UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

MONIQUE MI SONG CHUNG

**Polpa de guavira (*Campomanesia cambessedean*a Berg)
desidratada em *Spray Dryer*: Efeitos das condições de
processo e composição de alimentação nas propriedades
físico químicas e atividade antioxidante**

MONIQUE MI SONG CHUNG

**Polpa de guavira (*Campomanesia cambessedeanana* Berg)
desidratada em *Spray Dryer*: Efeitos das condições de
processo e composição de alimentação nas propriedades
físico químicas e atividade antioxidante**

Versão corrigida

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção de título de Mestre em Ciências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais.

Área de Concentração em Desenvolvimento, caracterização e aplicação de materiais voltados à agroindústria.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Izabel Cristina Freitas Moraes

Pirassununga

2016

Ficha catalográfica elaborada pelo
Serviço de Biblioteca e Informação, FZEA/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C559p Chung, Monique Mi Song
 Polpa de guavira (*Campomanesia cambessedean*
Berg) desidratada em Spray Dryer: Efeitos das
condições de processo e composição da alimentação nas
propriedades / Monique Mi Song Chung ; orientadora Izabel
Cristina Freitas Moraes. -- Pirassununga, 2016.
94 p.

 Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
em Engenharia e Ciência de Materiais) -- Faculdade
de Zootecnia e Engenharia de Alimentos,
Universidade de São Paulo.

 1. Secagem de Alimentos. 2. Frutas. 3.
Antioxidantes. 4. Fenólicos. 5. Estabilidade. I.
Moraes, Izabel Cristina Freitas, orient. II. Título.

MONIQUE MI SONG CHUNG

Polpa de guavira (*Campomanesia cambessedeanana* Berg) desidratada em *Spray Dryer*: Efeitos das condições de processo e composição de alimentação nas propriedades físico químicas e atividade antioxidante

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção de título de Mestre em Ciências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais.

Aprovado em: 04 de fevereiro de 2016

Banca Examinadora

Profa. Dra. Ivanise Guilherme Branco

Instituição: UNESP

Profa. Dra. Mariza Pires de Melo

Instituição: USP - FZEA

Dra. Renata Valeriano Tonon

Instituição: Embrapa Agroindústria de Alimentos

“Entrega o teu caminho ao SENHOR, confia nele, e o mais ele fará”

Salmos 37:5

DEDICATÓRIA

À Deus e à minha mãe, as principais bases da minha vida. Foi por eles, todo o esforço e dedicação envolvidos nesse trabalho.

AGRADECIMENTOS

À Deus por todas as bênçãos concedidas e por sempre me guiar pelo caminho mais acertado.

À minha mãe, Soung, que me ensinou os valores da humildade, paciência, generosidade e principalmente amor.

À professora Izabel Cristina Freitas Moraes, pela paciência, compreensão e principalmente amizade durante o início da minha vida na pesquisa científica. Sua orientação foi essencial na conclusão desse trabalho.

Aos técnicos Camila e Marcelo pelo apoio na operação do *Spray Dryer*.

Aos técnicos Rodrigo e Ana Mônica pelas análises de microscopia eletrônica e análises térmica de calorimetria diferencial.

À professora Carmen Tadini e ao técnico de laboratório Ivan por permitir e auxiliar nas análises de isoterma de sorção.

Às alunas de iniciação científica, Bruna e Márcia, pela colaboração na obtenção dos resultados.

Aos meus amigos e colegas do Laboratório Multiusuário de Análise de Alimentos.

Aos meus amigos, Carla Luciano, Naila Albertina, Caroline Andreucetti, Eliana Argandoña e Daniel Camargo, por toda a ajuda, ouvidos e conselhos nos inúmeros momentos em que esse caminho se tornou muito difícil. Muito obrigada!

Às meninas da República Reboco, Yakult, Dani, Destaque, Fini, Érika, Irmã, Peteca, Sativa, Laka, Hashi, Thallita e Elisa, por todas as festas, risadas, brigadeiros, alguns desentendimentos e por sempre voltarmos a nos entender. Morar com vocês foi um grande aprendizado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) Processo Nº 2013/15836-7) pela concessão da bolsa de mestrado e apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

RESUMO

CHUNG, M. M. S. **Polpa de guavira (*Campomanesia cambessedean*a Berg) desidratada em *Spray Dryer*: Efeitos das condições de processo e composição de alimentação nas propriedades físico químicas e atividade antioxidante**. 2015. 94 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2015.

O objetivo desse trabalho foi obter polpa de guavira desidratada por atomização, utilizando maltodextrina ou goma arábica como agentes carreadores. Inicialmente, avaliou-se a influência das condições de processo, temperatura do ar de secagem (130, 155 e 180) °C e vazão volumétrica da mistura (20 e 40) mL/min, o tipo e concentração de agente carreador (10 e 20) % nas características físicas, físico-químicas e atividade antioxidante do produto obtido. As propriedades analisadas foram umidade, atividade de água, higroscopicidade, solubilidade, cor, distribuição e tamanho médio de partículas, morfologia, compostos fenólicos totais e atividade antioxidante. A temperatura do ar de secagem e a vazão volumétrica de alimentação influenciaram significativamente todas as propriedades da guavira em pó. A umidade e atividade de água apresentaram os menores valores na temperatura intermediária, independentemente do tipo e concentração do carreador usado. A solubilidade das amostras adicionadas de maltodextrina foram superiores às amostras com goma arábica. O aumento da concentração de agente carreador, em geral, proporcionou um aumento no parâmetro L^* e diminuição dos parâmetros a^* e b^* , tornando as amostras mais claras e reduzindo as tonalidades vermelha e amarela. A guavira em pó apresentou coloração próxima do amarelo e marrom, com grande variação nos parâmetros de cor C^* e H^* em função das diferentes condições de secagem. A distribuição do tamanho de partículas não teve um padrão definido e o tamanho médio das amostras com maltodextrina foram maiores do que as com goma arábica para a temperatura do ar a 130 °C. No entanto, para as outras temperaturas (155 e 180) °C não houve um comportamento específico do tamanho das partículas em função da vazão de alimentação, tipo e ou concentração de agente carreador. A análise de microscopia eletrônica de varredura permitiu observar que as partículas obtidas tanto com maltodextrina como goma arábica apresentaram formato esférico, superfície rugosa e com adesão de partículas menores nas de maior tamanho, sendo que a superfície das partículas com goma arábica também apresentaram concavidades. A atividade antioxidante foi superior quando utilizada a temperatura de secagem intermediária. A

partir das condições selecionadas na primeira etapa (temperatura do ar de 155 °C, vazão volumétrica da mistura de 40 mL/min e 10% de maltodextrina ou goma arábica) a polpa de guavira em pó foi caracterizada quanto a temperatura de transição vítrea, as isothermas de adsorção e a estabilidade à estocagem do ácido ascórbico, compostos fenólicos totais e da atividade antioxidante da polpa de guavira em pó produzida por *spray drying* ao longo de 120 dias. As temperaturas de transição vítrea foram de $(25,2 \pm 2,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e $31,4 \pm 0,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$) para os pós produzidos com goma arábica e maltodextrina, respectivamente. O modelo de BET apresentou ajuste muito bom ($R^2 > 0,99$) para descrever o comportamento de sorção de água das amostras nas temperaturas de (20, 30 e 40) °C. A polpa de guavira em pó produzida com goma arábica apresentou maior adsorção de água do que as amostras obtidas com maltodextrina. No estudo da estabilidade, as amostras foram acondicionadas em embalagem de polietileno laminado e armazenadas a 25 °C e umidade relativa de 75%. A embalagem de polietileno laminado foi eficiente na manutenção do teor de ácido ascórbico e atividade antioxidante da guavira em pó por um período de 120 dias, independente do carreador adicionado. O teor de compostos fenólicos para a guavira em pó com goma arábica apresentou uma redução nos primeiros 22 dias, contudo a amostra com maltodextrina manteve-se estável durante 120 dias de armazenamento.

Palavras-chave: Atomização; Maltodextrina; Goma arábica; Morfologia; Estabilidade à Estocagem; Frutas do cerrado.

ABSTRACT

CHUNG, M. M. S. **Guavira (*Campomanesia cambessedea* Berg) pulp dehydrated in Spray Dryer: Effects of process conditions and feed composition on the physicochemical properties and antioxidant activity**. 2015. 94 f. M. Sc. Dissertation – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2015.

The aim of this work was to obtain dried guavira pulp by spray drying, using maltodextrin or arabic gum as carrier agents. Initially, it was evaluated the influence of the process conditions, inlet air temperature (130, 155 e 180) °C and mixture feed flow rate (20 e 40) mL/min, carrier agent type and concentration (10 e 20) % in physical, physicochemical properties and antioxidant activity of the product. The analyzed properties were moisture content, water activity, higroscopicity, solubility, distribution and average particle size, morphology, total phenolic compounds and antioxidant activity. The inlet air temperature and mixture feed flow significantly influenced all the properties of guavira powder. The moisture content and water activity showed lower values in intermediate temperature, independent of the carrier agent type and concentration. The solubility of the samples with maltodextrin were higher than the samples with arabic gum. Increasing the carrier agent concentration generally resulted in an increase of the parameter L* and a reduction of a* and b* parameters, making lighter samples and reducing the red and yellow hues. The color of the guavira powder presented next to yellow and brown coloring, with great variation in parameters C* and H* depending on the different drying conditions. The size distribution of the particles had no definite pattern and the particles average size of the samples with maltodextrin were higher the samples with arabic gum for the inlet air temperature at 130 °C. However, for the other temperatures (155 and 180) °C there is a specific behavior of the particle size depending of the feed flow rate, carrier agent type and concentration. The scanning electronic microscopic analysis observed that the particles obtained with maltodextrin or arabic gum presented spherical, roughness surface and adhesion of the smaller particles into larger, the particles with arabic gum also presented concavities. The antioxidant activity was higher at intermediate inlet air temperature. From the selected conditions at the first phase (inlet air temperature of 155 °C, feed flow rate of 40 mL/min and 10% of maltodextrina or arabic gum) the guavira pulp powder were evaluated the glass transition temperature, the adsorption isotherms

and the storage stability of ascorbic acid and antioxidant activity of the guavira powder produced to over 120 days. The glass transition temperatures were $(25,2 \pm 2,7 \text{ }^{\circ}\text{C e } 31,4 \pm 0,4) \text{ }^{\circ}\text{C}$ for the powder obtained with arabic gum and maltodextrin, respectively. The BET model presented good adjustment ($R^2 > 0,99$) to describe the water sorption behavior of the samples at test temperatures of (20, 30 e 40) $^{\circ}\text{C}$. The guavira powder with arabic gum showed higher water adsorption than the samples with maltodextrin. In the stability study, samples were packed in polyethylene-laminated packaging and stored at 25 $^{\circ}\text{C}$ and relative humidity of 75%. The packaging was effective in maintaining ascorbic acid and antioxidant activity of the guavira powder for a period of 120 days for samples with the addition of maltodextrin and gum arabic. The content of phenolic compounds for guavira powder with gum arabic showed a reduction in the first 22 days, but the sample with maltodextrin remained stable for 120 days of storage.

Keywords: Spray drying; Maltodextrin; Arabic gum; Morphology; Storage Stability; Cerrado fruits.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Frutos de guavira (<i>Campomanesia cambessedean</i>).	18
Figura 2. Diagrama esquemático de um secador <i>spray dryer</i>	20
Figura 3. Formação de partícula por secagem por atomização.	21
Figura 4. Principais componentes estruturais da maltodextrina.	24
Figura 5. Estrutura molecular da goma arábica.	25
Figura 6. Foto da polpa de guavira congelada.	31
Figura 7. Fotografia do atomizador <i>Spray-Dryer</i> piloto modelo SD 5.0.	32
Figura 8. Diagrama CIELCH de cores.	34
Figura 9. Efeito das condições de processo, do tipo e a concentração de carreador sobre o teor de umidade para a polpa de guavira em pó.	43
Figura 10. Atividade de água em função das condições de processo, da concentração e tipo do carreador da polpa de guavira em pó.	45
Figura 11. Valores de solubilidade em função das condições de processo, do tipo e da concentração de carreador da polpa de guavira em pó.	46
Figura 12. Efeito das condições de processo, o tipo e a concentração do agente carreador sobre a higroscopicidade da polpa de guavira em pó.	48
Figura 13. Parâmetro L^* em função das condições de processo e da concentração de carreador da polpa de guavira em pó.	53
Figura 14. Parâmetro C^* em função das condições de processo e da concentração de carreador da polpa de guavira em pó.	53
Figura 15. Parâmetro H^* obtido para a polpa de guavira em pó produzida em diferentes condições de processo.	54
Figura 16. Distribuição do tamanho de partículas da polpa de guavira em pó produzidos em diferentes temperaturas do ar de secagem, concentrações de maltodextrina e vazões volumétricas da mistura. a) 10% maltodextrina e 20 mL/min; b) 20% maltodextrina e 20 mL/min; c) 10% maltodextrina e 40 mL/min; d) 20% maltodextrina e 40 mL/min.	55
Figura 17. Distribuição do tamanho de partículas da polpa de guavira em pó produzidos em diferentes temperaturas do ar de secagem, concentrações de goma arábica e vazões volumétricas da mistura. a) 10% de goma arábica e 20 mL/min; b) 20% de goma arábica e 20 mL/min; c) 10% de goma arábica e 40 mL/min; d) 20% de goma arábica e 40 mL/min.	55
Figura 18. Diâmetro médio em função das condições de processo e concentração de carreador da polpa de guavira em pó.	57

Figura 19. Morfologia das partículas da polpa de guavira em pó obtida por *spray drying* com vazão volumétrica da mistura de 20 mL/min, a) 130°C e 10% de maltodextrina, b) 130°C e 20% de maltodextrina, c) 155°C e 10% de maltodextrina, d) 155°C e 20% de maltodextrina, e) 180°C e 10% de maltodextrina, f) 180°C e 20% de maltodextrina. Aumento de 500 x (lado esquerdo) e 1000 x (direito) de cada tratamento. 59

Figura 20. Morfologia das partículas da polpa de guavira em pó obtida por *spray drying* com vazão volumétrica da mistura de 40 mL/min, a) 130°C e 10% de maltodextrina, b) 130°C e 20% de maltodextrina, c) 155°C e 10% de maltodextrina, d) 155°C e 20% de maltodextrina, e) 180°C e 10% de maltodextrina, f) 180°C e 20% de maltodextrina. Aumento de 500 x (lado esquerdo) e 1000 x (direito) de cada tratamento. 60

Figura 21. Morfologia das partículas da polpa de guavira em pó obtida por *spray drying* com vazão volumétrica da mistura de 20 mL/min, a) 130°C e 10% de goma arábica, b) 130°C e 20% de goma arábica, c) 155°C e 10% de goma arábica, d) 155°C e 20% de goma arábica, e) 180°C e 10% de goma arábica, f) 180°C e 20% de goma arábica. Aumento de 500 x (lado esquerdo) e 1000 x (direito) de cada tratamento..... 61

Figura 22. Morfologia das partículas da polpa de guavira em pó obtida por *spray drying* com vazão volumétrica da mistura de 40 mL/min, a) 130°C e 10% de goma arábica, b) 130°C e 20% de goma arábica, c) 155°C e 10% de goma arábica, d) 155°C e 20% de goma arábica, e) 180°C e 10% de goma arábica, f) 180°C e 20% de goma arábica. Aumento de 500 x (lado esquerdo) e 1000 x (direito) de cada tratamento..... 62

Figura 23. Efeito das condições de processo (temperatura do ar de secagem e vazão volumétrica da mistura), do tipo e concentração do carreador (10 e 20 %) sobre o indicador de Folin-Ciocalteu para a guavira em pó. 65

Figura 24. Efeito das condições de processo e da concentração do carreador (10 e 20 %) sobre a atividade antioxidante, determinada pelo método DPPH•, para a polpa de guavira em pó. 67

Figura 25. Efeito das condições de processo e da concentração do carreador (10 e 20%) sobre a atividade antioxidante, determinada pelo método ABTS⁺• para a polpa de guavira em pó. 67

Figura 26. Curvas de Calorimetria Diferencial de Varredura para a polpa de guavira em pó obtida por *spray drying* na temperatura do ar de secagem de 155°C, vazão volumétrica da mistura de 40 mL/min e adição de 10% de maltodextrina ou goma arábica..... 70

Figura 27. Isotermas de adsorção da polpa de guavira em pó, obtida por <i>spray drying</i> com temperatura do ar de secagem de 155°C, vazão volumétrica da mistura de 40 mL/min e adição de 10% de a) maltodextrina, b) goma arábica em diferentes temperaturas de análise. Linha contínua: modelo de BET.	72
Figura 28. Umidade e atividade de água para a polpa de guavira em pó com maltodextrina ou goma arábica durante a estocagem (25 °C e UR =75%).....	74
Figura 29. Luminosidade (L*) para a polpa de guavira em pó com maltodextrina ou goma arábica durante a estocagem (25 °C e UR =75%).....	74
Figura 30. Valores dos parâmetros de cor C* e H* para a polpa de guavira em pó com maltodextrina ou goma arábica durante a estocagem (25 °C e UR =75%).	75
Figura 31. Conteúdo total de fenólicos e Vitamina C para a polpa de guavira em pó com maltodextrina ou goma arábica durante a estocagem (25 °C e UR =75%).	76
Figura 33. Atividade antioxidante (ensaio DPPH•) para a polpa de guavira em pó com maltodextrina ou goma arábica durante a estocagem (25 °C e UR =75%).	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição centesimal da guavira. *g por 100g da parte comestível.	19
Tabela 2. Número de ensaios em função da temperatura do ar de entrada, concentração de agente carreador e vazão volumétrica da mistura.....	32
Tabela 3. Composição química da polpa de guavira <i>in natura</i>	40
Tabela 4. Umidade, atividade de água, solubilidade e higroscopicidade da polpa de guavira em pó obtidas por diferentes condições de processo.	42
Tabela 5. Padrões de higroscopicidade de pós.	47
Tabela 6. Fotografias da polpa de guavira em pó obtida para diferentes condições de processo, concentrações e tipos de carreadores.	50
Tabela 7. Parâmetros de cor da polpa de guavira em pó em função das diferentes condições de processo.	51
Tabela 8. Tamanho médio de partícula da polpa de guavira em pó.	56
Tabela 9. Resultados de conteúdo total de fenólicos dos pós de guavira em pó obtidos por Spray-Drying para diferentes condições de processo (temperatura do ar de secagem, vazão volumétrica da mistura) e concentração de maltodextrina ou goma arábica.....	64
Tabela 10. Atividade antioxidante <i>in vitro</i> da polpa de guavira em pó determinada pelos métodos DPPH• e ABTS ⁺ •.	66
Tabela 11. Parâmetros do modelo de BET ajustados para as isotermas de sorção.....	72

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	16
2	OBJETIVOS	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	Guavira.....	17
3.2	Secagem de alimentos	19
3.3	Secagem por atomização ou aspersão em <i>Spray dryer</i>	20
3.4	Agentes carreadores	22
3.4.1	Maltodextrina	23
3.4.2	Goma arábica	25
3.5	Compostos bioativos	26
3.5.1	Compostos fenólicos	27
3.5.2	Atividade antioxidante.....	27
3.6	Isotermas de sorção	28
3.7	Estabilidade	29
4	MATERIAL E MÉTODOS	30
4.1	Material.....	30
4.2	Métodos.....	31
4.2.1	Caracterização da polpa <i>in natura</i>	31
4.2.2	Secagem por atomização	31
4.2.3	Caracterização da polpa de guavira em pó.....	33
4.2.4	Seleção da condição de processo	37
4.2.5	Avaliação do pó de guavira obtido na condição de processo selecionada	38
4.2.6	Análises Estatísticas	39
5	RESULTADOS	40
5.1	Caracterização da polpa <i>in natura</i>	40
5.2	Efeitos das diferentes condições de secagem	40

5.3	Caracterização da guavira em pó	41
5.3.1	Umidade	41
5.3.2	Atividade de água	44
5.3.3	Solubilidade	45
5.3.4	Higroscopicidade	47
5.3.5	Cor.....	49
5.3.6	Distribuição e Tamanho Médio de Partícula.....	54
5.3.7	Morfologia das partículas	57
5.3.8	Conteúdo Total de Compostos Fenólicos	63
5.3.9	Atividade Antioxidante	65
5.4	Seleção da melhor condição de secagem	68
5.5	Avaliação da guavira em pó produzida pela condição de secagem selecionada	69
5.5.1	Temperatura de transição vítrea	69
5.5.2	Isoterma de sorção	71
5.5.3	Estudo da estabilidade à estocagem	73
6	Conclusões.....	77
	REFERÊNCIAS.....	79
	APÊNDICE A	88
	APÊNDICE B	94

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A flora brasileira é uma das fontes de material bioativo mais rica do mundo devido a sua biodiversidade e abriga alguns biomas inexplorados ou pouco conhecidos (SILVA, 2010). O bioma do Cerrado ocupa 25% do território brasileiro e é o segundo maior bioma da América do Sul, perdendo somente para a Floresta Amazônica. Contudo, essa biodiversidade tem sido ameaçada pela progressiva mecanização da lavoura, sendo que nos últimos 30 anos, estima-se que cerca de 40% do bioma já tenham sido desmatados (ROESLER et al., 2007).

O cerrado brasileiro tem sido alvo de diversos estudos devido a sua grande diversidade frutífera e o pouco conhecimento das características e benefícios para a saúde humana quando seus frutos são consumidos *in natura* ou processados.

O papel dos antioxidantes naturais na prevenção de doenças como o câncer, doenças cardiovasculares e neuro-degenerativas é vastamente conhecido. Dessa forma, diversos estudos têm investigado frutas, verduras e cereais como fontes desses compostos (MALTA et al., 2012).

A guavira é um fruto proveniente do cerrado brasileiro, suas folhas e frutos apresentam propriedades anti-inflamatórias, antidiarreica e antisséptica das vias urinárias (CAMPOS et al., 2012). Trata-se de um produto altamente perecível e sazonal, sendo que seu período de colheita é de setembro a novembro. A polpa de guavira é rica em compostos com atividade antioxidante, como compostos fenólicos, vitamina C e beta caroteno (MALTA et al., 2012; SANTOS et al., 2013).

A secagem por atomização representa uma alternativa para melhorar a conservação de frutas. A desidratação de polpa de fruta aumenta potencialmente a estabilidade do produto, diminui seu volume e conseqüentemente reduz o custo com embalagem, manipulação e transporte. Por outro lado, polpa de fruta em pó, obtida por secagem em *Spray Dryer*, pode apresentar algumas características indesejáveis, tais como alta higroscopicidade, baixa solubilidade e alta concentração de açúcar. Uma forma de tentar solucionar esses problemas é a adição de agentes carreadores (FERRARI et al., 2013).

Diante do exposto, com o objetivo de aumentar a vida de prateleira de polpa de guavira e viabilizar seu consumo em todo o território brasileiro propõe-se obter um

material particulado, pelo método *spray drying*, a partir da polpa de guavira com adição de agente carreador.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral desse trabalho foi produzir polpa de guavira em pó por atomização, usando como agentes carreadores maltodextrina ou goma arábica.

Os objetivos específicos foram:

- Estudar os efeitos das condições de processo (temperatura do ar de entrada e vazão volumétrica da mistura), do tipo e da concentração do agente carreador sobre as propriedades físicas, físico-químicas e atividade antioxidante da polpa de guavira em pó.
- Caracterizar as amostras em pó em termos de propriedades físicas (umidade, higroscopicidade, morfologia, tamanho de partículas e cor), químicas (compostos fenólicos totais e atividade antioxidante) e físico-químicas (solubilidade e atividade de água).
- Comparar a guavira em pó produzida por atomização com diferentes agentes carreadores (maltodextrina ou goma arábica) e selecionar uma condição de processo para o estudo de estabilidade à estocagem da polpa de guavira em pó.
- Determinar as isotermas de sorção e as temperaturas de transição vítrea para as amostras selecionadas.
- Avaliar a estabilidade da polpa de guavira em pó ao longo de 120 dias de armazenamento na temperatura de 25 °C e umidade relativa de 75%.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Guavira

A *Campomanesia cambessedeanana* Berg, popularmente conhecida como guavira, guabiroba, guabiroba-do-campo, guariroba ou gabioba, é pertencente à Família *Myrtaceae* (MALTA et al., 2012; VIEIRA et al., 2006). Abundante na região do Cerrado, floresce de setembro a novembro (VIEIRA et al., 2006) após a estiagem e a época de chuvas. A guavira é conhecida por sua resistência às condições adversas e por crescer bem em terreno bruto e de baixa fertilidade (SANTOS et al., 2012).

Segundo Malta et al. (2012), os frutos de guavira têm a forma redonda, fragrância cítrica e sua cor pode variar entre verde e amarelo (Figura 1). Estes são apreciados por suas características sensoriais e valor nutricional, servindo de alimento para aves e pequenos mamíferos, que são os principais dispersores de suas sementes (SANTOS et al., 2013).

Figura 1. Frutos de guavira (*Campomanesia cambessedeani*).

Fonte: Click Mudas. Disponível em: <<http://www.clickmudas.com.br/arvores-frutiferas/muda-30a60-gabiroba.html>>. Acesso em dez 2015.]

As folhas e os frutos de guavira possuem propriedades medicinais com ação anti-inflamatória, antidiarreica e antisséptica das vias urinárias, sendo utilizada na prevenção de reumatismo e desobstruente do fígado (CAMPOS et al., 2012). Malta et al. (2012) observaram a presença de compostos fenólicos na guavira, estes compostos podem apresentar propriedades anticarcinogênicas, antimutagênicas, anti-inflamatórias e antivirais. Santos et al. (2013) avaliaram as características físico-químicas e potencial antioxidante de doces obtidos com a polpa de guavira; os resultados mostraram que os doces de guavira apresentaram compostos fenólicos, vitamina C e boa retenção de beta caroteno.

Os frutos de guavira não são consumidos com frequência, exceto pelas populações locais que costumam consumi-los frescos (SANTOS et al., 2013). Sua polpa

é succulenta, ácida e levemente adocicada, com potencial para ser utilizada na indústria de alimentos e como flavorizante na indústria de bebidas (CAMPOS et al., 2012).

A guavira apresenta baixo teor energético devido a reduzida concentração de macronutrientes, principalmente lipídios, contendo bons níveis de cálcio, ferro, zinco, fibras (CAMPOS et al., 2012) e vitamina C (33 mg/100 g), valor próximo do apresentado pela laranja Bahia (47 mg/100 g) e ao recomendado pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura e a Organização Mundial de Saúde (FAO/OMS) de 30 mg/dia (VIEIRA et al., 2006). A Tabela 1 apresenta a composição centesimal do fruto da guavira.

Tabela 1. Composição centesimal da guavira. *g por 100g da parte comestível.

<i>Análises</i>	<i>Valores médios</i>
<i>Umidade</i>	82,8*
<i>Proteínas</i>	1,8*
<i>Lipídios</i>	1,0*
<i>Açúcares</i>	13,9*
<i>Fibras</i>	0,8*
<i>Cinzas</i>	0,7*

Fonte: IBGE. **Estudo nacional da despesa familiar** - ENDEF: Tabelas de composição dos alimentos. 5. ed. Rio de Janeiro, 1999. p. 49.

3.2 Secagem de alimentos

A desidratação ou secagem é um processo no qual aplica-se calor sob condições controladas para remover, por evaporação, a maioria da água presente no alimento *in natura* (FELLOWS, 2006).

Durante o processo de secagem, algumas propriedades nutritivas dos alimentos podem ser perdidas. Contudo, as seguintes vantagens podem ser atribuídas à desidratação:

- Aumento da vida útil do produto.
- Facilidade no transporte e comercialização, pois o alimento seco é mais leve, compacto.

- Manutenção da qualidade do produto seco é superior comparado ao alimento úmido.
- Redução das perdas pós-colheita (CELESTINO, 2010).

A secagem por atomização aplica-se para alimentos líquidos e é um dos métodos mais utilizados devido à viabilidade econômica, disponibilidade de equipamentos e boa qualidade do produto final (MORAES, 2014).

3.3 Secagem por atomização ou aspersão em *Spray dryer*

O esquema de funcionamento do *spray dryer* é mostrado na Figura 2. O alimento líquido é injetado através de um bico atomizador de forma concomitante na câmara de secagem, onde ocorre a secagem propriamente dita. O fluxo de ar segue para o ciclone, onde para a separação do pó da corrente de ar e consequentemente, a recuperação do produto em pó (MORAES, 2014).

Figura 2. Diagrama esquemático de um secador *spray dryer*.

Fonte: Adaptado de MORAES, F. P. **Polpa desidratada de caju amarelo (*Anacardium occidentale* L.) por atomização em spray dryer: caracterização físico-química, bioativa e estudo da vida de prateleira do produto.** 2014. 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

A formação das partículas consiste em três etapas: na primeira fase ocorre a dispersão do fluido a ser desidratado na forma de gotículas, a fim de aumentar sua área superficial; na segunda, essa nuvem de gotículas entra em contato com a corrente de ar aquecido que promove a transferência de calor e, conseqüentemente, a terceira etapa, a evaporação do solvente do fluido e formação das partículas sólidas, conforme esquema apresentado na Figura 3 (OLIVEIRA; PETROVICK, 2010).

A secagem em *spray dryer* é rápida, de (1 a 10) s, devido à grande área superficial das gotículas. A taxa de alimentação do ar é controlada a fim de produzir uma temperatura do ar de saída de (90 a 100) °C, de forma que a temperatura de bulbo úmido, no interior do alimento será de (40 a 50) °C, causando poucos danos ao alimento pelo calor (FELLOWS, 2006), permitindo a secagem de produtos sensíveis ao calor e redução das perdas na qualidade do produto final (MORAES, 2014).

Figura 3. Formação de partícula por secagem por atomização.

Fonte: OLIVEIRA, O. W.; PETROVICK, P.R. Secagem por aspersão (spray drying) de extratos vegetais: bases e aplicações. **Rev. Bras. Farmacogn.** V. 20, n. 4, p. 641 – 650, 2010.

Os bicos aspersores podem ser classificados em três tipos: pneumáticos, de disco giratório e de pressão, sendo os dois primeiros mais utilizados. Os aspersores pneumáticos e de pressão permitem a obtenção de partículas de diversos tamanhos, dependendo do diâmetro interno do bocal injetor. Contudo, são mais susceptíveis à oclusão dependendo do produto atomizado. Os bicos de disco giratório podem ser empregados para secagem de produtos abrasivos ou com viscosidade elevada. Entretanto, apresentam a desvantagem do custo e consumo de energia elevados (OLIVEIRA; PETROVICK, 2010).

Uma grande variedade de alimentos é desidratada utilizando a secagem por atomização, como por exemplo, leite, ovos, café, cacau, chá, batata, misturas para sorvete, manteiga, creme, iogurte e queijo em pó, substitutos de leite, sucos de fruta, extratos de carne e levedura, aromas encapsulados e produtos de amido e trigo (FELLOWS, 2006).

As propriedades físico-químicas dos pós produzidos por atomização dependem de algumas variáveis de processo, como as características do líquido (viscosidade, tamanho de partículas, vazão de alimentação) e do ar de secagem (temperatura e pressão), assim como o tipo de atomizador (TONON; BRABET; HUBINGER, 2008).

A secagem de sucos de fruta por atomização pode apresentar alguns problemas, como a formação de um material amorfo. O estado amorfo caracteriza-se pela alta higroscopicidade, tendência à pegajosidade e formação de aglomerados (BARBOSA, 2010).

A transformação de um material seco em um material amorfo e pegajoso ocorre na temperatura de transição vítrea (T_g). Alimentos ricos em açúcares e ácidos orgânicos de baixo peso molecular, como é o caso de frutas, possuem baixa T_g , com valores abaixo da temperatura de secagem, assim, tendem a ficar pegajosos e aderir às paredes do *spray dryer* (BARBOSA, 2010). Um método para evitar esse problema é a adição de materiais com alta massa molecular a fim de aumentar a concentração de sólidos e consequentemente, a temperatura de transição vítrea. Esses materiais são chamados de agentes carreadores (FAZAELI et al., 2012).

3.4 Agentes carreadores

O uso de aditivos, ou agentes carreadores, é um procedimento indispensável na secagem por atomização na maioria das polpas de frutas, pois a alta concentração

de açúcares causa a caramelização e a aderência nas paredes do secador, inviabilizando o processo. A utilização de agentes carreadores também pode promover um melhor manuseio do produto final, aumentando a proteção contra a absorção de umidade do ambiente, tornando-o menos higroscópico (FERREIRA et al., 2014).

Os agentes carreadores normalmente utilizados na secagem por atomização são a maltodextrina e a goma arábica, principalmente devido à sua elevada solubilidade e baixa viscosidade, que são condições favoráveis para o processo de secagem por pulverização (FAZAELI et al., 2012, FONTES et al., 2014, PARRAS-SAAVEDRA et al., 2015, SILVA P. et al., 2013). Outros aditivos utilizados são os xaropes de glicose, frutose, pectina, lactose, proteínas e agentes umectantes (FERREIRA et al., 2014).

3.4.1 Maltodextrina

As maltodextrinas são produtos da hidrólise do amido e podem ser obtidas de diferentes fontes botânicas. Consistem de uma mistura de sacarídeos, polissacarídeos e oligossacarídeos e estão disponíveis no mercado em pó ou soluções concentradas (COUTINHO, 2007). A Figura 4 mostra a composição estrutural das maltodextrinas.

Devido à solubilidade em água, à baixa densidade e por não apresentar sabor adocicado e sabor de amido, são muito utilizadas nas indústrias de alimentos, como substituto de gordura em molhos para salada, em sobremesas congeladas prevenindo a formação de grandes cristais de gelo, em produtos lácteos fornecem textura macia e cremosidade, em embutidos devido às suas características espessantes e também são muito utilizadas como auxiliares no processo de secagem por atomização evitando a aglomeração de produto nas tubulações de *Spray Dryer*, auxiliando na obtenção de uma granulação homogênea durante a secagem e melhorando a dispersão do produto em água após a secagem (COUTINHO, 2007).

As maltodextrinas possuem alta massa molecular e são os aditivos de secagem mais utilizados atualmente, suas temperaturas de transição vítrea (T_g) variam de 100 a 243 °C dependendo de seu equivalente em dextrose (GOULA e ADAMOPOULOS, 2008a).

Figura 4. Principais componentes estruturais da maltodextrina.

Fonte: KENNEDY, J.F.; KNILL, C.J.; TAYLOR, D.W. Maltodextrins. In: KEARSLEY, M.W.; DZIEDZIC, S.Z. Blackie Academic & Professional, 1995. p.65-82.

Goula e Adamopoulos (2008b) estudaram o efeito da adição de maltodextrina como agente atomizante na secagem de polpa de tomate em *Spray Dryer*, afirmando que a adição de maltodextrina melhorou a higroscopicidade, a aglomeração e a solubilidade do pó, enquanto que uma ligeira diminuição dos valores de umidade e densidade foi observada.

Tonon, Brabet e Hubinger (2008) estudaram a secagem de polpa de açaí em *Spray Dryer* com adição de 10 e 30% de maltodextrina, concluindo que a concentração da maltodextrina teve efeito negativo na higroscopicidade confirmando sua eficiência como agente carreador.

Ferrari et al. (2013) estudaram as características físico-químicas do pó de amora preta (*blackberry*) produzidas com maltodextrina ou goma arábica. A secagem com maltodextrina resultou em pós mais estáveis, ricos em antocianinas e com elevada atividade antioxidante, mostrando-se como melhor agente carreador.

Nunes et al. (2015) afirmam que a adição de maltodextrina diminuiu o teor de umidade, atividade de água e higroscopicidade de extrato de folhas de mate desidratados por atomização.

3.4.2 Goma arábica

A goma arábica ou goma acácia é uma secreção de árvores de acácia com espécies distribuídas nas regiões tropicais e subtropicais, contudo as melhores são produzidas no Sudão e na Nigéria. É um material heterogêneo composto por duas frações primárias, uma cadeia de polissacarídeos com pouca ou nenhuma proteína e uma fração com moléculas de maior massa molecular com proteínas (DAMODARAN, PARKIN e FENNEMA, 2010). A estrutura da goma arábica é apresentada na Figura 5.

Figura 5. Estrutura molecular da goma arábica.

Em que, Araf é arabinose, Galp é galactose, Glcp é glucorônico e Rhap é ramnose

Fonte: RUTZ, J. K. **Caracterização e microencapsulação de suco de pitanga roxa (*Eugenia uniflora* L.).** 2013. 106 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

A goma arábica é constituída por arabinose (28%), galactose (39%), glicose (17,5%), ácido 4-O-metil-glicose (1,5%) e ramnose (14%), formando uma cadeia principal de β -D-galactopiranoses ligada (1→3) com ligações (1→6) alternadas e cadeias laterais ramificadas (DEFAYE e WONG, 1986)

A goma arábica é um agente carreador eficaz devido às suas propriedades emulsificantes, uma vez que tem um pequeno teor de proteína na sua composição. Além disso, ele apresenta alta solubilidade e baixa viscosidade em solução aquosa, o que facilita o processo de secagem em *Spray Dryer* (FAZAELI et al., 2013). Utilizado como estabilizador de flavorizantes, em emulsões de óleo em água. Possui atividade tensoativa formando uma camada macromolecular espessa em torno das gotículas de óleo proporcionando uma estabilidade espacial (DAMODARAN, PARKIN e FENNEMA, 2010).

Uma característica importante dessa goma é a compatibilidade com altas concentrações de açúcar, sendo muito utilizada na elaboração de produtos com alto teor de açúcar e baixo conteúdo de água (DAMODARAN, PARKIN e FENNEMA, 2010).

Silva F. et al. (2013) estudaram a viabilização da secagem de própolis utilizando goma arábica como agente carreador e concluíram que a proporção de 1:6 (própolis:goma arábica) foi o melhor método para atomizar a própolis.

Ferrari et al. (2013) estudaram as características físico-químicas do pó de amora preta (*blackberry*) produzidas com maltodextrina ou goma arábica após estocagem de 150 dias a 25 e 35 °C, concluindo que a temperatura de estocagem afeta negativamente a estabilidade da antocianina devido à alta termosensibilidade desse pigmento, contudo houve um aumento da atividade antioxidante com o aumento da temperatura devido à reação de Maillard, a qual promoveu a formação de compostos com atividade antioxidante.

3.5 Compostos bioativos

Atualmente, as plantas são vastamente utilizadas como fonte natural de agentes medicinais, aditivos alimentícios, cosméticos e nutracêuticos, de forma que pesquisas relacionadas com compostos bioativos naturais nesses últimos anos tem ganhado crescente atenção (EASMIN et al., 2015).

Frutas contêm diferentes compostos antioxidantes, como vitamina C, vitamina E, carotenoides e polifenóis. Estes compostos possuem potencial efeito de proteção na prevenção de processos degenerativos de câncer e doenças cardiovasculares e cerebrovasculares em humanos (RAMÍREZ; GIRALDO; ORREGO, 2015).

3.5.1 Compostos fenólicos

Fenólicos incluem inúmeros compostos com diferentes estruturas químicas e compreendem ácidos fenólicos, flavonoides, estilbenos e lignanos. Além de suas funções anti-inflamatórias, antibacterianas, e antivirais, muitos fenólicos são antioxidantes mais fortes que antioxidantes vitamínicos (RAMÍREZ; GIRALDO; ORREGO, 2015).

Os compostos fenólicos são altamente susceptíveis à degradação por diversos fatores, como oxigênio, luz, pH e calor. Contudo, a estabilidade de polifenóis pode ser aumentada utilizando a secagem por *spray drying* (NUNES et al., 2015), podendo estar relacionada à ação protetora do agente carreador e a inativação de enzimas polifenólicas pelo calor durante a secagem (HORUZ; ALTAN; MASKAN, 2012).

As propriedades antioxidantes dos compostos fenólicos devem-se ao seu potencial de oxirredução, atuando como agentes redutores em que doam átomos de hidrogênio e neutralizam radicais livres (ALMEIDA, 2009).

3.5.2 Atividade antioxidante

Segundo Roesler et al. (2007), compostos oxidantes são produzidos pelo metabolismo normal do corpo e se não controlados, podem provocar danos à saúde. O *stress* oxidativo tem sido associado ao desenvolvimento de muitas doenças crônicas e degenerativas como Alzheimer, câncer e doenças cardiovasculares (MALTA et al., 2012).

A constatação de que os vegetais possuem substâncias biologicamente ativas que trazem benefícios à saúde ou efeitos fisiológicos desejáveis tem impulsionado estudos sobre as suas propriedades antioxidantes (SILVA, 2010).

Nos organismos vivos, a função dos antioxidantes é impedir que os radicais livres danifiquem células e tecidos. A dieta é uma importante fonte de antioxidantes e sabe-se que vegetais e frutos são ricos em diversas substâncias que auxiliam a manter a saúde celular inibindo a instalação de patogenias ligadas ao *stress* oxidativo (SILVA, 2010).

Roesler et al. (2007) afirmaram que os compostos típicos que possuem atividade antioxidante incluem a classe de fenóis, ácidos fenólicos e seus derivados,

flavonoides, tocoferóis, fosfolipídios, aminoácidos, ácido fítico, ácido ascórbico, pigmentos e esteróis, sendo que os antioxidantes fenólicos são antioxidantes primários que agem como terminais para radicais livres.

Na guavira, a possível ação antioxidante pode ser atribuída, principalmente, a níveis consideráveis de compostos fenólicos, carotenoides e vitamina C presentes na fruta (SANTOS et al., 2012).

As propriedades da guavira ainda são pouco conhecidas, dessa forma espera-se que os resultados obtidos nesse trabalho permitam a valorização desse fruto nativo do Cerrado promovendo desenvolvimento social, econômico e ambiental desse bioma.

3.6 Isotermas de sorção

A isoterma de sorção de água é uma importante ferramenta na predição de interações entre a água e os componentes do alimento, especialmente em alimentos com baixa umidade (GOULA et al., 2008; TONON et al., 2009). As isotermas descrevem a relação entre a atividade de água e o teor de umidade de equilíbrio do alimento e proporciona informações úteis para diversos processos alimentícios, como a secagem, armazenamento e estocagem (LOMAURO; BAKSHI; LABUZA, 1985). A adsorção de água é dependente das condições do ambiente e da composição do material (SORMOLI; LANGRISH, 2015).

A isoterma de adsorção apresenta formato sigmoidal para a maioria dos alimentos e pode ser dividida em três regiões. A primeira, referente ao intervalo de a_w de 0,2 a 0,3, a adsorção de um filme monomolecular de água representa a umidade ótima em que alimentos desidratados apresentarão a maior vida de prateleira. A partir dessa umidade, reações químicas que requerem a presença de água, como oxidação de lipídica, irão iniciar. A segunda região, entre 0,35 e 0,5, ocorrem mudanças físicas no alimento em pó como *caking* (aglomeração), *stickiness* (pegajosidade) e a perda de *crispiness* ("crocância"). Estas mudanças estão relacionadas à temperatura de transição vítrea desses materiais. Contudo, o teor de umidade crítica em termos de crescimento microbiológico para produtos alimentícios foi proposto em 0,6. A terceira região, acima de 0,7 é a região em que a água condensa nos poros da amostra e solubiliza os compostos solúveis (BENEDETTI, 2010; LABUZA e ALTUNAKAR, 2007).

Modelos matemáticos teóricos e empíricos podem ser usados para ajustar o comportamento das isotermas de sorção de materiais alimentícios. Existem diversos modelos na literatura, alguns exemplos dos modelos cinéticos são baseados na absorção de uma monocamada de água, como o modelo de BET (Equação 1); e também em filme multicamada e condensado, como o modelo de GAB (Equação 2) (GOULA et al., 2008).

$$X_e = \frac{X_m * c * a_w}{[(1 - a_w) + (c - 1) * (1 - a_w) * a_w]} \quad (1)$$

$$X_e = \frac{X_m * c * k * a_w}{(1 - k * a_w)(1 - k * a_w + c * k * a_w)} \quad (2)$$

em que, X_e é a umidade de equilíbrio; X_m é a umidade na monocamada; a_w é a atividade de água c é a constante relacionada ao calor de sorção da camada molecular e k é a constante de ajuste ao modelo de GAB.

3.7 Estabilidade

A embalagem tem como função proteger os produtos dos fatores externos, como ação microbiana, exposição ao calor, luz, umidade, oxigênio e evaporação, responsáveis pela perda, dano ou degradação do alimento. O material de embalagem e as condições de armazenamento, temperatura e umidade relativa influenciam nas propriedades físicas, químicas, microbiológicas e sensoriais dos produtos armazenados. Dessa forma, o controle das condições de armazenamento é essencial na garantia da qualidade e segurança do alimento durante o estudo de estabilidade (MORAES, 2014).

Os atributos de qualidade sensorial e nutricional dos alimentos devem ser mantidos do processamento até o consumo. Contudo, sabe-se que esse produto está sujeito a alterações devido à natureza biológica e química de cada alimento. De forma que o estudo da estabilidade à estocagem tem recebido crescente interesse em pesquisas (MORAES, 2014).

Breda, Sanjinez-Argandoña e Correia (2012) estudaram a estabilidade à estocagem de guavira em pó obtido por secagem *foammat* em duas condições de armazenamento, a primeira, condição ambiente com temperatura de 25 °C e umidade relativa 75% e a segunda, acelerada a 35 °C e 90%. Os autores observaram que as

amostras acondicionadas na condição acelerada degradaram mais rapidamente que as acondicionadas na temperatura e umidade relativa ambiente.

Pereira et al. (2014) estudaram a estabilidade de caju em pó obtido por atomização. O pó estocado a 25 °C apresentou queda da viabilidade microbiana em 28 dias e a amostra estocada a 4 °C em 35 dias.

Silva F. et al. (2013) estudaram a estabilidade do teor de fenólicos de própolis em pó em temperaturas de estocagem de 10 e 25 °C por 180 dias, concluindo que a temperatura não influenciou na estabilidade.

Rutz (2013) estudou a estabilidade à luz do teor de compostos fenólicos, carotenoides e atividade antioxidante de pitanga roxa atomizada acondicionada por 28 dias a 25 °C e estabilidade à temperatura pelos mesmos parâmetros, com umidade relativa de 53 % a (4 e 25) °C por 12 semanas. O autor concluiu que houve degradação do teor de carotenoides e da atividade antioxidante tanto na presença ou ausência de luz nas duas temperaturas, sendo que a 25 °C houve uma maior degradação, já o teor de fenólicos mostrou boa estabilidade independentemente do tratamento.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

Foram adquiridos 50 kg de polpa de guavira congelada no mercado local da cidade de Bonito/MS (Figura 6). Os carreadores usados foram a maltodextrina (Maltogill 20 DE, Cargill, Uberlândia, Brasil) e a goma arábica (Synth, Brasil).

Os reagentes utilizados foram álcool etílico absoluto P.A. (Synth, Brasil), reagente fenólico de Folin-Ciocalteu 2 M (Sigma-Aldrich, Brasil), carbonato de sódio P.A. (Synth, Brasil), 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (Sigma-Aldrich, Brasil), 2,2'-azino-bis-(ácido 3- etilbenzoatiazolina-6-sulfônico) sal diamônio 98% (Sigma-Aldrich, Brasil), persulfato de potássio P.A. (Synth, Brasil) e ácido (±) - 6 - hidróxi - 2,5,7,8 - tetrametilcromano - 2 - carboxílico 97% (Sigma-Aldrich, Brasil).

Figura 6. Foto da polpa de guavira congelada.

Fonte: Própria autoria

4.2 Métodos

4.2.1 Caracterização da polpa *in natura*

A polpa *in natura* foi caracterizada em relação a sua composição centesimal conforme a metodologia AOAC (1995). O teor de umidade foi determinado utilizando o equipamento *Moisture Analyzer MB35 Halogen OHAUS*. As cinzas foram determinadas pela queima da amostra em mufla. Os sólidos solúveis foram determinados utilizando um refratômetro manual modelo 103 (Biobrix). A proteína bruta foi obtida pelo método Macro-Kjedahl (AOAC, 1995a) e a gordura por meio do extrato etéreo, utilizando um extrator tipo soxhlet (AOAC, 1995b).

4.2.2 Secagem por atomização

A alimentação do secador *spray dryer* foi composta de dispersões de polpa de guavira:água (proporção 1:2) adicionada de (10 ou 20)% em massa do agente carreador. A homogeneização desses produtos foi realizada em liquidificador doméstico (Walita) por 3 minutos. O processo de secagem foi conduzido em um atomizador *Spray Dryer* LM modelo SD 5.0 (LABMAQ do Brasil LTDA) (Figura 7) de fluxos concorrentes, operando com bico atomizador de 2,0 mm de diâmetro, vazão de ar comprimido de 40 L/min, vazão do ar de secagem de 11 m³/min, temperaturas de entrada do ar de (130±5, 155±5 e 180±5) °C e vazões de alimentação da dispersão polpa, água e agente

carreador de (20 e 40) mL/min. A codificação dos experimentos de secagem está apresentada na Tabela 2. Todos os ensaios de secagem foram realizados em duplicata.

Figura 7. Fotografia do atomizador *Spray-Dryer* piloto modelo SD 5.0.

Fonte: Própria autoria.

Tabela 2. Número de ensaios em função da temperatura do ar de entrada, concentração de agente carreador e vazão volumétrica da mistura.

Ensaio	Temperatura (°C)	Concentração Carreador (%)	Vazão de Alimentação (mL/min)
1	130	10	20
2			40
3		20	20
4			40
5	155	10	20
6			40
7		20	20
8			40
9	180	10	20
10			40
11		20	20
12			40

4.2.3 Caracterização da polpa de guavira em pó

4.2.3.1 Teor de umidade

O teor de umidade das amostras (0,5 g de guavira em pó) foi determinado utilizando o equipamento *Moisture Analyzer MB35 Halogen OHAUS* logo após a secagem.

4.2.3.2 Atividade de água

A atividade de água foi determinada em um higrômetro digital Aqualab CX-2 (Decagon) a 25°C logo após a secagem.

4.2.3.3 Higroscopicidade

A higroscopicidade do pó de guavira foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Tonon, Brabet e Hubinger (2008). Amostras de guavira em pó (1 g) foram colocadas em pesa-filtro e acondicionadas em dessecadores com umidade relativa do ar de 75% (solução saturada de NaCl a 25 °C). Após 7 dias, os pesa-filtros foram pesados novamente e a higroscopicidade foi expressa em g de água por 100 g de amostra seca.

4.2.3.4 Solubilidade

A solubilidade em água foi determinada seguindo o método descrito por Cano-Chauca et. al. (2005). Amostras de guavira em pó (0,3 g) e água destilada (30 mL) foram misturados com agitador ultra-turrax a 5.000 rpm por 5 minutos e centrifugados a 3.000 rpm, também por 5 minutos a 25 °C. Uma alíquota de 25 mL do sobrenadante foi colocada em placas de petri pré-pesadas e imediatamente levadas à estufa a 105 °C por 5 horas. A solubilidade em água foi calculada pela diferença de peso das placas antes e após a secagem.

4.2.3.5 Cor instrumental

A cor foi determinada utilizando o Colorímetro Hunter Lab Miniscan EZ. Os resultados foram obtidos pela leitura dos parâmetros L^* , a^* e b^* , coordenadas retangulares do sistema CIELAB, sendo que L^* define a luminosidade, em que L^* igual a zero corresponde ao preto e 100 ao branco. Os parâmetros a^* e b^* representam a cromaticidade ($+a^*$: vermelho e $-a^*$: verde, $+b^*$: amarelo e $-b^*$: azul). Com esses parâmetros, foram avaliadas as coordenadas cilíndricas C^* e H^* (Equações 3 e 4), sendo que C^* define o croma e H^* , o ângulo de tom (FERRARI; RIBEIRO & AGUIRRE, 2012).

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (3)$$

$$H^* = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (4)$$

Na escala CIELCH (Figura 8) a cor é representada por coordenadas cilíndricas em que a luminosidade L^* varia em um eixo vertical de preto (0% de luz refletida) para branco (100% de luz refletida); o croma ou saturação C^* é igual a zero no centro e aumenta através de uma circunferência e o ângulo de tom H^* começa pelo eixo a^* e é expresso em graus: $H^* = 0^\circ$ corresponde ao $+a^*$ (vermelho), 90° ao $+b^*$ (amarelo), 180° ao $-a^*$ (verde) e 270° ao $-b^*$ (azul) (CHOUBERT; VALLEÉ, 1997).

Figura 8. Diagrama CIELCH de cores.

Fonte: CHOUBERT, G.; VALLEÉ, F. Colour measurement, using CIELCH colour space, of muscle of rainbow trout, *Orcorhynchus mykiss* (Walbaum), fed astaxanthin: effects of family, ploidy, sex, and location of reading. **Aquaculture Research**, v. 28, p. 15-22, 1997.

4.2.3.6 Morfologia das partículas

A morfologia das partículas foi avaliada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) modelo TM30000 (Hitachi, Japão) operando com tensão de ampliação de 5 kV com ampliações de 500x e 1000x (TONON; BRABET; HUBINGER, 2008). As amostras foram fixadas em um suporte *stub*, com fita adesiva de dupla face de carbono para a realização das microscopias.

4.2.3.7 Distribuição do tamanho das partículas e tamanho médio de partículas

A distribuição de tamanho de partículas da guavira em pó foi obtida pela dispersão da amostra em etanol absoluto sob agitação magnética utilizando um analisador por difração a laser SALD 201-V (Shimadzu) até leitura constante.

4.2.3.8 Preparação do extrato alcoólico para a determinação de fenólicos e atividade antioxidante

Na obtenção do extrato líquido da polpa, foram transferidos 1,5 g de polpa de guavira para um tubo de Falcon, onde foram adicionados 15 mL de solução etanol:água (70:30 v/v), seguido de agitação mecânica em ultra-turrax a 13000 rpm por 5 minutos. Após, a solução foi centrifugada a 2000 rpm por 20 minutos a 4 °C e o sobrenadante filtrado a vácuo. A etapa de filtração foi repetida com mais 10 mL da solução etanol:água (70:30). O extrato obtido foi mantido em *freezer* a -18 °C até o momento da análise. O mesmo procedimento foi realizado para obtenção do extrato líquido do pó de guavira.

4.2.3.9 Determinação dos compostos fenólicos totais

O conteúdo de fenólicos totais foi determinado por análise colorimétrica utilizando o reagente Folin-Ciocalteu e uma solução de carbonato de sódio 7,5% como descrito por Singleton e Rossi Junior (1965).

Preparou-se um tubo para o branco com 400 µL de diluente da amostra (etanol 70%) e 2 mL de solução de reagente Folin-Ciocalteu diluído em água (1:10), aguardou-

se 2 minutos e adicionou-se 1,6 mL de solução de carbonato de sódio. Adicionalmente, preparou-se 3 tubos para a triplicata da amostra substituindo o etanol 70% pelo extrato de amostra diluído. Os tubos foram homogeneizados e após 1 hora de incubação a temperatura ambiente e abrigo à luz, realizou-se a leitura em espectrofotômetro UV Lambda 35 (Perkin-Elmer) no comprimento de onda 760 nm zerando o equipamento com o branco.

A curva padrão foi obtida a partir de uma solução de ácido gálico 100 µg/mL diluída para as concentrações de 0, 0,5, 1, 2, 3, 4, 5 e 6 µg/mL. Os resultados dos teores de compostos fenólicos totais na polpa de guavira em pó foram expressos em Equivalentes de Ácido Gálico EAG/100 g de guavira em pó em base seca.

4.2.3.10 Determinação da atividade antioxidante

A determinação da atividade antioxidante da guavira em pó foi realizada por dois métodos, pelo sequestro dos radicais livres 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH•) e ácido 2,2-azino-bis(3-etilbenzotiazolin)-6-sulfônico (ABTS⁺•)

O ensaio de determinação da atividade antioxidante pelo sequestro do radical DPPH• apresentado por Rufino et al. (2007) e Brand-Wiliams; Cuvelier; Berset (1995) baseia-se na eliminação do radical livre DPPH• por antioxidantes, causando a diminuição na absorbância medida em comprimento de onda de 515 nm, como resultado da mudança de cor de púrpura para amarelo. A curva de porcentagem de inibição (Equação 5) em função das oito diluições do extrato foi realizada para determinação do EC₅₀, ou seja, a concentração de extrato necessária para inibir a oxidação do radical DPPH• em 50%. O coeficiente de correlação da reta da curva (% de inibição vs. concentração de extrato) para o cálculo do EC₅₀ foram todos acima de 0,95.

$$\% \text{ inibição} = [1 - (A_A - A_{C0})] * 100 \quad (5)$$

em que, A_A é a absorbância da amostra no tempo final, A_{C0} é a absorbância do controle no tempo zero.

A curva padrão de ácido (±) – 6 – hidroxil – 2,5,7,8 – tetrametilcromano – 2 – carboxílico (trolox) para o método com o radical DPPH• foi obtida a partir de solução de

trolox 500 μM diluída nas concentrações de (0, 0,32, 0,63, 1,26, 2,52, 3,78, 5,04 e 6,30) $\mu\text{g/mL}$. O tempo de reação da amostra com a solução de DPPH $\bullet$ foi determinado com leituras de 15 em 15 minutos até que o decaimento da absorbância fosse menor ou igual a 0,001, equivalente ao erro inerente ao equipamento, resultando em um tempo de reação de 6 horas.

O método de determinação da atividade antioxidante pelo sequestro do radical ABTS $^{+\bullet}$ apresentado por Re et al. (1999), baseia-se na capacidade da amostra de capturar o cátion ABTS $^{+\bullet}$ provocando um decréscimo da absorbância no comprimento de onda de 734 nm e perda na coloração de azul esverdeado. A curva de absorbância em função da diluição do extrato foi feita com sete pontos para determinação da atividade antioxidante total. A curva padrão de trolox para esse método foi obtida com uma solução de trolox 500 μM nas concentrações de 0, 0,63, 1,26, 2,52, 3,15, 3,78 e 4,41 $\mu\text{g/mL}$.

Os resultados de atividade antioxidante foram calculados como a relação à porcentagem de inibição da curva da amostra pela curva de Trolox padrão, e expressos como μmolar de equivalente de trolox por grama de guavira em pó em base seca ($\mu\text{M ET/g}$ de pó bs).

Adicionalmente, foram realizados ensaios controle dos agentes carreadores, maltodextrina e goma arábica, com os reagentes Folin-Ciocalteu, DPPH $\bullet$ e ABTS $^{+\bullet}$ a fim de verificar possíveis interferências dos agentes carreadores nas amostras evitando superestimar os resultados.

4.2.4 Seleção da condição de processo

Uma condição de processo foi selecionada levando em consideração a amostra de guavira em pó com boas propriedades físico-químicas e alta atividade antioxidante. A polpa de guavira adicionada de maltodextrina ou goma arábica foi atomizada nas condições apresentadas no item 4.2.2 pelo ensaio 6 (Tabela 2).

4.2.5 Avaliação do pó de guavira obtido na condição de processo selecionada

4.2.5.1 Temperatura de transição vítrea (T_g)

A temperatura de transição vítrea foi determinada usando um calorímetro diferencial de varredura (DSC, TA Instruments). Aproximadamente 2 mg de amostra previamente acondicionadas a 25 °C e 75 % de umidade relativa, foram colocadas em um porta-amostra de alumínio, e este fechado hermeticamente. A cápsula de alumínio inicialmente a temperatura ambiente foi resfriada até -100 °C e, em seguida, aquecida até 120 °C a uma taxa de 10 °C/min. Também foi acondicionada no calorímetro uma cápsula vazia como referência. O aquecimento da amostra foi realizado duas vezes, pois no segundo aquecimento a entalpia de relaxação do pó é reduzida em comparação ao primeiro aquecimento, de forma que esse procedimento aumenta a precisão da medida da temperatura de transição vítrea da amostra. A temperatura de transição vítrea e a curva de fluxo de calor foram obtidos utilizando o *software Universal Analysis 2000* (TA Instruments).

A análise da temperatura de transição vítrea foi realizada para as amostras produzidas na condição de secagem selecionada (temperatura do ar de 155 °C, vazão volumétrica da mistura de 40 mL/min, 10% de maltodextrina ou goma arábica).

4.2.5.2 Isoterma de sorção

A isoterma de sorção foi determinada utilizando um analisador de sorção de vapor (Aqualab *Vapor Sorption Analyzer*), processo DVS (*Dynamic vapor sorption*) com atividade de água inicial de 0,10 e final de 0,90, sendo a elevação de 0,10 e *trigger* de 0,01% com dois eventos, ou seja, a umidade de amostra é considerada em equilíbrio quando a diferença de massa for menor que 0,01%.

As isotermas de sorção da polpa de guavira em pó foram obtidas a (20, 30 e 40) °C para as amostras produzidas na condição de processo selecionada (temperatura do ar de 155 °C, vazão volumétrica da mistura de 40 mL/min, 10% de maltodextrina ou goma arábica). Os modelos de GAB e BET foram avaliados no ajuste dos dados de teor de umidade de equilíbrio em função da a_w . Os parâmetros destes modelos foram determinados por análise de regressão não linear dos dados experimentais, realizada com o auxílio do software OriginPro 8 (OriginLab, EUA).

4.2.5.3 Avaliação da estabilidade de estocagem

A polpa de guavira em pó, produzida com as melhores características físicas e/ou atividade antioxidante, foi armazenada durante 120 dias em embalagens de polietileno laminado. A estabilidade do produto foi determinada realizando análises de umidade, atividade de água, cor, conteúdo de fenólicos totais, teor de vitamina C e atividade antioxidante total (radical DPPH•) nos tempos (0, 7, 22, 41, 62, 90 e 120) dias.

O conteúdo de ácido ascórbico ou vitamina C foi determinado pelo método de Tillman (AOAC, 2000). Ácido ascórbico foi utilizado para padronizar a solução titulante DCFI. A amostra foi inicialmente homogeneizada com solução de ácido oxálico 2% e titulada com a solução DCFI até o desenvolvimento de uma coloração rosa constante.

4.2.6 Análises Estatísticas

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com os tratamentos em esquema fatorial 2x2x2x3, relativos ao tipo (Maltodextrina e goma arábica) e concentração (10 e 20) % de agente carreador, vazão de alimentação da mistura (20 e 40) ml/min e temperatura do ar de secagem (130, 155 e 180) °C. Os dados foram submetidos à análise de variância (5 % de significância) e as médias dos níveis de temperatura foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância. Também foi realizada uma análise de variância (ANOVA) para o estudo da estabilidade da polpa de guavira em pó ao longo de 120 dias. Todas as análises foram feitas com o programa SAS (Statistical Analysis System), versão 9.3.

Experimentos fatoriais são utilizados no estudo de vários grupos de tratamentos simultaneamente permitindo incluir todas as combinações possíveis entre dois ou mais grupos de tratamentos (FERREIRA, 2000). Geralmente são mais eficientes do que experimentos simples com um só conjunto de tratamentos e permitem tirar conclusões mais gerais (GOMES, 2000).

5 RESULTADOS

5.1 Caracterização da polpa *in natura*

A Tabela 3 mostra a composição centesimal da polpa de guavira *in natura*. Esses resultados diferem dos apresentados pelo IBGE (1999), em relação ao conteúdo de gordura, carboidratos e cinzas que apresentou maior conteúdo de carboidratos e menor teor de cinzas. A polpa de guavira apresentou alto teor de sólidos solúveis (13 °Brix) e não foi possível detectar quantidade significativa de lipídios pelo método Bligh e Dyer (1959). Além disso, a polpa de guavira apresentou alto teor de vitamina C (1502 mg de ácido ascórbico/ 100 g de polpa b.s.) e compostos fenólicos totais (1710 mg de EAG/ 100 g de sólido seco) (IBGE, 1999).

Tabela 3. Composição química da polpa de guavira *in natura*.

Caracterização	Valores médios	Valores (IBGE 1999)
Umidade (g/100g amostra)	82,61 ± 0,45	82,8
Proteínas	1,56 ± 0,11	1,6
Gorduras	0,02 ± 0,01	1,0
Cinzas	1,93 ± 0,46	0,7
Carboidratos*	11,15 ± 0,04	13,9

* Obtido por diferença.

Alves et al. (2013) caracterizaram a polpa da guavira e apresentaram valores de teor de umidade, proteínas, lipídios, carboidratos e cinzas inferiores (80,87, 1,06, 0,55, 10,00 e 0,43 g/ 100 g de polpa, respectivamente) aos obtidos nesse trabalho.

5.2 Efeitos das diferentes condições de secagem

Os efeitos das variáveis independentes (temperatura do ar de entrada, vazão volumétrica da mistura, tipo e concentração do agente carreador) e de suas interações sobre as respostas estudadas (propriedades da polpa de guavira em pó) foram considerados significativos quando os resultados obtidos de valor p ($Pr > F$) foram inferiores a 0,05, conforme tabelas (A 1 – A 11) mostradas no Apêndice A. De maneira geral, pode-se observar que todos os fatores e suas interações foram significativos para

as propriedades do pó (umidade, atividade de água, solubilidade, higroscopicidade, parâmetros de cor, compostos fenólicos totais e atividade antioxidante).

5.3 Caracterização da guavira em pó

5.3.1 Umidade

O teor de umidade das amostras de guavira em pó com maltodextrina ou goma arábica variou entre (1,45 a 5,41) % em base úmida (Tabela 4). Esse intervalo de umidade foi similar aos obtidos por Fazaeli et al. (2012) (1,5 a 3,0) % que avaliaram suco de *mulberry* em pó utilizando diferentes temperaturas de ar de secagem e quantidades de maltodextrina ou de goma arábica; e por Ferrari et al. (2013) (3,25 a 4,42) %, que desidrataram suco de amora preta com temperatura de secagem de 145 °C e vazão mássica da mistura de 0,49 kg/h com diferentes tipos de agentes carreadores (maltodextrina, goma arábica ou blenda dos dois carreadores). Tonon, Brabet e Hubinger (2008) produziram açaí em pó com o teor de umidade bem inferior (0,64 a 2,89) % aos apresentados na Tabela 4, na desidratação de polpa de açaí em diferentes temperaturas (138 a 202) °C, vazão mássica da mistura (5 a 25) g/min e quantidades de maltodextrina (10 a 30) %.

O tipo de agente carreador foi o fator que mais influenciou a umidade final das amostras (Tabela A1). As amostras produzidas com adição de goma arábica apresentaram-se mais úmidas do que a guavira em pó com maltodextrina. Esse resultado corrobora com os obtidos por Sahim-Nadeem et al. (2013), que também observaram que as amostras de sálvia atomizadas com goma arábica foram mais úmidas do que os produtos em pó obtidos com carreadores a base de amido, como a maltodextrina.

O aumento da temperatura do ar de 130 °C para 155 °C teve um efeito negativo na umidade da guavira em pó, independente do agente carreador usado (Figura 9). Na secagem a 155 °C, há um maior gradiente de temperatura entre o ar de secagem e o produto atomizado, resultando em maior transferência de calor entre as partículas e o ar, e consequentemente maior taxa de evaporação e pós mais secos. Santana et al. (2013) também observaram uma redução da umidade na secagem de suco de pequi quando aumentaram a temperatura do ar de 140 °C para 170 °C.

Tabela 4. Umidade, atividade de água, solubilidade e higroscopicidade da polpa de guavira em pó obtidas por diferentes condições de processo.

Ensaio [*]	Índice de Umidade ^{****}		Atividade de água		Solubilidade (%)		Higroscopicidade (%)	
	M ^{**}	GA ^{***}	M	GA	M	GA	M	GA
1	4,02±0,50	3,56±0,30	0,24±0,05	0,15±0,01	83,43±5,37	82,60±0,47	21,18±0,14	21,71±0,34
2	3,49±0,30	5,41±0,24	0,33±0,04	0,23±0,00	81,64±1,64	80,93±0,71	20,31±0,50	19,98±0,37
3	3,38±0,21	3,32±0,14	0,32±0,02	0,12±0,00	82,26±0,95	83,16±0,77	19,08±0,22	20,37±0,45
4	3,05±0,26	3,72±0,26	0,31±0,02	0,12±0,00	81,34±1,40	82,28±0,83	19,58±0,28	18,20±2,89
5	2,27±0,18	3,34±0,53	0,15±0,03	0,11±0,01	82,52±0,78	76,88±0,49	21,67±0,76	21,89±0,48
6	2,50±0,35	3,05±0,21	0,22±0,02	0,10±0,01	83,51±1,24	74,62±5,97	21,60±0,16	21,61±0,22
7	1,65±0,13	2,43±0,34	0,24±0,06	0,07±0,00	83,92±0,66	78,48±0,28	19,36±0,24	21,56±0,17
8	1,45±0,09	4,82±0,31	0,28±0,02	0,13±0,01	83,31±1,25	77,03±0,70	18,04±0,35	19,86±0,50
9	1,71±0,22	3,89±0,26	0,32±0,02	0,17±0,01	83,21±0,76	77,06±0,75	22,26±0,17	22,64±0,28
10	4,24±0,38	4,91±0,25	0,33±0,02	0,24±0,00	82,98±1,92	75,37±1,83	23,97±0,16	21,37±0,09
11	2,61±0,71	3,37±0,13	0,29±0,04	0,20±0,01	82,96±3,81	78,70±0,86	22,14±0,20	21,76±0,24
12	4,22±0,08	4,13±0,39	0,32±0,01	0,28±0,00	83,59±0,39	77,63±0,46	20,30±0,21	19,96±0,27

^{*}Vide Tabela 2 ^{**}Maltodextrina ^{***}Goma arábica ^{****}g/100g de amostra

No entanto, o aumento da temperatura do ar de 155 °C para 180 °C acarretou no aumento da umidade da polpa de guavira em pó (Figura 9). Esse comportamento pode ser explicado pela possível formação de uma crosta na superfície das gotas quando em contato com o ar quente. Assim, em menores temperaturas de secagem, a crosta na superfície da partícula se forma mais lentamente, de modo que grande quantidade de água é evaporada antes da formação da partícula, enquanto que nas maiores temperaturas de secagem, essa crosta na superfície se solidifica rapidamente atuando como barreira à difusão da água do interior da partícula para o ambiente do secador. Dessa forma, observa-se amostras mais úmidas em temperaturas de secagem elevadas. De maneira geral, os menores conteúdos de umidade da guavira em pó foram obtidos utilizando ar a 155 °C. O aumento da temperatura de (155 para 180) °C foi mais significativo no aumento da umidade para o processo com adição de maltodextrina (39%) do que com a goma arábica (22%), essa porcentagem foi calculada pela comparação da soma do teor de umidade nas temperatura de (155 e 180) °C para os dois carreadores. Parras-Saavedra et al. (2015) reportaram o mesmo comportamento estudando atomização de isolado proteico de soja com maltodextrina e goma arábica.

Figura 9. Efeito das condições de processo, do tipo e a concentração de carreador sobre o teor de umidade para a polpa de guavira em pó.

Fonte: Própria autoria.

Além da temperatura do ar de entrada e o tipo de carreador, a concentração de agente carreador e, principalmente, a vazão volumétrica da alimentação apresentaram influência significativa ($p < 0,05$) na umidade da guavira em pó (Tabela A1), porém sem comportamento definido. Chen et. al. (2014) afirmam que a vazão de alimentação da mistura tem um efeito positivo sobre os valores de umidade de *jujube* (*Zizyphus jujuba* Miller) em pó, ou seja, quanto maior a vazão de alimentação maior será a umidade final obtida. Esse comportamento foi observado nos ensaios realizados a 180 °C (Tabela 4).

5.3.2 Atividade de água

A atividade de água difere do teor de umidade, sendo que a primeira representa a disponibilidade da água livre no sistema alimentício e é responsável por quaisquer reações bioquímicas, enquanto que o teor de umidade está relacionado com a composição de água em todo o sistema alimentício (FAZAELI, 2012).

Independente das condições de processo utilizadas, a atividade de água ficou abaixo de 0,35 (Tabela 4), o que é muito desejável para a estabilidade de pós, pois representa menos água livre disponível para o crescimento microbológico e para reações bioquímicas e, portanto, uma vida de prateleira mais longa (FERRARI et al., 2013).

Resultados similares de atividade de água foram obtidos por Fazaeli et al. (2012) (0,15 a 0,32), quando desidrataram polpa de amora preta em diferentes temperaturas (110, 130 e 150) °C e concentrações (8, 12 e 16) % de maltodextrina ou goma arábica, e por Santana et al. (2013) (0,07 a 0,17), quando produziram pequi em pó por atomização em diferentes temperaturas do ar de secagem (140 a 200) °C e concentrações de goma arábica (10 a 20) %.

O tipo de agente carreador foi o fator que mais afetou a atividade de água da guavira em pó (Tabela A2). As partículas produzidas com maltodextrina apresentaram maiores valores de atividade de água quando comparadas com as obtidas com goma arábica (Figura 10). No entanto, em outros estudos (FERRARI et al, 2013; SILVA F. et al., 2013; TONON, BRABET; HUBINGER, 2008), foram observados que pós produzidos com goma arábica apresentaram maior atividade de água quando comparados com a maltodextrina.

O efeito da temperatura do ar de secagem na atividade de água foi similar ao verificado para umidade (Tabela 4), podendo ser explicado pelos mesmos fenômenos

observados anteriormente. A concentração de agente carreador não afetou a atividade de água dos pós de guavira (Tabela A2). Comportamento similar foi observado por Sahin-Nadeem et al. (2013) e Kha, Nguyen e Roach (2010).

Figura 10. Atividade de água em função das condições de processo, da concentração e tipo do carreador da polpa de guavira em pó.

Fonte: Própria autoria.

5.3.3 Solubilidade

A solubilidade é uma importante característica de qualidade de alimentos em pó, pois afeta as propriedades funcionais desses materiais. O termo solubilidade refere-se à habilidade dos pós em formar soluções ou suspensões em água (SAHIN-NADEEM et al., 2013).

A polpa de guavira em pó apresentou altos valores de solubilidade (Tabela 4), o que está relacionado com a alta solubilidade dos carreadores utilizados. Pode ser verificado na Tabela A3 que somente o tipo de agente carreador e a combinação do carreador e temperatura do ar apresentaram efeito significativo ($p < 0,05$) na solubilidade das partículas. A adição de maltodextrina, como agente carreador, pouco alterou a solubilidade das partículas nas diferentes condições de processo (81,34 – 83,92) % enquanto que, para a goma arábica, a variação foi maior e na faixa de (74,62 a 83,16)%.

Kha et al. (2010) também observaram que a concentração de maltodextrina utilizada não influenciou a solubilidade de *gac fruit* (*Momordica cochinchinensis*) em pó.

Os resultados mostraram que a polpa de guavira em pó com maltodextrina foi mais solúvel do que com goma arábica (Figura 11). Fazaeli et al. (2012) e Cano-Chauca et al. (2005) também observaram a influência do tipo de agente carreador na solubilidade dos pós de *mulberry* preta (*Morus nigra*) e polpa de manga, respectivamente.

Figura 11. Valores de solubilidade em função das condições de processo, do tipo e da concentração de carreador da polpa de guavira em pó.

Fonte: Própria autoria.

As partículas produzidas com goma arábica apresentaram menor solubilidade em água com o aumento da temperatura de (130 para 155) °C. Em menores temperaturas de secagem as partículas tendem a aglomerar, tornando-se maiores e mais pesadas, de forma que afundam com mais facilidade em solução, solubilizando mais rapidamente do que as partículas não aglomeradas obtidas nas maiores temperaturas de secagem. Chegini e Ghobadian (2005), Fazaeli et al. (2012), Sahin-Nadeem et al. (2013) e Quek et al. (2007) também observaram que o aumento da temperatura do ar promoveu um decréscimo na solubilidade de pós obtidos a partir de suco de laranja, *sage* (*Salvia fruticosa* Miller) e melancia, respectivamente.

5.3.4 Higroscopicidade

A higroscopicidade mede a tendência de um pó absorver a umidade do ambiente, estando diretamente relacionada com a qualidade do produto final (FONTES et al., 2014). Analisando os resultados obtidos da polpa de guavira em pó (Tabela 4) e comparando com a classificação apresentada por Ferreira et al. (2014) (Tabela 5), pode-se verificar que o pó obtido é muito higroscópico (18 – 24) %. Resultados similares foram obtidos por Castro-Muños, Barragán-Huerta e Yáñez-Fernandez (2015) estudando pó de *Cactus pear* roxa (*Opuntia stricta*) e por Chen et al. (2014), analisando pó de *jujube* (*Zizyphus jujuba* Miller).

Tabela 5. Padrões de higroscopicidade de pós.

Classificação	Higroscopicidade
Não higroscópico	< 10%
Ligeiramente higroscópico	10,1 – 15%
Higroscópico	15,1 – 20%
Muito higroscópico	20,1 – 25%
Extremamente higroscópico	> 25%

Fonte: FERREIRA, A. P. R. et al. Comportamento higroscópico de polpa de seriguela atomizada utilizando diferentes gentes carreadores de secagem. **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química.** Florianópolis – SC, 2014.

A higroscopicidade é considerada uma propriedade importante nos alimentos em pó, sendo influenciada pelo teor de umidade da amostra. No caso de polpas de frutas em pó, outro fator que influencia a higroscopicidade são os açúcares presentes, tais como sacarose, glicose e frutose, que interagem fortemente com a molécula de água presente no ambiente devido às hidroxilas (grupo OH, terminais polares) presentes nessas moléculas (FERREIRA et al., 2014).

Amostras em pó com menor higroscopicidade são desejáveis, pois absorvem menos água do ambiente. Elevados níveis de umidade na amostra podem promover sua deterioração física e/ou química. O agente carreador ideal deve ter baixa higroscopicidade para proteger as partículas da umidade do ambiente. Se o agente carreador for higroscópico, ele pode absorver umidade do ambiente, o que promove sua

solubilização no meio e pode ocasionar o contato do extrato e seus antioxidantes presentes no interior das partículas com o ar atmosférico, causando o decaimento da atividade antioxidante da amostra (SILVA P. et al., 2013). A produção de produtos muito higroscópicos é indesejada, pois além da degradação física da amostra pela absorção de água, pode ocorrer a redução da escoabilidade do pó obtido. Assim, quanto menos higroscópica a amostra, maior será sua vida de prateleira.

O tipo de agente carreador não influenciou a higroscopicidade dos pós de guavira (Tabela A4). Esse comportamento difere dos resultados obtidos por Ferreira et al. (2014), que observaram que a goma arábica foi mais efetiva na redução da higroscopicidade de pós de seriguela quando comparada com a maltodextrina, relacionando esse efeito com a maior temperatura de transição vítrea da goma arábica.

A temperatura do ar de secagem influenciou a higroscopicidade da polpa de guavira em pó (Tabela A.4). De maneira geral, o aumento da temperatura produziu pós mais higroscópicos (Figura 12). Castro-Muños, Barragán-Huerta e Yáñez-Fernandez (2015), Tonon, Brabet e Hubinger (2008) e Santhalakshmy et al. (2015) também observaram esse mesmo fenômeno, explicando que temperaturas de secagem maiores promovem maior evaporação da água presente nas partículas e consequentemente, amostras menos úmidas, com maior capacidade de absorver moléculas de água do ambiente.

Figura 12. Efeito das condições de processo, o tipo e a concentração do agente carreador sobre a higroscopicidade da polpa de guavira em pó.

Fonte: Própria autoria.

A concentração de agente carreador foi o fator que mais afetou a higroscopicidade da guavira em pó (Tabela A4). O aumento da quantidade de carreador promoveu um decréscimo na capacidade de absorção de água (Figura 12). Isso se deve à baixa higroscopicidade da maltodextrina e da goma arábica e confirma sua eficiência como agentes carreadores em secagem por *spray drying*. O mesmo comportamento foi verificado em outros estudos (CHEN et al., 2012; GOULA, ADAMOPOULOS, 2010; HORUZ, ALTAN E MASKAN, 2012; MISHRA, MISHRA, MAHANTA, 2014; NUNES et al., 2015; TONON, BRABET, HUBINGER, 2008) também observaram esse efeito.

Pós de frutas com menor teor de umidade apresentam maior higroscopicidade, esse efeito está relacionado com a diferença de concentração de água da amostra e do ambiente, de forma que quanto maior esse gradiente maior a tendência das amostras em absorver a água presente no ambiente (TONON, BRABET, HUBINGER, 2008; NUNES et al., 2015; FONTES et al., 2014). Essa correlação é observada para o efeito da vazão de alimentação (Tabela A4) sobre a higroscopicidade dos pós de guavira. De forma geral, quando a vazão volumétrica da mistura aumentou de (20 para 40) mL/min observou-se um aumento na umidade e, conseqüentemente, uma redução na higroscopicidade da guavira em pó (Tabela 4).

5.3.5 Cor

A Tabela 6 mostra as fotografias dos pós de guavira obtidos por atomização com maltodextrina e goma arábica. As amostras produzidas apresentaram coloração próxima do amarelo e vermelho/marrom, aparência solta e textura pegajosa, quando manipulada, o que pode estar relacionado com a alta concentração de açúcar e sua característica higroscópica. A polpa de guavira *in natura* possui coloração amarela, de forma que o aparecimento da cor marrom nos pós pode estar relacionado com a caramelização dos açúcares presentes na polpa e a reação de Maillard. Os parâmetros de cor (L^* , C^* e H^*) para a polpa de guavira em pó são apresentados na Tabela 7.

Tabela 6. Fotografias da polpa de guavira em pó obtida para diferentes condições de processo, concentrações e tipos de carreadores.

T (°C)	V _{alimentação} (mL/min)	C _{Maltodextrina} (%)		C _{Goma Arábica} (%)	
		10	20	10	20
130	20
	40
155	20
	40
180	20
	40

* Ensaios – vide design experimental na Tabela 2.

Fonte: Própria autoria.

Tabela 7. Parâmetros de cor da polpa de guavira em pó em função das diferentes condições de processo.

Ensaio [*]	Luminosidade (L [*])		Cromaticidade (C [*])		Ângulo de tom (H [*])	
	M ^{**}	GA ^{***}	M	GA	M	GA
1	75,00±0,14	75,83±0,57	23,07±0,33	20,28±0,35	1,29±0,00	1,45±0,01
2	73,87±0,29	75,46±0,45	22,98±0,21	17,38±0,06	1,21±0,00	1,32±0,01
3	74,19±0,52	77,89±0,57	23,85±0,61	13,27±0,65	1,28±0,00	1,54±0,01
4	78,50±0,12	78,16±0,82	19,59±0,18	13,75±0,86	1,37±0,01	1,55±0,01
5	69,16±0,16	76,54±0,08	27,36±0,20	21,53±0,36	1,17±0,00	0,92±0,00
6	72,25±0,21	81,58±0,07	26,13±0,22	17,88±0,32	1,27±0,01	1,11±0,00
7	80,50±0,19	84,30±0,20	18,60±0,14	18,45±0,34	1,42±0,00	1,45±0,00
8	82,31±0,22	84,09±0,32	17,41±0,22	17,89±0,15	1,54±0,00	1,41±0,00
9	72,76±0,25	79,44±0,04	24,01±0,19	23,64±0,02	1,20±0,01	1,22±0,00
10	73,96±0,41	78,01±0,05	23,58±0,17	23,00±0,19	1,34±0,00	1,25±0,00
11	80,73±0,22	84,80±0,25	18,51±0,47	21,64±0,42	1,42±0,00	1,50±0,00
12	81,57±0,38	84,05±0,06	18,04±0,26	18,72±0,19	1,46±0,00	1,42±0,00

^{*}Vide Tabela 2 ^{**}Maltodextrina ^{***}Goma arábica

Todos os parâmetros de processo e alimentação influenciaram em todos os parâmetros de cor (Tabelas A5 a A7) da guavira em pó. Esse comportamento também foi observado por Silva P. et al. (2013), na secagem de extrato de jabuticaba e por Villacrez, Carriazo e Osorio (2014), quando produziram *Andes berry* em pó. Os parâmetros L^* e C^* tiveram maior influência do tipo e concentração do agente carreador, enquanto que o H^* pela temperatura e concentração de carreador.

A guavira em pó com maior concentração de agente carreador apresentou maiores valores de luminosidade L^* (Figura 13), o que está relacionado com a coloração clara da maltodextrina e da goma arábica, sendo que quanto maior a concentração do carreador mais claro será o pó produzido. Além disso, apresentou menores tons de vermelho (menor valor de a^*), e menores tons de amarelo (menor valor de b^*) para todos os processos (Apêndice B). Kha, Nguyen e Roach (2010), Sahim-Nadeem et al. (2013) e Nunes et al. (2015) também observaram o mesmo comportamento.

O aumento de (130 para 155) °C na temperatura do ar aumentou o valor do parâmetro C^* , para as amostras com 10% de maltodextrina, e reduziu o valor desse parâmetro nos pós produzidos com a concentração de 20% (Figura 14). No caso da goma arábica, observou-se um efeito positivo no parâmetro C^* com o aumento da temperatura, independente da concentração de goma arábica adicionada. Santhalakshmy et al. (2015), Kha, Nguyen e Roach (2010), Fontes et al. (2014), Sahim-Nadeem et al. (2013) e Silva et al. (2013) também reportaram o efeito significativo da temperatura de secagem nos parâmetros de cor.

Todos os pós obtidos possuem valores de ângulo de tom (H^*) entre (0 e 90) °, ou seja, sua coloração está entre vermelho e amarelo, característica que pode ser visualizada na Tabela 6. As condições de secagem influenciaram os valores de ângulo de tom H^* , sendo que o fator que apresentou maior influência foi a concentração de agente carreador (Tabela A7), de forma que quando maior a concentração de carreador adicionado maior o valor de H^* e assim mais próximo do amarelo, o que é desejável pois é a cor da polpa de guavira congelada (Figura 15).

Figura 13. Parâmetro L* em função das condições de processo e da concentração de carreador da polpa de guavira em pó

Fonte: Própria autoria.

Figura 14. Parâmetro C* em função das condições de processo e da concentração de carreador da polpa de guavira em pó.

Fonte: Própria autoria.

Figura 15. Parâmetro H^* obtido para a polpa de guavira em pó produzida em diferentes condições de processo.

Fonte: Própria autoria.

5.3.6 Distribuição e Tamanho Médio de Partícula

A distribuição e tamanho das partículas exercem um papel fundamental na escoabilidade, manuseio de pós, processamento e outras propriedades, tais como densidade, ângulo de repouso e compressibilidade do volume de sólidos (TZE et al, 2012).

As distribuições de tamanho de partícula apresentaram comportamentos variados (Figuras 16 e 17), sendo observada em algumas condições distribuição monomodal, quando há somente um pico, como também comportamento bimodal, quando há presença de dois picos distintos, sendo que cada um deles representa um tamanho predominante. Silva N. et al. (2012) reportaram distribuições monomodais para partículas de camu-camu em pó com maltodextrina ou goma arábica. Já Silva F. et al. (2013) e Tonon, Brabet e Hubinger (2008) observaram distribuição de partículas com comportamento bimodal para as micropartículas de própolis e açaí, respectivamente. O comportamento bimodal é interessante em pós, pois a população de partículas menores pode penetrar nos espaços entre as partículas maiores ocupando menos espaço (TONON; BRABET; HUBINGER, 2008).

Figura 16. Distribuição do tamanho de partículas da polpa de guavira em pó produzidos em diferentes temperaturas do ar de secagem, concentrações de maltodextrina e vazões volumétricas da mistura. a) 10% maltodextrina e 20 mL/min; b) 20% maltodextrina e 20 mL/min; c) 10% maltodextrina e 40 mL/min; d) 20% maltodextrina e 40 mL/min.

Fonte: Própria autoria.

Figura 17. Distribuição do tamanho de partículas da polpa de guavira em pó produzidos em diferentes temperaturas do ar de secagem, concentrações de goma arábica e vazões volumétricas da mistura. a) 10% de goma arábica e 20 mL/min; b) 20% de goma arábica e 20 mL/min; c) 10% de goma arábica e 40 mL/min; d) 20% de goma arábica e 40 mL/min.

Fonte: Própria autoria.

A determinação do tamanho de partícula é uma caracterização importante na análise de qualidade do pó, pois a presença de partículas maiores pode diminuir a exposição do pó ao oxigênio, protegendo-o contra oxidação, ou seja, quanto menor o tamanho da partícula, maior a superfície exposta, e conseqüentemente mais rápida a deterioração dos compostos susceptíveis à deterioração (FERRARI et al., 2013).

O tamanho de partícula foi determinado com base no diâmetro D(4,3), que corresponde ao diâmetro médio sobre uma distribuição volumétrica. Os tamanhos médios de partículas encontrados foram de (11,30 – 32,80) μm para a polpa de guavira em pó adicionada de maltodextrina e (8,74 – 26,78) μm para goma arábica (Tabela 8). Esses valores foram próximos aos obtidos por Nunes et al. (2015) (10,69 a 13,95) μm , Tonon, Brabet e Hubinger (2008) (13,27 a 21,35) μm , e maiores que os obtidos por Silva et al. (2012) (1,68 a 2,30) μm .

O tipo de agente carreador foi o fator que mais afetou o tamanho médio das partículas produzidas (Tabela A8). De modo geral, as partículas de guavira com maltodextrina apresentaram diâmetro médio maior que amostras com goma arábica (Tabela 8 e Figura 18). Resultados obtidos por Ferrari et al. (2013) corroboram com esse comportamento.

Tabela 8. Tamanho médio de partícula da polpa de guavira em pó.

Ensaio*	Diâmetro médio D(4,3) (μm)	
	Maltodextrina	Goma arábica
1	14,20 $\pm$ 1,33	8,74 $\pm$ 0,21
2	16,17 $\pm$ 3,05	10,27 $\pm$ 0,31
3	25,45 $\pm$ 2,07	9,88 $\pm$ 0,44
4	13,83 $\pm$ 0,37	12,19 $\pm$ 3,05
5	22,56 $\pm$ 3,01	26,78 $\pm$ 5,03
6	32,80 $\pm$ 3,60	20,12 $\pm$ 1,81
7	11,76 $\pm$ 0,64	14,96 $\pm$ 3,05
8	11,30 $\pm$ 1,08	14,77 $\pm$ 1,74
9	20,65 $\pm$ 0,42	19,98 $\pm$ 1,37
10	19,77 $\pm$ 0,47	14,11 $\pm$ 1,21
11	12,67 $\pm$ 1,68	13,76 $\pm$ 1,20
12	16,02 $\pm$ 0,42	16,42 $\pm$ 1,55

* Ensaio – vide design experimental na Tabela 2.

Figura 18. Diâmetro médio em função das condições de processo e concentração de carreador da polpa de guavira em pó.

Fonte: Própria autoria.

5.3.7 Morfologia das partículas

As Figuras 19 a 22 mostram as micrografias obtidas em Microscópio Eletrônico de Varredura a 5 kV para os pós de guavira obtidos por secagem em *Spray-Dryer*, com aumentos de 500 e 1.000 x. As partículas apresentaram formato esférico e com diversos tamanhos. Segundo Tonon, Brabet e Hubinger (2008), essa aparência é típica de pós obtidos por esse processo.

Observando a Figura 20, as partículas obtidas com maltodextrina, vazão de 40 mL/min e na maior temperatura de secagem, 180 °C (20e; 20f), apresentaram superfície mais lisa que as demais. Esse comportamento está associado à rápida evaporação da umidade em altas temperaturas de secagem, acarretando na formação de uma superfície rígida, impedindo que a partícula murche quando o vapor presente dentro das partículas se condensa, o que ocorre ao final do processo de secagem quando as partículas passam de uma região quente para uma mais fria no interior do secador. Tonon, Brabet e Hubinger (2009) e Ferrari, Ribeiro e Aguirre (2012) também observaram que o aumento da temperatura produziu partículas de superfície mais lisa quando atomizaram suco de açaí e polpa de amora-preta, respectivamente. Partículas uniformes com superfície lisa são desejáveis, pois apresentam melhores características de escoamento.

As partículas obtidas com 10 % de goma arábica na temperatura do ar de 155 °C e vazão de 20 mL/min (Figura 21c), bem como a 180 °C e vazão de 40 mL/min (Figura 22e), apresentaram grande aglomeração, formato esférico irregular, superfície dentada e possível formação de pontes líquidas entre as partículas. Micrografias semelhantes foram obtidas por Carliskan e Dirim (2013), Medina-Torres et al. (2013) e Mishra, Mishra e Mahanta (2014). Medina-Torres et al. (2013) que atribuem essa aparência ao encolhimento das partículas durante o processo de secagem.

As amostras adicionadas de goma arábica (Figuras 21 e 22) apresentaram partículas mais rugosas ou com concavidades quando comparadas com as partículas obtidas com maltodextrina (Figuras 19 e 20). As micrografias apresentadas por Villacrez et al. (2013) e Silva P. et al. (2013) corroboram com esse comportamento. O aparecimento de rugosidades na superfície das partículas está relacionado ao encolhimento, fenômeno que diminui o tamanho das partículas durante a secagem. Esse efeito pode ser observado na Tabela 8, em que o tamanho médio das partículas com goma arábica são ligeiramente menores do que as adicionadas de maltodextrina.

Figura 19. Morfologia das partículas da polpa de guavira em pó obtida por *spray drying* com vazão volumétrica da mistura de 20 mL/min, a) 130°C e 10% de maltodextrina, b) 130°C e 20% de maltodextrina, c) 155°C e 10% de maltodextrina, d) 155°C e 20% de maltodextrina, e) 180°C e 10% de maltodextrina, f) 180°C e 20% de maltodextrina. Aumento de 500 x (lado esquerdo) e 1000 x (direito) de cada tratamento.

Fonte: Microscópio Eletrônico de Varredura Hitachi TM3000.

Figura 20. Morfologia das partículas da polpa de guavira em pó obtida por *spray drying* com vazão volumétrica da mistura de 40 mL/min, a) 130°C e 10% de maltodextrina, b) 130°C e 20% de maltodextrina, c) 155°C e 10% de maltodextrina, d) 155°C e 20% de maltodextrina, e) 180°C e 10% de maltodextrina, f) 180°C e 20% de maltodextrina. Aumento de 500 x (lado esquerdo) e 1000 x (direito) de cada tratamento.

Fonte: Microscópio Eletrônico de Varredura Hitachi TM3000.

Figura 21. Morfologia das partículas da polpa de guavira em pó obtida por spray drying com vazão volumétrica da mistura de 20 mL/min, a) 130°C e 10% de goma arábica, b) 130°C e 20% de goma arábica, c) 155°C e 10% de goma arábica, d) 155°C e 20% de goma arábica, e) 180°C e 10% de goma arábica, f) 180°C e 20% de goma arábica. Aumento de 500 x (lado esquerdo) e 1000 x (direito) de cada tratamento.

Fonte: Microscópio Eletrônico de Varredura Hitachi TM3000.

Figura 22. Morfologia das partículas da polpa de guavira em pó obtida por spray drying com vazão volumétrica da mistura de 40 mL/min, a) 130°C e 10% de goma arábica, b) 130°C e 20% de goma arábica, c) 155°C e 10% de goma arábica, d) 155°C e 20% de goma arábica, e) 180°C e 10% de goma arábica, f) 180°C e 20% de goma arábica. Aumento de 500 x (lado esquerdo) e 1000 x (direito) de cada tratamento.

Fonte: Microscópio Eletrônico de Varredura Hitachi TM3000.

5.3.8 Conteúdo Total de Compostos Fenólicos

O reagente de Folin-Ciocalteu consiste de uma solução amarela contendo íons poliméricos complexos formados por ácidos fosfomolibdico e fosfotungstico. Esse reagente oxida fenolatos resultando na produção de um complexo azul de molibdênio-tungstênio (SINGLETON; ROSSI, 1965). Diversas concentrações de extrato resultam em uma solução com diferentes tons de azul, quanto mais concentrada mais escura será a solução.

O reagente de Folin-Ciocalteu é o mais utilizado para quantificação total de compostos fenólicos, contudo pode interagir com outros compostos não-fenólicos (ROESLER et al., 2007), de forma que os resultados de teor total de fenólicos podem apresentar valores levemente superiores aos presentes nas amostras. A fim de anular esse erro, foram realizadas análises controle com os agentes carreadores, maltodextrina e goma arábica, e esses não reagiram ao reagente de Folin-Ciocalteu.

A polpa de guavira *in natura* apresentou teor total de compostos fenólicos de $24,56 \pm 2,08$ g de EAG/kg de amostra (b.s). Comparando o resultado com outras frutas do cerrado, o resultado obtido foi superior aos extratos etanólicos de polpa de banha de galinha ($4,68 \pm 0,574$ g EAG/kg) e araticum ($20,31 \pm 3,525$ g EAG/kg) (ROESLER et al., 2007)

O conteúdo total de fenólicos da guavira em pó é apresentado em relação à concentração de polpa de guavira *in natura*, descartando o efeito do agente carreador nas amostras (Tabela 9). Os resultados foram próximos aos encontrados para suco de romã em pó (HORUZ, ALTAN e MASKAN, 2012) e superiores aos encontrados em *sage* (*Salvia fruticosa* Miller) em pó (SAHIN-NADEEM et al., 2013) e em extrato de sumac (*Rhus coriaria* L.) em pó (CALISKAN, DIRIM, 2013). O processo de atomização da polpa de guavira reduziu 65,47% em média do teor total de fenólicos da polpa *in natura*.

O tipo de agente carreador (Tabela A9) não apresentou influência significativa no teor total de compostos fenólicos dos pós de guavira (Figura 23). Este comportamento também foi observado por Sahin-Nadeem et al. (2013), na produção de *sage* (*Salvia fruticosa* Miller) em pó, e por Silva N. et al. (2012) na secagem de camu-camu utilizando maltodextrina ou goma arábica, como agentes carreadores.

O efeito da temperatura do ar de secagem foi significativo sobre o teor total de compostos fenólicos (Tabela A9). Para os pós adicionados de goma arábica, de maneira geral, o conteúdo total de fenólicos foi superior em temperatura de secagem intermediária (155°C) (Figura 23). Os resultados de conteúdo total de fenólicos

apresentados por Caliskan e Dirim (2013), para extrato de sumac em pó, foram superiores para temperatura de secagem de 160 °C do que a 180 °C. Nadeem et al. (2011), na secagem de extrato de *mountain tea* (*Sideritis stricta*) também observaram que o teor total de fenólicos foi superior em temperatura de secagem intermediária de 155 °C quando comparada com (145 e 165) °C.

Tabela 9. Resultados de conteúdo total de fenólicos dos pós de guavira em pó obtidos por Spray-Drying para diferentes condições de processo (temperatura do ar de secagem, vazão volumétrica da mistura) e concentração de maltodextrina ou goma arábica.

Ensaio*	Conteúdo total de fenólicos (g EAG/kg pó b.s.)	
	Maltodextrina	Goma arábica
1	10,25±0,47	11,94±1,30
2	9,09±1,80	8,73±0,34
3	10,12±0,53	6,06±0,41
4	10,14±0,55	2,33±0,06
5	10,08±0,13	12,65±0,50
6	10,09±0,29	14,70±0,38
7	4,37±0,03	6,55±0,21
8	5,62±0,10	5,15±0,38
9	11,71±1,06	12,52±0,40
10	9,66±0,26	14,71±0,31
11	4,93±0,33	3,18±0,24
12	5,70±0,41	3,35±0,06

Valores de média ± desvio padrão; * Ensaios – vide design experimental na Tabela 2.; EAG: Equivalentes de ácido gálico.

O aumento do teor total de compostos fenólicos para a mudança de temperatura de secagem de (130 para 155) °C pode estar relacionado com a inativação de enzimas polifenóis com o calor durante a secagem o que aumenta o teor de fenólicos totais (HORUZ; ALTAN; MASKAN, 2012). Para o aumento de temperatura de (155 para 180) °C, a diminuição no teor total de fenólicos da guavira em pó com adição de 20% de goma arábica pode estar relacionada à destruição ou alteração da estrutura molecular de compostos fenólicos em temperaturas de secagem elevadas (SUHAG; NANDA, 2015).

Figura 23. Efeito das condições de processo (temperatura do ar de secagem e vazão volumétrica da mistura), do tipo e concentração do carreador (10 e 20 %) sobre o indicador de Folin-Ciocalteu para a guavira em pó.

Fonte: Própria autoria.

A concentração de agente carreador teve influência significativa ($p < 0,05$) (Tabela A9) e, de maneira geral, os resultados de índice total de fenólicos diminuíram com o aumento da concentração do agente carreador. Outros estudos também observaram que o aumento da adição de agentes carreadores causa um decréscimo no índice total dos compostos fenólicos do produto final (CARLISKAN; DIRIM, 2013; MISHRA; MISHRA; MAHANTA, 2014; SAHIN-NADEEM et al., 2013; RAMIREZ; GIRALDO; ORREGO, 2015).

5.3.9 Atividade Antioxidante

Os métodos para a determinação da atividade antioxidante de alimentos são classificados em dois grupos: os que se baseiam na captura de radicais livres e os relacionados com a determinação da oxidação de uma molécula alvo. O método baseado na captura de radicais livres, espectrometria de ressonância de spin de elétrons ainda é pouco utilizado (SUCUPIRA et al., 2012).

O radical DPPH• é utilizado na determinação da capacidade de um composto antioxidante em sequestrar radicais livres. A redução do radical DPPH• é avaliada pelo decréscimo da absorbância durante a reação (SUCUPIRA et al., 2012). A solução que

contém o radical perde a cor, passando de violeta para amarelo na presença de doador de hidrogênio.

O método utilizando o radical ABTS^{•+} baseia-se na habilidade do antioxidante em capturar o cátion ABTS^{•+} (SUCUPIRA et al., 2012). O radical ABTS^{•+} apresenta alta solubilidade em água e absorbância máxima em 414 nm e absorbâncias secundárias em 645, 734 e 815 nm. Essa captura é medida pelo decréscimo da absorbância, retratado pela mudança da coloração azul esverdeada para incolor.

O potencial da guavira em pó para sequestrar radicais livres é expresso como a concentração de extrato necessária para inibir a oxidação do radical DPPH[•] em 50% (EC₅₀). De forma, baixo valor do EC₅₀ representa um extrato com alto potencial antioxidante. No cálculo do EC₅₀ foram considerados bons ajustes aqueles que apresentaram correlação acima de R²=0,95 para o gráfico de % de inibição por concentração de extrato. A Tabela 10 apresenta os resultados obtidos pelos ensaios de DPPH[•] (EC₅₀) e ABTS^{•+} (μM TE/g) para os extratos de guavira em pó obtidos nas diferentes condições de secagem.

Tabela 10. Atividade antioxidante *in vitro* da polpa de guavira em pó determinada pelos métodos DPPH[•] e ABTS^{•+}.

Ensaio*	EC ₅₀ DPPH [•] (μg/mL)		ABTS ^{•+} (μM TE**/g)	
	Maltodextrina	Goma arábica	Maltodextrina	Goma arábica
1	302,48±51,09	299,29±6,85	40,11±3,28	43,08±2,79
2	301,48±4,15	661,76±66,44	42,60±0,56	23,07±2,28
3	380,53±6,97	613,03±3,16	65,65±2,03	23,70±6,33
4	394,17±8,51	886,01±54,26	43,91±3,55	32,00±9,64
5	230,63±12,66	238,04±2,72	53,19±1,48	55,52±3,29
6	241,14±4,24	182,69±8,91	54,45±2,30	63,42±3,19
7	615,18±25,43	344,50±7,60	24,85±2,14	34,79±1,95
8	550,12±11,26	342,03±0,96	29,38±5,93	40,58±1,47
9	327,79±5,50	215,51±1,90	43,89±2,24	55,20±6,60
10	461,95±6,05	254,48±2,68	30,39±2,72	48,74±2,83
11	526,82±17,62	733,08±10,25	23,66±5,28	16,09±1,15
12	601,55±33,17	826,89±9,88	28,75±3,23	13,27±1,12

* Ensaios – vide design experimental na Tabela 2. **TE: equivalentes de trolox.

A atividade antioxidante da guavira em pó (Figuras 24 e 25) apresenta comportamento similar ao observado para o teor total de fenólicos (Figura 23), sugerindo

que os compostos fenólicos são os principais compostos com atividade antioxidante presentes na guavira.

Figura 24. Efeito das condições de processo e da concentração do carreador (10 e 20 %) sobre a atividade antioxidante, determinada pelo método DPPH[•], para a polpa de guavira em pó.

Fonte: Própria autoria.

Figura 25. Efeito das condições de processo e da concentração do carreador (10 e 20%) sobre a atividade antioxidante, determinada pelo método ABTS^{•+} para a polpa de guavira em pó.

Fonte: Própria autoria.

A atividade antioxidante dos pós de guavira foi superior em temperaturas do ar baixa ou intermediária nas condições desse estudo. Sahin-Nadeem et al. (2013) também observaram aumento da atividade antioxidante da *sage* (*Salvia fruticosa* Miller) em pó em temperatura de secagem de 155 °C; enquanto Kha, Nguyen e Roach (2010) verificaram um decréscimo da atividade antioxidante total de *Gac fruit* (*Momordica cochinchinensis*) quando a temperatura de secagem aumentou de (120 para 200) °C.

O tipo (ensaio DPPH•) e concentração (ensaios DPPH• e ABTS⁺•) de agente carreador influenciaram significativamente (Tabelas A10 e A11) a atividade antioxidante da guavira em pó. Contudo, não foi possível definir o agente carreador que protegeu melhor os compostos antioxidantes durante a secagem já que somente no ensaio com radical DPPH• apresentou diferença significativa para o tipo de agente carreador. Ferrari et al. (2013) observaram que pós obtidos com goma arábica possuem maior atividade antioxidante. Por outro lado, os resultados de Silva F. et al. (2012) mostram que pós de própolis adicionados de maltodextrina possuem maior atividade antioxidante comparada com a goma arábica.

A concentração de agente carreador afetou negativamente a capacidade de sequestrar radicais DPPH• e capturar cátions ABTS⁺•, ou seja, diminuiu a atividade antioxidante da guavira em pó. O efeito da concentração de agente carreador pode ser explicado pela menor concentração de polpa de guavira presente e consequentemente menor concentração de compostos reativos (MISHRA; MISHRA; MAHANTA et al., 2014). Comportamento similar foi observado por Kha, Nguyen e Roach (2010), Carliskan e Dirim (2013), Sahin-Nadeem et al. (2013), Silva F. (2013), Mishra, Mishra e Mahanta et al. (2014) e Nunes et al. (2015).

5.4 Seleção da melhor condição de secagem

As secagens realizadas a 155 °C e na menor concentração de agente carreador produziram pós com maior atividade antioxidante e boas características físico-químicas. Além disso, o uso de menos maltodextrina em polpas de fruta é recomendável devido ao alto índice glicêmico da mistura, e consequentemente no pó tornando-se uma preocupação quanto aos seus efeitos nocivos à saúde humana (SUN-WATERHOUSE; WATERHOUSE, 2014). Dessa forma, o ensaio com temperatura do ar de entrada de 155 °C, 10% de agente carreador e 40 mL/min de vazão de alimentação da mistura foi escolhido para o estudo da estabilidade à estocagem da polpa de guavira em pó.

Polpa de guavira em pó foi obtida na temperatura do ar de entrada de 155 °C, vazão volumétrica da mistura de 40 mL/min e 10% de agente carreador (maltodextrina e goma arábica), condições de secagem que correspondem a produção de partículas com maior atividade antioxidante (ensaio 6 da Tabela 2). Para os pós produzidos nestas condições foram determinados a temperatura de transição vítrea, a isoterma de sorção, assim como a estabilidade durante a estocagem.

5.5 Avaliação da guavira em pó produzida pela condição de secagem selecionada

5.5.1 Temperatura de transição vítrea

A Figura 26 apresenta as curvas obtidas no DSC para as partículas produzidas com a maltodextrina ou goma arábica. Em geral, as curvas de fluxo de calor em função da temperatura apresentam a transição de segunda ordem, característica que produz uma mudança na linha de calor, na temperatura de transição de fase. A temperatura de transição vítrea (T_g) foi considerada como o ponto médio da inflexão da curva de fluxo de calor. Os valores de T_g obtidos para as amostras com maltodextrina e goma arábica foram de $(31,43 \pm 0,38^a$ e $25,20 \pm 2,69^a)$ °C, respectivamente. As amostras com maiores valores de T_g são mais estáveis durante a produção e especialmente no armazenamento (YOULSEFI et al., 2011).

As temperaturas de transição vítrea não apresentaram diferença significativa quanto a utilização dos diferentes agentes carreadores. Ferrari et al. (2013) observaram que pós adicionados de maltodextrina apresentaram maior T_g que a goma arábica. Contudo, Fazaeli et al. (2012) e Tonon et al. (2009) observaram o contrário.

O maior valor de T_g para a maltodextrina pode estar relacionado com o teor de água na amostra. Segundo Tonon et al. (2009), Tze et al. (2012) e Santhalakshmy et al. (2015), a temperatura de transição vítrea diminui com o aumento da umidade da amostra devido ao efeito plasticizante da água. A umidade inicial da guavira em pó com maltodextrina foi de $2,50 \pm 0,39$ g/100g de amostra e com goma arábica foi de $4,98 \pm 0,71$ g/100g de amostra; a guavira em pó com goma arábica possui teor de umidade duas vezes maior que a amostra com maltodextrina explicando a menor T_g para a goma arábica. Jaya, Das (2009) observou T_g de 28 °C para suco de tomate em pó com teor de umidade de 5%.

Figura 26. Curvas de Calorimetria Diferencial de Varredura para a polpa de guavira em pó obtida por *spray drying* na temperatura do ar de secagem de 155°C, vazão volumétrica da mistura de 40 mL/min e adição de 10% de maltodextrina ou goma arábica

Fonte: Própria autoria.

Os valores de T_g obtidos podem explicar a dificuldade de secar a polpa de guavira sem adição de um agente carreador. Provavelmente, a polpa de guavira pura apresente uma T_g bem inferior do que as obtidas para as amostras produzidas com agentes carreadores. Em alguns estudos, verificou-se que a T_g da polpa integral é mais baixa do que a mistura polpa e agente carreador (SILVA, SOBRAL, KIECKBUSCH, 2006; ZOTARELLI, 2014).

A temperatura “sticky” (temperatura na qual o material apresenta grande pegajosidade), conforme descrito em Tonon et al. (2009), é de 10 a 23 °C mais alta do que a T_g . As partículas obtidas em temperaturas superiores a temperatura “sticky” aderem à parede do secador e se degradam e/ou se aglomeram afetando negativamente as propriedades de escoamento do pó. Essa temperatura provavelmente é menor que a temperatura de saída do secador, o que pode justificar o alto grau de pegajosidade das amostras obtidas para algumas condições experimentais estudadas.

A maioria dos alimentos em pó contém componentes amorfos vítreos como os açúcares de baixa massa molecular. Sob determinadas condições de temperatura e umidade, esses compostos amorfos podem tornar-se pegajosos (TZE et al., 2012). Na temperatura de transição vítrea (T_g), um material amorfo envolve a transição de um estado vítreo para um estado borrachoso devido ao aumento da mobilidade molecular

e diminuição da viscosidade, o que pode resultar em mudanças estruturais como pegajosidade e degradação do produto (SANTHALAKSHMY et al., 2015).

Os pós de guavira apresentaram temperatura de transição vítrea inferior aos resultados obtidos por vários trabalhos como Fazaeli et al. (2012) (40,2 a 76,4) °C, para suco de *black mulberry* (*Morus nigra*) em pó; Jaya e Das (2009) (28 a 66,6) °C, na secagem de sucos de manga, abacaxi e tomate; Tze et al. (2012) (59,34 a 74,40) °C para polpa de pitaya em pó e Santhalakshmy et al. (2015) (55,85 a 71,78) °C com *jamunt* (*Syzygiu cumini*) em pó. Tonon et al. (2009) obtiveram valores de Tg de (-61,93 a 74,37) °C para suco de açaí em pó em diversas umidades relativas do ar.

5.5.2 Isoterma de sorção

A Figuras 27 apresenta as isotermas de adsorção de água da polpa de guavira em pó produzida com maltodextrina (Fig. 27a) e goma arábica (Fig. 27b) nas temperaturas de (20, 30 e 40) °C. O modelo de BET foi ajustado aos pontos experimentais com alto coeficiente de determinação ($R^2 \sim 0,99$) (Tabela 11), sendo representado nas Figuras 27 (linha). Os modelos de GAB e BET são os mais utilizados na literatura, pois apresentam um significado físico relacionado ao processo de adsorção. Contudo, para as amostras de guavira em pó o modelo de GAB não apresentou bons ajustes para as amostras com adição de maltodextrina nas temperaturas de 30 e 40 °C.

As curvas de sorção (Figura 27) apresentaram formato do tipo III, conforme classificação de Brunauer (BRUNAUER, EMMETT e TELLER, 1938). Esse resultado corrobora com os trabalhos de Tonon et al. (2009), Gabas et al. (2007) e Zotarelli (2014), que produziram suco de açaí, polpa de abacaxi e suco de manga, respectivamente, em pó por spray drying, usando maltodextrina como carreador.

Os valores de umidade da monocamada (X_m) obtidos pelo modelo BET (Tabela 11) foram superiores aos obtidos por Tonon et al. (2009) com suco de açaí em pó obtido com maltodextrina 20 DE ou goma arábica, por Silva N. et al. (2012) com suco de camu-camu com maltodextrina ou goma arábica, e por Zotarelli (2014) com suco de manga em pó com maltodextrina 10 DE. Esse parâmetro indica a quantidade de água que está fortemente adsorvida aos sítios específicos na superfície do alimento, e é considerado como o valor ótimo para assegurar sua estabilidade (FENNEMA, 1996).

Figura 27. Isotermas de adsorção da polpa de guavira em pó, obtida por *spray drying* com temperatura do ar de secagem de 155°C, vazão volumétrica da mistura de 40 mL/min e adição de 10% de a) maltodextrina, b) goma arábica em diferentes temperaturas de análise. Linha contínua: modelo de BET.

Fonte: Própria autoria.

Tabela 11. Parâmetros do modelo de BET ajustados para as isotermas de sorção

T (°C)	Maltodextrina				Goma arábica			
	Xm	c	R ²	DMR	Xm	c	R ²	DMR
20°C	0,0955	1,0508	0,9928	3,3943	0,0796	2,1106	0,9962	1,3995
30°C	0,0807	1,4266	0,9980	5,5961	0,0812	7,7334	0,9953	0,0004
40°C	0,0695	1,4939	0,9885	8,3862	0,0797	6,3394	0,9963	1,3836

Pode se observar na Figura 27 que o aumento na umidade de equilíbrio (b.s) é pequeno para atividade de água até 0,4, quando comparado às umidades atingidas em atividades de água maiores que esse valor. O mesmo comportamento foi observado por Tonon (2009) e Silva N. et al. (2012). O aumento no conteúdo de água na amostra pode promover reações de degradação indesejáveis, uma vez que a água está na forma livre e poderá dissolver componentes do meio, acelerando essas reações.

A polpa de guavira em pó com goma arábica adsorveu mais umidade (Figura 27b) quando comparada à maltodextrina (Figura 27a). Esse comportamento pode ser relacionado ao tamanho médio e à rugosidade da partícula, pois quanto maior o diâmetro de partícula e mais lisa a sua superfície, menor é a área de contato exposta e, consequentemente, menor a adsorção de água do ambiente. As amostras com goma arábica apresentam menor diâmetro médio (Tabela 8) e partículas mais rugosas (Figuras 19 a 22) do que as com maltodextrina, e assim adsorvem mais umidade do meio e apresentam maiores valores de umidade da monocamada (Xm) (Tabela 11).

5.5.3 Estudo da estabilidade à estocagem

A estabilidade da polpa de guavira em pó obtida pelo processo de secagem com temperatura do ar de 155 °C, vazão volumétrica da mistura de 40 mL/min e adição de 10% de agente carreador foi analisada ao longo de 120 dias, a 25 °C e umidade relativa de 75%, em relação a umidade, atividade de água, conteúdo de vitamina C, conteúdo total de compostos fenólicos e atividade antioxidante (radical DPPH•).

O teor de umidade da polpa de guavira em pó sofreu pequena alteração ao longo de 120 dias, variando de (2,50 a 4,00) % para a maltodextrina e de (3,63 a 4,98) %, para a goma arábica. A atividade de água apresentou pequena oscilação de valores entre 0,18 a 0,26, independente do agente carreador (Figura 28). As propriedades como umidade e atividade de água são essenciais para a estabilidade à estocagem de pós. Nesse caso, as duas propriedades (umidade < 5% e a_w < 0,3) sugerem boa estabilidade bioquímica e microbiológica durante a armazenagem. Breda, Sanjinez-Argandoña e Correia (2012) observaram um aumento de 250 % na umidade e atividade de água acima de 0,470 da polpa de guavira em pó acondicionada nas mesmas condições de umidade e temperatura após 100 dias de armazenamento usando embalagens de polietileno.

A polpa de guavira em pó apresentou uma pequena alteração de cor no 42º dia para a amostra com maltodextrina. Contudo, de maneira geral, a alteração dos parâmetros L^* , C^* e H^* é mínima (Figuras 29 e 30), e imperceptível ao olho nu. Dessa forma, pode-se afirmar que após 120 dias de armazenamento foi mantida a aparência visual, aspecto decisivo na aceitabilidade do produto. No estudo de estabilidade da cor de pós de mistura de frutas (cajá, manga e mamão) adicionados de maltodextrina 10 e 20 DE por 60 dias a 25 °C e armazenados em sílica gel, Barbosa (2010) observou leve aumento do parâmetro L^* , diminuição da cromaticidade C^* e aumento do ângulo de tom H^* . Silva F. et al. (2013) observaram decréscimo significativo da luminosidade L^* de própolis em pó após 180 dias de armazenamento a 25 °C em vidro.

Figura 28. Umidade e atividade de água para a polpa de guavira em pó com maltodextrina ou goma arábica durante a estocagem (25 °C e UR =75%).

Pontos seguidos pela mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre si, pelo Teste de Tukey a 5% de significância, para diferentes temperaturas de secagem

Fonte: Própria autoria.

Figura 29. Luminosidade (L^*) para a polpa de guavira em pó com maltodextrina ou goma arábica durante a estocagem (25 °C e UR =75%).

Pontos seguidos pela mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre si, pelo Teste de Tukey a 5% de significância, para diferentes temperaturas de secagem

Fonte: Própria autoria.

Figura 30. Valores dos parâmetros de cor C^* e H^* para a polpa de guavira em pó com maltodextrina ou goma arábica durante a estocagem (25 °C e UR =75%).

Fonte: Própria autoria.

O teor total de compostos fenólicos para a polpa de guavira em pó com goma arábica (Figura 31) apresentou decréscimo considerável nos primeiros dias de armazenamento e manteve-se estável após 40 dias de armazenamento. Essa redução pode estar relacionada com a oxidação de compostos fenólicos presentes na superfície das partículas ao longo do tempo. Moraes (2014) observou decréscimo significativo do teor total de compostos fenólicos em pó de caju amarelo nos primeiros 7 dias de armazenamento, o que provavelmente pode ser associado à degradação de fenólicos na superfície por oxidação.

O teor de vitamina C ou ácido ascórbico da polpa de guavira em pó apresentou redução após 60 dias para as amostras com maltodextrina ou goma arábica, apesar de apresentar oscilações nos 22° e 41° dias (Figura 31). Moraes (2014) também observou decréscimo do teor de ácido ascórbico de caju em pó adicionado de 15% de goma arábica quando armazenado por 49 dias a 25 °C, assim como Breda, Sanjinez-Argandoña e Correia (2012), na polpa de guavira em pó no 50° dia de armazenamento.

Figura 31. Conteúdo total de fenólicos e Vitamina C para a polpa de guavira em pó com maltodextrina ou goma arábica durante a estocagem (25 °C e UR =75%).

Fonte: Própria autoria.

A atividade antioxidante da polpa de guavira em pó com maltodextrina, determinada pelo ensaio utilizando o radical livre DPPH•, apresentou pequenas oscilações de valores durante o período de estocagem (Figura 32). Para a goma arábica houve um pequeno aumento do EC₅₀, isto é, diminuição da atividade antioxidante nos primeiros sete dias de armazenamento, isto é provavelmente devido à redução do teor total de compostos fenólicos (Figura 31). Ferrari et al. (2013) observaram decréscimo constante da atividade antioxidante de amora preta em pó com goma arábica acondicionada em placas de petri durante 150 dias de armazenamento, já quando adicionada de maltodextrina apresentou aumento até o 90º dia e seguido de decréscimo significativo até o final dos 150 dias de armazenamento a (25 e 35) °C.

A manutenção da qualidade da guavira em pó após 120 dias de armazenamento pode estar relacionada com a embalagem utilizada em comparação com os outros autores. A embalagem de polietileno utilizada por Breda, Sanjinez-Argandoña e Correia (2012) não promove barreira à luz e provavelmente tem maior permeabilidade a gases. Ferrari et al. (2013), Barbosa (2010) e Silva F. et al. (2013) utilizaram embalagens de vidro que possuem boa propriedade de barreira a gases, contudo não promove proteção à luz.

Figura 32. Atividade antioxidante (ensaio DPPH*) para a polpa de guavira em pó com maltodextrina ou goma arábica durante a estocagem (25 °C e UR =75%).

Fonte: Própria autoria.

6 Conclusões

O processo de atomização foi eficiente no aumento da vida de prateleira da polpa de guavira, de forma que o produto em pó não requer a utilização de temperaturas de congelamento e reduz volume, massa e consequentemente custo com transporte e armazenamento. Contudo a guavira em pó sofreu algumas alterações em comparação à polpa *in natura*, como escurecimento e redução do teor total de compostos fenólicos.

As condições de processo (temperatura do ar de secagem e vazão volumétrica da mistura), o tipo e a concentração do agente carreador influenciaram significativamente todas as propriedades estudadas da polpa de guavira em pó.

A menor umidade da polpa de guavira em pó foi obtida na temperatura intermediária do ar (155 °C). A adição de maltodextrina proporcionou a produção de amostras mais secas comparadas com a goma arábica. Todas as amostras apresentaram atividades de água menores de 0,3 e umidade inferior a 5 %, podendo ser consideradas microbiologicamente estáveis.

A polpa de guavira em pó mostrou-se altamente solúvel em água destilada e muito higroscópica. Sendo que a utilização de maltodextrina, como agente carreador e temperatura do ar de 130 °C, produziram amostras mais solúveis quando comparadas com a goma arábica e as demais temperaturas estudadas. O aumento da concentração de agente carreador diminuiu a higroscopicidade da guavira em pó. A alta solubilidade das amostras de guavira em pó pode sugerir a utilização do processo de atomização na produção de suco de guavira em pó.

A luminosidade (L^*) foi maior com o aumento do conteúdo de agente carreador e as amostras de polpa de guavira em pó apresentaram coloração próximas do amarelo e marrom.

A distribuição do tamanho de partículas teve comportamentos monomodais e bimodais, sem apresentar um padrão quanto à influência das condições de secagem estudadas. A adição de maltodextrina produziu amostras com tamanho de partícula maior e superfície mais lisa e esférica comparada com a goma arábica.

Os pós de guavira obtidos pela secagem em *spray dryer* com temperatura do ar de 155 °C, vazão volumétrica da mistura de 40 mL/min e adição de 10% de maltodextrina ou goma arábica apresentaram teor total de compostos fenólicos e atividade antioxidante superiores comparados às demais condições de secagem estudadas.

As temperaturas de transição vítrea das amostras obtidas com o tratamento que proporcionou melhores características bioativas foram próximas da temperatura ambiente, o que mostra a instabilidade da polpa de guavira em pó quando não é armazenada em embalagens com barreira à umidade. As isotermas de sorção apresentaram formato do tipo III e o modelo de BET se ajustou muito bem aos pontos experimentais nas 3 temperaturas estudadas.

A embalagem utilizada no estudo de estabilidade da polpa de guavira em pó mostrou-se eficiente e a qualidade das amostras foi mantida após 120 dias de armazenamento.

Os dois agentes carreadores, maltodextrina e goma arábica atuaram de forma similar na viabilização do processo de atomização e na manutenção da estabilidade da guavira em pó. De forma que devido ao maior custo da goma arábica, a maltodextrina foi considerada o agente carreador com melhor custo-benefício para obtenção de polpa de guavira em pó.

REFERÊNCIAS

ALVES, A. M. et al. Physical and chemical characterization, total phenolics and antioxidant activity of the gabioba pulp and residue. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 3, p. 837-844, set. 2013.

ALMEIDA, A. S. **Qualidade, compostos bioativos e atividade antioxidante total de pedúnculos de cajuzeiros e frutos de umbuzeiros nativos do semi-árido do Piauí**. 2009. 186 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró.

AOAC International. Method 990.03: Crude protein from combustion method. **Official Methods of Analysis of AOAC International**, 15th ed.; AOAC International: Gaithersburg, MD, 1995a.

AOAC International. Method 920.39C: Fat (crude) or ether extract in food and animal feed-Soxhlet method. **Official Methods of Analysis of AOAC International**, 15th ed.; AOAC International: Gaithersburg, MD, 1995b.

AOAC. **Official methods of analysis of AOAC International**, 17th ed.; Virginia: AOAC International. 2000.

ARARUNA, S.M. et al. Influence of process conditions on the physicochemical characteristic of cumaru (*Amburana cearensis*) powder produced by spray drying. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 23, n. 1, p. 132-137, jan./fev. 2013.

BARBOSA, A. J. **Qualidade de suco em pó de mistura de frutas obtido por spray drying**. 2010. 107 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba.

BENEDETTI, P, C. D. **Caqui em pó: influência de aditivos e do método de secagem**. 2010. 129 p. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Physiology*., 37, 911-917.

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

BREDA, C. A.; SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J.; CORREIA, C. A. Shelf life of powdered *Campomanesia adamantium* pulp in controlled environments. **Food Chemistry**, v. 135, p. 2960-2964, 2012.

CALISKAN, G.; DIRIM, S. N. The effect of the different drying conditions and the amount of maltodextrina addiction during spray drying of sumac extract. **Food and Bioproducts Processing**, v. 91, p. 539-548, 2013.

CAMPOS, R. P. et al. Conservação pós-colheita de guavira (*Campomanesia* sp.). **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal – SP, v. 34, n. 1, p. 041-049, Mar 2012.

CANO-CHAUCA, M. et al. Effect of Carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. v. 6, p. 420-428, 2005.

CASTRO-MUÑOZ, R.; BARRAGÁN-HUERTA, B.; YÁÑEZ-FERNÁNDEZ, J. Use of gelatina-maltodextrin composite as an encapsulation support for clarified juice from purple cactus pear (*Opuntia stricta*). **LWT – Food Science and Technology**, v. 62, p. 242 – 248, 2015.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de Secagem de Alimentos**. Planaltina – DF : embrapa Cerrados, 2010.

CHEGINI, G. R., GHOBADIAN, B. Effect of spray-drying condition on physical properties of orange juice powder. **Drying Technol.** v. 23, p. 657–668, 2005.

CHEN, Q. et al. Multi-objective Optimization of Spray Drying of Jujube (*Zizyphus jujube* Miller) Powder Using Response Surface Methodology. **Food Bioprocess Technology**, Nova York, v.7, p. 1807-1818, ago. 2014.

CHOUBERT, G.; VALLEÉ, F. Colour measurement, using CIELCH colour space, of muscle of rainbow trout, *Orcorhynchus mykiss* (Walbaum), fed astaxanthin: effects of family, ploidy, sex, and location of reading. **Aquaculture Research**, v. 28, p. 15-22, 1997.

COUTINHO, A. P. C. **Produção e caracterização de maltodextrinas a partir de amidos de mandioca e batata-doce**. 2007. 151 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Julio Mesquita Filho”, Botucatu.

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

DEFAYE, J.; WONG, E. Structural studies of gum Arabic, the exudate polysaccharide from *Acacia Senegal*. **Carbohydrate Research**, v. 150, p. 221-231, 1986.

EASMIN, S. et al. Bioactive compounds and advanced processing technology: *Phaleria macrocarpa* (sheff.) Boerl, a review. **J Chem Technol Biotechnol**, v. 90, p. 981 – 991, 2015.

FAZAELI, M. et al. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. **Food And Bioproducts Processing**, v. 90, p. 667-675, abr. 2012.

FELLOWS, P.J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2. ed. São Paulo; Artmed, 2006.

FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de Alimentos de Fennema** – 4 ed. - Editora Artmed, 2010.

FERRARI, C. C. RIBEIRO, C. P. AGUIRRE, J. M. Secagem por atomização de polpa de amora-preta usando maltodextrina como agente carreador. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 15, n. 22, p. 157-165, abr./jun. 2012.

FERRARI, C. C. et al. Storage Stability of Spray-Dried Blackberry Powder Produced with Maltodextrin or Gum Arabic. **Drying Technology: An International Journal**, v. 31, n. 4, p. 470-478, 2013.

FERREIRA, A. P. R. et al. Comportamento higroscópico de polpa de seriguela atomizada utilizando diferentes agentes carreadores de secagem. **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**. Florianópolis – SC, 2014.

FERREIRA, P. V. **Estatística experimental aplicada à agronomia**. 3. ed. Maceió; EDUFAL, 2000.

FONTES, C. P. M. L. Dehydration of Prebiotic Fruit Drinks by Spray Drying: Operating Conditions and Powder Characterization. **Food Bioprocess Technol**, v. 7, p. 2942-2950, 2014.

GOMES, F. **Curso de estatística experimental**, 14 ed. Piracicaba: Nobel, 2000.

GOULA, A. M. et al. Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. **Journal Of Food Engineering**, v. 85, p.73-83, 2008.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Effect of Maltodextrin Addition during Spray Drying of Tomato Pulp in Dehumidified Air: I. Drying Kinetics and Product Recovery. **Drying Technology: An International Journal**, v. 26, p.714-725, mai. 2008a.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Effect of Maltodextrin Addition during Spray Drying of Tomato Pulp in Dehumidified Air: II. Powder Properties. **Drying Technology: An International Journal**, v. 26, p.726-737, mai. 2008b.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. A new technique for spray drying orange juice concentrate. **Innovative Food Science And Emerging Technologies**, v. 11, p.342-351, 2010.

HORUZ, E.; ALTAN, A.; MASKAN, M. Spray Drying and Process Optimization of Unclarified Pomegranate (*Punica granatum*) Juice. **Drying Technology: Na International Journal**. V. 30, p. 787-798, 2012.

IBGE. **Estudo nacional da despesa familiar - ENDEF**: Tabelas de composição dos alimentos. 5. ed. Rio de Janeiro, 1999. 49 p.

JAYA, S.; DAS, H. Glass transition and sticky point temperatures and stability/mobility diagram of fruit powders. **Food Bioprocess Technology**, v. 2, p.89-95, 2009.

JIMÉNEZ-ESCRIG, A. et al. Guava fruit (*Psidium guajava* L.) as a new source of antioxidant dietary fiber. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, London, v. 81, p. 530-534, 2001.

KHA, T. C.; NGUYEN, M. H.; ROACH, P.D. Effects of spray drying conditions on the physico chemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. **Journal Of Food Engineering**, v. 98, p.385-392, 2010.

LABUZA, T. P.; ALTUNAKAR, B. Water activity prediction and moisture sorption isotherms, 2007. Em BARBOSA-CANOVAS, G. V.; FONTANA Jr., A. J.; SCHMIDT, S. J.; LABUZA, T. P. **Water activity in foods – Fundamentals and applications**. John Wiley & Sons, p. 109 – 131.

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture isotherm equations. 1: fruit, vegetable and products. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v. 18(2), p. 111-117, 1985.

MALTA, L. G. et al. In vivo analysis of antigenotoxic and antimutagenic properties of two Brazilian Cerrado fruits and the identification of phenolic phytochemicals. **Food Research International**, n. 49, p.604-611, jul. 2012.

MEDINA-TORRES, L. et al. Microencapsulation by spray drying of gallic acid with nopal mucilage (*Opuntia ficus indica*). **LWT – Food Science and Technology**, v. 50, p. 642-650, 2013.

MELO, K. S. **Secagem por aspersão da polpa de atemóia**. 2012. 230 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

MISHRA, P.; MISHRA, S.; MAHANTA, C.L. Effect of maltodextrina concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Embllica officinalis*) juice powder. **Food and Bioproducts Processing**, v. 92, p. 252-258, 2014.

MORAES, F. P. **Polpa desidratada de caju amarelo (*Anacardium occidentale* L.) por atomização em *spray dryer*: caracterização físico-química, bioativa e estudo da vida de prateleira do produto**. 2014. 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

MUSA, K.H. et al. Antioxidant Activity of Pink-Flesh Guava (*Psidium guajava* L.): Effect of Extraction Technique and Solvents. **Food Anal. Methods**, n. 4, p. 100-107, 2011.

NADEEM, H. S. et al. Spray drying of mountain tea (*Sideritis strica*) water extract by using different hydrocolloid carriers. **LWT Food Sci. Technol.** v. 44, p. 1626-1635, 2011.

NUNES, G. L. et al. Microencapsulation of freeze concentrated *Ilex paraguarensis* extract by spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 151, p. 60 – 68, 2015.

OLIVEIRA, A. N. **Cinética de degradação de suco integral de manga e estimativa da vida-de-prateleira por testes acelerados**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

OLIVEIRA, O. W.; PETROVICK, P.R. Secagem por aspersão (*spray drying*) de extratos vegetais: bases e aplicações. **Rev. Bras. Farmacogn.** V. 20, n. 4, p. 641 – 650, 2010.

PARRAS-SAAVEDRA, J. et al. Microstructural properties and distribution of components in microparticles obtained by spray-drying. **Journal of Food Engineering**, v. 152, p. 105 – 112, 2015.

PEREIRA, A. L. F. et al. Spray-Drying of Probiotic Cashew Apple Juice. **Food Bioprocess Technol**, v. 7, p. 2492-2499, 2014.

PRADO, A. **Composição fenólica e atividade antioxidante de frutas tropicais**. 2009. 106 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

RAMIREZ, M. J.; GIRALDO, G. I.; ORREGO, C. E. Modeling and stability of polyphenol in spray-dried and freeze-dried fruit encapsulates. **Powder Technology**, v. 277, p. 89 – 96, 2015.

RE, R. et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology & Medicine**, v. 26, n. 9/10, p. 1231-1237, 1999.

ROESLER, R. et al. Antioxidant activity of cerrado fruits. **Ciênc.Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 27, n. 1, p.53-60, jan./mar. 2007.

RUFINO, M. S. M. et al. **Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre DPPH**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2007.

RUTZ, J. K. **Caracterização e microencapsulação de suco de pitanga roxa (*Eugenia uniflora* L.)**. 2013. 106 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

SAHIN-NADEEM, H. et al. Influence of inlet air temperature and carrier material on the production of instant soluble sage (*Salvia fruticosa* Miller) by spray drying. **LWT – Food Science and Technology**, v. 52, p.31-38, 2013.

SANTANA, A. A. et al. Influence of Process Conditions on the Physicochemical Properties of Pequi Powder Produced by Spray Drying. **Drying Technology: An International Journal**. v.31, p.825-836, mai. 2013.

SANTHALAKSHMY, S. et al. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. **Powder Technology**, v. 274, p. 37-43, 2015.

SANTOS, M. S. et al. Antioxidant and fatty acid profile of guavira seed (*Campomanesisa Xanthocarpa* Berg). **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 32, n. 2, p.234-238, abr./jun. 2012.

SANTOS, M. S. et al. Chemical characterization and evaluation of the antioxidant potential of guavira jam (*Campomanesia Xanthocarpa* Berg). **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 35, n. 1, p.73-82, jan./mar 2013.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de Alimentos Métodos Químicos e Biológicos**. 3 ed. Editora UFV, 2006.

SILVA, F. C. et al. Assessment of production efficiency, physicochemical properties and storage stability of spray-dried propolis, a natural food additive, using gum Arabic and OSA starch-based carrier systems. **Food And Bioproducts Processing**, v. 91, p.28-36, 2013.

SILVA, G. M. **Potencial antioxidante de frutos do Cerrado e do Pantanal, no Estado de Mato Grosso do Sul**. 2010. 77 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande.

SILVA, M. A.; SOBRAL, P. J. A.; KIECHBUSCH, T.G. State diagrams of freeze-dried camu-camu (*Myrciaria dubia* (HBK) Mc Vaugh) pulp with and without maltodextrins addition. **Journal of Food Engineering**, Barking, Inglaterra, v. 77, n.3, p. 426-432, 2006.

SILVA, N. K. et al. Influence of shell material on Vitamin C content, total phenolic compounds, sorption isotherms and particle size of spray-dried camu-camu juice. **Fruits**, v. 68, p. 175-183, 2012.

SILVA, P. I.; et al. Parameter optimization for spray-drying microencapsulatin of jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) peel extracts using simultaneous anlysis of responses. **Journal of Food Engineering**, v. 117, p. 538 – 544. 2013.

SINGLETON, V.L.; ROSSI JUNIOR, J.A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viniculture**, v.16, p.144-158, 1965.

SORMOLI, M. E.; LANGRISH T. A. G. Moisture sorption isotherms and net isosteric heat of sorption for spray-dried purê orange juice powder. **LWT – Food Science and Technology**, v. 62, p. 875 – 882, 2015.

SUCUPIRA, N. R. et al. Métodos para determinação da atividade antioxidante de frutos. **Unopar Cient Ciênc Biol Saúde**, v. 14, n. 4, p.263-269, 2012.

SUHAG, Y.; NANDA, V. Optimization of process parameters to develop nutritionally rich spray-dried honey powder with vitamin C content and antioxidant properties. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 50, p. p. 1771-1777, 2015.

SUN-WATERHOUSE, D.; WATERHOUSE, G .I. N. Spray-Drying of Green or Gold Kiwifruit Juice–Milk Mixtures; Novel Formulations and Processes to Retain Natural Fruit Colour and Antioxidants. **Food and Bioprocess Technology**, v. 8, p. 191–207, 2014.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. B. Influence of process conditions on the physico chemical properties of açai (*Euterpeoleraceae Mart.*) powder produced by spray drying. **Journal Of Food Engineering**, v. 88, p.411-418, fev. 2008.

TONON, R. V. Influência da temperature do ar de secagem e da concentração do agente carreador sobre as propriedades físico-química do suco de açai em pó. **Ciênc. Tecnol. Aliment.** v.29, n. 2, p. 444-450, abr-jun. 2009.

TZE, N. L. et al. Physicochemical and Nutritional Properties of Spray-Dried Pitaya Fruit Powder as Natural Colorant. **Food Sci. Biotechnol**, v. 21, n. 3, p. 675-682, 2012.

VIEIRA, R.F. et al. **Frutas nativas – Centro-Oeste – Brasil**. 1. Ed. Brasília : Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2006.

VIGANÓ, J. et al. Role of enthalpy and entropy in moisture sorption behavior of pineapple pulp powder produced by different drying methods. **Thermochimica Acta**, v. 528, p.63-71, 2012.

VILLACREZ, J. L.; CARRIAZO, J. G.; OSORIO, C. Microencapsulation of andes berry (*Rubus glaucus* Benth.) aqueous extract by spray drying. **Food Bioprocess Technol**, v. 7, p. 1445 – 1456, 2014.

QUEK, S. Y. et al. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powder. **Chem. Eng. Process**. v. 46, n. 5, p. 386–392, 2007.

ZOTARELLI, M. F. **Produção e caracterização de manga desidratada em pó por diferentes processos de secagem**. 2014. 165 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

APÊNDICE A – Resultados da análise estatística para o delineamento experimental inteiramente casualizado, com os tratamentos em esquema fatorial 2x2x2x3

Tabela A 1 – Análise de variância para o teor de umidade.

Fonte de variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrado médio	F calc	P-valor
Carreador	1	16,15013889	16,15013889	161,49	<,0001
Temp	2	16,20888611	8,10444306	81,04	<,0001
Concentracao	1	2,24720000	2,24720000	22,47	<,0001
Vazao	1	11,17068889	11,17068889	111,70	<,0001
Concentracao*Temp	2	1,46900833	0,73450417	7,34	0,0016
Vazao*Temp	2	4,42653611	2,21326806	22,13	<,0001
Concentracao*Vazao	1	0,00500000	0,00500000	0,05	0,8240
Carreador*Temp	2	2,58346944	1,29173472	12,92	<,0001
Concentrac*Carreador	1	0,03125000	0,03125000	0,31	0,5788
Vazao*Carreador	1	0,97533889	0,97533889	9,75	0,0030
Concent*Carread*Temp	2	4,41885833	2,20942917	22,09	<,0001
Vazao*Carreador*Temp	2	6,28705278	3,14352639	31,43	<,0001
Concen*Vazao*Carread	1	0,55827222	0,55827222	5,58	0,0222
Concentra*Vazao*Temp	2	3,01982500	1,50991250	15,10	<,0001
Conc*Vaza*Carre*Temp	2	4,26711944	2,13355972	21,33	<,0001

Em que, GL é grau de liberdade; Fcalc é F calculado.

Tabela A 2. Análise de variância para a atividade de água.

Fonte de variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrado médio	F calc	P-valor
Carreador	1	0,25394689	0,25394689	514,44	<,0001
Temp	2	0,13804003	0,06902001	139,82	<,0001
Concentracao	1	0,00074756	0,00074756	1,51	0,2245
Vazao	1	0,03075200	0,03075200	62,30	<,0001
Concentracao*Temp	2	0,00717886	0,00358943	7,27	0,0017
Vazao*Temp	2	0,00032275	0,00016137	0,33	0,7227
Concentracao*Vazao	1	0,00136939	0,00136939	2,77	0,1023
Carreador*Temp	2	0,00859386	0,00429693	8,70	0,0006
Concentrac*Carreador	1	0,00653606	0,00653606	13,24	0,0007
Vazao*Carreador	1	0,00050139	0,00050139	1,02	0,3186
Concent*Carread*Temp	2	0,02290069	0,01145035	23,20	<,0001
Vazao*Carreador*Temp	2	0,00559469	0,00279735	5,67	0,0062
Concen*Vazao*Carread	1	0,00222222	0,00222222	4,50	0,0390
Concentra*Vazao*Temp	2	0,01080203	0,00540101	10,94	0,0001
Conc*Vaza*Carre*Temp	2	0,00292153	0,00146076	2,96	0,0614

Em que, GL é grau de liberdade; Fcalc é F calculado.

Tabela A 3. Análise de variância para a solubilidade.

Fonte de variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrado médio	F calc	P-valor
Carreador	1	311,7920681	311,7920681	74,22	<,0001
Temp	2	70,4694778	35,2347389	8,39	0,0008
Concentracao	1	12,2595014	12,2595014	2,92	0,0940
Vazao	1	14,9513347	14,9513347	3,56	0,0653
Concentracao*Temp	2	4,8288111	2,4144056	0,57	0,5667
Vazao*Temp	2	1,6208111	0,8104056	0,19	0,8252
Concentracao*Vazao	1	0,6981681	0,6981681	0,17	0,6853
Carreador*Temp	2	162,3608111	81,1804056	19,33	<,0001
Concentrac*Carreador	1	11,8990681	11,8990681	2,83	0,0989
Vazao*Carreador	1	6,2717014	6,2717014	1,49	0,2277
Concent*Carread*Temp	2	0,1132444	0,0566222	0,01	0,9866
Vazao*Carreador*Temp	2	3,7268111	1,8634056	0,44	0,6443
Concen*Vazao*Carread	1	0,5356125	0,5356125	0,13	0,7226
Concentra*Vazao*Temp	2	1,4059111	0,7029556	0,17	0,8464
Conc*Vaza*Carre*Temp	2	1,6689000	0,8344500	0,20	0,8205

Em que, GL é grau de liberdade; Fcalc é F calculado.

Tabela A 4. Análise de variância para a higroscopicidade.

Fonte de variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrado médio	F calc	P-valor
Carreador	1	0,25323472	0,25323472	0,56	0,4588
Temp	2	37,57204444	18,78602222	41,38	<,0001
Concentracao	1	49,88340139	49,88340139	109,87	<,0001
Vazao	1	14,69723472	14,69723472	32,37	<,0001
Concentracao*Temp	2	0,92207778	0,46103889	1,02	0,3699
Vazao*Temp	2	0,25231111	0,12615556	0,28	0,7586
Concentracao*Vazao	1	4,24861250	4,24861250	9,36	0,0036
Carreador*Temp	2	9,77401111	4,88700556	10,76	0,0001
Concentrac*Carreador	1	3,12083472	3,12083472	6,87	0,0117
Vazao*Carreador	1	6,24811250	6,24811250	13,76	0,0005
Concent*Carread*Temp	2	3,09657778	1,54828889	3,41	0,0412
Vazao*Carreador*Temp	2	1,82163333	0,91081667	2,01	0,1456
Concen*Vazao*Carread	1	0,13433472	0,13433472	0,30	0,5890
Concentra*Vazao*Temp	2	5,00803333	2,50401667	5,52	0,0070
Conc*Vaza*Carre*Temp	2	4,54964444	2,27482222	5,01	0,0106

Em que, GL é grau de liberdade; Fcalc é F calculado.

Tabela A 5. Análise de variância para a luminosidade (L*).

Fonte de variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrado médio	F calc	P-valor
Carreador	1	256,8888889	256,8888889	2276,49	<,0001
Temp	2	149,5748250	74,7874125	662,75	<,0001
Concentracao	1	565,1522000	565,1522000	5008,24	<,0001
Vazao	1	19,9922722	19,9922722	177,17	<,0001
Concentracao*Temp	2	111,8167750	55,9083875	495,45	<,0001
Vazao*Temp	2	19,0029694	9,5014847	84,20	<,0001
Concentracao*Vazao	1	0,0016056	0,0016056	0,01	0,9056
Carreador*Temp	2	53,7179361	26,8589681	238,02	<,0001
Concentrac*Carreador	1	25,8240889	25,8240889	228,85	<,0001
Vazao*Carreador	1	7,1820500	7,1820500	63,65	<,0001
Concent*Carread*Temp	2	27,4761861	13,7380931	121,74	<,0001
Vazao*Carreador*Temp	2	3,5296583	1,7648292	15,64	<,0001
Concen*Vazao*Carread	1	7,5401389	7,5401389	66,82	<,0001
Concentra*Vazao*Temp	2	29,9367861	14,9683931	132,65	<,0001
Conc*Vaza*Carre*Temp	2	7,5104861	3,7552431	33,28	<,0001

Em que, GL é grau de liberdade; Fcalc é F calculado.

Tabela A 6 Análise de variância para o parâmetro C* de cor.

Fonte de variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrado médio	F calc	P-valor
Carreador	1	159,2220125	159,2220125	1280,63	<,0001
Temp	2	55,7241750	27,8620875	224,10	<,0001
Concentracao	1	326,6994014	326,6994014	2627,67	<,0001
Vazao	1	39,9171125	39,9171125	321,06	<,0001
Concentracao*Temp	2	10,0426861	5,0213431	40,39	<,0001
Vazao*Temp	2	1,2411583	0,6205792	4,99	0,0107
Concentracao*Vazao	1	0,0000681	0,0000681	0,00	0,9814
Carreador*Temp	2	145,6605083	72,8302542	585,78	<,0001
Concentrac*Carreador	1	15,4660681	15,4660681	124,39	<,0001
Vazao*Carreador	1	0,7917014	0,7917014	6,37	0,0150
Concent*Carread*Temp	2	94,8910194	47,4455097	381,61	<,0001
Vazao*Carreador*Temp	2	4,4835028	2,2417514	18,03	<,0001
Concen*Vazao*Carread	1	8,7710681	8,7710681	70,55	<,0001
Concentra*Vazao*Temp	2	5,9559694	2,9779847	23,95	<,0001
Conc*Vaza*Carre*Temp	2	18,0958694	9,0479347	72,77	<,0001

Em que, GL é grau de liberdade; Fcalc é F calculado.

Tabela A 7 Análise de variância para o parâmetro H* de cor.

Fonte de variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrado médio	F calc	P-valor
Carreador	1	0,00420139	0,00420139	126,04	<,0001
Temp	2	0,10311944	0,05155972	1546,79	<,0001
Concentracao	1	0,086023472	0,86023472	25807,0	<,0001
Vazao	1	0,01836806	0,01836806	5551,04	<,0001
Concentracao*Temp	2	0,14693611	0,07346806	2204,04	<,0001
Vazao*Temp	2	0,04150278	0,02075139	622,54	<,0001
Concentracao*Vazao	1	0,00151250	0,00151250	45,38	<,0001
Carreador*Temp	2	0,27461944	0,1373092	4119,29	<,0001
Concentrac*Carreador	1	0,04450139	0,04450139	1335,04	<,0001
Vazao*Carreador	1	0,02311250	0,02311250	693,38	<,0001
Concent*Carread*Temp	2	0,00696944	0,00348472	104,54	<,0001
Vazao*Carreador*Temp	2	0,00515833	0,00257917	77,38	<,0001
Concen*Vazao*Carread	1	0,01100139	0,01100139	330,04	<,0001
Concentra*Vazao*Temp	2	0,06890833	0,03445417	1033,63	<,0001
Conc*Vaza*Carre*Temp	2	0,1291944	0,00645972	193,79	<,0001

Em que, GL é grau de liberdade; Fcalc é F calculado.

Tabela A 8. Análise de variância para o tamanho médio.

Fonte de variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrado médio	F calc	P-valor
Carreador	1	215.5234014	215.5234014	23.70	<.0001
Temp	2	273.0438694	136.5219347	15.02	<.0001
Concentracao	1	441.6887347	441.6887347	48.58	<.0001
Vazao	1	12.3090681	12.3090681	1.35	0.2504
Concentracao*Temp	2	580.0563028	290.0281514	31.90	<.0001
Vazao*Temp	2	46.1396361	23.0698181	2.54	0.0896
Concentracao*Vazao	1	0.5185014	0.5185014	0.06	0.8123
Carreador*Temp	2	250.1629361	125.0814681	13.76	<.0001
Concentrac*Carreador	1	68.3475347	68.3475347	7.52	0.0086
Vazao*Carreador	1	0.7959014	0.7959014	0.09	0.7686
Concent*Carread*Temp	2	40.4987028	20.2493514	2.23	0.1189
Vazao*Carreador*Temp	2	261.8469694	130.9234847	14.40	<.0001
Concen*Vazao*Carread	1	109.1995681	109.1995681	12.01	0.0011
Concentra*Vazao*Temp	2	83.1726028	41.5863014	4.57	0.0152
Conc*Vaza*Carre*Temp	2	32.7233361	16.3616681	1.80	0.1764

Em que, GL é grau de liberdade; Fcalc é F calculado.

Tabela A 9. Análise de variância para o conteúdo total de fenólicos.

Fonte de variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrado médio	F calc	P-valor
Carreador	1	0.0013347	0.0013347	0.00	0.9513
Temp	2	2.5671528	1.2835764	3.62	0.0344
Concentracao	1	588.1878347	588.1878347	1658.42	<.0001
Vazao	1	3.2385125	3.2385125	9.13	0.0040
Concentracao*Temp	2	80.4358361	40.2179181	113.40	<.0001
Vazao*Temp	2	23.0014750	11.5007375	32.43	<.0001
Concentracao*Vazao	1	0.0690681	0.0690681	0.19	0.6610
Carreador*Temp	2	72.4915528	36.2457764	102.20	<.0001
Concentrac*Carreador	1	102.3642014	102.3642014	288.62	<.0001
Vazao*Carreador	1	0.9637347	0.9637347	2.72	0.1058
Concent*Carread*Temp	2	11.3471028	5.6735514	16.00	<.0001
Vazao*Carreador*Temp	2	16.7046861	8.3523431	23.55	<.0001
Concen*Vazao*Carread	1	15.7641125	15.7641125	44.45	<.0001
Concentra*Vazao*Temp	2	2.1781694	1.0890847	3.07	0.0556
Conc*Vaza*Carre*Temp	2	2.3697583	1.1848792	3.34	0.0438

Em que, GL é grau de liberdade; Fcalc é F calculado.

Tabela A 10. Análise de variância para o EC₅₀, obtido para avaliar atividade antioxidante pelo ensaio com radical DPPH•.

Fonte de variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrado médio	F calc	P-valor
Carreador	1	55027.925	55027.925	101.97	<.0001
Temp	2	332337.546	166168.773	307.92	<.0001
Concentracao	1	1198662.894	1198662.894	2221.18	<.0001
Vazao	1	96224.458	96224.458	178.31	<.0001
Concentracao*Temp	2	100152.345	50076.173	92.79	<.0001
Vazao*Temp	2	109799.560	54899.780	101.73	<.0001
Concentracao*Vazao	1	1303.392	1303.392	2.42	0.1267
Carreador*Temp	2	493497.831	246748.916	457.24	<.0001
Concentrac*Carreador	1	59662.094	59662.094	110.56	<.0001
Vazao*Carreador	1	36908.634	36908.634	68.39	<.0001
Concent*Carread*Temp	2	271222.129	135611.065	251.29	<.0001
Vazao*Carreador*Temp	2	110722.018	55361.009	102.59	<.0001
Concen*Vazao*Carread	1	2401.707	2401.707	4.45	0.0401
Concentra*Vazao*Temp	2	998.371	499.185	0.93	0.4035
Conc*Vaza*Carre*Temp	2	12748.285	6374.143	11.81	<.0001

Em que, GL é grau de liberdade; Fcalc é F calculado.

Tabela A 11. Análise de variância para a atividade antioxidante (μmol equivalente grama de trolox/ g de amostra) obtido pelo ensaio com radical ABTS*•.

Fonte de variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrado médio	F calc	P-valor
Carreador	1	122.800568	122.800568	8.35	0.0058
Temp	2	1743.691503	871.845751	59.31	<.0001
Concentracao	1	3917.747668	3917.747668	266.53	<.0001
Vazao	1	106.361113	106.361113	7.24	0.0098
Concentracao*Temp	2	3198.427769	1599.213885	108.80	<.0001
Vazao*Temp	2	512.577675	256.288838	17.44	<.0001
Concentracao*Vazao	1	94.416701	94.416701	6.42	0.0146
Carreador*Temp	2	2147.388453	1073.694226	73.05	<.0001
Concentrac*Carreador	1	802.602113	802.602113	54.60	<.0001
Vazao*Carreador	1	26.559901	26.559901	1.81	0.1852
Concent*Carread*Temp	2	796.987975	398.493988	27.11	<.0001
Vazao*Carreador*Temp	2	18.424503	9.212251	0.63	0.5387
Concen*Vazao*Carread	1	129.739201	129.739201	8.83	0.0046
Concentra*Vazao*Temp	2	97.829419	48.914710	3.33	0.0443
Conc*Vaza*Carre*Temp	2	1000.674036	500.337018	34.04	<.0001

Em que, GL é grau de liberdade; Fcalc é F calculado.

APÊNDICE B – Parâmetros de cor a* e b*.

Figura B1. Valores do parâmetro de cor a* em função das condições de processo e da concentração de carreador da polpa de guavira em pó

Figura B2. Valores do parâmetro de cor b* em função das condições de processo e da concentração de carreador da polpa de guavira em pó