polpa de manga utilizada, padronizado entre 14-15 °Brix.

4.5.6. Cor

Os parâmetros de cor L^* , a^* e b^* dos pós produzidos por CTD e liofilização apresentam-se na Tabela 9.

Tabela 9 - Parâmetros de cor dos pós de goiaba produzidos por CTD e liofilização.

Amostras (processo)	Tipo de suporte	Espessura de polpa (mm)	L*	a*	b*
Pó de goiaba (CTD)	Filme de poliéster	2	53,70 ± 1,17 ^b	32,81 ± 0,91 ^{b,c}	30,79 ± 0,73 ^a
		3	50,09 ± 1,35 ^c	33,95 ± 0,44 ^{a,b}	31,03 ± 0,71 ^a
	Filme teflonado	2	49,77 ± 1,11 ^c	34,86 ± 0,53 ^a	31,62 ± 0,86 ^a
		3	52,76 ± 0,18 ^b	32,22 ± 0,11 ^c	31,75 ± 0,19 ^a
Pó de goiaba (Liofilização)	-	-	63,20 ± 0,52 ^a	27,25 ± 0,38 ^d	28,31 ± 0,16 ^b

a-d Médias seguidas das mesmas letras sobrescritas na coluna indicam que não há diferença estatística pelo teste de Tuckey ($p < 0,10$).

Fonte: Autor.

Os valores de luminosidade (L^*) encontrados nos pós obtidos por CTD foram menores do que o constatado no pó liofilizado, o que significa que sua cor é mais escura quando comparada à cor dos pós produzidos por liofilização. Essa verificação também pôde ser feita ao analisar os pós visualmente, Figura 19.

Os pós produzidos por CTD apresentaram maiores valores de a^* e b^* , atestando as cores vermelha e amarela mais intensas do que no pó liofilizado. A cor mais escura do pó formado por meio de CTD pode ser caracterizada por reação de escurecimento ou reação de Maillard, causada por interações químicas entre açúcares e proteínas e também por oxidação do ácido ascórbico, devido à exposição do produto à alta temperatura por um determinado período de tempo (POTTER; HOTCHKISS, 1998).

Abonyi et al. (2001) corroboraram o maior valor de L^* em produtos liofilizados, ao relatar que purês de cenoura secos por esse processo apresentaram cor mais clara do que as amostras obtidas por RW e *drum drying*. O purê seco por RW caracterizou-se por possuir alto valor de L^* , a^* e b^* , indicando cores amarela e vermelha mais vívidas e saturadas. Os autores atribuíram o tom mais escuro de cenouras e morangos secos por RW ao escurecimento não enzimático (NEB), na presença de glicose, frutose e ácido málico. As taxas de NEB geralmente aumentam conforme a água é removida durante um processo de secagem e atingem um máximo a um conteúdo de umidade intermediário (18% a 25%, em base seca).

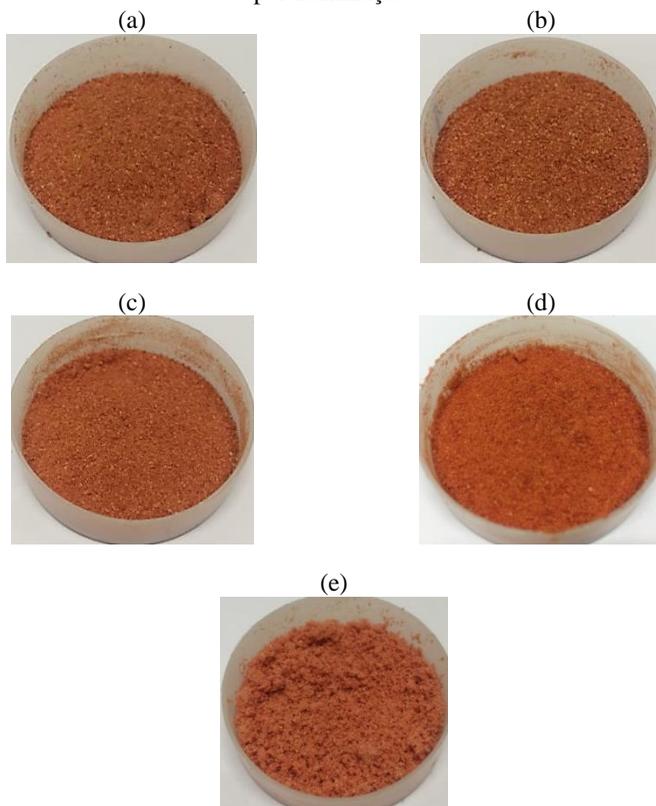
A cor prevalente na polpa de goiaba é o vermelho, podendo assim ser melhor representada pelo parâmetro de cor a^* positivo para diferir as mudanças de cor provocadas pelos processos de secagem. Sendo assim, mesmo havendo diferença significativa entre os valores, os resultados de a^* encontrados para os pós obtidos por CTD e liofilização evidenciam a proximidade entre as amostras e a matéria-prima *in natura*. Além disso, a semelhança dos valores de a^* dos pós produzidos por CTD e liofilização é um fator importante, pois comprova a utilização do CTD como processo competitivo à liofilização (atualmente mais reconhecida pela retenção de componentes e conservação da qualidade do produto). Os valores positivos dos parâmetros a^* e b^* também pressupõem a preservação de carotenóides, os quais possuem propriedades antioxidantes. Esses compostos são pigmentos naturais, desejáveis ao produto final.

Castoldi et al. (2015), também avaliaram o parâmetro a^* positivo como sendo mais adequado para distinguir as diferenças de cor durante a secagem de polpa de tomate em RW, utilizando temperaturas da água

aquecida de 65, 75, 85 e 95 °C e espessuras de espalhamento de 2 mm e 3 mm. Os valores mais baixos de a^* foram observados para temperaturas mais altas, em ambas as espessuras. Os valores mais altos podem ser associados ao teor de licopeno, que é responsável pela cor vermelha do tomate, e o qual é dependente do grau de maturação do produto.

Na Figura 19 estão apresentadas as imagens dos pós de goiaba obtidos pelos processos de secagem avaliados.

Figura 19 - Fotografias dos pós de goiaba produzidos por CTD com condições: (a) espalhamento de 2 mm e (b) 3 mm em filme de poliéster (*Mylar*[®]); (c) espalhamento de 2 mm e (d) 3 mm em filme teflonado (*Teflon*[®]); (e) pó obtido por liofilização.



Fonte: Autor.

4.5.7. Compostos Fenólicos Totais

Os valores de compostos fenólicos totais dos pós de goiaba produzidos por CTD e liofilização assim como da polpa de goiaba original e processada encontram-se na Tabela 10.

Tabela 10 - Teor de fenólicos totais, expresso em mg de ácido gálico por 100 g de amostra seca, da polpa de goiaba original e processada, e dos pós obtidos por CTD e liofilização.

Amostras (processo)	Tipo de suporte	Espessura de polpa (mm)	Compostos fenólicos (mg AG.100 ⁻¹ g b.s.)
Polpa de goiaba original	-	-	1361,28 ± 72,26 ^{a,b}
Polpa de goiaba processada	-	-	1542,28 ± 82,01 ^a
CTD	Filme de poliéster	2	1287,84 ± 60,29 ^b
		3	1229,61 ± 191,12 ^b
	Filme teflonado	2	1341,19 ± 9,68 ^{a,b}
		3	1324,11 ± 92,66 ^{a,b}
Liofilização	-	-	1224,85 ± 60,29 ^b

a-b Médias seguidas das mesmas letras sobrescritas na coluna indicam que não há diferença estatística pelo teste de Tuckey ($p < 0,10$).

Fonte: Autor.

Fenólicos são compostos encontrados em todas as plantas como seus metabólitos secundários. Estes incluem fenóis simples, ácido hidroxibenzóico e derivados de ácido cinâmico, flavonóides, cumarinas e taninos, entre outros (NACZK; SHAHIDI, 2004).

Os compostos fenólicos são essenciais para o crescimento e reprodução das plantas, sendo formados em condições de estresse como, infecções, fermentos, radiações UV, dentre outros. A extração de

fenólicos da matéria-prima é o primeiro passo envolvido em sua análise. Métodos químicos são utilizados para a determinação do teor total de compostos fenólicos, aliados à análises cromatográficas e/ou espectrométricas (NACZK; SHAHIDI, 2004).

Em vegetais folhosos e frutas, os flavonóides são quase exclusivamente presentes como glicosídeos (AHERNE; O'BRIEN, 2002).

A escolha do melhor método de extração, além da escolha do solvente usado, depende do conhecimento da estrutura do produto bem como da solubilidade dos compostos no solvente. Vegetais são caracterizados por possuir uma morfologia complexa e grande variedade de locais para armazenamento de substâncias o que pode dificultar a extração, já que a maior parte dos solutos em plantas encontra-se nos espaços intra-celulares (PEREIRA; MEIRELES, 2009).

A água presente na matriz vegetal compete com os compostos na interação com o solvente, por isso a secagem do material úmido a ser analisado é recomendada (PEREIRA; MEIRELES, 2009).

Conforme observado na Tabela 10, os valores de compostos fenólicos nos pós e nas polpas foram próximos e muito elevados, o que pode ser justificado, segundo Pereira e Meireles (2009), pelo menor tamanho das partículas que, em geral aumenta a eficiência da extração, além de seu formato que também pode favorecer a difusão do solvente. Além disso, imprecisão experimental devido à utilização do método espectrofotométrico utilizando o reagente de Folin-Ciocalteu pode ter afetado o resultado da análise. Esse método não é específico, pois detecta todos os grupos fenólicos presentes no extrato, incluindo proteínas extraíveis. Outra desvantagem é a interferência de substâncias como o ácido ascórbico (NACZK; SHAHIDI, 2004).

O método para medir o conteúdo de fenólicos totais utilizando o reagente Folin-Ciocalteu possui limitações relacionadas à superestimação do conteúdo fenólico em larga extensão. Vários interferentes não fenólicos são conhecidos, entre eles, a vitamina C. A adição de ácido ascórbico a ácido gálico em diferentes proporções (0,1:1,0; 0,5:1,0; 1,0:1,0; 2,0:1,0) provocou o aumento de absorvância, revelando interferência de cerca de 20%, mas, somente quando a razão ascorbato/galato ≥ 1 (OLIVEIRA et al., 2009).

A principal desvantagem dos ensaios espectrofotométricos é que fornecem somente uma estimativa do conteúdo de fenólicos totais. Eles não separam os compostos e não fornecem mensuração quantitativa dos

compostos individuais. Além disso, devido à complexidade dos compostos fenólicos nas diversas matrizes alimentares e da reatividade diferente dos fenóis aos reagentes dos ensaios, um amplo espectro de métodos é utilizado para quantificar os constituintes, levando frequentemente a resultados diferentes e não comparáveis. E por fim, os métodos são bastante propensos a interferências (açúcar, aminas aromáticas, dióxido de enxofre, ácido ascórbico e ácidos orgânicos) e consequentemente resultam muitas vezes em sub ou superestimação do conteúdo (IGNAT; VOLF; POPA, 2011).

Asami et al. (2003) compararam o conteúdo de fenólicos totais e ácido ascórbico de *marionberries*, morangos e milho liofilizados e secos em secador de ar. Sabendo da interferência do ácido ascórbico na resposta da análise de compostos fenólicos totais, os autores estabeleceram um fator de correção que foi aplicado na medida de ácido ascórbico através de cromatografia. Os valores reduzidos de ácido ascórbico que foram obtidos representaram seu impacto no teor de compostos fenólicos em termos de mg de ácido gálico em 100 g de produto fresco, sendo descontados dos valores de compostos fenólicos determinados espectrofotometricamente. No estudo também afirma-se que o açúcar pode interferir na análise de compostos fenólicos, se seu conteúdo no produto for alto. Os valores encontrados para morangos liofilizados foi próximo a 200 mg AG/100 g de produto fresco.

Prado (2009), em estudo da composição fenólica e atividade antioxidante de frutas tropicais, encontrou valor de compostos fenólicos de 560 mg AG/100 g de polpa de goiaba liofilizada, utilizando como solvente uma mistura de etanol e água. As leituras de absorvância foram realizadas em espectrofotômetro com comprimento de onda de 740 nm.

Silva et al. (2014), na quantificação de compostos bioativos em polpas e subprodutos de frutas tropicais do Brasil, reportaram conteúdo de fenólicos na polpa de goiaba liofilizada de 1723 mg AG/100 g (b.s.), valor superior aos encontrados nesse estudo.

Haida et al. (2011), em avaliação dos compostos fenólicos totais e atividade antioxidante de duas variedades de goiaba e arruda, encontraram valores de 16061 a 17510 mg AG/g de extrato seco, sendo que os extratos foram obtidos das folhas de goiaba vermelha e os compostos fenólicos totais foram determinados em diferentes concentrações de extrato etanólico e aquoso.

Kuskoski et al. (2006) relataram 83,0 mg AG/100 g, em análise de polifenóis totais na polpa de goiaba congelada comercial.

4.5.8. Carotenoides Totais

Na Tabela 11 encontram-se os valores obtidos de carotenoides totais e perdas relativas para as polpas de goiaba original e processada, e para os pós produzidos por CTD e por liofilização.

Tabela 11 - Carotenoides totais, expressos em equivalente de licopeno, e perda de licopeno dos pós de goiaba produzidos por CTD e liofilização.

Amostras (processo)	Tipo de suporte	Espessura de polpa (mm)	Carotenoides totais ($\mu\text{g g}^{-1}$ b.s.)	Perda de carotenoides (%)
Polpa de goiaba Original	-	-	$291,67 \pm 10,39^a$	-
Polpa de goiaba Processada	-	-	$170,24 \pm 25,46^b$	41,63
CTD	Filme de poliéster	2	$160,18 \pm 10,13^b$	45,08
		3	$186,60 \pm 22,17^b$	36,02
	Filme teflonado	2	$173,88 \pm 4,51^b$	40,38
		3	$183,85 \pm 4,28^b$	36,97
Liofilização	-	-	$251,92 \pm 9,36^a$	11,36

a-b Médias seguidas das mesmas letras sobrescritas na coluna indicam que não há diferença estatística pelo teste de Tuckey ($p < 0,10$).

Fonte: Autor.

A polpa de goiaba original apresentou conteúdo de carotenoides totais de $21,66 \mu\text{g g}^{-1}$ de polpa (b.u.) ou $291,67 \mu\text{g g}^{-1}$ de polpa (b.s.). A polpa de goiaba processada, que foi submetida ao batimento e peneiramento, perdeu 41,63% de carotenoides em relação à polpa original.

Os carotenoides constituem um dos mais importantes grupos de pigmentos naturais devido à larga distribuição, diversidade estrutural e inúmeras funções. São responsáveis pelas cores laranja, amarela e vermelha das frutas, hortaliças, flores, algas, bactérias, fungos, leveduras e animais, que apesar de não sintetizarem tais moléculas, podem obtê-las a partir do consumo de alimentos de origem vegetal (RIBEIRO; SERAVALLI, 2003).

A absorção de luz pelos carotenoides em solução obedecem a Lei de Lambert-Beer, ou seja, sua absorvância é diretamente proporcional à concentração. Assim, os carotenoides são quantificados espectrofotometricamente. Esta quantificação depende, no entanto, da disponibilidade de coeficientes de absorção precisos, que são difíceis de obter (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001).

A oxidação é a principal causa da degradação de carotenoides em alimentos. Eles são facilmente oxidados devido ao grande número de ligações duplas conjugadas nas moléculas. A estabilidade é dependente do meio. No tecido intacto, os pigmentos estão protegidos da oxidação, entretanto, danos físicos ao tecido ou sua extração aumentam sua suscetibilidade à oxidação. Podem sofrer oxidação na presença de luz, calor, pró-oxidantes, severidade do tratamento (destruição da estrutura que protege os carotenóides e duração do tratamento térmico), material de embalagem do produto e condições de armazenamento (RIBEIRO; SERAVALLI, 2003; RODRIGUEZ-AMAYA, 2001).

Os carotenoides são moderadamente estáveis ao calor e perdem a cor por oxidação (RIBEIRO; SERAVALLI, 2003). Sabe-se, assim, que a perda de carotenoides é mais influenciada pela oxigenação do que por altas temperaturas, o que pode ter justificado os valores semelhantes de carotenoides e de perdas para a polpa de goiaba processada e para os pós produzidos por CTD. O batimento da polpa provocou aeração, a qual foi utilizada como matéria-prima para os processos de secagem. A liofilização, por utilizar pressão reduzida, evita a oxigenação durante a secagem e preserva maior quantidade de carotenoides totais presentes na polpa.

Licopeno é o principal pigmento encontrado em frutos vermelhos, como tomate, melancia e goiaba. A composição carotenoide dos alimentos é afetada por fatores como cultivar ou variedade, parte da planta, estágio de maturidade; clima ou geografia, local de produção, colheita e manuseio pós-colheita, processamento e armazenamento (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001). O processo de cozimento geralmente torna o licopeno mais biodisponível pela sua liberação da matriz para o fase lipídica do alimento. O processamento de alimentos mostrou

aumentar sua biodisponibilidade (BOILEAU; BOILEAU; ERDMAN JUNIOR, 2002).

O licopeno, após o tratamento térmico, se torna mais disponível devido ao extravasamento celular, liberando-o da matriz alimentar devido ao processamento. A isomerização induzida por calor de uma conformação trans para cis e a presença de outros carotenoides, como o β -caroteno, também reforçam a biodisponibilidade desse carotenoide (WILLCOX; CATIGNANI; LAZARUS, 2003). Segundo a USDA, o teor de licopeno presente na goiaba é de 5204 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ de fruta. No néctar de goiaba em conserva a quantidade diminui para 35 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ (ESTADOS UNIDOS, 2016).

Padula e Rodriguez-Amaya (1986) caracterizaram carotenoides e avaliaram o valor de vitamina A em goiabas brasileiras. No estudo, as autoras reportaram que o licopeno foi o principal componente encontrado, constituindo 86% do conteúdo total de carotenoides. O valor encontrado na fruta inteira foi de 62,1 $\mu\text{g g}^{-1}$ (b.u.), e destes, 53,4 $\mu\text{g g}^{-1}$ (b.u.) foi a quantidade de licopeno obtida.

Fernandes et al. (2007) compararam teores de vitamina C, carotenoides totais, antocianinas totais e fenólicos totais em suco de goiaba em diferentes etapas de produção. Após a extração dos carotenoides e formulação/homogeneização do suco de goiaba, em que adicionou-se água potável, polpa de goiaba e conservantes, os teores de carotenoides totais diminuíram, provavelmente, pela diluição resultante da adição de água à formulação. Após a pasteurização, o suco apresentou um acréscimo de 86 % no teor em carotenoides totais, devido à maior biodisponibilidade pelo aumento de temperatura.

Moraes et al. (2014), em avaliação dos compostos bioativos presentes no resíduo da goiaba vermelha (*Psidium guajava L.*) desidratada, obtiveram valor de carotenoides totais de 262,01 μg em 100 g de resíduo seco, realizando extração com acetona e leitura em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 470 nm, 645 nm e 662 nm. Silva et al. (2014) reportaram valor de β -caroteno de 52,12 e licopeno de 35,01 μg em 100 g de polpa de goiaba (base seca), após liofilização.

Oliveira et al. (2011) avaliaram vitamina C, carotenoides, fenólicos totais e atividade antioxidante de goiaba, manga e mamão procedentes da Cesa do Estado de Minas Gerais. Os carotenoides foram determinados na goiaba de variedade Paluma utilizando-se cromatógrafo líquido de alta eficiência e obteve-se valor de licopeno de 6999,3 μg em 100 g de matéria fresca.

4.5.9. Atividade Antioxidante

A Tabela 12 mostra a atividade antioxidante das amostras, expressa em massa de Trolox por grama de amostra seca.

Tabela 12 - Atividade antioxidante da polpa de goiaba e dos pós obtidos pelos processos de secagem, determinada pelo método ABTS. Valores expressos em μM de Trolox equivalente por g de extrato seco.

Amostras (processo)	Tipo de suporte	Espessura de polpa (mm)	ABTS (μM TE por g de amostra seca)
Polpa de goiaba original	-	-	977,39 \pm 4,26 ^a
Polpa de goiaba processada	-	-	976,88 \pm 7,53 ^a
CTD	Filme de poliéster	2	976,94 \pm 3,64 ^a
		3	926,16 \pm 76,71 ^a
	Filme teflonado	2	979,35 \pm 0,23 ^a
		3	971,08 \pm 10,68 ^a
Liofilização	-	-	981,76 \pm 3,18 ^a

a - Médias seguidas das mesmas letras sobrescritas na coluna indicam que não há diferença estatística pelo teste de Tuckey ($p < 0,10$).

Fonte: Autor.

As amostras não apresentaram diferença significativa de atividade antioxidante, o que pode ser explicado pelo pequeno tamanho das partículas, o que facilita o processo de extração, assim como ocorreu nas análises de compostos fenólicos e carotenoides totais.

O excesso de radicais livres no organismo é combatido por antioxidantes produzidos pelo corpo ou absorvidos da dieta. Antioxidante é qualquer substância que, quando presente em baixa concentração

comparada à do substrato oxidável, regenera o substrato ou previne significativamente a oxidação do mesmo. A oxidação de lipídios em alimentos é responsável pela formação de *off-flavours* (sabores e/ou aromas desagradáveis) e compostos químicos indesejáveis que podem ser prejudiciais à saúde. Antioxidantes são utilizados pela indústria de alimentos para atrasar o processo de oxidação (BRAND-WILLIAMS; CUVELIER; BERSET, 1995; HALLIWELL, 1996).

O ensaio ABTS baseia-se na geração de um radical ABTS⁺ azul/verde, que é aplicável tanto a sistemas antioxidantes hidrofílicos como a lipofílicos. O método ABTS mede a atividade antioxidante de uma gama de carotenóides e compostos fenólicos (RE et al., 1999).

Freire et al. (2013), em estudo com frutos e polpas congeladas de acerola, caju, goiaba e morango e utilizando o método ABTS e extrato acetônico-metanólico, encontrou valores de 151,79 e 152,79 μM Trolox g^{-1} em goiaba *in natura* e na polpa de goiaba congelada, respectivamente.

Oliveira et al. (2011) utilizaram os métodos DPPH e poder redutor, baseados em diferentes princípios, para mensurar a atividade antioxidante de goiaba, manga e mamão. A goiaba apresentou maior atividade de retirada de radical e, assim, maior atividade antioxidante. O poder redutor da goiaba foi, respectivamente, 1,9 e 3,3 vezes maior do que o poder redutor dos extratos de mamão e de manga.

Nora et al. (2014), empregando o método ABTS, relataram que a goiaba vermelha (*Psidium cattleianum* Sabine) fresca apresentou 150,2 μM TE/g de fruta seca, já após a liofilização o valor encontrado foi de 207,2 e após secagem com ar quente a 70 °C a atividade antioxidante foi de 248,6 μM TE/g de fruta seca.

Haida et al. (2011), em estudo dos compostos fenólicos totais e atividade antioxidante das folhas de duas variedades de goiaba e arruda, obtiveram resultados que variaram entre 68,57 a 89,86% de atividade antioxidante utilizando extrato aquoso e de 38,59 a 89,47% utilizando extrato etanólico, tendo-se utilizado o método DPPH para as análises. Sendo assim, os autores concluíram que a alta atividade antioxidante dos extratos das folhas de goiaba é atribuída ao poder sequestrante de radicais livres.

Kuskoski et al. (2006) analisaram a atividade antioxidante de polpas de frutas comerciais congeladas aplicando o método DDPH, e obtiveram resultado de 5,9 μM TE/g de polpa de goiaba fresca após 30 minutos de reação. Após 60 minutos, encontrou-se um valor de 7,4 μM TE/g de amostra fresca.

Souza (2015) relatou valores em pós de açaí de 1118,5 e 1255,2 $\mu\text{M TE/g}$ de extrato seco, para espessuras de espalhamento de polpa de 2 mm e 3 mm, respectivamente. O processo de secagem foi realizado em CTD com temperatura da água de aquecimento de 90 °C.

Estudos sugerem que a alta atividade antioxidante de frutos após secagem pode ser porque polifenóis parcialmente oxidados têm maior atividade antioxidante do que fenóis não oxidados. Além disso, a secagem leva à formação de novos compostos com atividade antioxidante elevada por causa da reação de Maillard, que poderia fazer com que os níveis de ação antioxidante aumentassem sob altas temperaturas. No caso da reação de Maillard, a alta atividade antioxidante é geralmente associada à formação de melanoidinas marrons (LÓPEZ-NICOLÁS; GARCÍA-CARMONA, 2010).

4.5. CARACTERIZAÇÃO DOS PÓS REIDRATADOS

A Tabela 13 apresenta os valores de sólidos solúveis, umidade, pH e atividade de água das polpas de goiaba original, processada e das polpas obtidas pela reidratação dos pós até a concentração de sólidos solúveis iniciais.

Tabela 13 - Avaliação dos parâmetros de sólidos solúveis, umidade, pH e atividade de água das polpas de goiaba e dos pós reidratados.

Amostras (processo)	Tipo de Suporte	Espessura de polpa (mm)	Sólidos solúveis (°Brix)	Umidade (g g ⁻¹ b.s.)	pH	Atividade de água Média ± DV
Polpa de goiaba original	-	-	3,2 ± 0,0 ^d	11,48 ± 0,38 ^{ab}	3,37 ± 0,01 ^c	0,995 ± 0,001 ^a
Polpa de goiaba processada	-	-	3,4 ± 0,1 ^c	11,28 ± 0,10 ^{ab}	3,25 ± 0,01 ^d	0,995 ± 0,001 ^a
Pó de goiaba reidratado (CTD)	Filme de poliéster	2	3,2 ± 0,1 ^{b,d}	11,50 ± 0,10 ^{ab}	3,39 ± 0,01 ^c	0,994 ± 0,003 ^a
		3	3,6 ± 0,1 ^a	9,97 ± 0,50 ^c	3,43 ± 0,01 ^b	0,993 ± 0,001 ^a
	Filme teflonado	2	3,1 ± 0,1 ^{b,d}	11,81 ± 0,35 ^a	3,36 ± 0,02 ^c	0,992 ± 0,001 ^a
		3	3,5 ± 0,1 ^{a,c}	10,98 ± 0,32 ^b	3,68 ± 0,01 ^a	0,993 ± 0,001 ^a
Pó de goiaba reidratado (Liofilização)	-	-	3,3 ± 0,1 ^{b,c}	9,22 ± 0,16 ^c	3,68 ± 0,01 ^a	0,992 ± 0,001 ^a

a-d Médias seguidas das mesmas letras sobrescritas na coluna indicam que não há diferença estatística pelo teste de Tuckey (p<0,10).

Fonte: Autor.

Os valores de umidade, pH e atividade de água das polpas reidratadas foram próximos aos encontrados para as polpas original e processada. Em geral, algumas amostras reidratadas apresentam uma diminuição nos valores de umidade, em base seca, em relação à matéria-prima, devido à alterações estruturais no produto pelo processo de secagem e aos valores de sólidos solúveis (°Brix) maiores, fazendo com que as amostras não incorporem água da mesma forma.

O pó de goiaba liofilizado, assim como observado por Souza (2015) ao analisar o pó de açaí obtido por liofilização, apresentou uma reidratação mais homogênea e com menor formação de sedimentos, devido à microestrutura porosa do pó formado pela secagem.

De acordo com normativa do MAPA (2000), os valores de pH da polpa de goiaba devem constar entre o mínimo de 3,5 e máximo de 4,2. As verificações de pH exibidas na Tabela 13, tanto da polpa original quanto da processada, encontram-se abaixo do permitido pela normativa, estando assim, fora dos padrões determinados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

García-Segovia, Andrés-Bello e Martínez-Monzó (2011), ao estudarem a reidratação de cogumelo Shiitake (*Lentinus edodes*) secos ao ar, observaram que a reidratação é prejudicada após a secagem devido aos danos estruturais no produto, os quais dificultam a absorção de água.

Segundo Lee, Farid e Nguang (2006), diferentes frutas têm diferentes taxas de reidratação, que variam de acordo com suas respectivas características e estruturas celulares, mesmo que sejam secas sob condições semelhantes. Os autores estudaram a modelagem matemática da reidratação de frutas liofilizadas e relataram que as amostras restauraram até 90% do seu teor de umidade original, dependendo do tipo de fruta e vários outros fatores como maturação e condição de congelamento.

4.6.1. Cor

As polpas de goiaba e os pós reidratados foram caracterizados pelos parâmetros de cor e foram calculadas as diferenças de cor em relação à polpa processada. Os valores encontram-se na Tabela 14.

Tabela 13 - Parâmetros de cor da escala CIELAB para a polpa de goiaba processada e para as polpas reconstituídas a partir dos pós, bem como as respectivas diferenças de cor.

Amostras (processo)	Tipo de suporte	Espessura de polpa (mm)	L*	a*	b*	ΔE
Polpa de goiaba processada	-	-	39,04 \pm 0,29 ^c	16,91 \pm 0,50 ^c	9,78 \pm 0,26 ^d	-
Pó de goiaba reidratado (CTD)	Filme de poliéster	2	39,68 \pm 0,12 ^b	20,23 \pm 0,14 ^b	19,35 \pm 0,029 ^b	10,16 \pm 0,44 ^{a,b}
		3	39,08 \pm 0,28 ^c	20,51 \pm 0,42 ^{a,b}	19,39 \pm 0,28 ^b	10,26 \pm 0,34 ^{a,b}
	Filme teflonado	2	39,85 \pm 0,08 ^b	20,50 \pm 0,17 ^{a,b}	18,81 \pm 0,14 ^b	9,76 \pm 0,44 ^b
		3	38,04 \pm 0,35 ^d	21,54 \pm 1,03 ^a	20,06 \pm 0,48 ^a	11,37 \pm 1,26 ^a
Pó de goiaba reidratado (Liofilização)	-	-	41,34 \pm 0,18 ^a	20,87 \pm 0,23 ^{a,b}	18,14 \pm 0,26 ^c	9,54 \pm 0,33 ^b

a-d Médias seguidas das mesmas letras sobrescritas na coluna indicam que não há diferença estatística pelo teste de Tuckey ($p < 0,10$).

Fonte: Autor.

A análise global de diferença de cor (ΔE) entre os pós e a matéria-prima é mais adequada pois evita equívocos que podem ser realizados quando os parâmetros são avaliados individualmente (DURIGON, 2016).

O menor valor de diferença de cor foi encontrado avaliando-se o pó liofilizado e reidratado, o que já era esperado devido às características de maior preservação físico-química do produto que o processo de liofilização acarreta. No entanto, não houve diferenças significativas ao comparar o valor de ΔE dos pós reidratados produzidos a partir de CTD e liofilização, o que indica similaridade entre os processos.

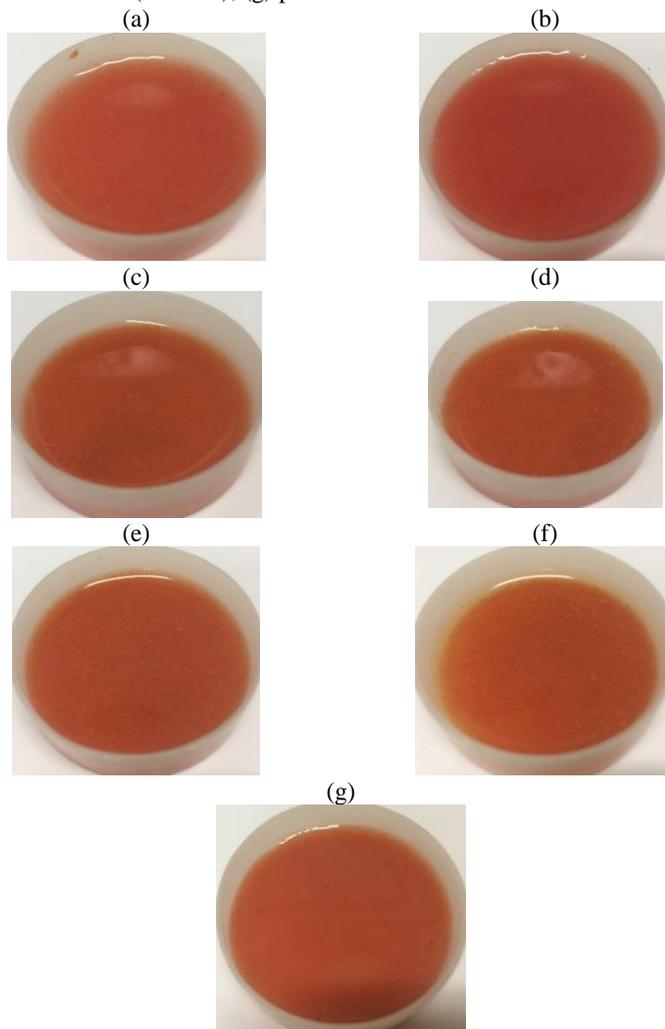
Assim como já foi discutido em relação à cor dos pós (item 4.5.6.), o parâmetro de cor a^* positivo demonstra a proximidade das polpas reidratadas da polpa de goiaba original e processada, afinal, a cor prevalente na matéria-prima é o vermelho.

Durigon (2016) encontrou diferenças de cor entre os pós de tomate reidratados e o suco de tomate que variaram entre 12,23 a 14,42, resultados acima dos obtidos nesse estudo. A autora também observou que os valores de ΔE dos pós reidratados, originados dos processos CTD e liofilização, foram semelhantes.

Castoldi et al. (2015) observaram que os pós de tomate produzidos por CTD e reidratados apresentaram pequenas variações no parâmetro de luminosidade L^* , dependendo da espessura de espalhamento de polpa e da temperatura da água aquecida aplicada. Foi relatada uma redução de L^* com o aumento da temperatura da água, indicando o escurecimento das amostras. Os valores mais elevados de cromaticidade a^* foram obtidos em pós produzidos com espessura de espalhamento de 2 mm e o menor valor de a^* nos pós reidratados foi atingido com temperatura da água de 95 °C.

Na Figura 20 estão apresentadas as imagens das polpas de goiaba original e processada e dos dos pós de goiaba reidratados.

Figura 20 - Polpas de goiaba (a) original, (b) processada; pós produzidos em CTD e reidratados, com espessuras de espalhamento de (c) 2 mm e (d) 3 mm em filme de poliéster (Mylar®); (e) 2 mm e (f) 3 mm, em filme teflonado (Teflon®); (g) pó liofilizado e reidratado.



Fonte: Autor.

Visualmente pode-se afirmar que os pós de goiaba reidratados apresentaram coloração próxima as das polpas de goiaba, tanto original quanto processada.

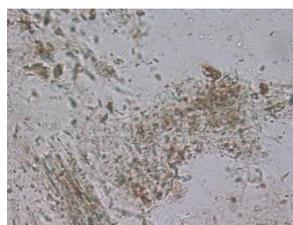
4.5.7. Microscopia Óptica

A Figura 21 expõe os registros das microscopias ópticas da polpa de goiaba original, processada e dos pós reidratados.

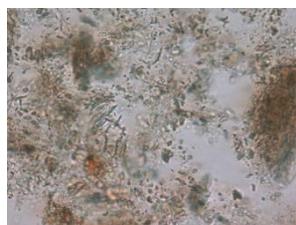
Figura 21 - Microscopia óptica das polpas de goiaba (a) original, (b) processada; pós produzidos em CTD e reidratados, com espessuras de espalhamento de (c) 2 mm e (d) 3 mm em filme de poliéster (*Mylar*[®]); (e) 2 mm e (f) 3 mm, em filme teflonado (*Teflon*[®]); (g) pó liofilizado e reidratado.



(a)



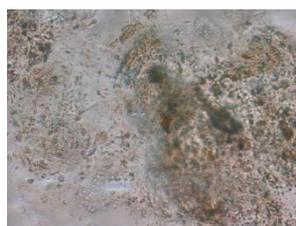
(b)



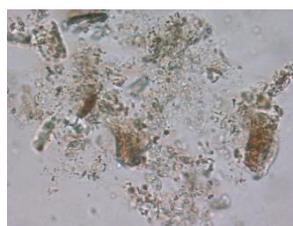
(c)



(d)



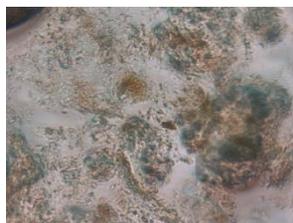
(e)



(f)



(g)



Fonte: Autor.

Percebe-se pelas imagens que as polpas de goiaba original e processada apresentam solutos dispersos em água, na forma de pequenas partículas (letras (a) e (b) da Figura 21). Já nos pós reidratados as partículas dispersas são maiores, revelando a heterogeneidade dos pós em água e constatando a não reidratação total, como já argumentado no item 4.6. Essas partículas provavelmente são cristais de açúcares, pigmentos carotenoides (β -caroteno e licopeno), fibras, proteínas, etc.

Uma vez que o sistema é fisicamente não homogêneo em escala microscópica, pode ser fisicamente instável. Vários tipos de alteração podem ocorrer durante o armazenamento, o que pode ser percebido como o desenvolvimento da falta de homogeneidade macroscópica, tal como a separação em camadas. Além disso, durante o processamento ou utilização, podem ocorrer alterações indesejáveis no estado disperso (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2008).

5. CONCLUSÕES

A secagem por *cast-tape drying* resulta em altas taxas de secagem e capacidades evaporativas, ocasionando tempos de processo curtos, de aproximadamente 10 minutos, utilizando-se espessura de espalhamento de 2 mm de polpa, e 20 minutos para espessura de 3 mm.

O tipo de suporte não influencia os tempos de secagem, nem as taxas e capacidades evaporativas do CTD. No entanto, o suporte teflonado, por maior facilidade de remoção do produto seco, pode ser mais conveniente para a manipulação.

A espessura de espalhamento de 2 mm de polpa na secagem por CTD, utilizando-se tanto o suporte de poliéster quanto o teflonado, resulta no aumento da taxa de secagem em 2,1 vezes e aumento da capacidade evaporativa em aproximadamente 1,6 vezes, em comparação ao uso de espessura de espalhamento de 3 mm. Por consequência, o uso da espessura de 2 mm proporciona menor tempo de secagem e menor exposição às temperaturas de processo, fatores potencialmente degradantes do produto.

Os pós produzidos por CTD, assim como por liofilização, apresentam baixos valores de atividade de água, podendo ser conservados à temperatura ambiente. Os tempos de dispersão são baixos, de até 9 segundos, o que comprova uma reidratação rápida do pó.

Os pós produzidos por CTD e liofilização apresentam cores atraentes, mas os pós produzidos por *cast-tape drying* são mais escuros. As polpas reidratadas têm cor semelhantes à polpa de goiaba antes da secagem.

A degradação de carotenoides durante o processamento é relativamente baixa, não ultrapassando 36%. Os valores de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante são elevados, porém a presença de interferentes na polpa pode ter afetado esses resultados químicos.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em trabalhos futuros, a análise de ácido ascórbico deve ser executada, a fim de melhor caracterizar a goiaba e também avaliar a influência desse composto na caracterização do pó e nos resultados obtidos de compostos fenólicos totais, carotenoides totais e atividade antioxidante. Sugere-se a utilização de atmosfera modificada durante a secagem, para reduzir a oxidação da polpa de goiaba e obter menor degradação dos compostos nutricionais. A realização das análises em polpa de goiaba não industrializada também é importante, a fim de comparar resultados e dimensionar as perdas decorrentes do processamento industrial da fruta. Uma análise de viabilidade econômica da produção de pó de goiaba em CTD é relevante para uma futura aplicação do processo em maior escala.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABONYI, Brendan I.; TANG, Juming; EDWARDS, Charles G.. **Evaluation of Energy Efficiency and Quality Retention for the Refractance Window™ Drying System.** [Washington]: [s.l.], 1999. 38p.

ABONYI, B.I. et al. Quality Retention in Strawberry and Carrot Purees Dried with Refractance Window™ System. **Journal Of Food Science: Food Engineering and Physical Properties**, [s. l.], v. 67, n. 3, p.1051-1056, 2002.

ABREU, José Renato de. **Monitoramento de alterações físicas, químicas e fisiológicas durante o amadurecimento de goiabas cv "Pedro Sato".** 2010. 94 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agroquímica, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

AGUILERA, José Miguel; CHIRALT, Amparo; FITO, Pedro. Food dehydration and product structure. **Trends in Food Science & Technology**, [s.l.], v. 14, n. 10, p.432-437, out. 2003. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0924-2244\(03\)00122-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0924-2244(03)00122-5).

AHERNE, S. Aisling; O'BRIEN, Nora M.. Dietary Flavonols: Chemistry, Food Content and Metabolism. **Nutrition**, Irlanda, v. 18, n. 1, p.75-81, 2002.

AMORIM, Patrícia Suevo. **Comportamento pós-colheita de goiabas (Psidium Guajava L.) embaladas em diferentes materiais.** 2004. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto, Belo Horizonte, 2004. Disponível em:

<http://www.redemat.ufop.br/arquivos/dissertacoes/2004/comportament_o_pos-colheita.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2016.

ASAMI, Danny K. et al. Comparison of the Total Phenolic and Ascorbic Acid Content of Freeze-Dried and Air-Dried Marionberry, Strawberry, and Corn Grown Using Conventional, Organic, and Sustainable Agricultural Practices. **Journal of Agricultural and Food**

Chemistry, [s.l.], v. 51, n. 5, p.1237-1241, fev. 2003. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/jf020635c>.

BAEGHBALI, Vahid; NIAKOUSARI, Mehrdad; FARAHNAKY, Asgar. Refractance Window drying of pomegranate juice: Quality retention and energy efficiency. **LWT - Food Science and Technology**, [s.l.], v. 66, p.34-40, mar. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.017>. Disponível em: <<http://api.elsevier.com/content/article/PII:S0023643815302358?httpAccept=text/xml>>. Acesso em: 21 mar. 2016.

BARBOSA, Shirley Janaine. **Qualidade de suco em pó de mistura de frutas obtido por spray drying**. 2010. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Produção Vegetal no Semiárido, Universidade Estadual de Montes Carlos - Unimontes, Janaúba, 2010.

BARBOSA-CÁNOVAS, Gustavo V. et al (Ed.). **Food Powders: Physical Properties, Processing and Functionality**. Nova Iorque: Kluwer Academic/plenum Publishers, 2005. (Food Engineering Series).

BARBOSA-CÁNOVAS, Gustavo V. et al (Ed.). **Water activity in foods: fundamentals and applications**. [s. l.]: IFT Press, 2007. 435 p.

BARBOSA-CÁNOVAS, Gustavo V.; VEGA-MERCADO, Humberto. **Dehydration of Foods**. [s. l.]: Chapman and Hall, 1996. (Food Engineering Series).

BASTOS, Maria do Socorro Rocha. **Processamento Mínimo de Frutas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 38 p. Disponível em: <http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br/arquivos/artigo_3583.pdf>. Acesso em: 07 mar. 2016.

BEZERRA, Tânia Sulamytha. **Caracterização física, química e morfológica de polpa de marolo liofilizada**. 2014. 140 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

BHANDARI, Blesh et al (Ed.). **Handbook of food powders: Processes and properties**. [s. l.]: Woodhead Publishing, 2013. 660 p.

BOILEAU, Thomas W. M.; BOILEAU, Amy C.; ERDMAN JUNIOR, John W.. Bioavailability of all-trans and cis-isomers of Lycopene. **Experimental Biology and Medicine**, Maywood, v. 227, n. 10, p.914-919, 2002.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M.e.; BERSET, C.. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Lwt - Food Science and Technology**, [s.l.], v. 28, n. 1, p.25-30, jan. 1995. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0023-6438\(95\)80008-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0023-6438(95)80008-5).

BRUNINI, Maria Amalia; OLIVEIRA, Antônio Luís de; VARANDA, Daniel Barbosa. Avaliação da qualidade de polpa de goiaba "Paluma" armazenada a -20 °C. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, Sp, v. 25, n. 3, p.394-396, dez. 2003.

CABRAL, R.A.F. et al. Effect of apparent viscosity on fluidized bed drying process parameters of guava pulp. **Journal of Food Engineering**, [s.l.], v. 80, n. 4, p.1096-1106, jun. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.09.002>.

CANO-CHAUCA, Milton et al. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [s.l.], v. 6, n. 4, p.420-428, dez. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2005.05.003>.

CAPARINO, O.A. et al. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder. **Journal of Food Engineering**, [s.l.], v. 111, n. 1, p.135-148, jul. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.010>.

CAPARINO, O. A. et al. Water Sorption, Glass Transition, and Microstructures of Refractance Window– and Freeze-Dried Mango (Philippine “Carabao” Var.) Powder. **Drying Technology**, [s.l.], v. 31, n. 16, p.1969-1978, 10 dez. 2013. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/07373937.2013.805143>.

CASTOLDI, M. et al. Production of Tomato Powder by Refractance Window Drying. **Drying Technology**, [s.l.], v. 33, n. 12, p.1463-1473,

2015. Informa UK Limited.
<http://dx.doi.org/10.1080/07373937.2014.989327>.

CELESTINO, Sonia Maria Costa. **Princípios de Secagem de Alimentos**. Planaltina, Df: Embrapa Cerrados, 2010. 51 p. Disponível em: <www.cpac.embrapa.br/download/1735/t>. Acesso em: 16 mar. 2016.

CELLI, Giovana Bonat et al. Refractance Window™ drying of haskap berry – Preliminary results on anthocyanin retention and physicochemical properties. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 194, p.218-221, mar. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.012>.

CHONG, Chien Hwa et al. Colour, phenolic content and antioxidant capacity of some fruits dehydrated by a combination of different methods. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 141, n. 4, p.3889-3896, dez. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.042>.

COHEN, Joseph S.; YANG, Tom C.S.. Progress in food dehydration. **Trends in Food Science & Technology**, [s.l.], v. 6, n. 1, p.20-25, jan. 1995. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0924-2244\(00\)88913-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0924-2244(00)88913-x).

CRUZ, Welliton Fagner da. **Determinação da higroscopicidade do cajá em pó por meio da secagem por atomização**. 2013. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

FANG, Y.; SELOMULYA, C.; CHEN, X. D.. On Measurement of Food Powder Reconstitution Properties. **Drying Technology**, [s.l.], v. 26, n. 1, p.3-14, 28 dez. 2007. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/07373930701780928>.

DACANAL, Gustavo César. **Estudo da granulação de suco de acerola desidratado em leite fluidizado**. 2005. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, 2005.

DAMODARAN, Srinivasan; PARKIN, Kirk L.; FENNEMA, Owen R. (Ed.). **Fennema's: Food Chemistry**. 4. ed. [s.l.]: Crc Press, 2008. 1158 p.

DURIGON, Angelise. **Produção e caracterização de tomate em pó por cast-tape drying**. 2016. 130 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

DURIGON, Angelise et al. Cast-tape drying of tomato juice for the production of powdered tomato. **Food And Bioproducts Processing**, [s.l.], v. 100, p.145-155, out. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2016.06.019>.

Eastman, J.E.; Moore, C.O. (1984). **Cold water soluble granular starch for gelled food composition**. U.S. nº 4465702.

ESTADOS UNIDOS. National Agricultural Library. United States Department of Agriculture. **National Nutrient Database for Standard Reference Release 28**. 2016. Disponível em: <<https://ndb.nal.usda.gov/ndb/>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

EVANGELISTA, Regina Marta; VIEITES, Rogério Lopes. Avaliação da Qualidade de Polpa de Goiaba Congelada, Comercializada na Cidade de São Paulo. **Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, v. 13, n. 2, p.76-81, 2006.

FAOSTAT. **Mangoes, mangosteens, guavas**. 2014. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/home/E>>. Acesso em: 13 jan. 2016.

FERNANDES, Aline Gurgel et al. Comparação dos Teores em Vitamina C, Carotenoides Totais, Antocianinas Totais e Fenólicos Totais do Suco Tropical de Goiaba nas Diferentes Etapas de Produção e Influência da Armazenagem. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 18, n. 4, p.431-438, dez. 2007.

FREIRE, Juliana Mesquita et al. Quantificação de compostos fenólicos e ácido ascórbico em frutos e polpas congeladas de acerola, caju, goiaba e morango. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 12, p.2291-2296, dez. 2013.

GARCÍA-SEGOVIA, P.; ANDRÉS-BELLO, A.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J.. Rehydration of air-dried Shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) caps:

Comparison of conventional and vacuum water immersion processes. **Lwt - Food Science and Technology**, [s.l.], v. 44, n. 2, p.480-488, mar. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2010.08.010>.

GEANKOPLIS, C.J.. **Procesos de transporte y operaciones unitarias**. 3. ed. México: Compañía Editorial Continental, S.a. de Cv, 1998. 1007 p.

GHIO, S.; BARRESI, A.a.; ROVERO, G.. A Comparison of Evaporative and Conventional Freezing Prior to Freeze-Drying of Fruits and Vegetables. **Food And Bioproducts Processing**, [s.l.], v. 78, n. 4, p.187-192, dez. 2000. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1205/09603080051065287>.

GOALARD, Carol et al. Characterization of the Dispersion Behavior of Powders in Liquids. **Particle & Particle Systems Characterization**, [s.l.], v. 23, n. 2, p.154-158, ago. 2006. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1002/ppsc.200601024>.

GONÇALVES, Bárbara Jordana. **Monitoração por termografia infravermelha da qualidade pós-colheita de goiabas armazenadas sob refrigeração**. 2014. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

GOULA, Athanasia M.; ADAMOPOULOS, Konstantinos G.. Effect of Maltodextrin Addition during Spray Drying of Tomato Pulp in Dehumidified Air: II. Powder Properties. **Drying Technology**, [s.l.], v. 26, n. 6, p.726-737, 12 maio 2008. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/07373930802046377>.

GOWEN, A.A. et al. Applications of thermal imaging in food quality and safety assessment. **Trends in Food Science & Technology**, [s.l.], v. 21, n. 4, p.190-200, abr. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2009.12.002>.

GUERRA, Amilton Gurgel; MENDONÇA, Vander; MENDONÇA, Luciana Freitas de Medeiros. **Agronegócio da Goiaba**. [s. L.]: Clube de Autores, 2008. 98 p. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=2PgtBQAAQBAJ&printsec=foro>>

ntcover&hl=pt-BR&source=gbs_atb#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 14 jan. 2016.

HAIDA, Kimiyo Shimomura et al. Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante de duas variedades de goiaba e arruda. **Revista Brasileira de Ciências da Saúde**, [s.l.], v. 9, n. 28, p.11-19, jun. 2011.

HALLIWELL, Barry. Antioxidants in Human Health and Disease. **Annual Review of Nutrition**, [s.l.], v. 16, n. 1, p.33-50, 1996.

HAMMAMI, Chokri; RENÉ, Frédéric. Determination of freeze-drying process variables for strawberries. **Journal of Food Engineering**, Thiverval-grignon, França, v. 32, p.133-154, 1997.

HLA, P. Kyaw; HOGEKAMP, S.. Wetting behaviour of instantized cocoa beverage powders. **International Journal of Food Science And Technology**, [s.i.], n. 34, p.335-342, 1999.

HOGEKAMP, S.; SCHUBERT, H.. Rehydration of Food Powders. **Food Science and Technology International**, [s.l.], v. 3, n. 9, p.223-235, 2003.

IGNAT, Ioana; VOLF, Irina; POPA, Valentin I.. A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 126, n. 4, p.1821-1835, jun. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.026>.

INCROPERA, Frank P. et al. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc - Livros Técnicos e Científicos Editora S.a., 2008. 644 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema IBGE de Recuperação Eletrônica (SIDRA)**. 2014. Disponível em: <www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 13 jan. 2016.

INFANTE, Juliana. **Composição fenólica e atividade antioxidante de polpa, casca, semente e folha de espécies frutíferas nativas do Brasil**. 2013. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências dos Alimentos, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

JAYASUNDERA, Mithila et al. Surface protein coverage and its implications on spray-drying of model sugar-rich foods: Solubility, powder production and characterisation. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 128, n. 4, p.1003-1016, out. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.04.006>.

JONES, Bryan F.. A reappraisal of the use of infrared thermal image analysis in medicine. **Ieee Transactions of Medical Imaging**, [s.i.], v. 17, n. 6, p.1019-1027, dez. 1998.

KADAM, Dattatreya M.; KAUSHIK, Pratibha; KUMAR, Ramesh. Evaluation of Guava Products Quality. **Food**, [s.l.], v. 2, n. 1, p.7-11, 1 fev. 2012. Scientific and Academic Publishing. <http://dx.doi.org/10.5923/j.food.20120201.02>.

KROKIDA, M.K.; PHILIPPOPOULOS, C.. Volatility of apples during air and freeze drying. **Journal of Food Engineering**, [s.l.], v. 73, n. 2, p.135-141, mar. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.01.012>.

KUSKOSKI, Eugenia Marta et al. Frutos tropicais silvestres e polpas de frutas congeladas: atividade antioxidante, polifenóis e antocianinas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 4, p.1283-1287, ago. 2006.

LANNES, Suzana Caetano da Silva; MEDEIROS, Magda Leite. Processamento de achocolatado de cupuaçu por spray-dryer. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, São Paulo, v. 39, n. 1, p.115-123, mar. 2003.

LAVELLI, V; ZANONI, B; A ZANIBONI,. Effect of water activity on carotenoid degradation in dehydrated carrots. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 104, n. 4, p.1705-1711, 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.033>.

LEE, Kuek Tze; FARID, Mohammed; NGUANG, Sing Kiong. The mathematical modelling of the rehydration characteristics of fruits. **Journal Of Food Engineering**, [s.l.], v. 72, n. 1, p.16-23, jan. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.11.014>.

LEÓN-MARTÍNEZ, F.M.; MÉNDEZ-LAGUNAS, L.L.; RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, J.. Spray drying of nopal mucilage (*Opuntia ficus-indica*): Effects on powder properties and characterization. **Carbohydrate Polymers**, [s.l.], v. 81, n. 4, p.864-870, jul. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.03.061>.

LILLFORD, P.J.; FRYER, P.J.. Food Particles and the Problems of Hydration. **Trans IchemE**, [s.i.], v. 76, p.797-802, out. 1998.

LIMA, Dag Mendonça et al. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. 2011. Disponível em: <http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf?arquivo=taco_4-versao_ampliada_e_revisada.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2016.

LÓPEZ-NICOLÁS, José Manuel; GARCÍA-CARMONA, Francisco. Enzymatic and Nonenzymatic Degradation of Polyphenols. In: LAROSA, Laura A. de; ALVAREZ-PARRILLA, Emilio; GONZÁLEZ-AGUILAR, Gustavo A. (Ed.). **Fruit and Vegetable Phytochemicals**. [s.l.]: Wiley-blackwell, 2010. Cap. 4. p. 101-129.

MACIEL, Roberta Magila Gurgel. **Obtenção do pó da polpa de goiaba pelo método de camada de espuma**. 2016. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

MAGOON, R. E. Patent No. 4,631,837. U. S. A., 1986.

MAHENDRAN, T. Physico-chemical Properties and Sensory Characteristics of Dehydrated Guava Concentrate: Effect of Drying Method and Maltodextrin Concentration: Quality of instant guava drink powder. **Tropical Agricultural Research & Extension**, [s.l.], v. 13, n. 2, p.48-53, maio 2010.

MAIA, A.B.R.; GOLGHER, M.. Parâmetros para Avaliação da Qualidade de Reconstituição do Leite em Pó Desidratado em Secador de Aspersão ("spray drier"). **Boletim SBCTA**, Campinas, v. 17, n. 3, p.235-254, 1983.

MARQUES, Luanda Gimeno. **Liofilização de frutas tropicais**. 2008. 255 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008. Disponível em: <http://www.btdt.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado/tde_arquivos/10/TDE-2009-10-23T085314Z-2508/Publico/2148.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2016.

MARQUES, Elisabete Coentrão; COSTA, Stella Regina Reis da. Estudo da liofilização pela engenharia de produto no processamento industrial de alimentos. **Acta Tecnológica**, [rio de Janeiro], v. 10, n. 1, p.44-52, 2015.

MATTA, Virgínia Martins da et al. **Polpa de Fruta Congelada**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 35 p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/114308/1/00076180.pdf>>. Acesso em: 07 mar. 2016.

MENDONÇA, Romário Delbons et al. Características físicas e químicas de goiabas 'Cortibel 1' e 'Cortibel 4' armazenadas em condições ambientais. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p.685-692, abr. 2007.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instrução Normativa nº 01, de 07 de janeiro de 2000**: Regulamento Técnico Geral para Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para Polpa de Fruta, 2000.

MORAES, F. P. et al. Avaliação dos compostos bioativos presentes no resíduo de goiaba vermelha (*Psidium guajava* L.) desidratada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 20., 2014, Florianópolis. **Anais...** . Florianópolis: Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014. p. 1 - 8.

MORAES, Jaqueline Oliveira de et al. Scale-up of the production of cassava starch based films using tape-casting. **Journal of Food Engineering**, [s.l.], v. 119, n. 4, p.800-808, dez. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.07.009>. Disponível em: <<http://api.elsevier.com/content/article/PII:S026087741300366X?httpAccept=text/xml>>. Acesso em: 18 mar. 2016.

MORR, C.V. et al. A Collaborative Study to Develop a Standardized Food Protein Solubility Procedure. **Journal Of Food Science**, [s.i.], v. 50, p.1715-1718, 1985.

MOURA NETO, Luis Gomes de et al. Qualidade pós-colheita de goiabas cv. "Paluma" submetidas à aplicação de cloreto de cálcio armazenadas em temperatura ambiente. **ACSA - Agropecuária Científica no Semi-Árido**, [s.i.], v. 4, p.27-31, 2008.

NACZK, Marian; SHAHIDI, Fereidoon. Extraction and analysis of phenolics in food. **Journal of Chromatography A**, [s.l.], v. 1054, n. 1-2, p.95-111, out. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chroma.2004.08.059>.

NIMISHA, S. et al. Molecular breeding to improve guava (*Psidium guajava* L.): Current status and future prospective. **Scientia Horticulturae**, [s.l.], v. 164, p.578-588, dez. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2013.10.017>.

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

NINDO, C.I.; POWERS, J.R.; TANG, J.. Influence of Refractance Window evaporation on quality of juices from small fruits. **LWT - Food Science and Technology**, [s.l.], v. 40, n. 6, p.1000-1007, ago. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2006.07.006>.

NINDO, C. I.; TANG, J.. Refractance Window Dehydration Technology: A Novel Contact Drying Method. **Drying Technology**, [s.l.], v. 25, n. 1, p.37-48, 12 fev. 2007. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/07373930601152673>.

NINDO, C. I.; TANG, J.. Refractance Window Dehydration Technology: A Novel Contact Drying Method. **Drying Technology**, [s.l.], v. 25, n. 1, p.37-48, 12 fev. 2007. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/07373930601152673>.

NORA, Cleice Dalla et al. Effect of processing on the stability of bioactive compounds from red guava (*Psidium cattleianum* Sabine) and guabiju (*Myrcianthes pungens*). **Journal of Food Composition And**

Analysis, [s.l.], v. 34, n. 1, p.18-25, maio 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2014.01.006>.

NUNES, Juliana C. et al. Effect of drying method on volatile compounds, phenolic profile and antioxidant capacity of guava powders. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 197, p.881-890, abr. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.050>.

OCHOA-MARTÍNEZ, C.I. et al. Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window™ technique. **Journal of Food Engineering**, [s.l.], v. 109, n. 1, p.69-75, mar. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.09.032>.

OCORÓ-ZAMORA, María U.; AYALA-APONTE, Alfredo A.. INFLUENCE OF THICKNESS ON THE DRYING OF PAPAYA PUREE (Carica papaya L.) THROUGH REFRACTANCE WINDOW™ TECHNOLOGY. **Dyna**, Medellín, v. 80, n. 182, p.147-154, dez. 2013.

OIKONOMOPOULOU, V.P.; KROKIDA, M.K.; KARATHANOS, V.T. The influence of freeze drying conditions on microstructural changes of food products, **Procedia Food Science**, v. 1, p. 647-654, 2011.

OLIVEIRA, Alane Cabral de et al. Fontes Vegetais Naturais de Antioxidantes. **Química Nova**, [s.l.], v. 32, n. 3, p.689-702, 2009.

OLIVEIRA, Daniela da Silva et al. Vitamina C, carotenoides, fenólicos totais e atividade antioxidante de goiaba, manga e mamão procedentes da Ceasa do Estado de Minas Gerais. **Acta Scientiarum. Health Science**, [s.l.], v. 33, n. 1, p.89-98, 19 maio 2011. Universidade Estadual de Maringá. <http://dx.doi.org/10.4025/actascihealthsci.v33i1.8052>.

OLIVEIRA, Itamar Pereira de et al. Cultivo da goiaba: do plantio ao manejo. **Revista Faculdade Montes Belos**, [s.i.], v. 5, n. 4, p.137-156, ago. 2012.

ORTIZ-JEREZ, Monica Jimena et al. Quantitative understanding of Refractance Window™ drying. **Food and Bioprocess Processing**, [s.l.], v. 95, p.237-253, jul. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2015.05.010>.

PISECKÝ, Jan. **Handbook of Milk Powders Manufacture**. 2. ed. Copenhagen, Dinamarca: GEA Process Engineering A/S, 2012.

ORTIZ-JEREZ, M. J.; OCHOA-MARTÍNEZ, C. I.. Heat Transfer Mechanisms in Conductive Hydro-Drying of Pumpkin (*Cucurbita maxima*) Pieces. **Drying Technology**, [s.l.], v. 33, n. 8, p.965-972, 2 fev. 2015. Informa UK Limited.
<http://dx.doi.org/10.1080/07373937.2015.1009538>.

OSORIO, Coralia; FORERO, Diana P.; CARRIAZO, José G.. Characterisation and performance assessment of guava (*Psidium guajava* L.) microencapsulates obtained by spray-drying. **Food Research International**, Bogotá, Colombia, v. 44, p.1174-1181, 2011.

PADULA, Marisa; RODRIGUEZ-AMAYA, Delia B.. Characterisation of the Carotenoids and Assessment of the Vitamin A Value of Brazilian Guavas (*Psidium guajava* L.). **Food Chemistry**, Campinas, v. 20, p.11-19, 1986.

PARK, Kil Jin Brandini et al. Secagem: fundamentos e equações. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p.93-127, 2014.

PARK, Kil Jin; BIN, Adriana; BROD, Fernando Pedro Reis. Drying of pear d'Anjou with and without osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, Campinas, v. 56, p.97-103, mar. 2002.

PAVAN, Mariana A.. **Effects of freeze drying, refractance window drying and hot-air drying on the quality parameters of açaí**. 2010. 88 f. Tese (Doutorado) - Curso de Food Science And Human Nutrition, University Of Illinois, Urbana, Illinois, 2010.

PAVAN, Mariana A.; SCHMIDT, Shelly J.; FENG, Hao. Water sorption behavior and thermal analysis of freeze-dried, Refractance Window-dried and hot-air dried açaí (*Euterpe oleracea* Martius) juice. **LWT - Food Science and Technology**, [s.l.], v. 48, n. 1, p.75-81, set. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2012.02.024>.

PEREIRA, Camila G.; MEIRELES, M. Angela A.. Supercritical Fluid Extraction of Bioactive Compounds: Fundamentals, Applications and Economic Perspectives. **Food and Bioprocess Technology**, [s.l.], v. 3, n. 3, p.340-372, 3 out. 2009. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-009-0263-2>.

PINTO, Jamilla Teixeira. **Efeito da estocagem da goiabada a diferentes temperaturas sobre os teores de carotenóides e ácido ascórbico**. 2006. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência dos Alimentos, Alimentos e Nutrição, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Araraquara, 2006.

POTTER, Norman N.; HOTCHKISS, Joseph H.. **Food Science**. 5. ed. Gaithersburg: Aspen Publishers, Inc., 1998.

PRADO, Adna. **Composição Fenólica e Atividade Antioxidante de Frutas Tropicais**. 2009. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

QUEIROZ, V.A.V.; BERBERT, P.A.; DE MOLINA, M.A.B.; GRAVINA, G.A.; QUEIROZ, L.R.; DELIZA, R. **Desidratação por imersão-impregnação e secagem por convecção de goiaba**, Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 42, n. 10, p. 1479-1486, out. 2007.

QUEK, Siew Young; CHOK, Ngan King; SWEDLUND, Peter. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. **Chemical Engineering And Processing: Process Intensification**, [s.l.], v. 46, n. 5, p.386-392, maio 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cep.2006.06.020>.

RATTI, Cristina. **Advances in Food Dehydration**. [S.L.]: Crc Press, 2008. (Contemporary Food Engineering).

RE, Roberta et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, [s.l.], v. 26, n. 9-10, p.1231-1237, maio 1999. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3).

RIBEIRO, Eliana Paula; SERAVALLI, Elisena A. G.. **Química de Alimentos**. 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2003.

RODRIGUES, Maria Elessandra de Araújo et al. Avaliação da temperatura e velocidade do ar na secagem de goiaba. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p.141-147, 2002. Trimestral.

RODRIGUEZ-AMAYA, Delia B.. **A guide to carotenoid analysis in foods**. Washington: ILSI Press, 2001. 64 p.

SCHUCK, P.. Dairy powders. **Handbook of Food Powders**, [s.l.], p.437-464, 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1533/9780857098672.3.437>.

SCOTT, W.J.. Water Relations of Food Spoilage Microorganisms. **Advances in Food Research Volume 7**, [s.l.], p.83-127, 1957. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0065-2628\(08\)60247-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0065-2628(08)60247-5).

SCREMIN, Fernanda Fabiane. **Influência do estado de maturação e das etapas de processamento na reologia e caracterização físico-química da polpa de goiaba (Psidium Guajava L.) pasteurizada**. 2007. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

SEMANA INTERNACIONAL DA FRUTICULTURA, FLORICULTURA E AGROINDÚSTRIA - FRUTAL, 14., 2007, Fortaleza. **Produção de goiaba**: Luiz Gonzaga Neto. Fortaleza: Instituto de Desenvolvimento da Fruticultura e Agroindústria – Frutal, 2007. 64 p.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS (Brasil). **O cultivo e o mercado da goiaba**. 2014. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/O-cultivo-e-o-mercado-da-goiaba>>. Acesso em: 13 jan. 2016.

SILVA, Daniele Sales da et al. Estabilidade de componentes bioativos do suco tropical de goiaba não adoçado obtido pelos processos de enchimento quente e asséptico. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 1, p.237-243, mar. 2010.

SILVA, Larissa Morais Ribeiro da et al. Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 143, p.398-404, jan. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.001>.

SILVA, Priscilla Andrade; CARVALHO, Ana Vânia; PINTO, Cleicilene Araújo. Elaboração e caracterização de fruta estruturada mista de goiaba e cajá. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n. 51, p.99-113, jun. 2009.

SINGLETON, Vernon L.; ORTHOFER, Rudolf; LAMUELA-RAVENTÓS, Rosa M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. **Oxidants and Antioxidants Part A**, [s.l.], p.152-178, 1999. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0076-6879\(99\)99017-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0076-6879(99)99017-1).

SOUZA, Antônio Carlos Gomes de. **Industrialização de polpa e suco de goiaba**. [20--]. Disponível em: <http://www.nutricaoeplantas.agr.br/site/ensino/pos/Palestras_William/Livrogoiaba_pdf/3_industrializacao.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2016.

SOUZA, Paula Gimenez de. **Produção e caracterização de açaí (Euterpe oleracea Mart.) desidratado em pó por cast-tape drying**. 2015. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

SPILLER, Samira Haddad. **Pectina de goiaba: Avaliação de métodos de extração e análise de esterases durante o amadurecimento (solubilização de membranas e eletroforese)**. 2012. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agroquímica, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

TERRONI, Henrique Cesar et al. Liofilização. **Revista Científica Unilago**, [S.l.], v. 1, n. 1, p.271-284, 2013.

THOMAS, Marie E. C. et al. Milk Powders Ageing: Effect on Physical and Functional Properties. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [s.l.], v. 44, n. 5, p.297-322, set. 2004. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10408690490464041>.

TONON, Renata Valeriano. **Secagem por atomização do suco de açaí: influência das variáveis de processo, qualidade e estabilidade do produto**. 2009. 212 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

TONON, Renata Valeriano; BRABET, Catherine; HUBINGER, Míriam Dupas. Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 2, p.444-450, jun. 2009.

TROLLER, John A.; CHRISTIAN, J.H.B.. **Water activity and Food**. [S.l.]: Academic Press, 1978.

VEGA-MERCADO, Humberto; GÓNGORA-NIETO, M. Marcela; BARBOSA-CÁNOVAS, Gustavo V.. Advances in dehydration of foods. **Journal of Food Engineering**, [S.l.], v. 49, n. 4, p.271-289, set. 2001. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0260-8774\(00\)00224-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0260-8774(00)00224-7).

VERAVERBEKE, E.a. et al. Thermographic surface quality evaluation of apple. **Journal of Food Engineering**, [S.l.], v. 77, n. 1, p.162-168, nov. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.06.059>.

VISSOTTO, Fernanda Zaratini et al. Avaliação da influência dos processos de lecitinação e de aglomeração nas propriedades físicas de achocolatado em pó. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 26, n. 3, p.666-671, jul. 2006.

VOJDANI, F.. **Solubility: Methods of Testing Protein Functionality**. Londres: Blackie Academic & Professional, 1996.

WILLCOX, Joye K.; CATIGNANI, George L.; LAZARUS, Sheryl. Tomatoes and Cardiovascular health. **Food Science And Nutrition: Critical Reviews**, Boca Raton, v. 43, n. 1, p.1-18, 2003.

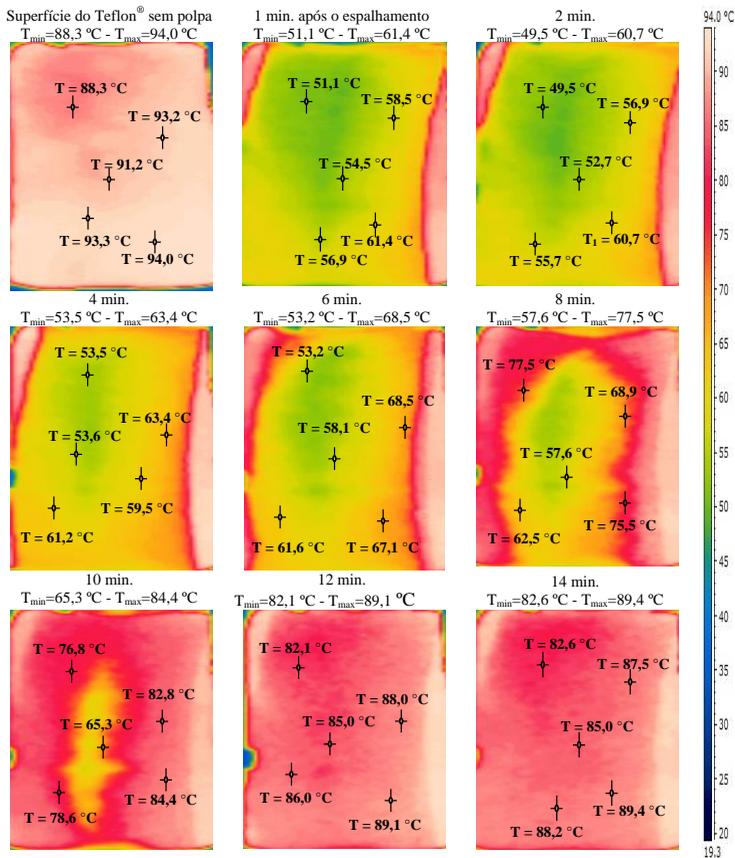
ZAINAL, B.S. et al. Effects of temperature on the physical properties of pink guava juice at two different concentrations. **Journal of Food Engineering**, Selangor, Malaysia, v. 43, p.55-59, 2000.

ZOTARELLI, Marta Fernanda. **Produção e caracterização de manga desidratada em pó por diferentes processos de secagem**. 2014. 165 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

ZOTARELLI, Marta Fernanda; CARCIOFI, Bruno Augusto Mattar; LAURINDO, João Borges. Effect of process variables on the drying rate of mango pulp by Refractance Window. **Food Research International**, [s.l.], v. 69, p.410-417, jan. 2015.

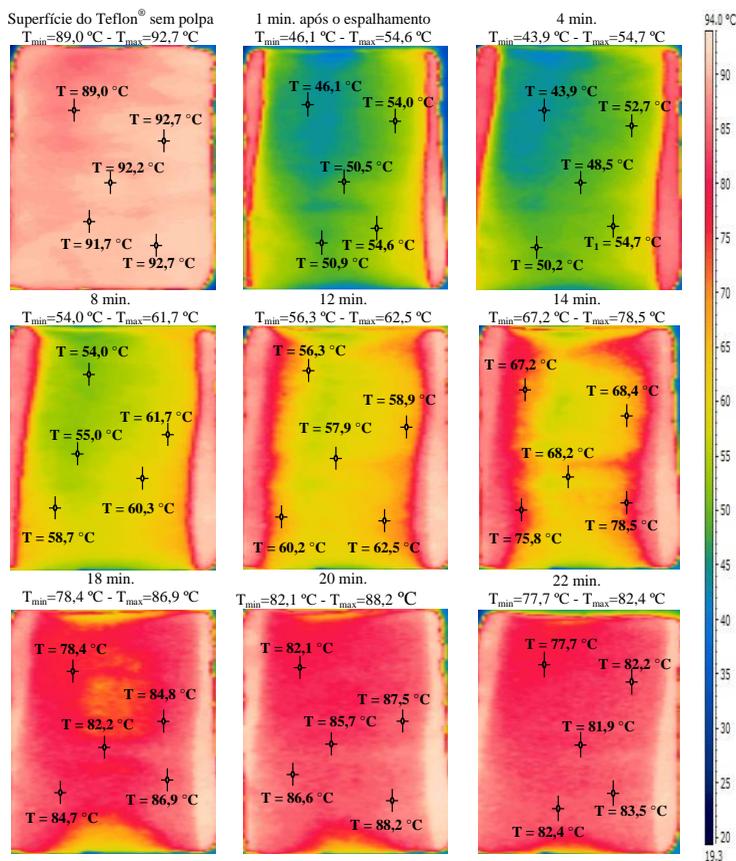
APÊNDICE A

Figura A - Imagens termográficas da evolução da temperatura durante a secagem utilizando 2 mm de espessura de polpa de goiaba e filme teflonado como suporte (Teflon®).



Fonte: Autor.

Figura B - Imagens termográficas da evolução da temperatura durante a secagem utilizando 3 mm de espessura de polpa de goiaba e filme teflonado como suporte (Teflon®).



Fonte: autor.