



CARLOS RAMON DE PAULA SILVA

**SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO DO EXTRATO DE SAPOTA-
DO-SOLIMÕES (*Matisia cordata*)**

**LAVRAS - MG
2021**

CARLOS RAMON DE PAULA SILVA

SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO DO EXTRATO DE SAPOTA-DO-SOLIMÕES

(Matisia cordata)

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Mestre.

Profa. Dra. Soraia Vilela Borges
Orientadora

Prof. Dr. Pedro Henrique Campelo Felix
Coorientador

LAVRAS - MG
2021

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Silva, Carlos Ramon de Paula.

Secagem por atomização do extrato de sapota-do-solimões
(*Matisia cordata*) / Carlos Ramon de Paula Silva. - 2021.

74 p. : il.

Orientador(a): Soraia Vilela Borges.

Coorientador(a): Pedro Henrique Campelo Felix.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. Desidratação. 2. Inulina. 3. Maltodextrina. I. Borges, Soraia
Vilela. II. Felix, Pedro Henrique Campelo. III. Título.

CARLOS RAMON DE PAULA SILVA

SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO DO EXTRATO DE SAPOTA-DO-SOLIMÕES
(Matisia cordata)

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 28 de abril de 2021.

Dra. Amanda Maria Teixeira Lago
Prof. Dr. Pedro Henrique Campelo Felix

UFLA
UFAM

Profa. Dra. Soraia Vilela Borges
Orientadora

Prof. Dr. Pedro Henrique Campelo Felix
Coorientador

LAVRAS – MG
2021

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me conceder o dom da vida e por se fazer presente em todos os momentos da minha vida.

Aos meus pais, Carlos Alberto Gomes Silva e Geane de Paula Silva, pelo amor incondicional, pelos exemplos, conselhos e pelo grande incentivo em todos os momentos da minha vida.

Aos meus familiares, que me apoiaram e fizeram parte do meu crescimento e formação, em especial, às minhas tias, Oneide Gomes da Silva e Orleide Gomes da Silva, que me acolheram juntamente com meus pais em um dos momentos mais difíceis e permitiram que eu tivesse acesso à educação que não podíamos pagar. Certamente, guardarei e honrarei este gesto de amor.

Aos meus professores e orientadores, pelas palavras de incentivo, pelo auxílio, pela transmissão de conhecimento. Em especial, ao meu coorientador, amigo e pai científico, o Prof. Dr. Pedro Henrique Campelo Felix, que me encorajou, inspirou e me guiou a prosseguir na carreira acadêmica e à Profa. Dra. Soraia Vilela Borges, que me acolheu com muito amor e carinho, me deu apoio, confiança e amizade.

Aos meus amigos e colegas, que estiveram ao meu lado e me apoiaram em todos os momentos e contribuíram de forma direta, ou indireta, para este trabalho, especialmente, à Jayne Figueiredo, que sempre se prontificou em me ajudar e teve grande contribuição para este trabalho. Ao Hugo Junior, que se tornou um grande amigo e me passou conselhos e ensinamentos importantes. E à meu amigo, Gabriel Ribeiro, com quem pude compartilhar a maior parte dos meus momentos em Lavras.

Agradeço aos meus companheiros da república “Loucura Total”: Hugo Junior, Gabriel Ribeiro, Lucas Geovane e Jurandy Gouvea. Conviver com vocês foi gratificante, um grande aprendizado e, sem dúvidas, inesquecível.

À Universidade Federal de Lavras, especialmente, ao Departamento de Ciência dos Alimentos, pela oportunidade.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de mestrado. À CAPES e à FAPEMIG.

MUITO OBRIGADO!

*“Se eu vi mais longe, foi por estar
sobre ombros de gigantes.” (Isaac Newton)*

RESUMO GERAL

A sapota-do-solimões é um fruto nativo da região Amazônica e apresenta elevado conteúdo de compostos fenólicos e carotenoides. Esse fruto possui alto teor de umidade e, conseqüentemente, é altamente perecível. Portanto, seus compostos bioativos são muito instáveis ao processamento e armazenamento, uma vez que, são sensíveis a fatores como umidade, temperatura, luz e oxigênio. A estabilidade desses frutos e de seus compostos bioativos pode ser aumentada por meio da secagem por atomização, utilizando agentes carreadores. Portanto, foram avaliados quanto às propriedades físico-químicas e morfológicas, e estabilidade de compostos voláteis, os extratos de sapota-do-solimões em pó obtidos por meio da secagem por atomização, utilizando as seguintes combinações de agentes carreadores: T1 = maltodextrina (MD) com DE 5 e inulina (IN); T2 = MD com DE 10 e inulina (IN); T3 = MD com DE 20 e inulina (IN). De modo geral, os valores de umidade e atividade de água variaram de 3,35-3,76 (g água.100g⁻¹ b.s.) e 0,38-0,39, respectivamente. A retenção dos compostos voláteis foi baixa. Em relação à morfologia, as partículas apresentaram formato esférico com superfície lisa e livre de poros. No entanto, houve aglomeração de partículas. Os tratamentos T2 e T3 apresentaram maior higroscopicidade e o tratamento T1 demonstrou menor capacidade de adsorção de água. Em relação à estabilidade dos pós, o aumento da dextrose equivalente foi um fator que afetou todos os tratamentos em relação à degradação térmica e estabilidade dos compostos voláteis. O tratamento T3 apresentou resultados mais satisfatórios em relação à estabilidade dos compostos voláteis dos pós.

Palavras-chave: Desidratação. Inulina. Maltodextrina. Compostos Voláteis.

GENERAL ABSTRACT

The sapota-do-solimões is a native fruit of the Amazon region and has a high content of phenolic compounds and carotenoids. This fruit has a high moisture content and, consequently, is highly perishable. Therefore, its bioactive compounds are very unstable to processing and storage, as they are sensitive to factors such as humidity, temperature, light and oxygen. The stability of these fruits and their bioactive compounds can be increased by spray drying, using carrier agents. Therefore, the sapota-do-solimões powder extracts obtained by spray drying were evaluated for physicochemical and morphological properties, and stability of volatile compounds, using the following combinations of carrier agents: T1 = maltodextrin (MD) with DE 5 and inulin (IN); T2 = MD with DE 10 and inulin (IN); T3 = MD with DE 20 and inulin (IN). In general, moisture and water activity values ranged from 3,35-3,76 (g water.100g⁻¹ b.s.) and 0,38-0,39, respectively. The retention of volatile compounds was low. Regarding morphology, the particles were spherical in shape with a smooth and pore-free surface. However, there was agglomeration of particles. Treatments T2 and T3 showed greater hygroscopicity and treatment T1 showed lower water adsorption capacity. Regarding the stability of the powders, the increase in equivalent dextrose was a factor that affected all treatments in relation to thermal degradation and stability of volatile compounds. The T3 treatment showed more satisfactory results in relation to the stability of volatile compounds in the powders.

Keywords: Dehydration. Inulin. Maltodextrin. Volatile Compounds.

LISTA DE FIGURAS

PRIMEIRA PARTE

Figura 2.1 - <i>Matisia cordata</i> . (A) planta, (B) frutos de sapota-do-solimões, (C) corte transversal e vista interna da sapota-do-solimões, (D) sementes de sapota-do-solimões.....	14
Figura 2.2 - Esquema de um secador por atomização.	23
Figura 2.3 - Bico atomizador de pressão (cortesia GEA Niro).	24
Figura 2.4 - Estrutura química da maltodextrina.	27
Figura 2.5 - Estrutura molecular da inulina.	28

SEGUNDA PARTE – ARTIGO

Figura 3.1 - Micrografias das micropartículas dos extratos de sapota-do-solimões em pó.....	50
Figura 3.2 - Distribuição de tamanho das partículas T1, T2 e T3.	51
Figura 3.3 - Padrões de difração de raios X dos agentes carreadores e os tratamentos T1, T2 e T3.....	53
Figura 3.4 - Espectros FTIR dos agentes carreadores: MD 5, MD 10, MD 20 e IN.....	55
Figura 3.5 - Espectros FTIR dos tratamentos: T1; T2 e T3.....	55
Figura 3.6 - Perfil cromatográfico do extrato de sapota-do-solimões.	58
Figura 3.7 - Perfil cromatográfico da combinação T1.....	58
Figura 3.8 - Perfil cromatográfico da combinação T2.....	58
Figura 3.9 - Perfil cromatográfico da combinação T3.....	59
Figura 3.10 - Curvas termogravimétricas obtidas através da análise termogravimétrica (TGA/DTG).....	61

LISTA DE TABELAS

PRIMEIRA PARTE

Tabela 2.1 - Média das análises físicas do fruto Sapota-do-solimões (Média ± Desvio padrão).	15
Tabela 2.2 - Composição centesimal da polpa de <i>Matisia cordata</i> (Média ± Desvio padrão).	16
Tabela 2.3 - Conteúdo de pectina e compostos fenólicos sapota-do-solimões.	17
Tabela 2.4 - Compostos identificados a partir da análise de minerais da polpa de <i>Matisia cordata</i> (Média ± Desvio padrão).	17
Tabela 2.5 - Composição química volátil ($\text{área} \times 10^5$) de polpas de sapota-do-Solimões. ...	18

SEGUNDA PARTE – ARTIGO

Tabela 2.1 - Delineamento experimental para a obtenção das micropartículas.	41
Tabela 3.1 - Rendimento dos pós obtidos do extrato de sapota-do-solimões.....	46
Tabela 3.2 - Teor de umidade e atividade de água dos pós obtidos a partir do extrato de sapota- do-solimões.....	47
Tabela 3.3 - Diâmetro médio D [4,3] das partículas e dispersão <i>Span</i>	51
Tabela 3.4 - Composição volátil da polpa de sapota-do-solimões e dos tratamentos T1, T2, T3 extraídos por HS-SPME, usando fibra PDMS, seguido pela coluna apolar DB-5MS.....	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Af	Clima tropical úmido
CG	Cromatografia gasosa
CG-EM	Cromatógrafo gasoso acoplado ao espectrômetro de massa
DE	Dextrose equivalente
DIC	Delineamento inteiramente casualizado
dTG	Derivadas da termogravimetria
EI	Impacto de elétrons
eV	Eletro volts
FTIR	Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier
HS	Headspace
I.R.	Índice de retenção
ISO	Organização Internacional para Padronização
KBr	Brometo de Potássio
m/z	Massa carga
MD	Maltodextrina
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
PDMS	Polidimetilsiloxano
SPME	Microextração em fase sólida
ZFC	Curva de magnetização de campo zero resfriado

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	11
1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	Sapota-do-solimões (<i>Matisia cordata</i>).....	13
2.1.1	Descrição da espécie	13
2.1.2	Características físico-químicas	15
2.1.3	Perfil de voláteis da sapota-do-solimões	17
2.2	Aromas.....	20
2.3	Secagem	21
2.3.1	Secagem por atomização	21
2.3.2	Secagem por atomização de frutas.....	24
2.4	Agentes carreadores	26
2.4.1	Maltodextrina.....	27
2.4.2	Inulina.....	28
3	CONSIDERAÇÕES GERAIS	30
	REFERÊNCIAS.....	31
	SEGUNDA PARTE - ARTIGO.....	36
	ARTIGO: CARACTERIZAÇÃO DAS MICROPARTÍCULAS DO EXTRATO DE SAPOTA-DO-SOLIMÕES (<i>Matisia cordata</i>): EFEITO DA UTILIZAÇÃO DE MALTODEXTRINA E INULINA COMO AGENTES CARREADORES	36
1	INTRODUÇÃO	38
2	MATERIAL E MÉTODOS	40
2.1	Material	40

2.2	Preparo do extrato de sapota-do-solimões	40
2.3	Planejamento Experimental	40
2.4	Preparo da solução a ser carregada	41
2.5	Secagem por atomização	41
2.6	Rendimento do processo	41
2.7	Análises físico-químicas e morfológicas das partículas.....	42
2.7.1	Umidade.....	42
2.7.2	Atividade de Água	42
2.7.3	Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)	42
2.7.4	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	42
2.7.5	Diâmetro médio e distribuição de tamanho de Partícula.....	42
2.7.6	Estrutura cristalina (difração de raios X)	43
2.8	Análises químicas.....	43
2.8.1	Microextração por fase sólida – SPME	43
2.8.2	Cromatografia gasosa – CGEM	44
2.9	Análises Térmicas	44
2.9.1	Análise termogravimétrica (TGA/DTGA)	44
2.10	Análises estatísticas.....	45
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
3.1	Rendimento	46
3.2	Características físico-químicas e morfológicas das partículas	47
3.2.1	Teor de umidade e atividade de água (aw).....	47
3.2.2	Microscopia eletrônica varredura.....	49
3.2.3	Diâmetro médio e distribuição de tamanho de Partícula.....	50
3.2.4	Estrutura cristalina (difração de raios X)	52
3.2.5	Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)	54
3.3	Estabilidade	56

3.3.1	Retenção de compostos voláteis.....	56
3.3.2	Análise Termogravimétrica (TGA/DTG).....	59
4	CONCLUSÃO.....	62
5	REFERÊNCIAS.....	64

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, foram reportadas significativas mudanças comportamentais no perfil dos consumidores de alimentos em que se nota a preocupação em relação à saudabilidade e bem-estar. Essa mudança induziu o crescimento da comercialização de produtos naturais e produtos orgânicos, além da exploração da biodiversidade brasileira por parte das indústrias, o que culminou na expansão do agronegócio, em especial, a fruticultura brasileira.

O consumo e apreciação dos frutos tropicais são de interesse global, não só pelo sabor e demais atributos sensoriais, mas também, por sua riqueza nutricional, sendo estas, fontes naturais de carboidratos, carotenoides, vitaminas, minerais e outros componentes importantes. O consumo destes alimentos está relacionado a efeitos benéficos à saúde, tais como, a redução dos riscos de doenças como câncer, Alzheimer, catarata e Parkinson (FINLEY, 2020; NAZIR; ARIF; KHAN; NAZIR *et al.*, 2019; THOME; PINHO; HOPPE, 2019).

A *Matisia cordata*, fruto nativo da Amazônia brasileira, pertencente à família Malvaceae, é encontrado no Brasil e em países vizinhos (como Peru e Colômbia) nas regiões onde predominam a floresta amazônica. Existem diversas denominações atribuídas a este fruto, que variam de acordo com a região de cultivo. Na Amazônia brasileira, esta espécie botânica é popularmente conhecida como sapota-do-solimões. A sapota-do-solimões é muito apreciada na região amazônica, possui uma polpa amarela de sabor adocicado que pode ser consumida “in natura” e, também, na forma de sucos; possui também uma casca espessa onde sua parte interna pode ser utilizada para produzir doces em calda. Também são atribuídos a este fruto, um potencial econômico promissor, evidenciado pela sua comercialização em mercados e feiras livres, no município de Tefé – AM, cujos principais interesses dos consumidores são o sabor peculiar, valor nutricional e a presença de compostos bioativos. O alto teor de umidade e a presença de carotenoides na composição centesimal da sapota-do-solimões são fatores que determinam sua alta perecibilidade e a torna viável ao uso da aplicação da tecnologia de alimentos a favor do seu beneficiamento (BRAGA; SOUSA; CAMPOS; ISEPON *et al.*, 2003; CAVALCANTE, 1991; RABELO, 2012).

A desidratação do extrato da sapota-do-solimões, por meio da secagem por atomização, pode ser considerada uma alternativa interessante como forma de promover a estabilidade dos compostos bioativos e de algumas características sensoriais marcantes. Esta técnica de secagem dispõe de uma série de vantagens: permite a retenção e conservação de compostos voláteis e bioativos, causa baixo dano térmico em amostras termossensíveis, proporciona variedade em

tamanho e forma das partículas e o produto formado tem excelente dispersibilidade em meio aquoso.

A escolha adequada de agentes carreadores contribui significativamente para a garantia da qualidade e estabilidade do produto em pó, estes agentes influenciam diretamente nas características de solubilidade, tamanho, propriedades sensoriais (cor e sabor) e atividade antioxidante das micropartículas. No processo de secagem por atomização, geralmente, são utilizados carboidratos, gomas, biopolímeros, coloides, ceras, proteínas e amidos como agentes carreadores por apresentarem baixa viscosidade, alto teor de sólidos e alta solubilidade (TANGARIFE; ARIAS; ZAPATA, 2021).

As maltodextrinas são amplamente utilizadas na secagem por atomização, devido ao seu baixo custo, boa dispersão no processo de secagem e formação de grânulos homogêneos. Outro aditivo utilizado nesta técnica de secagem é a inulina. A inulina é um fruto-oligossacarídeo classificada como fibra prebiótica, possui baixa solubilidade em água e solventes orgânicos e, devido à algumas de suas características como estabilizante, fonte de fibras e insípida, passou a ser utilizada na microencapsulação de vários ingredientes bioativos, como probióticos, compostos fenólicos, óleos e corantes alimentares por secagem por atomização (CAMPELO-FELIX; SOUZA; FIGUEIREDO; FERNANDES *et al.*, 2017; ENCINA; GIMENEZ; MARQUEZ-RUIZ; HOLGADO *et al.*, 2021; MAHDAVI; JAFARI; ASSADPOOR; DEHNAD, 2016).

As grandes demandas à produção e comercialização de produtos naturais amazônicos têm despertado o interesse da indústria. Neste contexto, o potencial econômico dos frutos não pode ser desprezado. O produto em pó resultante do processo de secagem do extrato de sapota-do-solimões pode representar uma possibilidade de sua adição em formulações alimentícias, aumentando sua bioacessibilidade e seguindo a crescente tendência por parte dos consumidores na busca por alimentos contendo ingredientes de fontes naturais. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência da secagem por atomização nas características físico-químicas, térmicas e morfológicas da sapota-do-solimões, visando agregar valor comercial e industrial ao fruto e atraindo investimentos em tecnologia para a região Amazônica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sapota-do-solimões (*Matisia cordata*)

2.1.1 Descrição da espécie

A família Malvaceae possui aproximadamente 765 espécies divididas em 9 subfamílias e está presente em todo o território brasileiro. Uma das espécies desta família é a *Matisia cordata*, pertencente ao gênero *Quararibea* Aubl e a subfamília das Bombacaceae. Esta espécie forma árvores de grande porte que podem atingir até 40 m de altura em ambientes silvestres e em média 20 m de altura em zonas de cultivo da espécie. A *Matisia cordata* ou *Quararibea cordata* (sinonímia) é oriunda da Amazônia ocidental e é encontrada em sua forma silvestre nas florestas que ocupam áreas não-inundadas da região amazônica do Peru, Colômbia, Venezuela, Equador e Brasil (BERTO; RIBEIRO; DE SOUZA; FERNANDES *et al.*, 2015; CASTILLO; MORENO; RAMIREZ, 2016; RABELO, 2012).

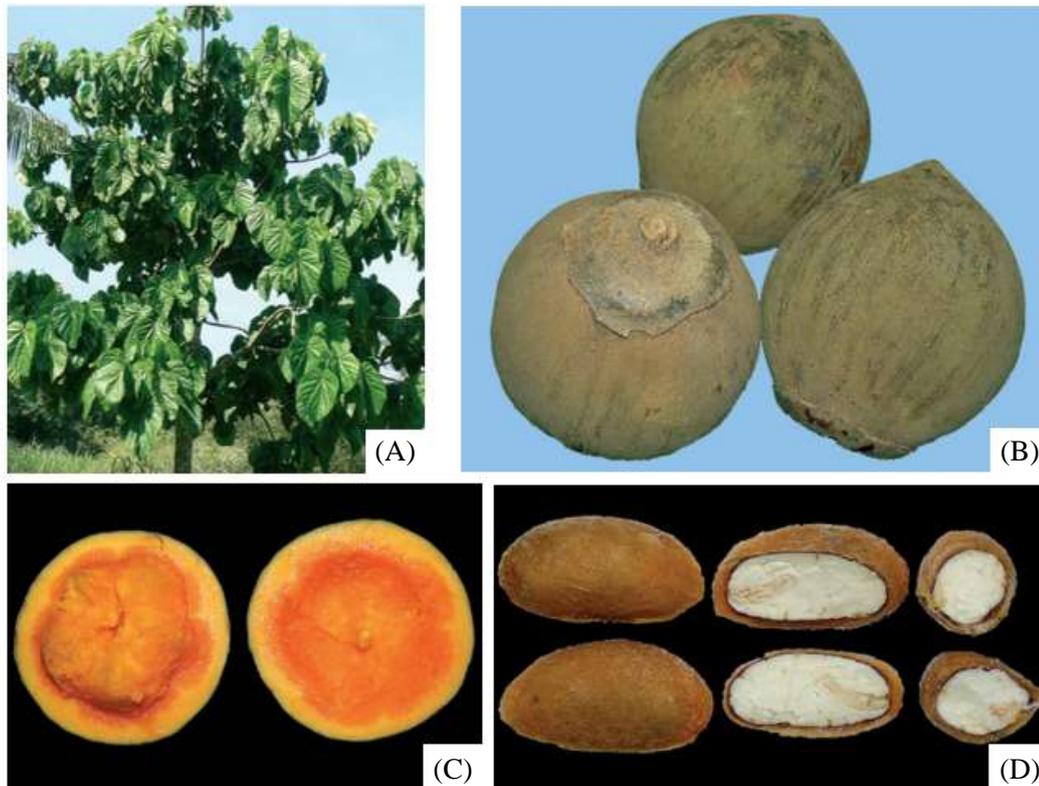
Na Amazônia brasileira, a *Matisia cordata* é popularmente conhecida como sapota-do-solimões, tendo uma vasta região de cultivo no “Alto Solimões”, composto por ambientes abertos e sistemas agroecológicos. Alguns autores atribuem a este fruto um grande potencial econômico por conta de suas características sensoriais atrativas e grande apreciação dos consumidores nas regiões onde são comercializados frutos desta espécie. É uma grande fruteira, ideal para cultivo em sítios e sistemas agroecológicos, e seus frutos são considerados promissores para exportação, devido à resistência e proteção proveniente da composição da casca (BERTO; RIBEIRO; DE SOUZA; FERNANDES *et al.*, 2015; MONTEIRO; RIBEIRO; SOQUETTA; PIRES *et al.*, 2018; RABELO, 2012).

A árvore de sapota possui caule retilíneo de formato cilíndrico, que pode medir de 30 a 50 cm de diâmetro e raízes tabulares ou sapopemas na base. A superfície do caule tem casca lisa e reticulada de cor acinzentada. A madeira da árvore é macia e leve, usada em serrarias e como lenha. A copa da árvore é pequena, densamente ramificada, fechada e abundante com folhas grandes e ramos ou galhos verticilados. As folhas são simples, a lâmina foliar é deltoide-cordiforme e palminérvea (com nervuras na superfície), medem de 15 a 30 cm de diâmetro. As flores nascem nos ramos mais lenhosos, em grupos, e são formadas por cálice (invólucro externo) nos ramos adultos e desnudos, cada uma delas são hermafroditas. Estas flores são vistosas, com coloração amarelo-clara e constituídas por cálice tubular, com 5 sépalas e corola obovada, por 5 pétalas e 5 estames no ápice. As flores são grandes, podendo medir de 3 a 7 cm de comprimento.

Os frutos são bagas com forma globosa a subglobosa, e com presença de cálice persistente na extremidade superior. Medem de 7 a 15 cm de diâmetro por 5 a 10 cm de altura e o peso total de um fruto varia de 250-1.200 gramas. O epicarpo (casca) é carnoso, com consistência grossa e superfície pulverulenta de coloração marrom esverdeada e pulverulenta. A polpa interna é volumosa, espessa, pouco fibrosa e de cor alaranjada, com rendimento em torno de 65% do total do fruto. A polpa da sapota envolve de 3 a 5 sementes cuneiformes (forma de cunha) de 2 a 4 cm de comprimento por 1 a 2 cm de largura (MUNIZ, 2019; RABELO, 2012; VERÓNICA; SANDRA; JOSÉ, 2020).

A Figura 2.1 apresenta as características observadas na sapota-do-solimões.

Figura 2.1 - *Matisia cordata*. (A) planta, (B) frutos de sapota-do-solimões, (C) corte transversal e vista interna da sapota-do-solimões, (D) sementes de sapota-do-solimões.



Fonte: Adaptado de Rabelo (2012).

A sapota é muito apreciada na região amazônica. Alguns estudos realizados na região do rio Napo (Brasil) mostraram que esta espécie é utilizada na alimentação de comunidades indígenas da região e catalogada como planta suculenta. Possui uma polpa comestível de cor laranja intensa (o que o torna muito atraente), sabor adocicado e textura fibrosa. Pode ser consumida *in natura* e, também, na forma de sucos, refrescos, saladas e utilizadas como ingredientes para a produção de doces, geleias, sorvetes e aromatizante de bebidas. A parte

interna da casca é espessa e pode ser utilizada para produzir compotas, doces em calda e xarope doce. Uma vez que o fruto esteja fisiologicamente maduro e colhido, pode ser mantido por até uma semana à sombra. A consistência dura da sua casca permite que a fruta esteja em boas condições após o transporte (BERTO; RIBEIRO; DE SOUZA; FERNANDES *et al.*, 2015; CARVALHO; DAMIANI; ASQUIERI; ORSI *et al.*, 2012; VERÓNICA; SANDRA; JOSÉ, 2020).

2.1.2 Características físico-químicas

Magalhães (2012) determinou as características físico-químicas da sapota-do-solimões. Seus resultados mostraram que o fruto possui peso e medida demasiadamente variável, conforme evidenciado nos desvios padrões obtidos e apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Média das análises físicas do fruto Sapota-do-solimões (Média \pm Desvio padrão).

Parâmetros Avaliados	Valor médio
Peso do fruto (g)	595,23 \pm 105,05
Peso da casca (g)	292,51 \pm 69,42
Peso das Sementes (g)	42,92 \pm 10,41
Diâmetro transversal (cm)	10,68 \pm 0,76
Diâmetro longitudinal (cm)	10,06 \pm 0,61
Espessura da casca (mm)	0,90 \pm 0,26
Valor de L*	44,90 \pm 0,11
Valor de a*	18,27 \pm 0,19
Valor de b*	43,06 \pm 0,51

Fonte: Magalhães (2012).

A polpa de sapota é abundante em água e açúcares, possui baixo pH e seu teor de fibra bruta varia entre 0,50 à 0,99%, o que lhe confere um sabor doce e suave (CARVALHO; DAMIANI; ASQUIERI, 2018). Silva (2018) determinou a composição centesimal da sapota-do-solimões, os teores de umidade, lipídeos, proteínas, carboidratos, fibras, cinzas, acidez titulável, sólidos solúveis, pH e valor energético são apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Composição centesimal da polpa de *Matisia cordata* (Média \pm Desvio padrão).

Composição química	<i>Matisia cordata</i> (Polpa)
Umidade (g/100g)	90,61 \pm 1,51
Lipídio (g/100g)	0,19 \pm 0,01
Proteína (g/100g)	0,20 \pm 0,01
Fibra dietética (g/100g)	1,09 \pm 0,24
Cinzas (g/100g)	0,59 \pm 0,22
Carboidrato (g/100g)	7,32 \pm 1,98
Valor de energia total (Kcal/100g)	31,79 \pm 0,67
Acidez titulável (%)	1,01 \pm 0,02
Sólidos solúveis ($^{\circ}$ Brix)	10,00 \pm 0,02
pH	6,82 \pm 0,02

Fonte: Silva *et al.* (2018).

O teor de umidade da sapota-do-solimões é de 86,34% na casca e 90,61% na polpa, os altos teores de umidade remetem ao fruto alta perecibilidade, o que tende a favorecer seu uso em processos industriais (MAGALHÃES, 2012). O teor de carboidratos é o principal responsável pelo valor energético do fruto, tendo valor considerável de 7,32% na polpa e 4,68% na casca. A quantidade de carboidratos, o alto teor de umidade e os valores de acidez tituláveis e sólidos solúveis são propícios para a utilização da polpa da sapota-do-solimões em sucos e o alto teor de pectina demonstrado na Tabela 2.3 favorece a produção de geleias, como forma de preservar a fruta e divulgá-la para o Brasil e, até mesmo, para o mercado internacional (CARVALHO; DAMIANI; ASQUIERI, 2014; SILVA; FELIX; SILVA; ANDRADE *et al.*, 2018).

Por apresentar grande quantidade de fibra, a sapota-do-solimões pode ser considerada uma fonte de fibra alimentar que pode ter utilidade como alimento prebiótico, o que melhora os efeitos benéficos na microbiota intestinal. Outra importância nutricional da sapota se deve à presença de grandes quantidades de carotenoides, principalmente, porque alguns deles são precursores de vitaminas (CARVALHO; DAMIANI; ASQUIERI, 2014).

Tabela 2.3 - Conteúdo de pectina e compostos fenólicos sapota-do-solimões.

Análises	Média ± desvio padrão
Total de pectina	5,24 ± 0,18
Pectina Solúvel	1,82 ± 0,01
Fenólicos totais	15,06 ± 4,50

Fonte: Carvalho (2014).

As doses dietéticas recomendadas (RDAs) e as ingestões adequadas (AIs) são parâmetros usados para estipular os níveis de nutrientes que atendem às necessidades humanas da maioria dos indivíduos saudáveis, e a RDC n.º 269, de 22 de setembro de 2005 aprova o regulamento técnico sobre a Ingestão Diária Recomendada (IDR) de proteínas, vitaminas e minerais. De maneira geral, a polpa de sapota-do-solimões tem baixa quantidade de proteínas e minerais, sendo mais rica em gorduras e carboidratos. Considerando a utilização da casca como fonte de alimento, sua riqueza em minerais pode ser considerada elevada quando comparada com os valores verificados em diversas frutas cultivadas (BERTO; DA SILVA; VISENTAINER; MATSUSHITA *et al.*, 2015; BRAGA; SOUSA; CAMPOS; ISEPON *et al.*, 2003).

Tabela 2.4 - Compostos identificados a partir da análise de minerais da polpa de *Matisia cordata* (Média ± Desvio padrão).

Mineral	<i>Matisia cordata</i> Polpa	<i>Matisia cordata</i> Casca
Zn (mg/100g)	0,024 ± 0,016	0,051 ± 0,012
Cu (mg/100g)	0,052 ± 0,009	0,064 ± 0,009
Fe (mg/100g)	0,190 ± 0,112	0,508 ± 0,001
Mn (mg/100g)	0,024 ± 0,014	0,084 ± 0,014
Ca (mg/100g)	1,040 ± 0,062	4,859 ± 0,044
Mg (mg/100g)	0,794 ± 0,134	1,160 ± 0,172

Fonte: Silva *et al.* (2018).

2.1.3 Perfil de voláteis da sapota-do-solimões

De acordo com o estudo de Monteiro (2017), a análise cromatográfica de voláteis da sapota-do-solimões extraídos pelo método de microextração em fase sólida resultou em 54

compostos identificados na polpa do fruto em seu estágio de maturação recomendado para a colheita e consumo. Os componentes identificados, e seus respectivos índices de retenção e áreas médias são mostrados na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Composição química volátil (área $\times 10^5$) de polpas de sapota-do-Solimões (Continua).

Componente	RI¹	RI²	R³
Alcoóis			
Etanol	940	936	933,94 \pm 948,85
1-propanol	1043	1040	2,12 \pm 1,42
3-Penten-2-ol	1099	1100	24,37 \pm 7,87
2-metil-2-propanol	1155	1150	24,54 \pm 6,87
1-Penten-3-ol	1166	1164	12,62 \pm 3,98
3-metil-1-butanol	1210	1203	42,98 \pm 32,27
(Z) -2-Penten-1-ol	1317	1314	1,98 \pm 0,57
1-hexanol	1347	1345	9,78 \pm 2,68
(E) -3-Hexen-1-ol	1365	1365	42,12 \pm 21,80
(E) -2-hexen-1-ol	1398	1397	3,40 \pm 1,19
1-Octen-3-ol	1442	1456	2,18 \pm 0,00
2-etil-1-hexanol	1480	1465	1,67 \pm 0,00
1-tridecanol	2063	2041	0,40 \pm 0,00
Total (%)			32,60
Aldeídos			
Ethanal	724	727	345,10 \pm 264,49
Propanal	797	798	11,23 \pm 3,84
2-metil-1-propanal	811	812	24,83 \pm 6,11
Butanal	885	853	0,59 \pm 0,16
2-metil-1-butanal	917	916	46,02 \pm 7,26
3-metil-1-butanal	921	921	90,53 \pm 32,39
Hexanal	1080	1080	15,48 \pm 1,94
(E) -2-hexenal	1219	1218	138,48 \pm 35,92
Fenilacetaldéido	1661	1650	20,97 \pm 6,93
Total (%)			20,51
Cetonas			
2-propanona	822	814	26,13 \pm 2,16
2-butanona	913	905	0,99 \pm 0,00
3-metil-2-butanona	935	929	6,49 \pm 8,07
3-hidroxi-2-butanona	1284	1270	13,40 \pm 3,36
6-metil-5-hepten-2-ona	1331	1325	2,64 \pm 0,00
4-metoxi-3-octen-2-ona	1670	-	218,50 \pm 168,03
3-metil-4-octanona	1994	1964	1,47 \pm 0,13
Total (%)			7,97
Ésteres			
Etanoato de etila	897	890	314,51 \pm 27,76

Tabela 2.5 - Composição química volátil (área $\times 10^5$) de polpas de sapota-do-Solimões (Conclusão).

Componente	RI ¹	RI ²	R ³
Ésteres			
Isobutanoato de etila	966	955	11,56 \pm 10,66
Butanoato de etila	1035	1039	8,83 \pm 4,07
2-metilbutanoato de etila	1047	1053	9,48 \pm 4,46
Etanoato de butila	1071	1078	36,47 \pm 8,43
Etanoato de 3-metilbutila	1114	1119	2,06 \pm 0,44
Etil (E) -2-butenato	1162	1161	11,68 \pm 4,96
Etil 2-metil-2-butenato	1230	1234	37,42 \pm 13,62
3-hidroxibutanoato de etila	1524	1527	7,56 \pm 1,65
Benzoato de etila	1678	1662	0,95 \pm 0,00
Etilbenzenopropanoato	1896	1886	0,79 \pm 0,05
Total (%)			13,05
Terpenóides			
α -Pineno	1012	1017	0,78 \pm 0,12
β -Pineno	1085	1099	7,16 \pm 0,82
Limonene	1175	1180	4,87 \pm 3,11
(E) - β -Ocimeno	1234	1240	12,02 \pm 2,75
Linalool	1547	1550	2,19 \pm 0,50
(E) -Pinocarveol	1651	1664	9,13 \pm 0,78
Total (%)			1,07
Diversos			
Hexano	600	600	181,01 \pm 0,00
Sulfeto de dimetil	751	752	143,24 \pm 36,17
Anidrido propiônico	960	966	24,03 \pm 0,00
Ácido acético	1454	1455	7,05 \pm 3,00
2,5-Dimetil-2,4-dihidroxi-3 (2H) -furanona	1502	1554	10,97 \pm 7,56
Furaneol	1692	-	465,53 \pm 59,37
1,2-Dimetoxibenzeno	1756	1741	0,69 \pm 0,22
2,4-Di-terc-butilfenol	2328	2321	5,74 \pm 1,51
Total (%)			24,80

Legenda: Valores expressos em média \pm desvio padrão. R¹ = Índices de retenção exibidos pelos compostos na coluna. R² = Índices de retenção de acordo com dados disponíveis na base de dados NIST; R³ = Área média $\times 10^5$ do pico do cromatograma obtido por HS-SPME.

Fonte: Monteiro (2017).

Os compostos voláteis encontrados na polpa de sapota-do-Solimões pertencem a diferentes classes, sendo os mais relevantes: álcoois, aldeídos, ésteres, furanos, cetonas e terpenos (MONTEIRO; RIBEIRO; SOQUETTA; PIRES *et al.*, 2018).

Conforme registro do perfil de compostos voláteis da sapota-do-solimões proposto por Rodrigues (2016), os compostos voláteis foram distribuídos em 7 classes químicas, sendo elas: álcool, terpeno, éster, cetona, alcano, aldeído e éter. As classes mais representativas foram,

terpenos, ésteres e éteres. Ainda neste estudo, seis terpenos foram identificados e representaram 17,76% dos constituintes totais. Éteres representaram 13,24% dos voláteis totais, sendo que o composto 1,3- benzodioxole, 5-(2-propenil), conhecido por safrol, está presente em 10,86%, desse complexo. A classe química éter representou 10,8% com o composto 1,3-benzodioxole, 5-(2- propenil). Outra classe química representativa foi a dos aldeídos (17,42%) produto (RODRIGUES, 2016).

2.2 Aromas

Segundo a norma técnica, ISO 5942 (2008), aroma é o atributo sensorial perceptível pelo órgão olfativo, através da parte de trás do nariz, onde estão localizadas cerca de 350 proteínas que agem individualmente como receptoras olfativas especializadas para a detecção de um número limitado de moléculas odoríferas (GLAUSIUSZ, 2008).

De acordo com Meilgaard (1991), o termo “aroma” é atribuído aos odores dos alimentos quando mastigados e o termo “odor” é decorrente da combinação de substâncias voláteis que entram em contato diretamente com o nariz e são perceptíveis por meio de sensores olfativos, substâncias essas que são aplicadas em cosméticos e perfumes (BENTO; ANDRADE; SILVA, 2013; MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 1991).

Durante o processo de degustação de alimentos, muitos fatores fisiológicos podem influenciar a liberação do aroma. O papel dos fatores fisiológicos depende do tipo de alimento, pois o processamento oral e as composições da matriz alimentar dos diferentes tipos de alimentos são muito complexos (LYU; CHEN; NIE; XU *et al.*, 2021).

Aroma e sabor são um dos critérios de qualidade mais importantes de alimentos frescos e processados, e informações qualitativas e quantitativas são desejadas para caracterizar os compostos produtores de aroma. Os compostos de aroma e sabor, geralmente, ocorrem em concentrações extremamente baixas em matrizes alimentares complexas e consistem em uma ampla gama de compostos orgânicos com várias polaridades e reatividades (XU; CHEN; XIONG; FAN *et al.*, 2016).

O estudo dos compostos aromáticos, tem se destacado devido à complexidade de moléculas que compõe um aroma. Considera-se que, em alimentos ao redor do mundo, mais de 12.000 compostos já foram identificados e estima-se que apenas uma fração mínima desempenha um papel significativo na formação do aroma de um produto (RODRIGUES, 2016).

Felizmente, a maioria dos compostos de aroma e sabor são voláteis e os procedimentos para seu isolamento em amostras de alimentos foram estabelecidos com auxílio das

propriedades que caracterizam a volatilidade desses compostos. No entanto, os métodos de amostragem comumente usados, como destilação a vapor, extração com solvente, retenção dos voláteis em adsorventes ou combinações desses métodos com outras técnicas, requerem muito tempo antes da separação cromatográfica. Além disso, algumas impurezas podem ser detectadas pela contaminação externa dos solventes ou por meio da decomposição dos próprios compostos aromáticos durante a amostragem, resultando em interferências indesejadas nos resultados (XU; CHEN; XIONG; FAN *et al.*, 2016).

2.3 Secagem

A secagem ou desidratação é a operação de remoção de água, ou de qualquer outro líquido, na forma de vapor de um material sólido ou líquido. Durante a remoção do líquido, ocorre uma transição de estado para uma fase gasosa insaturada, por meio de um mecanismo de vaporização térmica, decorrente do calor produzido artificialmente em condições de temperatura, umidade e corrente de ar cuidadosamente controladas em uma temperatura inferior à de ebulição (BARBOSA, 2015).

O ar é o mais usado meio de secagem, em razão de suas propriedades de conduzir calor, provocar a evaporação da água e transportar o vapor úmido. Existem uma infinidade de equipamentos (leitos fixos, fluidizados, de jorro, secadores convectivos, de estufas, fornos, liofilizadores, secagem por atomização, micro-ondas, entre outros) e de técnicas de secagem (secagem solar, convectiva, por micro-ondas, por radiação, entre outras). Entre as inúmeras opções disponíveis na indústria, a secagem por atomização é considerada a técnica de secagem mais econômica, devido aos seus baixos gastos operacionais (BARBOSA, 2015; SHISHIR; CHEN, 2017).

2.3.1 Secagem por atomização

O princípio fundamental da secagem por atomização é a criação de uma fase líquida finamente dispersa (material a ser seco) em uma fase gasosa aquecida (ar de secagem), seguida pela rápida evaporação da água e consequente secagem das gotículas. Esse processo envolve a ocorrência simultânea de três operações importantes: a atomização; a mistura das gotículas com a fase gasosa; a secagem das gotículas líquidas e a separação do ar de secagem. O tamanho e a uniformidade da distribuição de tamanho das gotículas produzidas na etapa de atomização irão influenciar a eficiência das outras duas etapas, de modo que a atomização tem importância

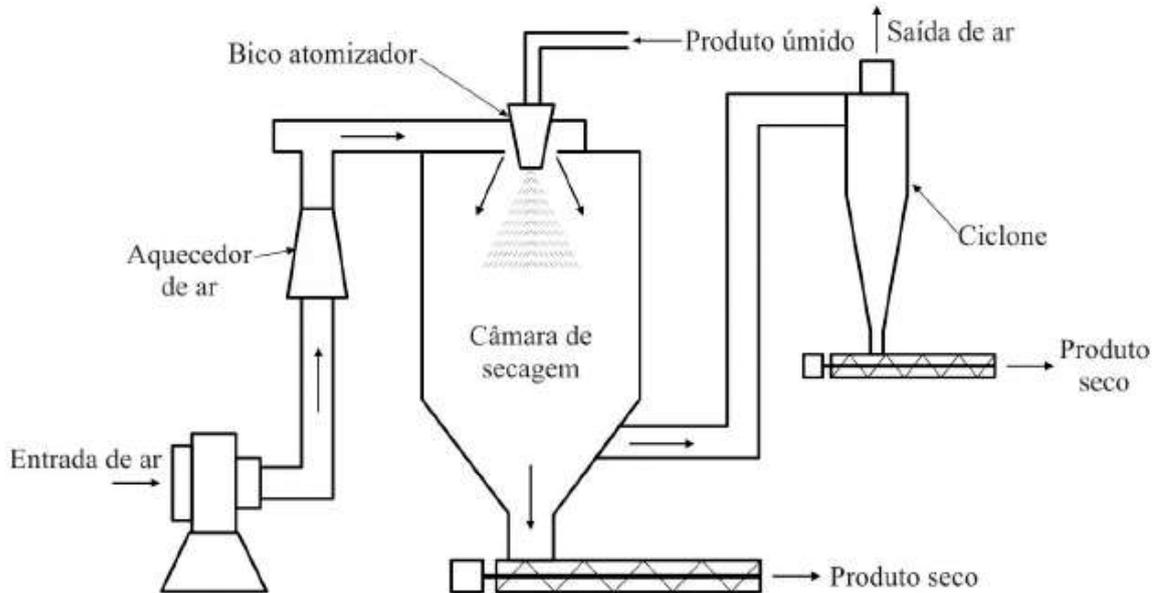
preponderante para o bom desempenho do processo (TADINI; TELIS; MEIRELLES; FILHO, 2017).

A secagem por atomização é amplamente utilizada para conservar sucos de frutas e vegetais em pó (SHISHIR; CHEN, 2017). É considerada a técnica mais econômica neste seguimento. O produto seco por pulverização é altamente estável, devido ao seu baixo teor de umidade e atividade de água. A secagem por atomização fornece uma grande área de superfície, na forma de gotículas líquidas finas, através da pulverização na câmara de secagem, o que leva à produção de partículas de pó de forma regular e esférica. De acordo com o relatório de Hammami e René (1997), em uma comparação em escala industrial, foi evidenciado que o processo de secagem por atomização é cerca de 4-5 vezes mais econômico do que a liofilização, devido ao seu menor consumo de eletricidade e curto tempo de secagem (HAMMAMI; RENE, 1997; SHISHIR; CHEN, 2017).

2.3.1.1 Secador por atomização

Um típico secador por atomização (Figura 2.2) consiste em uma câmara cilíndrica com fundo cônico, em cujo topo se situa um dispositivo responsável pela atomização do produto na forma de gotículas. As gotículas se dispersam na corrente de ar quente que escoar pela câmara, as gotículas são finas e formam uma névoa que garante que a secagem de cada uma delas ocorra antes de tocarem as paredes do secador. A maior parte das partículas secas escoar em direção ao fundo cônico da câmara, onde são coletadas. Na câmara de secagem, as correntes de gás e de líquido são colocadas em contato e a eficiência da mistura depende das condições de fluxo induzidos na câmara. Os secadores em contracorrente dão rendimentos térmicos mais elevados, porém, conduzem à elevadas temperaturas no produto, o que limita seu uso para materiais que são afetados por sobreaquecimento. Os secadores em concorrente têm baixo rendimento térmico, mas apresentam vantagem de baixas temperaturas no produto. Ao deixar o secador, o ar é direcionado a um ciclone para a recuperação das partículas mais finas de produto, as quais podem ser arrastadas pela corrente gasosa (BARBOSA, 2015; TADINI; TELIS; MEIRELLES; FILHO, 2017).

Figura 2.2 - Esquema de um secador por atomização.



Fonte: Tadini (2017).

Embora a temperatura do ar utilizado na secagem por atomização – na faixa de 150 °C a 200 °C para aplicações em alimentos – seja relativamente alta em relação às temperaturas usadas em outros secadores que processam produtos sensíveis ao calor, os riscos de danos térmicos ao produto são minimizados por conta da secagem extremamente rápida, na qual as partículas não ultrapassam a temperatura de bulbo úmido do ar, em torno de 55 °C. Os secadores de atomização industriais podem ter tamanhos variados, com até 12 m de diâmetro e até 30 m de altura, as taxas de produção são tão altas que podem atingir 25.000 kg/h (TADINI; TELIS; MEIRELLES; FILHO, 2017).

2.3.1.2 Atomizador

Atomização é a formação de um aerossol ou suspensão de pequenas gotículas no ar através de um bocal, este fenômeno ocorre com frequência em processos industriais de secagem, em virtude do equipamento chamado atomizador (FELLOWS, 2018).

O atomizador (Figura 2.3) é um dispositivo que provoca a desintegração de líquidos em gotas muito pequenas, todas de tamanhos limitados a valores especificados (menores de 30 mesh), com elevada relação de superfície por unidade de volume. O princípio fundamental da desintegração de um líquido consiste em aumentar a sua área superficial até que esta se torne instável e se desintegre (BARBOSA, 2015; TADINI; TELIS; MEIRELLES; FILHO, 2017).

Figura 2.3 - Bico atomizador de pressão (cortesia GEA Niro).



Fonte: Tadini (2017).

Existem três tipos principais de atomizadores: bico de pressão, bico de duplo fluido e disco rotativo. A aplicação de cada um é função do tipo de material a ser processado, da faixa e uniformidade de tamanho de partículas a serem produzidas, do gasto energético e da capacidade de produção (TADINI; TELIS; MEIRELLES; FILHO, 2017).

2.3.2 Secagem por atomização de frutas

O perfil dos consumidores nos últimos anos tem sido caracterizado pela busca por refeições nutritivas, frescas e saudáveis que ofereçam benefícios à saúde. Essa condição tem aumentado a demanda pela oferta de frutas e outros produtos naturais (PANDEY; POONIA; RAI, 2019).

O consumo de frutas tornou-se uma necessidade iminente, devido ao seu conteúdo de nutrientes vitais necessários para a manutenção da saúde humana (SILVA; FIGUEIREDO; RICARDO; VIEIRA *et al.*, 2014). Embora as frutas sejam essenciais na dieta e encontrar-se, amplamente, distribuída na natureza em quantidade e variedade de espécies, não é possível garantir sua disponibilidade ao longo da temporada. Em geral, as frutas são sazonais e altamente perecíveis por natureza (SAIKIA; MAHNOT; MAHANTA, 2015).

Com a condição de sazonalidade de algumas frutas, a comercialização desta matéria-prima sofre impactos evidenciados com a queda dos preços no pico da produção e a supervalorização dos preços nos períodos que correspondem aos intervalos entre as safras. Para

os produtores, isso representa perdas significativas, pois os preços não compensam os custos de produção. Por exemplo, em um determinado período, os limões desaparecem do mercado ou atingem preços tão altos que a maioria dos consumidores não pode pagar. O mesmo ocorre com outras frutas tropicais, como abacate, manga, abacaxi e outras (ALCANTARA; ROS; MARTE; TEJADA, 2018).

Outro problema enfrentado dentro deste contexto, é que a maioria das frutas tropicais é altamente perecível e suas perdas pós-colheita são muito altas, cerca de 30% de sua produção (GOMES; FRANÇA; DENADAI; ANDRADE *et al.*, 2018). Dentro deste cenário, a indústria de alimentos tem investigado vários métodos para preservar os compostos bioativos das frutas que são perdidos ao longo de sua curta vida útil. A combinação de frutas, como polpa mista, pode aumentar o potencial de compostos bioativos e a microencapsulação tende a estabilizar esses compostos bioativos durante a vida útil (RIVAS; CABRAL; ROCHA-LEÃO, 2020). Portanto, para atender à essa demanda, as frutas frescas são preservadas por meio de diferentes técnicas, como a secagem (ROCHA, 2017).

A secagem é considerada uma técnica milenar usada para reduzir o teor de umidade e garantir a preservação de produtos perecíveis. Várias técnicas de secagem, como secagem em bandeja, liofilização e secagem por atomização, são usadas para reduzir o teor de umidade. Mas se açúcares de baixo peso molecular, como sacarose, glicose e frutose, estiverem presentes nas frutas, eles podem criar um problema de pegajosidade do pó, principalmente, por causa da baixa temperatura de transição vítrea. Para evitar isso, estão sendo usados diferentes agentes carreadores e diferentes condições de secagem, que produzem as propriedades físico-químicas desejadas dos pós (PANDEY; POONIA; RAI, 2019; SHISHIR; CHEN, 2017).

Dentre as várias técnicas de processamento, a secagem por atomização é uma das principais técnicas aplicadas para aumentar a vida útil das frutas. A secagem por pulverização usa uma técnica em que o material de alimentação, junto com o material de transporte, é atomizado em gotículas finas e essas gotículas são, então, secas rapidamente em altas temperaturas. Na indústria de alimentos, os fabricantes usam o método de secagem por atomização para secar diferentes sucos de frutas (SAIKIA; MAHNOT; MAHANTA, 2015).

A técnica de secagem por atomização é bem estabelecida e a mais utilizada na indústria de alimentos, devido à ampla disponibilidade de equipamentos no mercado, baixos custos operacionais, altas taxas de produção, reprodutibilidade, grande variedade de materiais de encapsulamento, eficiência de encapsulamento (entre 10% a 90%), pós com baixa atividade de água, facilidade de transporte e armazenamento, e fácil manuseio (GHARSALLAOUI; ROUDAUT; CHAMBIN; VOILLEY *et al.*, 2007; GOUIN, 2004; RIVAS; CABRAL;

ROCHA-LEÃO, 2020; ĐORĐEVIĆ; BALANČ; BELŠČAK-CVITANOVIĆ; LEVIĆ *et al.*, 2015).

A secagem tem vários benefícios, mas também, pode resultar na degradação de vitaminas, redução da atividade antioxidante e alterações indesejáveis na cor, textura e sabor do produto fresco, além de envolver, em alguns casos, com elevados custos de operação (FIJALKOWSKA; NOWACKA; WIKTOR; SLEDZ *et al.*, 2016). A secagem e armazenamento de sucos de frutas em pó também enfrentam dificuldades técnicas, devido às propriedades associadas às composições das frutas, que fazem com que os pós obtidos da secagem de polpas de frutas tendem a aderir às paredes da câmara do atomizador. O controle da temperatura de transição vítrea é uma das propriedades importantes para evitar este tipo de problema, bem como a aplicação de agentes carreadores (ALCANTARA; ROS; MARTE; TEJADA, 2018; HASHIB; RAHMAN; SUZIHAQUE; KALTHUM *et al.*, 2015).

Nas polpas em pó, a qualidade e a vida útil têm forte dependência com o seu teor de água, que exerce influência sobre a palatabilidade, digestibilidade, estrutura física e o manuseio. Em uma mistura de pó, em equilíbrio, a atividade de água é a mesma para todos os componentes, embora eles, individualmente, possam ter diferentes conteúdos de água. Por isso, é útil saber a temperatura de transição vítrea e a atividade de água dos pós, a fim de identificar o componente mais importante na mistura. Portanto, a secagem por pulverização é um método conveniente para processar e secar o suco de frutas em pó, que tem a conveniência de reconstituição imediatamente antes do consumo e, também, fornece compostos benéficos à saúde (ROCHA, 2017; SAIKIA; MAHNOT; MAHANTA, 2015).

2.4 Agentes carreadores

Os pós produzidos a partir da técnica de secagem por atomização podem apresentar alguns problemas em suas propriedades, como pegajosidade e alta higroscopicidade, devido à presença de açúcares e ácidos de baixo peso molecular que possuem baixas temperaturas de transição vítrea. Alguns desses problemas podem ser resolvidos pela adição de alguns agentes carreadores (polímeros e gomas) ao produto antes da atomização. Tais agentes, além de aumentar a temperatura de transição vítrea, são muito úteis para fins de microencapsulação, por protegerem os alimentos, ou ingredientes, sensíveis contra condições adversas, aumentar sua estabilidade e promover liberação controlada (TONON; BRABET; PALLET; BRAT *et al.*, 2009).

Além de reduzir a higroscopicidade do pó, tais agentes podem proteger componentes alimentares sensíveis contra condições ambientais desfavoráveis, reduzir a reatividade e

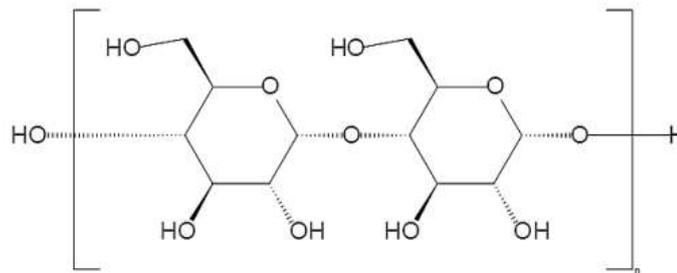
mascarar ou preservar sabores (SANTANA; MARTIN; DE OLIVEIRA; KUROZAWA *et al.*, 2017). Os aditivos de secagem também irão garantir a estabilidade do produto obtido durante o armazenamento. Cada carreador tem vantagens e desvantagens em termos de propriedades, custo e eficiência do processo (VIDOVIĆ; VLADIĆ; VAŠTAG; ZEKOVIĆ *et al.*, 2014).

Agentes carreadores, como maltodextrina, com vários níveis de dextrose equivalente (DE), goma arábica, amido ceroso e isolados de soja, protagonizaram diversos estudos que evidenciaram o aumento da retenção de pigmentos durante o processo de secagem por atomização, por promoverem melhorias na higroscopicidade e características termoplásticas dos pós (XU; XU; LIU; HOU *et al.*, 2018).

2.4.1 Maltodextrina

As maltodextrinas (Figura 2.4) são produtos da hidrólise parcial do amido e amplamente utilizadas na indústria por ser um bom agente carreador que garante baixa viscosidade em alto conteúdo de sólidos, alta solubilidade e baixo custo (ZHANG; ZENG; FU; TANG *et al.*, 2018). No entanto, devido à sua natureza hidrofílica, têm pouca afinidade para componentes hidrofóbicos (SANTANA; MARTIN; DE OLIVEIRA; KUROZAWA *et al.*, 2017).

Figura 2.4 - Estrutura química da maltodextrina.



Fonte: Carareto *et al.* (2010).

As maltodextrinas usadas no processamento de alimentos e medicamentos fitoterápicos têm propriedades multifuncionais: volume e formação de filme, a capacidade de ligar sabor e gordura e reduzir a permeabilidade da matriz de parede para o oxigênio. Em geral, o uso de maltodextrinas com maior solubilidade em água pode contribuir para uma redução significativa na viscosidade aparente da dispersão da alimentação em favor da atomização e secagem da alimentação líquida (VIDOVIĆ; VLADIĆ; VAŠTAG; ZEKOVIĆ *et al.*, 2014).

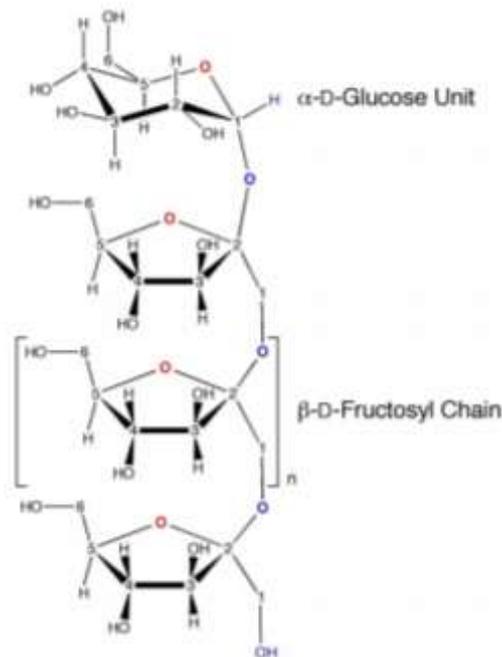
Em geral, a alta solubilidade em água da maltodextrina contribui para uma redução significativa da viscosidade aparente das gotículas, o que favorece a atomização e secagem da alimentação líquida. A higroscopicidade, termogravimetria, eficiência da microencapsulação e

atividade antioxidante podem ser melhoradas com a adição de maltodextrina durante o processo de secagem e armazenamento (ZHANG; ZENG; FU; TANG *et al.*, 2018).

2.4.2 Inulina

A inulina (Figura 2.5) é um polissacarídeo que consiste em cadeias lineares de moléculas de d- frutofuranose ligadas a β -2,1, terminadas por um resíduo de glicose, através de uma ligação do tipo sacarose na extremidade redutora. Tem sua origem em diversas plantas da família Asteraceae (Compositae), principalmente, em raízes e tubérculos como a dália e a alcachofra de Jerusalém. Os materiais secos dos tubérculos contêm mais de 50% de inulina (Inulina, 2021; CHI; ZHANG; CAO; LIU *et al.*, 2011).

Figura 2.5 - Estrutura molecular da inulina.



Fonte: Barclay *et al.* (2010).

A inulina é classificada como um prebiótico (promotor da homeostase do ecossistema do trato gastrointestinal). Este composto forma um pó branco e cristalino tão doce quanto à sacarose. Na natureza, é usada por algumas plantas como meio de armazenamento de energia. A estrutura específica da inulina, nomeadamente, a presença da ligação β - glicosídica, não é hidrolisada pelas enzimas digestivas no trato gastrointestinal superior de humanos e animais monogástricos como as aves. Sem alterações, o prebiótico chega ao intestino grosso, onde sofre fermentação e se torna substrato para algumas cepas de bactérias saudáveis e permanece neutro à atividade celular. Por não ser absorvido pelo organismo, também, é utilizado para adoçar

alimentos consumidos por pacientes diabéticos (BUCLAW, 2016; CHI; ZHANG; CAO; LIU *et al.*, 2011).

A inulina tem muitas vantagens sobre o amido como um material importante em bioprocessos, é uma matéria-prima renovável, barata, abundante, facilmente dissolvida em água morna e uma solução altamente concentrada de inulina tem baixa viscosidade (CHI; ZHANG; CAO; LIU *et al.*, 2011).

3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A secagem por atomização do extrato de sapota-do-solimões representa uma técnica com grande potencial para produção de um produto em pó rico em compostos bioativos. No entanto, é necessária a adição de agentes carreadores ao suco, antes do processo, bem como, a determinação dos parâmetros adequados de secagem, como forma de garantir maior rendimento e boas características ao produto final. Portanto, é importante verificar, a partir de experimentos, qual a melhor combinação de agentes carreadores a serem aplicados no processo, bem como, determinar as condições ótimas de operação, obtendo assim, produtos em pó com características adequadas para aplicação em alimentos. Ademais, a busca por biopolímeros não convencionais para utilização como agentes carreadores em frutos da região Amazônica é de grande interesse no ramo alimentício.

REFERÊNCIAS

- ALCANTARA, Y.; ROS, G. B.; MARTE, Y. A.; TEJADA, A. E. Effect of different concentrations of pulverized mesocarp of *Citrus paradisi* Macf on the morphology and glass transition temperature of spray-dried lemon juice powder. **Food Science & Nutrition**, v. 6, n. 6, p. 1473-1478, 2018.
- BARBOSA, G. P. **Operações da indústria química - Princípios, Processos e Aplicações**. 1 ed. 2015. 144 p.
- BARCLAY, T. *et al.* Inulin: A versatile polysaccharide with multiple pharmaceutical and food chemical uses. **Journal of Excipients and Food Chemicals**, v. 1, p. 27–50, 2010.
- BENTO, R. D. A.; ANDRADE, S. A. C.; SILVA, A. M. A. D. **Análise sensorial de alimentos**. Recife: 2013.
- BERTO, A.; DA SILVA, A. F.; VISENTAINER, J. V.; MATSUSHITA, M. *et al.* Proximate compositions, mineral contents and fatty acid compositions of native Amazonian fruits. **Food research international**, v. 77, p. 441-449, 2015.
- BERTO, A.; RIBEIRO, A. B.; DE SOUZA, N. E.; FERNANDES, E. *et al.* Bioactive compounds and scavenging capacity of pulp, peel and seed extracts of the Amazonian fruit *Quararibea cordata* against ROS and RNS. **Food Research International**, v. 77, p. 236-243, 2015.
- BRAGA, L. F.; SOUSA, M. P.; CAMPOS, S. C. B.; ISEPON, J. D. S. *et al.* Caracterização físico-química da sapota-do-solimões (*Quararibea cordata* (humb. & bonpl.) Vischer, bombacaceae). Revista do Programa de Ciências Agro-Ambientais. Alta Floresta. v. 2: 32-39 p. 2003.
- BRASIL. Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005. Aprova o “**Regulamento técnico sobre a Ingestão Diária Recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais**” constante do anexo desta Resolução. Órgão emissor: ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária Disponível em: <<http://antigo.anvisa.gov.br/legislacao#/visualizar/27628>>. Acesso em 16 de março de 2021.
- BUCLAW, M. The use of inulin in poultry feeding: a review. v. 100: 1015-1022 p. 2016.
- CAMPELO-FELIX, P. H.; SOUZA, H. J. B.; FIGUEIREDO, J. D.; FERNANDES, R. V. D. *et al.* Prebiotic Carbohydrates: Effect on Reconstitution, Storage, Release, and Antioxidant Properties of Lime Essential Oil Microparticles. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, n. 2, p. 445-453, 2017.
- CARARETO, N. D. D. *et al.* Water activity of aqueous solutions of ethylene oxide-propylene oxide block copolymers and maltodextrins. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 27, p. 173–181, 2010.
- CARVALHO, V. S.; DAMIANI, C.; ASQUIERI, E. R. Evaluation of physical and chemical parameters of the Sapota (*Quararibea cordata* Vischer): A fruit of the Amazon Brazilian. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v. 9, n. 2, p. 66-70, 2014.

CARVALHO, V. S.; DAMIANI, C.; ASQUIERI, E. R. Produção de sorvete utilizando a polpa de sapota (*Quararibea cordata* Vischer). **Agrarian (Dourados, Brazil)**, v. 11, n. 40, p. 198-195, 2018.

CARVALHO, V. S.; DAMIANI, C.; ASQUIERI, E. R.; ORSI, D. C. *et al.* DEVELOPMENT AND ANTIOXIDANT CAPACITY OF SAPOTA PULP JELLY (*Quararibea cordata* VISCHER). **Ciencia E Agrotecnologia**, v. 36, n. 3, p. 341-347, 2012.

CASTILLO, J. E.; MORENO, D. M.; RAMIREZ, M. V. Evaluation of cu, mg, fe and na metal contents in sapodilla plum (*Quararibea cordata*) from valle del cauca, colombia. **Ingenieria Solidaria**, v. 12, n. 19, p. 37-48, 2016.

CAVALCANTE, P. B. Frutas comestíveis da Amazônia. 1991.

CHI, Z.-M.; ZHANG, T.; CAO, T.-S.; LIU, X.-Y. *et al.* Biotechnological potential of inulin for bioprocesses. **Bioresource technology**, v. 102, n. 6, p. 4295-4303, 2011.

DORĐEVIĆ, V.; BALANČ, B.; BELŠČAK-CVITANOVIĆ, A.; LEVIĆ, S. *et al.* Trends in Encapsulation Technologies for Delivery of Food Bioactive Compounds. **Food Engineering Reviews**, v. 7, n. 4, p. 452-490, 2015.

ENCINA, C.; GIMENEZ, B.; MARQUEZ-RUIZ, G.; HOLGADO, F. *et al.* Hydroxypropyl-inulin as a novel encapsulating agent of fish oil by conventional and water-free spray drying. **Food Hydrocolloids**, v. 113, p. 10, 2021.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípios e Prática**. 2 ed. 2018.

FIJALKOWSKA, A.; NOWACKA, M.; WIKTOR, A.; SLEDZ, M. *et al.* Ultrasound as a Pretreatment Method to Improve Drying Kinetics and Sensory Properties of Dried Apple. **Journal of Food Process Engineering**, v. 39, n. 3, p. 256-265, 2016.

FINLEY, J. W. Evolution and Future Needs of Food Chemistry in a Changing World. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 68, n. 46, p. 12956-12971, 2020.

GHARSALLAOUI, A.; ROUDAUT, G.; CHAMBIN, O.; VOILLEY, A. *et al.* Applications of spray- drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. **Food Research International**, v. 40, n. 9, p. 1107-1121, 2007.

GLAUSIUSZ, J. The hidden power of scent. v. 19: 38-45 p. 2008.

GOMES, W.; FRANÇA, F.; DENADAI, M.; ANDRADE, J. *et al.* Effect of freeze- and spray-drying on physico-chemical characteristics, phenolic compounds and antioxidant activity of papaya pulp. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 6, p. 2095-2102, 2018.

GOUIN, S. Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. **Trends in Food Science & Technology**, v. 15, n. 7, p. 330-347, 2004.

HAMMAMI, C.; RENE, F. Determination of freeze- drying process variables for strawberries. **Journal Of Food Engineering**, v. 32, n. 2, p. 133-154, 1997.

HASHIB, S.; RAHMAN, N.; SUZIHAQUE, M.; KALTHUM, U. *et al.* Effect of slurry concentration and inlet temperature towards glass temperature of spray dried pineapple powder. **Procedia – Social and Behavioral Sciences**, v. 195, 2015.

International Organization for Standardization. Standard 5942. Terms relating to sensory analysis. **ISO**, 2008.

LYU, J.; CHEN, S.; NIE, Y.; XU, Y. *et al.* Aroma release during wine consumption: Factors and analytical approaches. **Food chemistry**, v. 346, 2021.

MAGALHÃES, V. S. C. **Caracterização físico-química e aplicabilidade tecnológica da sapota (*Quararibea cordata vischer*)**. Goiânia. 2012.

MAHDAVI, S. A.; JAFARI, S. M.; ASSADPOOR, E.; DEHNAD, D. Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 85, p. 379-385, 2016.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. **Sensory Evaluation Techniques**. 2 ed. Flórida: 1991.

MONTEIRO, S. S. **Sapota-do-solimões (*Quararibea cordata*): Caracterização físico-química, estabilidade, compostos bioativos e voláteis**. Santa Maria. 2017.

MONTEIRO, S. S.; RIBEIRO, S. R.; SOQUETTA, M. B.; PIRES, F. J. *et al.* Evaluation of the chemical, sensory and volatile composition of sapota-do-Solimoës pulp at different ripening stages. **Food Research International**, v. 109, p. 159-167, 2018.

MUNIZ, H. J. T. **Colecionando frutas**. 2019.

NAZIR, M.; ARIF, S.; KHAN, R. S.; NAZIR, W. *et al.* Opportunities and challenges for functional and medicinal beverages: Current and future trends. **Trends in Food Science & Technology**, v. 88, p. 513-526, 2019.

PANDEY, S.; POONIA, A.; RAI, S. Optimization of spray drying conditions for the production of quality ber (*Zizyphus mauritiana* Lamk.) fruit powder. **Nutrition and food science**, v. 49, n. 6, p. 1088-1098, 2019.

RABELO, A. Frutos nativos da Amazônia : comercializados nas feiras de Manaus- AM. Manaus: INPA 2012.

RIVAS, J. C.; CABRAL, L. M. C.; ROCHA-LEÃO, M. H. Stability of Bioactive Compounds of Microencapsulated Mango and Passion Fruit Mixed Pulp. **International journal of fruit science**, v. 20, n. S2, p. S94-S110, 2020.

ROCHA, F. D. O. **Secagem de polpa de manga (*mangifera indica*, l.) cv. Palmer em spray dryer: condições de secagem e estabilidade**. Fortaleza. 2017.

RODRIGUES, F. R. **Frutos nativos da floresta amazônica: contribuição ao estudo dos aromas e avaliação da atividade antioxidante**. Manaus, p.107. 2016.

SAIKIA, S.; MAHNOT, N. K.; MAHANTA, C. L. Effect of Spray Drying of Four Fruit Juices on Physicochemical, Phytochemical and Antioxidant Properties. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, n. 6, p. 1656-1664, 2015.

SANTANA, A. A.; MARTIN, L. G. P.; DE OLIVEIRA, R. A.; KUROZAWA, L. E. *et al.* Spray drying of babassu coconut milk using different carrier agents. **Drying technology**, v. 35, n. 1, p. 76-87, 2017.

SHISHIR, M. R. I.; CHEN, W. Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. **Trends in food science & technology**, v. 65, p. 49-67, 2017.

SILVA, C. R. D. P.; FELIX, P. H. C.; SILVA, J. R. D.; ANDRADE *et al.* Caracterização química da sapota do solimões. *In*: IV Congresso Mineiro de Engenharia de Alimentos, 2018, Lavras.

SILVA, L. M. R. D.; FIGUEIREDO, E. A. T. D.; RICARDO, N. M. P. S.; VIEIRA, I. G. P. *et al.* Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. **Food chemistry**, v. 143, p. 398-404, 2014.

TADINI, C. C.; TELIS, V. R. N.; MEIRELLES, A. J. D. A.; FILHO, P. D. A. P. **Operações Unitárias na Indústria de Alimentos**. 1 ed. 2017. 509 p.

TANGARIFE, D. P. C.; ARIAS, L. P. P.; ZAPATA, A. M. O. Technological aspects of the microencapsulation bioactive food compounds by spray-drying. **Revista Corpoica-Ciencia Y Tecnologia Agropecuaria**, v. 22, n. 1, p. 20, 2021.

THOME, K. M.; PINHO, G. M.; HOPPE, A. Consumption values and physical activities: consumers' healthy eating choices. **British Food Journal**, v. 121, n. 2, p. 590-602, 2019.

TONON, R. V.; BRABET, C.; PALLET, D.; BRAT, P. *et al.* Physicochemical and morphological characterisation of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced with different carrier agents. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 44, n. 10, p. 1950-1958, 2009.

VERÓNICA, M. Á.-O.; SANDRA, B. M.-R.; JOSÉ, M. C.-T. Morphological characterization of *Matisia cordata* Bonpl. in a tropical dry forest from Antioquia, Colombia. **Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín**, v. 73, n. 1, p. 9029-9038, 2020.

VIDOVIĆ, S. S.; VLADIĆ, J. Z.; VAŠTAG, Ž. G.; ZEKOVIĆ, Z. P. *et al.* Maltodextrin as a carrier of health benefit compounds in *Satureja montana* dry powder extract obtained by spray drying technique. **Powder technology**, v. 258, n. C, p. 209-215, 2014.

XU, C.-H.; CHEN, G.-S.; XIONG, Z.-H.; FAN, Y.-X. *et al.* Applications of solid-phase microextraction in food analysis. **TrAC, Trends in analytical chemistry (Regular ed.)**, v. 80, p. 12-29, 2016.

XU, D.; XU, Y.; LIU, G.; HOU, Z. *et al.* Effect of carrier agents on the physical properties and morphology of spray-dried Monascus pigment powder. **Food science & technology**, v. 98, p. 299-305, 2018.

ZHANG, L.; ZENG, X.; FU, N.; TANG, X. *et al.* Maltodextrin: A consummate carrier for spray-drying of xylooligosaccharides. **Food research international**, v. 106, p. 383-393, 2018.

SEGUNDA PARTE - ARTIGO

**ARTIGO: CARACTERIZAÇÃO DAS MICROPARTÍCULAS DO EXTRATO DE
SAPOTA-DO-SOLIMÕES (*Matisia cordata*): EFEITO DA UTILIZAÇÃO DE
MALTODEXTRINA E INULINA COMO AGENTES CARREADORES**

Carlos Ramon de Paula Silva¹

Artigo formatado com base na NBR 6022 (ABNT, 2003), conforme é orientado no Manual de
Normatização da UFLA.

¹carlosramon.crs@gmail.com. Mestre em Ciência dos Alimentos

CARACTERIZAÇÃO DAS MICROPARTÍCULAS DO EXTRATO DE SAPOTA-DO-SOLIMÕES (*Matisia cordata*): EFEITO DA UTILIZAÇÃO DE MALTODEXTRINA E INULINA COMO AGENTES CARREADORES

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar as características físico-químicas, morfológicas e perfil dos compostos voláteis do extrato de sapota-do-solimões em pó, obtido por meio da secagem por atomização. Os agentes encapsulantes utilizados foram a maltodextrina (MD) com dextrose equivalente (DE) 5, MD com DE 10, MD com DE 15 e inulina (IN), sendo os tratamentos denominados T1, T2, T3, respectivamente. A polpa de sapota-do-solimões foi analisada sem a adição de agentes encapsulantes para efeito de comparação das propriedades físico-químicas e morfológicas. Os valores de umidade e atividade de água variaram de 3,35-3,76 (g água.100g-1 b.s.) e 0,38-0,39, respectivamente. A retenção de compostos voláteis foi baixa, apenas 3 compostos foram preservados e detectados somente em T2 e T3. Em relação à morfologia, as partículas apresentaram formato esférico com superfície lisa e livre de poros, mas houve aglomeração de partículas. Os tratamentos T2 e T3 apresentaram maior retenção de água, conforme os resultados de umidade e atividade de água, enquanto o tratamento T1 demonstrou menor capacidade de adsorção de água. Em relação à estabilidade dos pós, o aumento da dextrose equivalente teve impacto positivo na retenção de compostos voláteis, o tratamento T3 com a maltodextrina com maior DE teve o melhor desempenho e preservou 3 compostos detectados na polpa de sapota-do-solimões.

Palavras-chave: Desidratação. Inulina. Maltodextrina. Compostos Voláteis.

1 INTRODUÇÃO

A *Matisia cordata* é um fruto nativo da Amazônia brasileira, pode ser encontrado no Brasil e em países vizinhos (como Peru e Colômbia), especificamente, nas regiões onde predominam a floresta amazônica. Existem diversas denominações atribuídas a este fruto, que variam de acordo com a região de cultivo. Na Amazônia brasileira, esta espécie botânica é popularmente conhecida como sapota-do-solimões (BRAGA; SOUSA; CAMPOS; ISEPON *et al.*, 2003). A sapota-do-solimões é muito apreciada na região amazônica, possui uma polpa amarela de sabor adocicado que pode ser consumida “in natura” e, também, na forma de sucos; possui também uma casca espessa onde sua parte interna pode ser utilizada para produzir doces em calda. Também são atribuídos a este fruto, um potencial econômico promissor, evidenciado pela sua comercialização em mercados e feiras livres, cujos principais interesses dos consumidores são o sabor peculiar, valor nutricional e a presença de compostos bioativos (CARVALHO; DAMIANI; ASQUIERI, 2018; RABELO, 2012).

O alto teor de umidade e a presença de carotenoides na composição centesimal da sapota-do-solimões são fatores que determinam sua alta perecibilidade e a torna viável ao uso da aplicação da tecnologia de alimentos a favor do seu beneficiamento (BRAGA; SOUSA; CAMPOS; ISEPON *et al.*, 2003; CAVALCANTE, 1991; RABELO, 2012).

A desidratação do extrato da sapota-do-solimões, por meio da secagem por atomização, pode ser considerada uma alternativa interessante como forma de promover a estabilidade dos compostos bioativos e de algumas características sensoriais marcantes. Esta técnica de secagem dispõe de uma série de vantagens: permite a retenção e conservação de compostos voláteis e bioativos, causa baixo dano térmico em amostras termossensíveis, proporciona variedade em tamanho e forma das partículas e o produto formado tem excelente dispersibilidade em meio aquoso (BARBOSA, 2015; TADINI; TELIS; MEIRELLES; FILHO, 2017).

A escolha adequada de agentes carreadores contribui significativamente para a garantia da qualidade e estabilidade do produto em pó, estes agentes influenciam diretamente nas características de solubilidade, tamanho, propriedades sensoriais (cor e sabor) e atividade antioxidante das micropartículas. No processo de secagem por atomização, geralmente, são utilizados carboidratos, gomas, biopolímeros, coloides, ceras, proteínas e amidos como agentes carreadores, por apresentarem baixa viscosidade, alto teor de sólidos e alta solubilidade (TANGARIFE; ARIAS; ZAPATA, 2021).

As maltodextrinas são produtos da hidrólise do amido com dextrose equivalente (DE) inferior a 20, são amplamente utilizadas na secagem por atomização, devido ao seu baixo custo,

boa dispersão no processo de secagem e formação de grânulos homogêneos. Maltodextrinas com diferentes valores de DE apresentam propriedades físico-químicas distintas, incluindo solubilidade, higroscopicidade, temperatura de congelamento, viscosidade e estabilidade ((DU; TANG; XU; LYU *et al.*, 2021; LI; PAN; MA; MIAO *et al.*, 2020).

Outro aditivo utilizado nesta técnica de secagem é a inulina. A inulina é um fruto-oligossacarídeo classificada como fibra prebiótica, possui baixa solubilidade em água e solventes orgânicos e, devido à algumas de suas características como estabilizante, fonte de fibras e insípida, passou a ser utilizada na microencapsulação de vários ingredientes bioativos, como: probióticos, compostos fenólicos, óleos e corantes alimentares por secagem por atomização (CAMPELO-FELIX; SOUZA; FIGUEIREDO; FERNANDES *et al.*, 2017; ENCINA; GIMENEZ; MARQUEZ-RUIZ; HOLGADO *et al.*, 2021; MAHDAVI; JAFARI; ASSADPOOR; DEHNAD, 2016).

As grandes demandas à produção e comercialização de produtos naturais amazônicos têm despertado o interesse da indústria para esta área. Neste contexto, o potencial econômico dos frutos não pode ser desprezado. O produto em pó, resultante do processo de secagem do extrato de sapota-do-solimões, pode representar uma possibilidade de sua adição em formulações alimentícias, aumentando sua bioacessibilidade e seguindo a crescente tendência por parte dos consumidores na busca por alimentos contendo ingredientes de fontes naturais. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência da secagem por atomização sobre as características físico-químicas, térmicas e morfológicas da sapota-do-solimões, visando agregar valor comercial e industrial ao fruto e atraindo investimentos em tecnologia para a região Amazônica.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

Os frutos de sapota-do-solimões foram coletados na comunidade Vila Vale, que se localiza na zona rural do município de Tefé, Amazonas, Brasil, em março de 2019. As coordenadas geográficas correspondentes ao local de coleta são latitude sul 3°21' e longitude 64°40' oeste, a altitude aproximada do local é de 75 m acima do nível do mar. De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007), o clima é do tipo "Af" (Clima tropical úmido), com precipitação média anual de 2664,8 mm e temperatura média anual de 26 °C. O solo predominante na região é argissolo vermelho com textura argilosa média. Maltodextrina com dextrose equivalente 5 (Cassava S. A., Maripá, PR, Brasil); maltodextrina com dextrose equivalente 10 (Cassava S. A., Maripá, PR, Brasil); maltodextrina com dextrose equivalente 20 (Cassava S. A., Maripá, PR, Brasil); e inulina com grau de polimerização maior que 10 (Orafti®GR, BENEIO-Orafti, Tienen, Bélgica) foram utilizados como agentes carreadores no processo de secagem por atomização.

2.2 Preparo do extrato de sapota-do-solimões

Para o preparo dos extratos de sapota-do-solimões, os frutos foram lavados em água corrente e higienizados em solução clorada na proporção de 100:1 (v/v) durante 15 min e, por fim, lavados com água destilada para retirar o excesso de hipoclorito de sódio. Em seguida, as cascas foram retiradas de forma manual e, então, os frutos foram processados em um centrifugador de alimentos (Philips Walita Juicer RI1858, Royal Philips Electronics, Barueri, Brasil) com adição de água na polpa, até que fosse realizada a diluição na proporção de 1:3 (v/v). O processo foi finalizado com a filtração dos extratos em organza para eliminação dos sólidos em suspensão.

2.3 Planejamento Experimental

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com três repetições, tendo como fatores de avaliação a influência do material de parede sobre as variáveis estudadas (Tabela 2.1). O teor do agente carreador na solução foi de 15% (m/m) em relação à solução final, o qual foi determinado após testes preliminares (dados não apresentados).

Tabela 2.1 - Delineamento experimental para a obtenção das micropartículas.

Tratamento	Agente carreador (g.100 g ⁻¹ de solução)				Extrato de sapota-do-solimões (g.100 g ⁻¹ de solução)
	Maltodextrina DE 5	Maltodextrina DE 10	Maltodextrina DE 20	Inulina	
T1	7,5	-	-	7,5	85
T2	-	7,5	-	7,5	85
T3	-	-	7,5	7,5	85

2.4 Preparo da solução a ser carreada

Os materiais de parede maltodextrina (DE: 5, 10 e 15) e inulina foram hidratados com o extrato aquoso de sapota-do-solimões à temperatura ambiente, durante 12 h. As soluções foram, então, homogeneizadas por meio de agitação mecânica a 10000 rpm, durante 10 minutos, em um misturador Ultra-turrax (Ultra-Turrax IKA T18 basic, Wilmington, EUA).

2.5 Secagem por atomização

As soluções foram secas em um secador laboratorial, com sistema de atomização em bico – mini *spray dryer* - (modelo MSD 1.0; Labmaq do Brasil, Ribeirão Preto, Brasil) equipado com bico atomizador de duplo fluido. As seguintes condições de secagem foram estabelecidas: temperatura de entrada programada em 160 °C, alimentação realizada com bomba peristáltica, com fluxo de ar configurado em 40 L/min e pressão do ar configurado em 400 kPa, taxa de vazão do fluxo de entrada na alimentação mantida em 0,7 L/h (CAMPELO; DO CARMO; ZACARIAS; YOSHIDA *et al.*, 2017). Os pós secos foram coletados, pesados e armazenados em embalagens de polietileno e, posteriormente, estocados em refrigerador a aproximadamente 4 °C até a realização das análises.

2.6 Rendimento do processo

O rendimento do processo foi determinado em teor percentual em base seca do pó coletado após a secagem em relação a massa de matéria seca na solução de alimentação. Os pós foram secos em estufa a 105 °C até a atingirem peso constante (GAWALEK; DOMIAN, 2020). O rendimento foi calculado pela seguinte equação:

$$R(\%) = \frac{m(p) \times T_{msp}}{m(a) \times T_{msa}} \times 100\%$$

Onde R (%) é o rendimento do processo em base seca, m(a) é a massa da solução de alimentação e m(p) é a massa do pó recolhido após o processo de secagem. T_{msp} e T_{msa} são os teores de matéria seca no pó e na solução de alimentação, respectivamente.

2.7 Análises físico-químicas e morfológicas das partículas

2.7.1 Umidade

As amostras pulverizadas foram colocadas em estufa com circulação de ar a 105 °C durante o período de 8 h e foram pesadas, continuamente, até que fossem atingidos o peso constante (AOAC, 2016).

2.7.2 Atividade de Água

A atividade de água foi avaliada em um higrômetro digital Aqualab modelo series 3TE (Decagon, Pullman, EUA) à 25°C.

2.7.3 Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

As análises de espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) foram realizadas em um espectrofotômetro com refletância total atenuada (ATR) (Jasco 4100, Tokyo, Japan). Os espectros foram obtidos com 64 varreduras, na faixa de 4000 a 400 cm^{-1} e uso de pastilhas de KBr.

2.7.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A morfologia das micropartículas do extrato de sapota-do-solimões foi examinada por microscopia eletrônica de varredura (MEV). As amostras de microcápsulas foram distribuídas sobre um pedaço de fita de carbono dupla face aderida a um suporte metálico (topo). Em seguida, as amostras foram, então, cobertas com ouro em uma câmara a vácuo e examinadas com o microscópio eletrônico de varredura JSM-6360 (JEOL; Tóquio, Japão), com tensão de aceleração de 20 kV.

2.7.5 Diâmetro médio e distribuição de tamanho de Partícula

A distribuição do tamanho de partículas foi medida a partir da técnica de difração a laser, com o equipamento (Mastersizer 2000, modelo Hydro 2000 UM, Malvern Instruments, Worcestshire, UK). Uma amostra de pó é suspensa em álcool isopropílico sob agitação e a

distribuição do tamanho de partículas é monitorada durante cada medida, até que elas sejam constantes (JINAPONG; SUPHANTHARIKA; JAMNONG, 2008). O diâmetro médio D [4,3] foi obtido e o espalhamento das partículas (*Span*) foi calculado conforme à equação a seguir:

$$Span = \frac{d_{(0,9)} - d_{(0,1)}}{d_{(0,5)}}$$

Onde $d_{(0,9)}$, $d_{(0,5)}$ e $d_{(0,1)}$ são diâmetros médios de volume a 90%, 50% e 10% do volume acumulado, respectivamente.

2.7.6 Estrutura cristalina (difração de raios X)

As análises de difração de raios X (DRX) nas micropartículas foram realizadas em um difratômetro Empyrean, da Panalytical (Holanda) com as seguintes condições operacionais: modo de reflexão, radiação $CuK\alpha$ ($\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$), tensão de aceleração de 40 kV e corrente de 40 mA. O difratômetro é equipado com um espelho Bragg-Brentano HD, uma fenda de soller 0,02 rad, uma fenda anti-espalhamento e uma fenda de divergência de 1/4 no feixe incidente. Os fótons de raios-X foram detectados com um detector de área (detector PIXcel3D-Medipix3 1x1). Esses dados foram, então, analisados com o método de refinamento de Rietveld (1969).

2.8 Análises químicas

2.8.1 Microextração por fase sólida – SPME

A extração dos compostos voláteis foi realizada por microextração em fase sólida (SPME) com o auxílio de um dispositivo SPME (Supelco, Bellefonte, PA, EUA), contendo uma fibra de sílica fundida (comprimento 10 mm). O método foi realizado conforme descrito por Rodrigues (2018) e colaboradores.

Para extração no headspace, a fibra utilizada foi a PDMS 100 μm (Polidimetilsiloxano), a qual foi pré-condicionada a 260 °C durante 30 min, conforme às especificações do fabricante. Para cada uma das extrações, foram necessários 3,0 g de amostra, juntamente, com NaCl (25%: 0,75 g por 3 g do fruto) e 5 mL de água Milli-Q. As extrações foram colocadas em frascos de vidro com capacidade de 20 mL e os frascos foram selados com lacre de alumínio e septo.

Os frascos foram colocados em um banho-maria a 40 °C, com um agitador magnético para promover a transferência dos compostos da amostra para o espaço superior. Após 10 minutos de equilíbrio entre a solução e a câmara de expansão, a fibra foi exposta ao espaço superior do frasco tapado para adsorver os analitos durante 40 min. As análises foram realizadas

na polpa de sapota-do-solimões e nos tratamentos T1, T2 e T3. O procedimento foi efetuado em triplicata para posterior análise estatística.

2.8.2 Cromatografia gasosa – CGEM

As análises cromatográficas foram feitas com o auxílio de um cromatógrafo a gás (Shimadizu GCMS-QP2012, Kyoto, Japão), equipado com uma coluna capilar DB-5MS (30 m x 0,25 mm de diâmetro, 0,25 µm de espessura de filme) e detector de massa seletivo. A fibra de SPME foi dessorvida e mantida na porta de injeção a 260 °C durante 10 min. Cada extração foi injetada no modo splitless. A temperatura do forno foi mantida a 40 °C durante 5 min, e depois, aumentada para 290 °C, a uma taxa de 7 °C por min e mantida a 290 °C durante 10 min. Utilizou-se hélio como gás de arraste. O espectro de massa foi operado em modo de impacto de elétrons (EI) a 70 eV e o intervalo digitalizado em 35-550 m/z. A temperatura da fonte iônica foi de 200 °C (RODRIGUES; RAMOS; AMARAL; FERREIRA *et al.*, 2018).

A identificação de compostos voláteis foi possível a partir do método de comparação dos espectros de massa com a biblioteca de dados do equipamento. Os compostos foram identificados a partir de comparações de seus espectros de massa com os registros na base de dados Wiley 275L. Foram aceitos apenas os compostos que apresentavam índice de similaridade acima de 90%. As análises foram realizadas na polpa de sapota-do-solimões e nos tratamentos T1, T2 e T3. Os tempos de retenção de cada substância foram padronizados e convertidos em constantes independentes do sistema, a partir da aplicação do índice de Kovats (KOVATS, 1959). O índice foi obtido pela seguinte equação:

$$KI = 100n + 100 \left(\frac{\log t'_{R(i)} - \log t'_{R(n)}}{\log t'_{R(n+1)} - \log t'_{R(n)}} \right)$$

Onde t'_R é o tempo de retenção ajustado (tempo de retenção do pico menos o tempo de eluição do pico de um composto não retido pela coluna cromatográfica), i é o analito, n corresponde ao número de carbonos do padrão adjacente menos retido e $n + 1$ é o número de carbonos do padrão adjacente mais retido.

2.9 Análises Térmicas

2.9.1 Análise termogravimétrica (TGA/DTGA)

A análise termogravimétrica baseia-se na perda de massa com o aumento da temperatura e mostra a estabilidade térmica do material (MOHAMED; ABD EL-GHANY; FAHMY, 2016).

As curvas das derivadas da termogravimetria (dTGA) foram obtidas em uma balança TGA50H (Coorporation Shimadzu, Kyoto, Japão), com aproximadamente 5 mg da amostra. As análises foram conduzidas com as seguintes condições de operação: panela de alumina; atmosfera dinâmica de nitrogênio com fluxo $100 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$; taxa de temperatura: $10 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$; faixa de temperatura: $25 \text{ }^\circ\text{C}$ até $500 \text{ }^\circ\text{C}$.

2.10 Análises estatísticas

Os resultados foram submetidos à análise de variância, realizado com o uso do software Origin® 8, como forma de avaliação dos efeitos dos diferentes agentes carreadores nas propriedades dos extratos de sapota-do-solimões em pó, obtidos por meio da secagem por atomização. As diferenças entre os valores médios obtidos foram examinadas por meio de teste de médias de Tukey, em nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Rendimento

O rendimento do processo de secagem por atomização é um indicador importante para a indústria. Sua definição consiste na razão entre a massa de matéria seca em pó coletada após a secagem e o peso total de sólidos na alimentação. Um rendimento maior, significa maior economia e eficiência do processo (TONTUL; TOPUZ, 2017).

Baixos rendimentos podem ser causados pela deposição de partículas na parede, o que afeta a qualidade do produto por meio da degradação das amostras depositadas no secador. Portanto, para melhorar o rendimento do produto, são necessários inserir critérios operacionais e condições ideais de processamento, para garantir a preservação ou melhoria da qualidade dos produtos secos durante os processos de secagem por atomização (KESHANI; DAUD; NOUROUZI; NAMVAR *et al.*, 2015).

Os rendimentos dos pós obtidos por meio da secagem por atomização da sapota-do-solimões estão apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Rendimento dos pós obtidos do extrato de sapota-do-solimões.

Rendimento (%)		
T1	T2	T3
27.08 ± 0.025 ^a	20.61 ± 0.017 ^b	20.13 ± 0.027 ^c

Valores médios e desvio padrão; n = 3. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). T1: Maltodextrina DE 5 e Inulina; T2: Maltodextrina DE 10 e Inulina; T3: Maltodextrina DE 20 e Inulina.

O tratamento T1, composto pela maltodextrina com DE 5, apresentou maior rendimento da polpa de sapota-do-solimões em pó. Resultados semelhantes foram obtidos em um estudo da secagem por atomização do suco de aronia (GAWALEK; DOMIAN; RYNIECKI; BAKIER, 2017), onde os autores observaram que os valores médios do rendimento foram maiores para os tratamentos com um menor valor de DE da maltodextrina. No entanto, a análise de variância mostrou que essas diferenças não eram estatisticamente significativas. Outro estudo que buscou verificar a influência da DE na secagem do mate concentrado (NEGRAO-MURAKAMI; NUNES; PINTO; MURAKAMI *et al.*, 2017), apontou que um maior rendimento na secagem por pulverização pode ser obtido usando maltodextrinas com menor DE. Isso pode ser explicado

pelo fato de que a maltodextrina com maior DE tem menor temperatura de transição vítrea, o que resulta no aumento da viscosidade do pó e sua adesão na parede interna do secador no processo de secagem por atomização à alta temperatura. Da mesma forma, a baixa temperatura de transição vítrea pode explicar o baixo rendimento em formulações contendo inulina (DING; TAO; WANG; PRAKASH *et al.*, 2020).

3.2 Características físico-químicas e morfológicas das partículas

3.2.1 Teor de umidade e atividade de água (aw)

A umidade e atividade da água são parâmetros importantes que servem como indicadores da vida útil dos produtos em pó, pois são pertinentes às reações de degradação e crescimento microbiano. Também estão associadas à propriedades físico-químicas de pegajosidade, aglomeração e estabilidade dos pós ao longo do armazenamento em virtude de sua influência no comportamento da transição vítrea e cristalização (BAZARIA; KUMAR, 2016; FIGUEIREDO, 2019; ISLAM; AYAMI; KITAMURA; KOKAWA *et al.*, 2021). Para garantir a qualidade dos produtos em pó, espera-se que o conteúdo de umidade seja inferior a 5% e a atividade da água esteja entre 0,1 e 0,4, o que garante maior estabilidade física, química e menor tendência de aglomeração (FIGUEIREDO, 2019; TONTUL; TOPUZ, 2014).

Os resultados de umidade e atividade de água para as micropartículas de sapota-do-solimões são apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Teor de umidade e atividade de água dos pós obtidos a partir do extrato de sapota-do-solimões.

Tratamento	Umidade (% b.s.)	Atividade de água (aw)
T1	3.35 ± 0.07 ^a	0.38 ± 0.00 ^a
T2	3.76 ± 0.11 ^a	0.39 ± 0.01 ^a
T3	3.74 ± 0.14 ^a	0.39 ± 0.01 ^a

Valores médios e desvio padrão; n = 3. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem pelo teste de Tukey (p < 0,05). % b.s = teor em base seca. Aw = atividade de água. T1: Maltodextrina DE 5 e Inulina; T2: Maltodextrina DE 10 e Inulina; T3: Maltodextrina DE 20 e Inulina.

As micropartículas de sapota-do-solimões produzidas por atomização tiveram teor de umidade entre 3,35% e 3,76%, enquanto os valores de atividade de água foram entre 0,38 e

0,39. Estes valores são suficientes para indicar que os pós são microbiologicamente seguros, pois alimentos com umidade inferior a 10% e atividade de água próximas a 0,3 são estáveis microbiologicamente e quimicamente (PUI; KARIM; YUSOF; WONG *et al.*, 2020).

Com base nos resultados demonstrados na Tabela 3.3, os tratamentos com maltodextrina e inulina foram eficientes para a redução do conteúdo de água durante a secagem do extrato de sapota-do-solimões. Isso pode ser justificado pela adição da maltodextrina, que aumenta o teor de sólidos e reduz a quantidade de água para a evaporação, resultando na diminuição do teor de umidade do pó (KRISHNAIAH; NITHYANANDAM; SARBATLY, 2014). Em um estudo sobre a microencapsulação de óleo essencial de gengibre, a inulina também teve contribuição na redução do teor de umidade das micropartículas (FERNANDES; BOTREL; SILVA; BORGES *et al.*, 2016). Outro efeito positivo da inulina na umidade de micropartículas foi relatado por Pandey e Mishra (2021), em um estudo utilizando a combinação de maltodextrina e inulina.

A justificativa para os tratamentos não demonstrarem diferenças significativas ($p > 0,05$) e o conteúdo de água estar dentro dos níveis de segurança pode estar relacionada com os parâmetros constantes de secagem (temperatura, vazão, pressão), a viscosidade da solução de alimentação e o tamanho de partícula das gotículas de secagem, afinal, gotículas menores fornecem uma área de superfície maior, que permite que a umidade escape facilmente (TONTUL; TOPUZ, 2014).

Entre os tratamentos, o maior teor de umidade foi observado em T2 (maltodextrina DE 10 e inulina) e o menor teor em T1 (maltodextrina DE 5 e inulina). Apesar de não haver diferença significativa entre as amostras, o T1, que contém a maltodextrina com menor dextrose equivalente (DE 5), apresentou o resultado mais distante em relação aos demais tratamentos. O menor valor de umidade e atividade de água no T1 pode ser explicado pelo fato de as maltodextrinas com baixa DE possuírem cadeias longas que enfrentam barreiras para passar pelo tecido do extrato e ser impregnado (SHINDE; RAMASWAMY, 2021). Ainda, o aumento do grau de hidrólise da maltodextrina tem sido relatada como proporcional ao aumento da atividade de água das micropartículas, pois os carboidratos mais hidrolisados se tornam mais higroscópicos, retendo mais água em sua superfície (CAMPELO; DO CARMO; ZACARIAS; YOSHIDA *et al.*, 2017). Em estudos realizados por Ribeiro *et al.* (2019) e Souza *et al.* (2020), para a secagem por atomização do suco de acerola, foi relatado um aumento na umidade das micropartículas de forma proporcional ao aumento da dextrose equivalente das maltodextrinas utilizadas como agentes carreadores.

3.2.2 Microscopia eletrônica varredura

A Figura 3.1 apresenta as imagens ampliadas, obtidas por meio de microscopia eletrônica de varredura. A superfície das partículas, em ambos os tratamentos, é lisa e livre de poros, o que é essencial para a estabilidade da microcápsula, pois os poros facilitam a entrada de oxigênio e a saída do material encapsulado e, portanto, a diminuição da degradação dos compostos bioativos do extrato (RUBILAR; MORALES; CONTRERAS; CEBALLOS *et al.*, 2012).

Microcápsulas mais lisas são desejáveis para a estabilidade dos pigmentos encapsulados e têm apresentado maior retenção de compostos bioativos, o que pode estar associado a uma melhor acomodação carreado na micropartícula (LIMA; MADALÃO; SANTOS; BERNARDES *et al.*, 2019).

De acordo com Buratto (2018), a maltodextrina contém grande quantidade de açúcares de baixo peso molecular que evitam o encolhimento da superfície das partículas durante a secagem por atomização, pois atuam como plastificantes, levando à formação de partículas mais lisas. Tal conclusão também foi relatada por Cavalcante *et al.* (2017) e Caparino *et al.* (2012), que obtiveram partículas esféricas de diversos tamanhos e superfície lisa e uniforme.

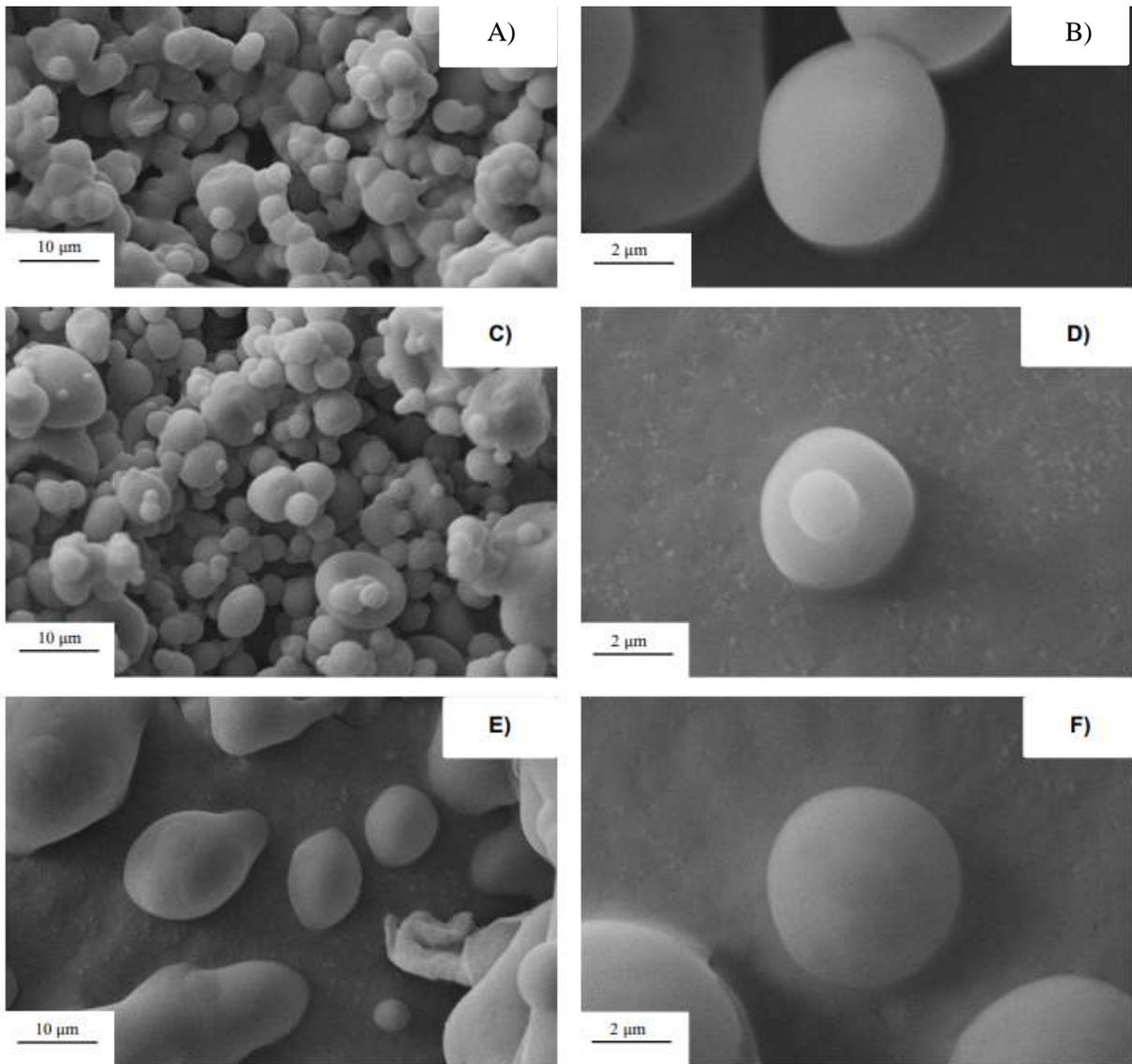
Os tratamentos T1 e T2 exibiram como característica geral um maior grau de aderência de partículas menores em suas superfícies e algumas rugas côncavas. Essas rugas côncavas podem ter sido causadas pela alta temperatura do ar durante a secagem ou a rápida evaporação que levou ao encolhimento das partículas durante a secagem por atomização. Além disso, isso também pode ser atribuído às tensões mecânicas induzidas pela secagem desigual em diferentes partes das gotículas de líquido, durante a primeira etapa de secagem (WU; ZHANG; LIU; SUN, 2019; XU; XU; LIU; HOU *et al.*, 2018).

A inulina tem como uma de suas características, um elevado grau de higroscopicidade em comparação a outros agentes carreadores, tal característica culminou no início de solubilização e conseqüente aglomeração de grande parte das micropartículas (CARMO; TEODORO; FÉLIX; FERNANDES *et al.*, 2018). No T3 a solubilização encontra-se mais evidente, com isso, as micropartículas formadas são amorfas. Isso se deve à presença de uma interface líquida entre as micropartículas e adsorção de água na superfície (FIGUEIREDO, 2019; LIM; SIOW, 2017).

Em um estudo feito por Lim e Siow (2016), micropartículas utilizando inulina como material encapsulante também apresentaram estruturas aglomeradas e com tendência à alta coesividade. Outro estudo realizado por Carmo *et al.* (2018) evidenciou o mesmo

comportamento de aglomeração das partículas. Conforme proposto por Figueredo (2019), uma forma de reduzir a aglomeração de micropartículas contendo inulina é utilizá-la em combinação com outros agentes carreadores que amenizem a característica higroscópica da inulina.

Figura 3.1 - Micrografias das micropartículas dos extratos de sapota-do-solimões em pó.



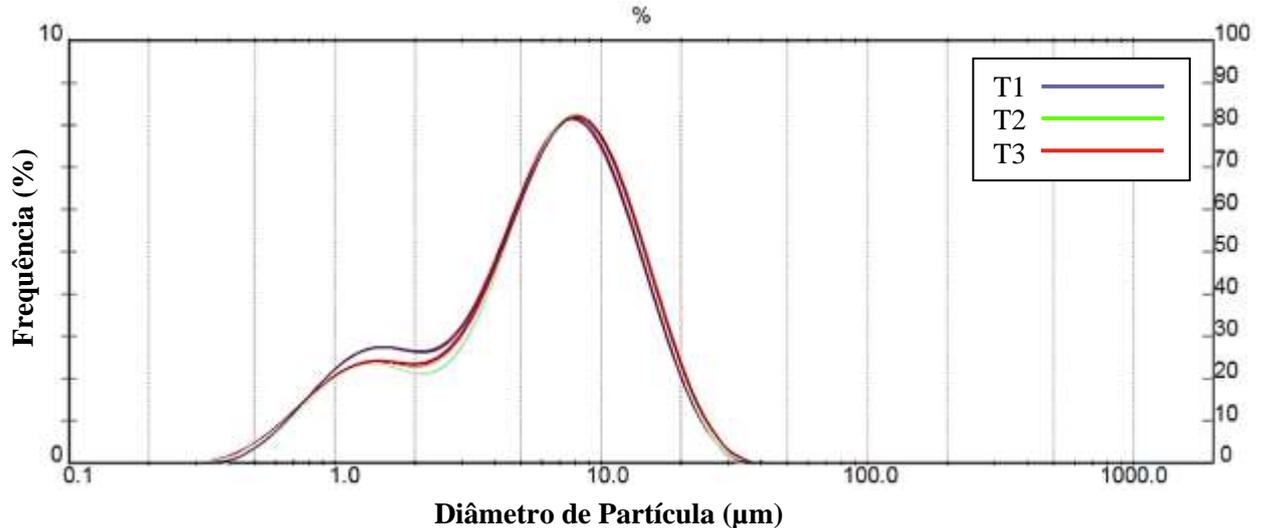
A) T1, B) T1, C) T2, D) T2, E) T3, F) T3. T1: Maltodextrina DE 5 e Inulina; T2: Maltodextrina DE 10 e Inulina; T3: Maltodextrina DE 20 e Inulina.

3.2.3 Diâmetro médio e distribuição de tamanho de Partícula

O diâmetro das partículas pode ser influenciado pelo agente carreador utilizado no processo de secagem por atomização, e o tamanho das micropartículas formadas pode afetar as propriedades texturais e sensoriais dos produtos alimentícios (GOËLO; CHAUMUN; GONÇALVES; ESTEVINHO *et al.*, 2020; NAZ; SHABBIR; AADIL; KHAN *et al.*, 2020). Na

Tabela 3.4 está exposto o diâmetro das partículas através do diâmetro D [4,3] e o espalhamento das partículas (*Span*). A Figura 3.2 apresenta as curvas de distribuição das partículas formadas pelos diferentes agentes carreadores.

Figura 3.2 - Distribuição de tamanho das partículas T1, T2 e T3.



T1: Maltodextrina DE 5 e Inulina; T2: Maltodextrina DE 10 e Inulina; T3: Maltodextrina DE 20 e Inulina.

Tabela 3.3 - Diâmetro médio D [4,3] das partículas e dispersão *Span*.

Tratamento	D [4,3] (µm)	<i>Span</i>
T1	7,11 ^a	2,117 ^a
T2	7,60 ^b	2,090 ^b
T3	7,49 ^c	2,120 ^a

Valores médios; n = 3. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). T1: Maltodextrina DE 5 e Inulina; T2: Maltodextrina DE 10 e Inulina; T3: Maltodextrina DE 20 e Inulina.

Conforme a Tabela 3.3, o diâmetro D [4,3] das micropartículas diferenciaram estatisticamente ($p < 0,05$). O diâmetro médio apresentado pelas partículas variou de 7,11 µm (T1) a 7,60 µm (T2) e os tratamentos constituídos por inulina combinada à maltodextrina DE 10 e DE 20 apresentaram os maiores valores de diâmetro de partícula. A relação de proporção entre o aumento do tamanho e o aumento do grau de hidrólise da maltodextrina também foi relatado por Carvalho (2017).

A dispersão das partículas calculadas usando o *Span* foi considerada baixa (2,117; 2,090; 2,120), o que indica uma distribuição homogênea, sem alterações significativas nas

propriedades físicas dos pós durante a secagem (OLIVEIRA; BARROSO; JÚLIO; CAPARICA *et al.*, 2019). Costa *et al.* (2013) e Hijo *et al.* (2017) também relataram pequenos valores de dispersão de 2,06 a 2,83 e 1,61, respectivamente, para micropartículas carregadas com maltodextrina. A vantagem de se obter pós com valores de *Span* próximos ou inferiores a 2, é a solubilidade e distribuição homogênea das partículas. Portanto, os valores de *Span* obtidos neste estudo são todos aplicáveis (FERNANDES; BORGES; BOTREL, 2014).

De acordo com a Figura 3.2, as distribuições médias do diâmetro das partículas foram caracterizadas pelo comportamento bimodal, com a formação de dois picos com predominância de diâmetros distintos. Os picos de maior volume tiveram ponto máximo próximo a 8% e partículas de maior tamanho próximas a 10 μm . Os picos de menor volume tiveram ponto máximo entre 2% e 3% e o diâmetro médio das partículas nesse ponto foi de aproximadamente 1 μm . Tal distribuição também foi relatada em um estudo sobre a encapsulação do óleo de linhaça utilizando maltodextrina e inulina (NAZ; SHABBIR; AADIL; KHAN *et al.*, 2020) e em outro estudo sobre a secagem por atomização do extrato da polpa de juçara, utilizando maltodextrina (CARVALHO, 2017).

Os diâmetros de partícula encontrados para os pós do extrato de sapota-do-solimões foram inferiores a alguns trabalhos que utilizaram agentes carreadores semelhantes. Por exemplo: Pieczykolan e Kurek (2019) utilizaram a combinação de maltodextrina e inulina para microencapsular antocianinas e o diâmetro das micropartículas foram de 17,66 $\mu\text{m} \pm 0,02$; Fernandes, Borges e Botrel (2014) encontraram partículas inferiores a 13,5 μm de diâmetro na microencapsulação de óleo essencial de alecrim em matrizes de goma arábica, amido, maltodextrina e inulina; Magri *et al.* (2019) obtiveram micropartículas de maltodextrina com tamanhos entre 2,05 e 6,15 μm ; Corrêa-Filho *et al.* (2019), obtiveram micropartículas de inulina com tamanho entre 0,58 e 21,67 μm .

A diferença entre os resultados pode ser atribuída às condições de secagem e a formulação da emulsão antes do processo de secagem, incluindo as proporções entre os agentes carreadores e o composto a ser carregado (TANGARIFE; ARIAS; ZAPATA, 2021). As partículas menores também podem se ligar à outras partículas maiores próximas e, assim, o tamanho de partícula obtido torna-se ainda mais massivo (ISLAM; KITAMURA; YAMANO; KITAMURA, 2016).

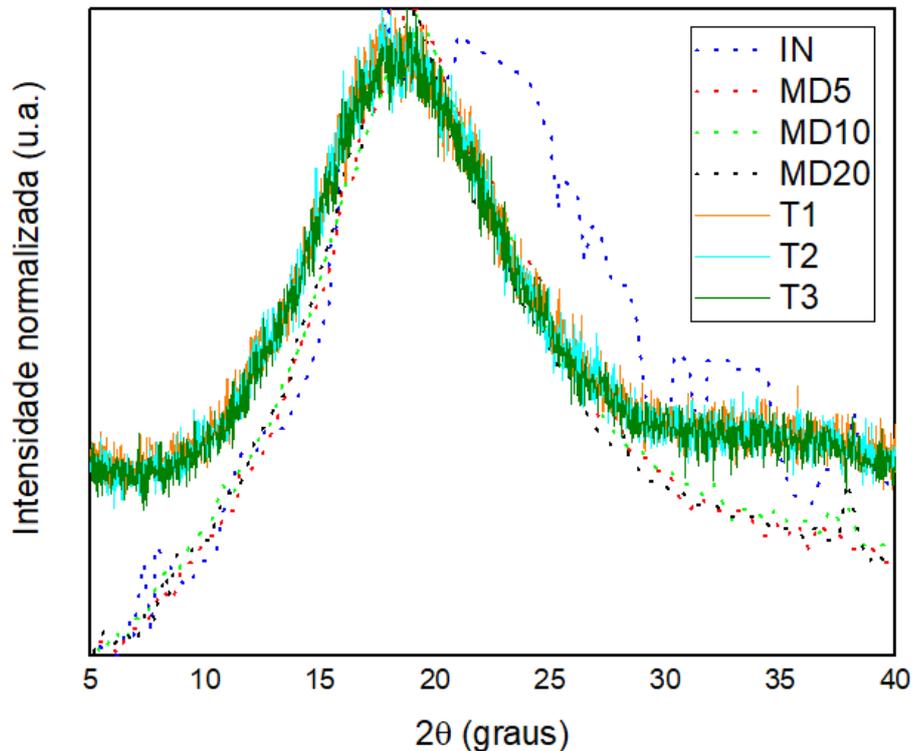
3.2.4 Estrutura cristalina (difração de raios X)

A difração de raios X é uma poderosa técnica não destrutiva que permite caracterizar as fases cristalinas de uma ampla variedade de materiais. Esta técnica é utilizada em estudos de

mineralogia, identificação de materiais desconhecidos e tem sido aplicada na caracterização de micropartículas contendo compostos bioativos, oferecendo informações sobre estruturas, fases, orientações de cristais e outros parâmetros estruturais como: tamanho médio de grão, cristalinidade, tensão e defeitos cristais (BUNACIU; UDRIȘTIOIU; ABOUL-ENEIN, 2015).

Os difratogramas dos agentes carreadores e das micropartículas provenientes do extrato de sapota-do-solimões são mostrados na Figura 3.3.

Figura 3.3 - Padrões de difração de raios X dos agentes carreadores e os tratamentos T1, T2 e T3.



Em todos os difratogramas, na região correspondente a $2\theta = 20^\circ$, verifica-se a presença de picos de difração alargados e semelhantes, tal observação pode indicar a interação entre o material da parede e o extrato de sapota-do-solimões carregado (CAMPELO; DO CARMO; ZACARIAS; YOSHIDA *et al.*, 2017). Quando os difratogramas mostram vários picos agudos para uma determinada amostra, esta é reconhecida como um material cristalino, enquanto que difratogramas com picos largos é considerado um material amorfo, cuja estrutura das moléculas está em um estado desordenado (CAPARINO; TANG; NINDO; SABLANI *et al.*, 2012; HOSSEINI; ZANDI; REZAEI; FARAHMANDGHAVI, 2013).

Conforme a Figura 3.3, pode-se presumir que todos os polímeros carreadores são amorfos, tal conclusão também foi relatada por Naz *et al.* (2020), a partir dos difratogramas de maltodextrina e inulina. Os tratamentos T1, T2 e T3 apresentaram padrões semelhantes e

características de estruturas amorfas. Dessa forma, a secagem por atomização não alterou a estrutura dos materiais.

Outros estudos envolvendo a secagem por atomização utilizando misturas de MD e IN relataram a formação de micropartículas amorfas, como Fernandes *et al.* (2016) na encapsulação do óleo essencial de gengibre. Naz *et al.* (2020) também obtiveram micropartículas amorfas na encapsulação do óleo de linhaça, assim como Chranioti *et al.* (2016), que demonstraram resultado semelhante na secagem de glicosídeos de esteviol.

Micropartículas sólidos amorfas têm maior solubilidade e higroscopicidade em comparação com materiais cristalinos, esta característica estrutural é desejável e amplamente utilizada na indústria farmacêutica para acelerar a dissolução e aumentar a biodisponibilidade de fármacos com base no aumento da energia livre de Gibbs e redução da energia de rede necessária a ser fornecida durante a dissolução (WANG; LIU; XIANG; HE *et al.*, 2021).

3.2.5 Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

A análise de FTIR é uma técnica que permite avaliar qualitativamente a encapsulação e carregamento de compostos bioativos, por meio da identificação de grupos funcionais importantes apresentados em bandas de absorção espectral (FERNANDES; BOTREL; SILVA; BORGES *et al.*, 2016). A Figura 3.4 mostra os espectros de todos os componentes aplicados no processo de microencapsulação.

A Figura 3.5 mostra a comparação entre os tratamentos T1, T2 e T3. O perfil dos espectros T1, T2 e T3 demonstra similaridade. A região do infravermelho vibracional que corresponde à frequência 3300 cm^{-1} demonstra redução da transmitância, quando comparada aos espectros de maltodextrina. Essa redução foi causada pela adição da inulina e está associada à banda O-H, um grupo característico deste polissacarídeo (FERNANDES; BOTREL; SILVA; BORGES *et al.*, 2016; VYVYAN; PAVIA; LAMPMAN; KRIZ, 2016).

A maltodextrina pura mostrou uma banda de absorção em torno de 1647 cm^{-1} , que foi atribuída aos modos vibracionais dos grupos O-H da água ligada das cadeias de polissacarídeos (FIGUEIREDO; TEIXEIRA; CAMPELO; LAGO *et al.*, 2020). Os agentes carreadores utilizados neste estudo tiveram semelhantes perfis de espectro, e o principal pico em comum encontrado nos materiais puros e nos demais tratamentos é banda que corresponde ao grupo C–O–C na frequência de 1015 cm^{-1} . A inulina e a maltodextrina alteram, consideravelmente, a intensidade de absorção em 1015 cm^{-1} , devido aos grupos C–O–C e reduzem as bandas atribuídas ao alongamento C = O (1515 e 1630 cm^{-1}), por não possuírem grupos cetônicos (FERNANDES; SILVA; BORGES; OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Figura 3.4 - Espectros FTIR dos agentes carreadores: MD 5, MD 10, MD 20 e IN.

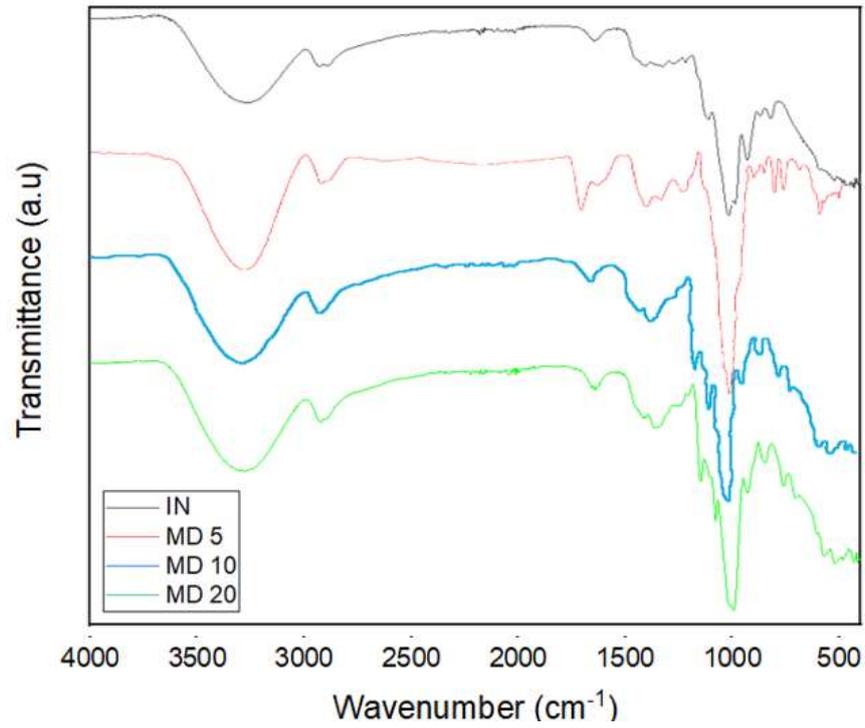
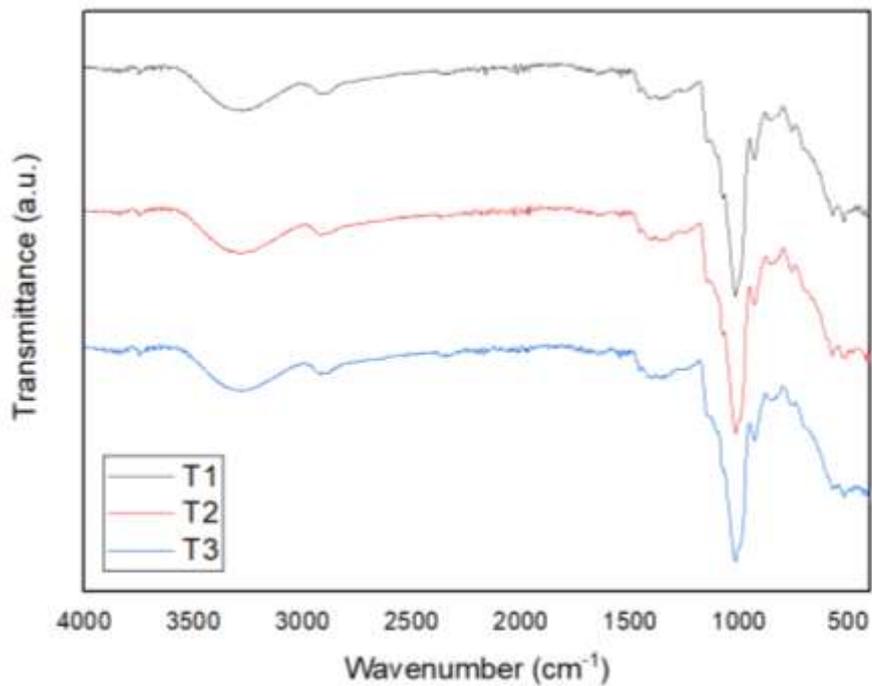


Figura 3.5 - Espectros FTIR dos tratamentos: T1; T2 e T3.



T1: Maltodextrina DE 5 e Inulina; T2: Maltodextrina DE 10 e Inulina; T3: Maltodextrina DE 20 e Inulina.

3.3 Estabilidade

3.3.1 Retenção de compostos voláteis

Um desafio para a técnica de secagem por atomização é a remoção de água por vaporização e preservação dos compostos voláteis. O principal fator que dificulta a retenção destes compostos é o baixo peso molecular e, conseqüentemente, maior volatilidade em relação à água (BALDIM, 2017). No entanto, a adição de agentes carreadores permite a retenção de compostos voláteis por se ligarem à fase lipídica característica destes compostos, que fazem ligações fracas (geralmente por Forças de Van der Waals). A emulsão resultante garante a proteção do extrato e remoção da fase aquosa (CORTÉS-ROJAS, 2015).

As análises de determinação de compostos voláteis por cromatografia gasosa com espectrometria de massas foram realizadas com o objetivo de avaliar se houve perda dos constituintes voláteis do extrato de sapota-do-solimões após o processo de secagem por atomização. Foram testadas as amostras após a secagem (T1, T2, T3) e antes da secagem (controle). Esta análise foi realizada para fins qualitativos, ao comparar o perfil cromatográfico da polpa de sapota-do-solimões com os demais tratamentos. A composição de compostos voláteis da polpa de sapota-do-solimões e dos demais tratamentos está descrita na Tabela 3.4. Verifica-se que grande parte dos compostos voláteis presentes na polpa de sapota-do-solimões não foram retidas nas micropartículas formadas durante a secagem por atomização. Apenas 3 compostos foram encontrados nos tratamentos T2 e T3 (Benzoato de metila, Decanal e Tetradecano), enquanto o tratamento T1, que possui em sua composição a maltodextrina com dextrose equivalente 5, não reteve nenhum composto volátil presente na polpa.

De acordo com Baldim (2017), é impossível não perder compostos voláteis durante a secagem por atomização, as perdas geralmente ocorrem durante a atomização e após a formação das gotículas. Os compostos de aroma são geralmente sensíveis ao aquecimento e perdem por evaporação, devido às suas propriedades de pressão de vapor relativamente altas (KING, 1983). A adição de agentes carreadores para retenção e preservação destes compostos tem como objetivo apenas reduzir a difusão dos mesmos para a superfície.

As Figuras 3.6, 3.7, 3.8 e 3.9 mostram os cromatogramas de íons totais de voláteis da polpa de sapota-do-solimões e os tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente. Todas as amostras foram isoladas usando headspace SPME.

Tabela 3.4 - Composição volátil da polpa de sapota-do-solimões e dos tratamentos T1, T2, T3 extraídos por HS-SPME, usando fibra PDMS, seguido pela coluna apolar DB-5MS.

Substância	Índice de Kovats	Polpa de sapota-do-solimões	T1	T2	T3
		Área%			
Trans- β -Ocimeno	1048	18.88	-	-	-
Benzoato de metila	1094	23.95	-	-	1.18
Benzoato de etila	1160	11.9	-	-	-
Éter metílico de chavicol	1200	3.01	-	-	-
Decanal	1205	2.41	-	-	0.74
Dihidrocínamato de etila	1360	0.75	-	-	-
α -copaeno	1378	0.54	-	-	-
Cis-cinamato de metila	1301	0.31	-	-	-
Tetradecano	1399	0.24	-	2.03	0.61
6,10-Dimetil-5,9-undecadien-2-ona	1456	1.8	-	-	-
Cinamato de etilo	1461	4.23	-	-	-
Isometil-alfa-ionona	1490	0.91	-	-	-
Pentadecano	1500	0.68	-	-	-
Hidroxitolueno butilado	1483	0.65	-	-	-
Dodecanoato de metilo	1513	0.24	-	-	-
Nonadecano	1900	0.54	-	-	-
Benzeno, (1-butilheptyl)	1526	0.38	-	-	-
Éter dioctilo	1657	2.69	-	-	-
6-fenildodecano	1718	0.3	-	-	-
Eicosane	345.2	0.61	-	-	-
Miristato de isopropila	1816	1.87	-	-	-
Palmitoleato de metila	1932	1.24	-	-	-
(1-Metildodecil) -benzeno	1906	0.54	-	-	-
Ácido palmítico	1927	3.27	-	-	-
Etil 9-hexadecenoato	1955	4.79	-	-	-
Hexadecanoato de etila	1991	1.45	-	-	-
9-octadecenoato de metila	2087	2.01	-	-	-
Ácido oleico	2173	4.13	-	-	-
Éster etílico de ácido linoléico	2155	5.62	-	-	-

T1: Maltodextrina DE 5 e Inulina; T2: Maltodextrina DE 10 e Inulina; T3: Maltodextrina DE 20 e Inulina.

Figura 3.6 - Perfil cromatográfico do extrato de sapota-do-solimões.

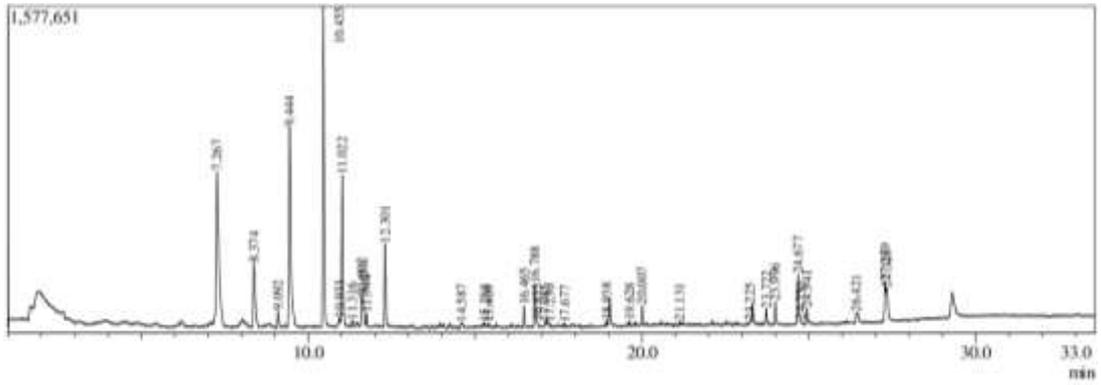


Figura 3.7 - Perfil cromatográfico da combinação T1.

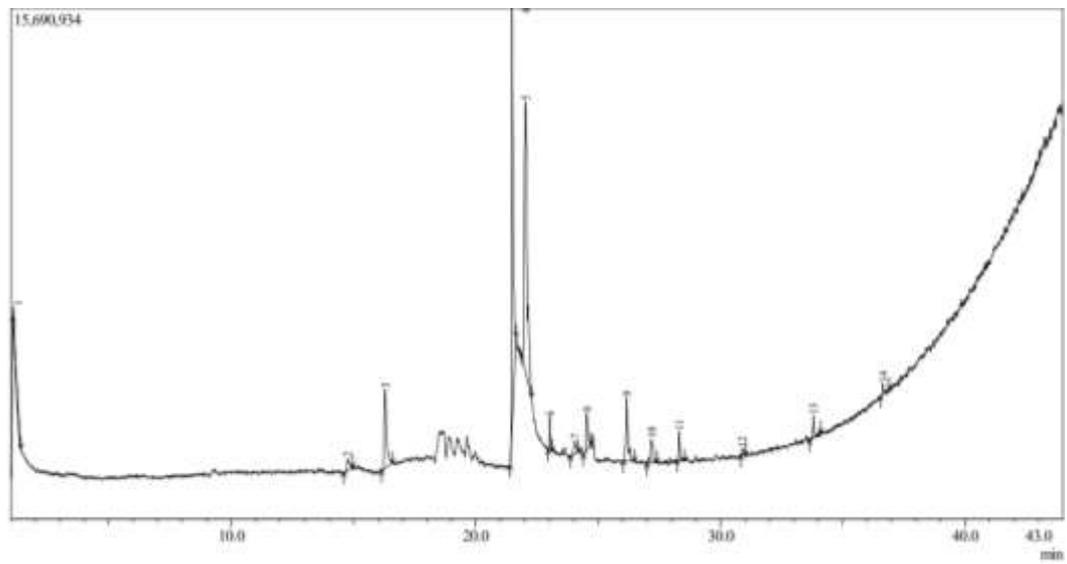


Figura 3.8 - Perfil cromatográfico da combinação T2.

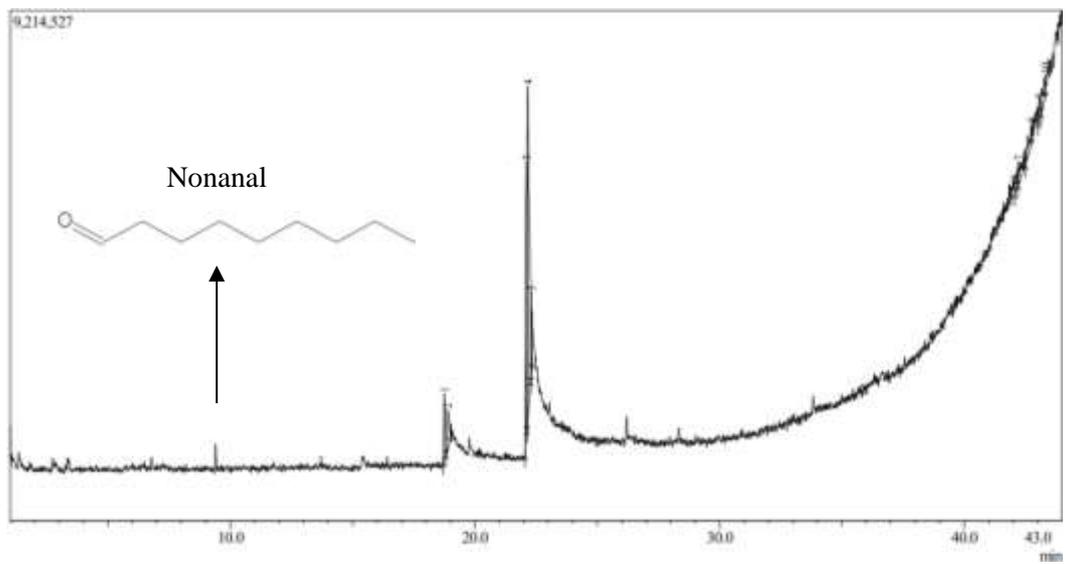
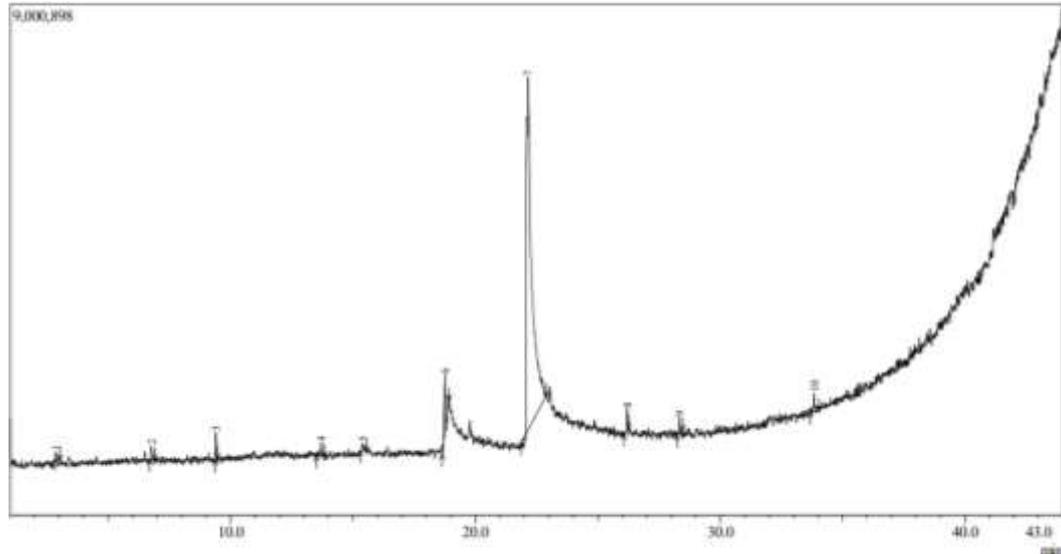


Figura 3.9 - Perfil cromatográfico da combinação T3.



A maioria dos picos observados nos cromatogramas de T1, T2 e T3 são de substâncias que estavam presentes na estrutura da maltodextrina e inulina. No tratamento T2 (Figura 3.8), foi notado a presença de um pico que corresponde à substância química nonanal. Tal substância não foi detectada no espectro de massas da polpa de sapota-do-solimões, porém esta substância é um aldeído formado a partir da oxidação de ácidos graxos poli-insaturados (BASTOS; SILVA, 2014). A formação do nonanal pode ter ocorrido dentro da câmara de secagem, devido à temperatura e tempo de exposição com o ar de secagem, a formação deste aldeído durante a secagem por atomização também foi relatada por Breternitz (2016).

Em T1, houve a maior perda de concentrações voláteis, seguido de um aumento gradativo na retenção destes constituintes químicos de acordo com o aumento da dextrose equivalente da maltodextrina utilizada dos tratamentos. Este resultado está de acordo com o estudo feito por Anandaraman e Reineccius (1986), onde relataram que a retenção de compostos voláteis melhora com o aumento do número de dextrose equivalente (DE) das maltodextrinas. Esta melhora está relacionada à formação de superfície rígida ao redor das micropartículas e redução da permeabilidade da matriz encapsulante (MAIA, 2014).

3.3.2 Análise Termogravimétrica (TGA/DTG)

A análise termogravimétrica é uma técnica que permite avaliar a estabilidade térmica de um material a partir das medidas oriundas da variação do peso durante o aquecimento. A primeira derivada da variação do peso em relação ao tempo (DTG) permite visualizar os pontos nos quais ocorrem a perda de massa é máxima, bem como, as transformações sobrepostas (DÍAZ; RUIZ-MONTOYA; PALMA; DE-PAZ, 2021).

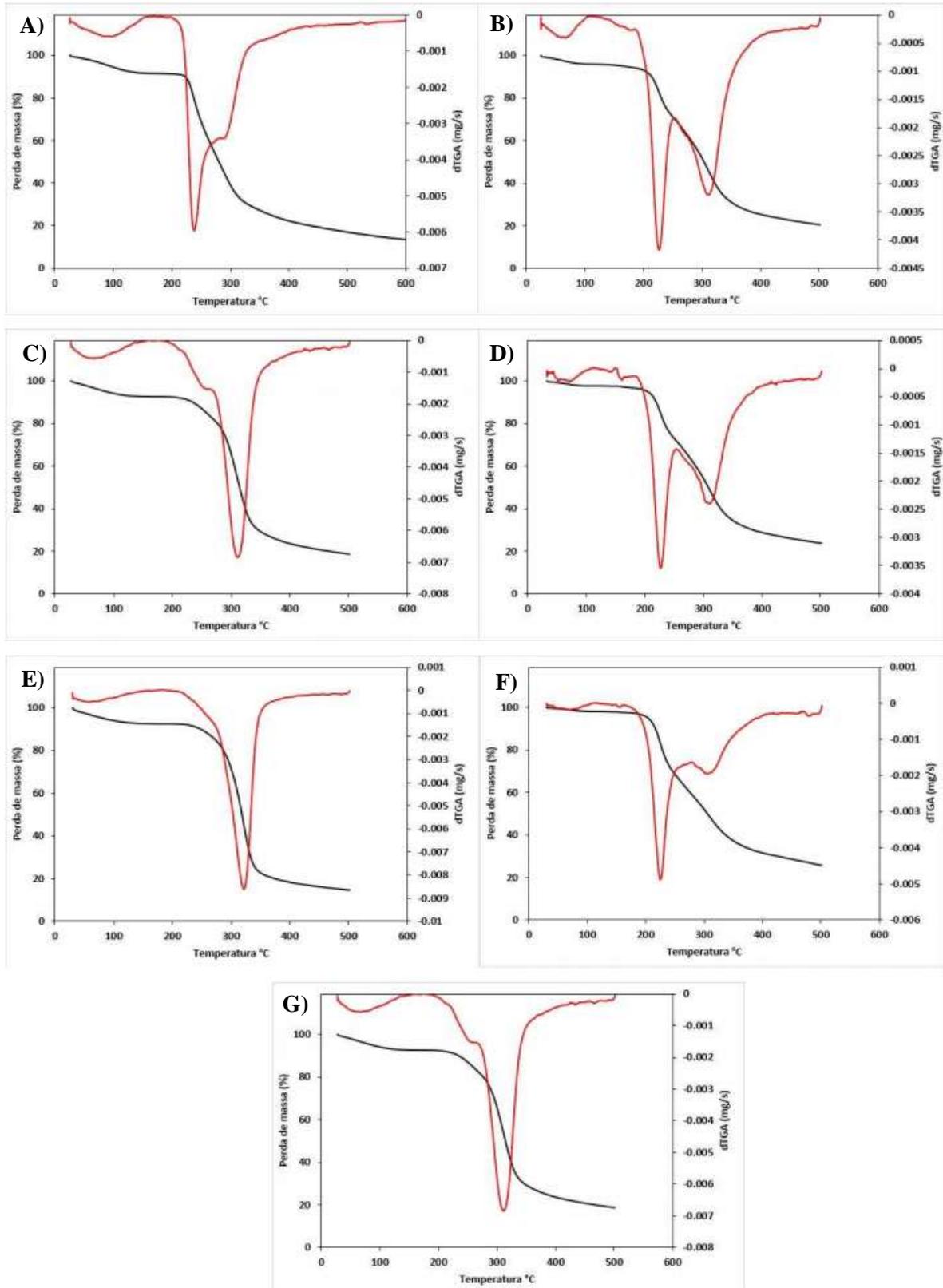
As diferenças na estabilidade térmica entre os tratamentos T1, T2 e T3 foram examinadas por análise termogravimétrica. As curvas TG e DTG para os polímeros de maltodextrina (MD) utilizados, inulina (IN) e as micropartículas obtidas na secagem por pulverização do extrato de sapota-do-solimões estão exibidos na Figura 3.10.

O primeiro evento térmico observado nas curvas TG / DTG para todas as amostras, ocorreu entre 58 °C e 88 °C, neste estágio a taxa de perda de massa foi inferior a 5%, não havendo discrepância entre as amostras. Este evento térmico inicial é atribuído ao processo de desidratação térmica da amostra durante o processo de aquecimento (ELICHE-QUESADA; CORPAS-IGLESIAS; PÉREZ-VILLAREJO; IGLESIAS-GODINO, 2012). Acima dessa faixa de temperatura, o processo de decomposição ocorreu em duas ou três etapas, de acordo com cada amostra.

A faixa de temperatura correspondente ao intervalo de 225 °C e 238 °C apresentou alguns dos pontos com maior velocidade de perda de massa, o percentual de perda foi entre 19,5% e 23,5%, este estágio não foi observado nas amostras de maltodextrina pura. Portanto, tais resultados podem ser atribuídos à decomposição das cadeias de inulina de baixo peso molecular e, posteriormente, há outro ponto de degradação térmica na inulina, que ocorre a aproximadamente 290 °C, caracterizado pela decomposição das cadeias de maior peso molecular deste composto (DIAS; DOS SANTOS OPUSKI DE ALMEIDA; PINTO; DE OLIVEIRA SANTANA *et al.*, 2018). Resultados semelhantes foram relatados por Silva e Meireles (2015), que avaliaram o efeito do grau de polimerização (DP) da inulina em suas características de encapsulação do óleo de semente de urucum.

A perda de massa entre 290 °C e 321 °C foi observada em todas as amostras. Nesta faixa de temperatura, a perda de massa ocorre devido à decomposição térmica dos componentes orgânicos (DÍAZ; RUIZ-MONTOYA; PALMA; DE-PAZ, 2021). Nesta etapa, a perda de massa dos tratamentos T1, T2 e T3 também pode estar relacionada à degradação de alguns carboidratos do extrato de sapota-do-solimões, que ocorrem entre 300 °C e 315 °C (BLANCO; ALMENDROS, 1997).

Figura 3.10 - Curvas termogravimétricas obtidas através da análise termogravimétrica (TGA/DTG).



A) Inulina; B) T1: Maltodextrina DE 5 e Inulina; C) Maltodextrina DE 5; D) T2: Maltodextrina DE 10 e Inulina; E) Maltodextrina DE 10, F) T3: Maltodextrina DE 20 e Inulina, G) Maltodextrina DE 20.

4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho demonstraram a possibilidade da obtenção de micropartículas estáveis e com padrões uniformes. Todos os tratamentos avaliados neste estudo apresentaram bom desempenho em relação à umidade e atividade de água, pois foram baixas e dentro do padrão de segurança para produtos alimentícios.

O uso de agentes carreadores no extrato de sapota-do-solimões proporcionou aos pós formados uma boa estabilidade à degradação térmica, sendo ideal para a conservação e estabilidade do produto. A maior retenção dos compostos voláteis do extrato em pó foi no tratamento com maltodextrina com dextrose equivalente 20 e inulina (T3).

O uso de dois materiais carreadores teve retrospecto positivo, os tratamentos não apresentaram grandes diferenças significativas entre as variáveis testadas. Além disso, a combinação dessas matrizes poliméricas representa uma possibilidade de inovação no setor alimentício, agregando propriedades funcionais ao produto por meio do fruto de sapota-do-solimões e da inulina descrita como um alimento prebiótico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro (Processo: 131302/2019-1) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG); ao Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural da Universidade Federal de Lavras, à Universidade Federal do Amazonas - UFAM.

5 REFERÊNCIAS

- ANANDARAMAN, S.; REINECCIUS, G. A. Stability of encapsulated orange peel oil. **Food Technology**, v. 40, p. 88-93, 1986.
- AOAC. Official Methods of Analysis. Gaithersburg, MD: **Association of Official Analytical Chemists**. 2016.
- BALDIM, I. **Desenvolvimento tecnológico e secagem de sistemas lipídicos incorporando óleo essencial de Lippia sidoides**. São Paulo. 2017.
- BASTOS, L.; SILVA, C. **Estudo da formação de compostos carbonílicos, com ênfase em hidroxialdeídos α , β - insaturados, na fase líquida de óleo de soja aquecido e avaliação da influência de íons metálicos**. Salvador, p.148. 2014.
- BAZARIA, B.; KUMAR, P. Effect of whey protein concentrate as drying aid and drying parameters on physicochemical and functional properties of spray dried beetroot juice concentrate. **Food Bioscience**, v. 14, p. 21-27, 2016.
- BLANCO, M. J.; ALMENDROS, G. Chemical transformation, phytotoxicity and nutrient availability in progressive composting stages of wheat straw. **Plant and Soil**, v. 196, n. 1, p. 15-25, 1997.
- BRAGA, L. F.; SOUSA, M. P.; CAMPOS, S. C. B.; ISEPON, J. D. S. *et al.* Caracterização físico-química da sapota-do-solimões (*Quararibea cordata* (humb. & bonpl.) Vischer, bombacaceae). **Revista do Programa de Ciências Agro-Ambientais**, v. 1, 2, p. 32-39, 2003.
- BRETERNITZ, N. B. **Microencapsulação e aglomeração de hidrolisado proteico de carne de mexilhão para uso como aromatizante**. 2016.
- BURATTO, A. P. **Microencapsulação de polpa de feijoa (*acca sellowiana*) pelo processo de secagem por atomização (*spray drying*)**. Pato Branco. 2018.
- CAMPELO, P. H.; DO CARMO, E. L.; ZACARIAS, R. D.; YOSHIDA, M. I. *et al.* Effect of dextrose equivalent on physical and chemical properties of lime essential oil microparticles. **Industrial Crops and Products**, v. 102, p. 105-114, 2017.
- CAMPELO-FELIX, P. H.; SOUZA, H. J. B.; FIGUEIREDO, J. D.; FERNANDES, R. V. D. *et al.* Prebiotic Carbohydrates: Effect on Reconstitution, Storage, Release, and Antioxidant Properties of Lime Essential Oil Microparticles. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, n. 2, p. 445-453, 2017.
- CAPARINO, O. A.; TANG, J.; NINDO, C. I.; SABLANI, S. S. *et al.* Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 1, p. 135-148, 2012.
- CARMO, E. L. D.; TEODORO, R. A. R.; FÉLIX, P. H. C.; FERNANDES, R. V. D. B. *et al.* Stability of spray- dried beetroot extract using oligosaccharides and whey proteins. **Food chemistry**, v. 249, p. 51-59, 2018.

CARVALHO, A. G. D. S. **Estudo da inclusão de antocianinas de extrato da polpa de juçara ("Euterpe edulis" Martius) em partículas produzidas por spray drying e gelificação iônica.** 2017.

CARVALHO, V. S.; DAMIANI, C.; ASQUIERI, E. R. Produção de sorvete utilizando a polpa de sapota (*Quararibea cordata Vischer*). **Agrarian (Dourados, Brazil)**, v. 11, n. 40, p. 198-195, 2018.

CAVALCANTE, C. E. B.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Evaluation of the drying parameters of soursop pulp powder obtained by drying in a spray dryer. **Brazilian journal of food technology**, v. 20, 2017.

CAVALCANTE, P. B. **Frutas comestíveis da Amazônia.** 1991.

CHRANIOTI, C.; CHANIOTI, S.; TZIA, C. Comparison of spray, freeze and oven drying as a means of reducing bitter aftertaste of steviol glycosides (derived from *Stevia rebaudiana* Bertoni plant) - Evaluation of the final products. **Food Chemistry**, v. 190, p. 1151-1158, 2016.

CORRÊA-FILHO, L.; LOURENÇO, S.; DUARTE, D.; MOLDÃO-MARTINS, M. *et al.* Microencapsulation of Tomato (*Solanum lycopersicum L.*) Pomace Ethanolic Extract by Spray Drying: Optimization of Process Conditions. **Applied Sciences**, v. 9, n. 3, 2019.

COSTA, J. M. G.; BORGES, S. V.; HIJO, A. A. C. T.; SILVA, E. K. *et al.* Matrix structure selection in the microparticles of essential oil oregano produced by spray dryer. **Journal of Microencapsulation**, v. 30, n. 8, p. 717-727, 2013.

CORTÉS-ROJAS, D. F. **Encapsulação de compostos bioativos de *Syzyguim aromaticum* em carreadores lipídicos sólidos.** Ribeirão Preto, p.157. 2015.

DIAS, C. O.; DOS SANTOS OPUSKI DE ALMEIDA, J.; PINTO, S. S.; DE OLIVEIRA SANTANA, F. C. *et al.* Development and physico-chemical characterization of microencapsulated bifidobacteria in passion fruit juice: A functional non-dairy product for probiotic delivery. **Food Bioscience**, v. 24, p. 26-36, 2018.

DING, Z.; TAO, T.; WANG, X.; PRAKASH, S. *et al.* Influences of different carbohydrates as wall material on powder characteristics, encapsulation efficiency, stability and degradation kinetics of microencapsulated lutein by spray drying. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 7, p. 2872-2882, 2020.

DÍAZ, M. J.; RUIZ-MONTOYA, M.; PALMA, A.; DE-PAZ, M.-V. Thermogravimetry Applicability in Compost and Composting Research: A Review. **Applied sciences**, v. 11, n. 1692, p. 1692, 2021.

DU, Q. W.; TANG, J. J.; XU, M. J.; LYU, F. *et al.* Whey protein and maltodextrin-stabilized oil-in-water emulsions: Effects of dextrose equivalent. **Food Chemistry**, 339, p. 9, 2021.

ELICHE-QUESADA, D.; CORPAS-IGLESIAS, F. A.; PÉREZ-VILLAREJO, L.; IGLESIAS-GODINO, F. J. Recycling of sawdust, spent earth from oil filtration, compost and marble residues for brick manufacturing. **Construction & building materials**, v. 34, n. C, p. 275-284, 2012.

ENCINA, C.; GIMENEZ, B.; MARQUEZ-RUIZ, G.; HOLGADO, F. *et al.* Hydroxypropyl-inulin as a novel encapsulating agent of fish oil by conventional and water-free spray drying. **Food Hydrocolloids**, v. 113, p. 10, 2021.

FERNANDES, R. V. D. B.; BORGES, S. V.; BOTREL, D. A. Gum arabic/ starch/ maltodextrin/ inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. **Carbohydrate polymers**, v. 101, n. 1, p. 524-532, 2014.

FERNANDES, R. V. D.; BOTREL, D. A.; SILVA, E. K.; BORGES, S. V. *et al.* Cashew gum and inulin: New alternative for ginger essential oil microencapsulation. **Carbohydrate Polymers**, v. 153, p. 133-142, 2016.

FERNANDES, R.; SILVA, E.; BORGES, S.; OLIVEIRA, C. *et al.* Proposing Novel Encapsulating Matrices for Spray- Dried Ginger Essential Oil from the Whey Protein Isolate-Inulin/ Maltodextrin Blends. **Food and Bioprocess Technology**, v. 10, n. 1, p. 115-130, 2017.

FIGUEIREDO, J. D. A. **Estabilidade dos compostos bioativos do extrato de camu-camu em pó**. Lavras. 2019.

FIGUEIREDO, J. D. A.; TEIXEIRA, M. A.; CAMPELO, P. H.; LAGO, A. M. T. *et al.* Encapsulation of camu- camu extracts using prebiotic biopolymers: Controlled release of bioactive compounds and effect on their physicochemical and thermal properties. **Food research international**, v. 137, 2020.

GAWALEK, J.; DOMIAN, E. Tapioca Dextrin as an Alternative Carrier in the Spray Drying of Fruit Juices-A Case Study of Chokeberry Powder. **Foods**, v. 9, n. 8, p. 15, 2020.

GAWALEK, J.; DOMIAN, E.; RYNIECKI, A.; BAKIER, S. Effects of the spray drying conditions of chokeberry (*Aronia melanocarpa* L.) juice concentrate on the physicochemical properties of powders. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 9, p. 1933-1941, 2017.

GOËLO, V.; CHAUMUN, M.; GONÇALVES, A.; ESTEVINHO, B. N. *et al.* Polysaccharide-based delivery systems for curcumin and turmeric powder encapsulation using a spray-drying process. **Powder Technology**, v. 370, p. 137-146, 2020.

HIJO, A. A. C. T.; COSTA, J. M. G.; SILVA, E. K.; AZEVEDO, V. M. *et al.* Understanding the Influence of Encapsulating Matrix on the Physical and Thermal Properties of Oregano Essential Oil Powder. **International Journal of Horticulture & Agriculture**, v. 2, p. 1-8, 2017.

HOSSEINI, S. F.; ZANDI, M.; REZAEI, M.; FARAHMANDGHAHI, F. Two-step method for encapsulation of oregano essential oil in chitosan nanoparticles: Preparation, characterization and in vitro release study. **Carbohydrate Polymers**, v. 95, n. 1, p. 50-56, 2013.

ISLAM, M. Z.; AYAMI, O.; KITAMURA, Y.; KOKAWA, M. *et al.* Micro wet milling and spray drying of whole mandarin powder and its characterization. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 15, n. 1, p. 851-861, 2021.

ISLAM, M. Z.; KITAMURA, Y.; YAMANO, Y.; KITAMURA, M. Effect of vacuum spray drying on the physicochemical properties, water sorption and glass transition phenomenon of orange juice powder. **Journal of food engineering**, v. 169, p. 131-140, 2016.

JINAPONG, N.; SUPHANTHARIKA, M.; JAMNONG, P. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. **Journal of Food Engineering**, v. 84, n. 2, p. 194-205, 2008.

KESHANI, S.; DAUD, W. R. W.; NOUROUZI, M. M.; NAMVAR, F. *et al.* Spray drying: An overview on wall deposition, process and modeling. **Journal of Food Engineering**, v. 146, p. 152-162, 2015.

KING, C. J. Physical and chemical properties governing volatilization of flavor and aroma components. **Physical properties of foods**, p. 399-421, 1983.

KOVATS, E. Gas chromatographic characterization of organic compounds, I. Retention indices of aliphatic halides, alcohols, aldehydes and ketones. **Microchemical journal**, v. 3, n. 4, 1959.

LI, K. X.; PAN, B. W.; MA, L. J.; MIAO, S. *et al.* Effect of Dextrose Equivalent on Maltodextrin/Whey Protein Spray-Dried Powder Microcapsules and Dynamic Release of Loaded Flavor during Storage and Powder Rehydration. **Foods**, 9, n. 12, p. 18, 2020.

LIM, Y. H.; SIOW, L. F. Spray Dried Xanthone in Oil Emulsion Using Inulin as Wall Material. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 4, 2017.

LIMA, E.; MADALÃO, M.; SANTOS, W.; BERNARDES, P. *et al.* Spray-dried microcapsules of anthocyanin-rich extracts from *Euterpe edulis* M. as an alternative for maintaining color and bioactive compounds in dairy beverages. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 9, p. 4147-4157, 2019.

MAGRI, G.; FRANZÉ, S.; MUSAZZI, U. M.; SELMIN, F. *et al.* Data on spray- drying processing to optimize the yield of materials sensitive to heat and moisture content. **Data in brief**, v. 23, 2019.

MAHDAVI, S. A.; JAFARI, S. M.; ASSADPOOR, E.; DEHNAD, D. Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 85, p. 379-385, 2016.

MAIA, P. D. D. S. **Microencapsulamento do suco de caju (*anacardium occidentale, l.*) por spray drying, análise dos compostos antioxidantes e estabilidade.** p.69. 2014.

MOHAMED, N. A.; ABD EL-GHANY, N. A.; FAHMY, M. M. Thermogravimetric analysis in the evaluation of the inhibition of degradation of rigid poly(vinyl chloride) using biologically active phthalimido aromatic hydrazide derivatives. **Polymer Degradation and Stability**, v. 128, p. 46-54, 2016.

NAZ, S.; SHABBIR, M. A.; AADIL, R. M.; KHAN, M. R. *et al.* Effect of polymer and polymer blends on encapsulation efficiency of spray-dried microencapsulated flaxseed oil. **International Food Research Journal**, v. 27, n. 1, p. 78-87, 2020.

NEGRAO-MURAKAMI, A. N.; NUNES, G. L.; PINTO, S. S.; MURAKAMI, F. S. *et al.* Influence of DE-value of maltodextrin on the physicochemical properties, antioxidant activity, and storage stability of spray dried concentrated mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.). **Lwt-Food Science and Technology**, v. 79, p. 561-567, 2017.

OLIVEIRA, J. P.; BARROSO, L. A.; JÚLIO, A.; CAPARICA, R. *et al.* Preparation and characterization of microparticles loaded with seed oil of Caatinga passion fruit obtained by spray drying. **Biomedical and Biopharmaceutical Research**, v. 16, n. 1, p. 97-104, 2019.

PANDEY, P.; MISHRA, H. N. Co-microencapsulation of gamma-aminobutyric acid (GABA) and probiotic bacteria in thermostable and biocompatible exopolysaccharides matrix. **Lwt-Food Science and Technology**, v. 136, p. 10, 2021.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, n. 5, p. 1633-1644, 2007.

PIECZYKOLAN, E.; KUREK, M. A. Use of guar gum, gum arabic, pectin, beta- glucan and inulin for microencapsulation of anthocyanins from chokeberry. **International journal of biological macromolecules**, v. 129, p. 665-671, 2019.

PUI, L. P.; KARIM, R.; YUSOF, Y. A.; WONG, C. W. *et al.* Optimization of spray-drying parameters for the production of 'Cempedak' (*Artocarpus integer*) fruit powder. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 14, n. 6, p. 3238-3249, 2020.

RABELO, A. **Frutos nativos da Amazônia: comercializados nas feiras de Manaus- AM.** Manaus: INPA, 2012.

RIBEIRO, C. M. C. M.; MAGLIANO, L. C. S. A.; DE COSTA, M. M. A.; BEZERRA, T. K. A. *et al.* Optimization of the spray drying process conditions for acerola and seriguela juice mix. **Food Science and Technology**, v. 39, p. 48-55, 2019.

RIETVELD, H.M.; J. Appl. **Crystallogr**, v. 2, p. 65-71, 1969.

RODRIGUES, F. R.; RAMOS, A. D. S.; AMARAL, A. C. F.; FERREIRA, J. L. P. *et al.* Evaluation of Amazon fruits: chemical and nutritional studies on Borojoa sorbilis. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 10, p. 3943-3952, 2018.

RUBILAR, M.; MORALES, E.; CONTRERAS, K.; CEBALLOS, C. *et al.* Development of a soup powder enriched with microencapsulated linseed oil as a source of omega-3 fatty acids. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 114, n. 4, p. 423-433, 2012.

SHINDE, B.; RAMASWAMY, H. S. Kinetic modeling of microwave osmotic dehydration of mangoes under continuous flow medium spray conditions using sucrose and maltodextrin (10-18 DE) solute mixtures. **Drying Technology**, v. 39, n. 6, p. 713-725, 2021.

SILVA, E. K.; MEIRELES, M. A. A. Influence of the degree of inulin polymerization on the ultrasound- assisted encapsulation of annatto seed oil. **Carbohydrate polymers**, v. 133, p. 578-586, 2015.

- SOUZA, M.; MESQUITA, A.; VERÍSSIMO, C.; GROSSO, C. *et al.* Microencapsulation by spray drying of a functional product with mixed juice of acerola and ciriguela fruits containing three probiotic lactobacilli. **Drying Technology**, 2020.
- TADINI, C. C.; TELIS, V. R. N.; MEIRELLES, A. J. D. A.; FILHO, P. D. A. P. Operações Unitárias na Indústria de Alimentos. 1 ed. 2017. 509 p.
- TANGARIFE, D. P. C.; ARIAS, L. P. P.; ZAPATA, A. M. O. Technological aspects of the microencapsulation bioactive food compounds by spray-drying. **Revista Corpoica-Ciencia Y Tecnologia Agropecuaria**, v. 22, n. 1, p. 20, 2021.
- TOLEDO HIJO, A.; COSTA, J.; SILVA, E. K.; AZEVEDO, V. *et al.* Understanding the Influence of Encapsulating Matrix on the Physical and Thermal Properties of Oregano Essential Oil Powder. **International Journal of Horticulture & Agriculture**, v. 2, p. 1-8, 2017.
- TONTUL, I.; TOPUZ, A. Influence of emulsion composition and ultrasonication time on flaxseed oil powder properties. **Powder Technology**, v. 264, p. 54-60, 2014.
- TONTUL, I.; TOPUZ, A. Spray-drying of fruit and vegetable juices: Effect of drying conditions on the product yield and physical properties. **Trends in Food Science & Technology**, v. 63, p. 91-102, 2017.
- VYVYAN, J. R.; PAVIA, D. L.; LAMPMAN, G. M.; KRIZ, G. S. **Introdução à Espectroscopia**. 2016.
- WANG, B.; LIU, F.; XIANG, J.; HE, Y. *et al.* A critical review of spray-dried amorphous pharmaceuticals: Synthesis, analysis and application. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 594, 2021.
- WU, L.; ZHANG, M.; LIU, Y.; SUN, Q. Characteristics and release of monosodium glutamate microcapsules obtained by spray drying. **Drying Technology**, v. 37, n. 11, p. 1340-1351, 2019.
- XU, D.; XU, Y.; LIU, G.; HOU, Z. *et al.* Effect of carrier agents on the physical properties and morphology of spray-dried Monascus pigment powder. **Food science & technology**, v. 98, p. 299-305, 2018.