



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

JOÃO VITOR FONSECA FEITOZA

POLPA DE TAMARINDO (*Tamarindus indica* L.) EM PÓ: OBTENÇÃO EM *SPRAY*
***DRYER* E APLICAÇÃO EM *SMOOTHIE* DE FRUTAS**

FORTALEZA

2025

JOÃO VITOR FONSECA FEITOZA

POLPA DE TAMARINDO (*Tamarindus indica* L.) EM PÓ: OBTENÇÃO EM *SPRAY*
DRYER E APLICAÇÃO EM *SMOOTHIE* DE FRUTAS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de concentração: Ciência e Tecnologia de Produtos de Origem Vegetal.

Orientador: Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso.

Coorientadora: Dr^a. Andrea Cardoso de Aquino.

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- F335p Feitoza, João Vitor Fonseca.
 Polpa de tamarindo (*Tamarindus indica* L.) em pó: obtenção em spray dryer e aplicação em smoothie de frutas / João Vitor Fonseca Feitoza. – 2025.
 222 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2025.
 Orientação: Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso.
 Coorientação: Profª. Dra. Andrea Cardoso de Aquino.
1. adjuvantes. 2. atomização. 3. bebida vegetal. 4. polpa em pó. 5. secagem. I. Título.
- CDD 664
-

JOÃO VITOR FONSECA FEITOZA

POLPA DE TAMARINDO (*Tamarindus indica* L.) EM PÓ: OBTENÇÃO EM *SPRAY*
DRYER E APLICAÇÃO EM *SMOOTHIE* DE FRUTAS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de concentração: Ciência e Tecnologia de Produtos de Origem Vegetal.

Aprovada em: 25 de Abril de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso (Orientador)
Departamento de Engenharia de Alimentos (DEAL/CCA/UFC)

Prof^a. Dr^a. Sueli Rodrigues (Examinador Interno)
Departamento de Engenharia de Alimentos (DEAL/CCA/UFC)

Prof. Dr. Italo Waldimiro Lima de Franca (Examinador Externo ao Programa)
Departamento de Engenharia de Alimentos (DEAL/CCA/UFC)

Prof. Dr. Julio Cesar Barbosa Rocha (Examinador Externo ao Programa)
Departamento de Engenharia de Alimentos (DEAL/CCA/UFC)

Prof. Dr. Luís Gomes de Moura Neto (Examinador Externo à Instituição)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB)

“A Deus, por se fazer incrível e inexplicável em minha vida. Aos meus pais, Francisco de Assis Feitoza e Deusedite da Fonseca Feitoza, por todo amor e dedicação em minha criação e educação. Aos meus irmãos, Diogo e Bruno, por todo o apoio. A minha sobrinha, Milena, por todo amor que me transmite”.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao Pai, ao Filho e ao Espírito Santo, por todas as vezes em que pude perceber suas ações de bênçãos durante toda minha vida pessoal, acadêmica e profissional. Agradeço imensamente!

Aos meus pais, Francisco de Assis Feitoza e Deusedite da Fonseca Feitoza, por tudo o que fizeram e fazem por amor a nossa família. Aos meus irmãos, Diogo Fonseca Feitosa e Bruno Fonsêca Feitosa, em especial a Bruno, por ser meu incentivador, amigo de profissão e por sempre estar me ajudando a crescer pessoalmente e profissionalmente. Desejo-lhes muitas vitórias e contem sempre comigo!

Ao professor orientador, Dr. Marcos Afonso, por sempre ter sido um orientador exemplar. Sua serenidade, comprometimento com a pesquisa, compreensão com os desafios pessoais e profissionais dos discentes, calma e disposição em ajudar para além de sua obrigação o tornam um grande e inspirador profissional. Sinto-me agraciado!

Aos Laboratórios de Controle de Qualidade e Secagem de Alimentos (LACONSA) e Refrigeração de Alimentos por terem sido minha segunda casa em Fortaleza entre 2022 e parte de 2024.

À professora Dr^a. Andrea Aquino por ter aceitado ser minha coorientadora e por ter dado todo o suporte a pesquisa como coordenadora do LACONSA. Seu profissionalismo, carinho, companheirismo e excelente forma de tratar todos os discentes que frequentam o LACONSA são admiráveis.

À toda minha turma de amigos do LACONSA, principalmente Ana Paula Rodrigues, Carlota Souza e Rosenildo dos Santos por terem me ajudado na pesquisa desde o início. Vocês foram excelentes amigos durante essa jornada. Não consigo imaginar como teria sido tudo sem vocês por perto. Desejo muito sucesso a vocês. Contem comigo sempre!

As minhas amigas de doutorado Maria Tereza Lucena, Sâmela Leal, Elizabeth Mariano, Amélia Nascimento e Nayane Lima e ao meu amigo João Pedro Gomes, pelo companheirismo e momentos de lazer em Fortaleza. Foram experiências que jamais esqueerei.

Aos Laboratórios de Frutos (LabFrut), de Biotecnologia (Labiotec), Microbiologia de Alimentos (LMA), Restaurante Universitário, Biblioteca Central, bem como a Central Analítica da UFC, por terem dado um excelente suporte a pesquisa.

Aos técnicos de laboratórios do PPGCTA, principalmente ao Dr. Fernando Lima e Sandra dos Santos pelo suporte nas análises.

A todos os discentes que estagiaram no LACONSA, pelo suporte nas análises e zelo pela minha pesquisa.

A todos os servidores terceirizados da UFC e em especial do CCA/DEAL/PPGCTA, principalmente a Dona Francisca Cardoso, pela luta diária em nos oferecer o melhor ambiente de estudo e trabalho possível, além de ser uma excelente aconselhadora.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelas bolsas concedidas durante 36 meses de curso, até minha contratação pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), *Campus* Pau dos Ferros, como professor substituto em julho de 2024. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao IFRN, em especial as salas 17 e 38, onde passei muitas horas escrevendo a tese.

Aos membros do grupo dos “Bolsistas Capes” no Facebook, por sempre compartilharem histórias incríveis de experiências e superações vividas na Pós-Graduação e por todos os conselhos e palavras de ânimo e incentivo dadas aos Pós-Graduandos.

À minha sobrinha Milena, a quem procuro ser um exemplo de vida e por ser mais um motivo especial para as minhas dedicações.

A todos que diretamente e/ou indiretamente me ajudaram a alcançar o título de doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFC. Meu muito obrigado!

RESUMO

A polpa de tamarindo (*Tamarindus indica* L.), (PT), pode ser comercializada em pó e como ingrediente em bebidas. Justifica-se este trabalho pela necessidade de agregar valor à PT e ampliar sua aplicação em alimentos com alegações funcionais. Com isso, objetivou-se produzir pós da polpa de tamarindo (PPT) em *spray dryer* e avaliar suas propriedades físico-químicas, morfológicas e de fluidez a fim de aplicar em *smoothie* de frutas. O tema secagem de tamarindo é estudado desde 1993, sendo explorado principalmente na área de ciência e tecnologia de alimentos. Neste estudo, ao avaliar o efeito da temperatura de secagem e adição dos adjuvantes maltodextrina, inulina e proteína isolada do soro de leite (PISL), em proporções iguais, sobre as propriedades da PT por meio do Delineamento Composto Central Rotacional, observou-se que a melhor condição foi seca a 174,2 °C com 20% de adjuvantes, apresentando partículas circulares, lisas e rugosas, sem aglomeração e de fácil escoamento. Os efeitos dos três adjuvantes na PT foram analisados individualmente quanto à umidade, higroscopicidade, rendimento, solubilidade, polifenóis extraíveis totais (PET), cor (L^* , a^* e b^*), morfologia das partículas e fluidez, utilizando o *Powder Flow Tester*. Umidade, rendimento, solubilidade, PET e b^* foram significativos ($p \leq 0,05$). O PPT contendo PISL apresentou a menor solubilidade (80,26%) e o maior rendimento (35,21%). O PPT com inulina apresentou o maior teor de PET (355,21 mg de EAG.100 g⁻¹ b.s), com retenção de 25,24%. A geometria esférica foi predominante, mas com rugosidades e menores aglomerações no PPT contendo PISL. Os PPT contendo PISL, maltodextrina e inulina foram classificados como de fácil escoamento, coesivo e muito coesivo, respectivamente. Os parâmetros de fluidez apresentaram elevadas correlações lineares entre si ($p \leq 0,01$). Em seguida, buscou-se obter PPT utilizando o delineamento experimental de misturas, *Simplex Centroide* Aumentado. O PPT contendo PISL teve forte influência nas maiores umidades, rendimentos, menores higroscopicidades, solubilidades e L^* ($p \leq 0,05$). A inulina contribuiu pouco no rendimento, mas promoveu maior solubilidade quando misturada a maltodextrina. A PISL é o adjuvante de maior destaque e mais bem otimizado para a mistura com maltodextrina (5:5 g.g⁻¹, melhor condição), apresentando fácil escoamento. Durante 240 dias de armazenamento, a melhor condição apresentou redução nos teores de solubilidade, higroscopicidade e PET, mas aumento da umidade e do pH ($p \leq 0,05$). Ao ser aplicado o PPT da melhor condição em *smoothie* a base de polpas de banana, melão e graviola nas proporções de 5% (T5%) e 10% (T10%), a T10% apresentou o maior valor energético (85,52 kcal.100 g⁻¹), de carboidratos (15,88%), proteínas (3,97%), lipídeos (0,68%), cinzas (0,50%) e PET (166,77 mg de EAG.100 g⁻¹). Todas as formulações apresentaram-se

como fluidos pseudoplásticos ($n < 1$), não-Newtonianos, com maior estabilidade microbiológica em embalagens de vidro até o 7º dia de armazenamento refrigerado (4 °C). A Controle foi estatisticamente igual a T5% para todos os atributos sensoriais ($> 6,0$) ($p > 0,05$), tendo obtido 74,78 e 71,90% de índice de aceitabilidade global, respectivamente. Portanto, o *smoothie* contendo até 5% do PPT é viável para comercialização.

Palavras-chave: adjuvantes; atomização; bebida vegetal; polpa em pó; secagem.

ABSTRACT

Tamarind pulp (*Tamarindus indica* L.), (PT), can be marketed in powder form and as an ingredient in beverages. This work is justified by the need to add value to the PT and expand its application in foods with functional claims. With this, the objective was to produce tamarind pulp powders (PPT) in spray dryer and evaluate its physicochemical, morphological and fluidity properties in order to apply it in fruit smoothie. The topic of tamarind drying has been studied since 1993, being explored mainly in the area of food science and technology. In this study, when evaluating the effect of drying temperature and addition of the adjuvants maltodextrin, inulin and whey protein isolate (WPI), in equal proportions, on the properties of PT by means of the Central Rotational Composite Design, it was observed that the best condition was dried at 174.2 °C with 20% of adjuvants, presenting circular particles, smooth and rough, without agglomeration and easy to drain. The effects of the three adjuvants on PT were analyzed individually regarding moisture, hygroscopicity, yield, solubility, total extractable polyphenols (TEP), color (L^* , a^* and b^*), particle morphology and fluidity, using the Powder Flow Tester. Moisture, yield, solubility, TEP and b^* were significant ($p \leq 0.05$). The PPT containing WPI had the lowest solubility (80.26%) and the highest yield (35.21%). The PPT with inulin showed the highest TEP content (355.21 mg of GAE.100 g⁻¹ b.s), with retention of 25.24%. The spherical geometry was predominant, but with roughness and smaller agglomerations in the PPT containing WPI. The PPT containing WPI, maltodextrin and inulin were classified as easy to flow, cohesive and very cohesive, respectively. The flow parameters showed high linear correlations with each other ($p \leq 0.01$). Then, we sought to obtain PPT using the experimental design of mixtures, Augmented Centroid Simplex element. The PPT containing WPI had a strong influence on the higher moistures, yields, lower hygroscopicities, solubilities and L^* ($p \leq 0.05$). Inulin contributed little to the yield, but promoted greater solubility when mixed with maltodextrin. WPI is the most prominent and best optimized adjuvant for mixing with maltodextrin (5:5 g.g⁻¹, best condition), presenting easy flow. During 240 days of storage, the best condition showed a reduction in solubility, hygroscopicity and TEP contents, but an increase in moisture and pH ($p \leq 0.05$). When the PPT of the best condition was applied to a smoothie based on banana, melon and soursop pulps in the proportions of 5% (T5%) and 10% (T10%), T10% presented the highest energy value (85.52 kcal.100 g⁻¹), carbohydrates (15.88%), proteins (3.97%), lipids (0.68%), ashes (0.50%) and TEP (166.77 mg of GAE.100 g⁻¹). All formulations were non-Newtonian pseudoplastic fluids ($n < 1$), with greater microbiological stability in glass packages until the 7th day of cold storage (4 °C). Control was

statistically equal to T5% for all sensory attributes (> 6.0) ($p > 0.05$), with a global acceptability index of 74.78 and 71.90%, respectively. Therefore, the smoothie containing up to 5% of the PPT is viable for marketing.

Keywords: adjuvants; atomization; vegetable drink; powdered pulp; drying.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Fluxograma da estrutura geral de revisão da PT, obtenção e estudo dos PPT e aplicação nos <i>smoothies</i>	29
Figura 2 –	Tendências de publicação e citação por ano relacionadas a secagem de PT.....	35
Figura 3 –	(A) Mapa de visualização de rede de colaboração entre países de acordo com a coautoria. (B) Mapa de visualização de rede de colaboração entre instituições nacionais e internacionais de acordo com a coautoria. (C) Mapa de visualização de rede de colaboração entre instituições nacionais de acordo com a coautoria.....	38
Figura 4 –	Mapa de visualização de rede de colaboração entre países da Ásia e Europa de acordo com a coautoria.....	39
Figura 5 –	Mapa de visualização de rede de colaboração entre autores.....	40
Figura 6 -	Co-ocorrência entre palavras-chave do documento (mapa de visualização Overlay).....	43
Figura 7 -	(A) Tamarindeiro e (B) seus frutos.....	45
Figura 8 -	Diagrama esquemático de um <i>spray dryer</i>	48
Figura 9 -	Estrutura química da maltodextrina.....	51
Figura 10 –	Estrutura química da inulina.....	52
Figura 11 –	PT estudada (A) na embalagem original e (B) fora da embalagem.....	62
Figura 12 –	(A) Equipamento <i>spray dryer</i> LM MSD 1.0, Labmaq, utilizado nesta pesquisa e (B) embalagem flexível laminada de PEAD utilizada no armazenamento dos PPT.....	66
Figura 13 –	Equipamento de <i>Powder Flow Tester</i>	70
Figura 14 –	Efeito estimado da adição dos adjuvantes e da temperatura do ar de secagem na umidade de PT obtido em <i>spray dryer</i>	77
Figura 15 –	(A) curva de contorno e (B) superfície de resposta da umidade do PPT obtido em <i>spray dryer</i>	79
Figura 16 –	Efeito estimado da adição dos adjuvantes e da temperatura do ar de secagem no rendimento do PPT obtido em <i>spray dryer</i>	80
Figura 17 –	Efeito estimado da adição dos adjuvantes e da temperatura do ar de secagem na solubilidade do PPT obtido em <i>spray dryer</i>	81

Figura 18 –	(A) curva de contorno e (B) superfície de resposta da solubilidade do PPT obtido em <i>spray dryer</i>	82
Figura 19 –	Efeito estimado da adição dos adjuvantes e da temperatura do ar de secagem na higroscopicidade do PPT obtido em <i>spray dryer</i>	83
Figura 20 –	(A) curva de contorno e (B) superfície de resposta da higroscopicidade do PPT obtido em <i>spray dryer</i>	84
Figura 21	Efeito estimado da adição dos adjuvantes e da temperatura do ar de secagem nos PET do PPT obtido em <i>spray dryer</i>	86
Figura 22 –	Efeito estimado da adição dos adjuvantes e da temperatura do ar de secagem na (A) luminosidade (L^*), (B) parâmetro de cor a^* e (C) parâmetro de cor b^* do PPT obtido em <i>spray dryer</i>	87
Figura 23 –	(A) curva de contorno e (B) superfície de resposta do parâmetro de cor a^* do PPT obtido em <i>spray dryer</i>	88
Figura 24 –	(A) curva de contorno e (B) superfície de resposta do parâmetro de cor b^* do PPT obtido em <i>spray dryer</i>	89
Figura 25 –	Micrografias (A) 800x e (B) 2000x das partículas do PPT pulverizada a 174,2 °C, contendo 20% de maltodextrina, inulina e PISL, em iguais proporções.....	90
Figura 26 –	Tensão não confinada de deslizamento (σ_c) em função da tensão principal de consolidação (σ_1) do PPT pulverizado a 174,2 °C, contendo 20% de maltodextrina, inulina e PISL, em iguais proporções.....	91
Figura 27 –	Análise de Componentes Principais (ACP) dos parâmetros físico-químicos e de fluidez dos PPT contendo 20% de maltodextrina, inulina e PISL.....	105
Figura 28 –	PPT obtidos em <i>spray dryer</i> a 174,2 °C, contendo 20% de maltodextrina (A), inulina (B) e PISL (C).....	106
Figura 29 –	Micrografias (800 e 2000x) das partículas dos PPT contendo 20% de maltodextrina (A e B), inulina (C e D) e PISL (E e F).....	111
Figura 30 –	Tensão não confinada de deslizamento (σ_c) em função da tensão principal de consolidação (σ_1) dos PPT contendo 20% de maltodextrina, inulina e PISL.....	113
Figura 31 –	I_f dos PPT contendo 20% de maltodextrina, inulina e PISL.....	114

Figura 32 –	Densidades aparente e compactada dos PPT contendo 20% de maltodextrina, inulina e PISL.....	115
Figura 33 –	IC e RH dos PPT contendo 20% de maltodextrina, inulina e PISL...	117
Figura 34 –	Ângulos de atrito da parede do pó de polpa de tamarindo obtido em <i>spray dryer</i> contendo 20% (g. g ⁻¹) de maltodextrina, inulina e PISL.	118
Figura 35 –	Diagrama ternário da umidade do PPT obtido em <i>spray dryer</i>	135
Figura 36 –	Diagrama ternário do rendimento do PPT obtido em <i>spray dryer</i>	137
Figura 37 –	Diagrama ternário da solubilidade do PPT obtido em <i>spray dryer</i>	139
Figura 38 –	Diagrama ternário da higroscopicidade do PPT obtido em <i>spray dryer</i>	141
Figura 39 –	Diagrama ternário dos polifenóis extraíveis totais PPT obtido em <i>spray dryer</i>	143
Figura 40 –	Diagrama ternário do parâmetro de cor <i>L*</i> do ppt obtido em <i>spray dryer</i>	146
Figura 41 –	Diagrama ternário do parâmetro de cor <i>a*</i> do PPT obtido em <i>spray dryer</i>	146
Figura 42 –	Diagrama ternário do parâmetro de cor <i>b*</i> do PPT obtido em <i>spray dryer</i>	147
Figura 43 –	Regressão da tensão não confinada de deslizamento (σ_c) em função da tensão principal de consolidação (σ_1) do PPT obtido em <i>spray dryer</i> contendo 50% de maltodextrina e 50% de PISL.....	150
Figura 44 –	Estabilidade do PPT obtido em <i>spray dryer</i> contendo 50% de maltodextrina e 50% de PISL para (A) umidade, (B) pH, (C) solubilidade, (D) higroscopicidade e (E) PET.....	152
Figura 45 –	Parâmetros de cor (A) <i>L*</i> , (B) <i>a*</i> e (C) <i>b*</i> dos <i>smoothies</i> contendo PPT.....	176
Figura 46 –	Relação entre viscosidade aparente (Pa.s) versus taxa de cisalhamento (s ⁻¹) e a tensão de cisalhamento (Pa) versus a taxa de cisalhamento (s ⁻¹) dos <i>smoothies</i> contendo PPT para os dias 0 (A e B), 7 (C e D), 14 (E e F), 21 (G e H) e 28 (I e J) de armazenamento refrigerado, respectivamente.....	182
Figura 47 –	Análise de Componente Principal (ACP) para atributos CATA (<i>Check-All-ThatApply</i>) dos <i>smoothies</i> contendo PPT.....	188

Figura 48 – Índices de aceitabilidade das bebidas do tipo <i>smoothie</i>	189
--	-----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Países, instituições, autores e áreas de pesquisa que mais publicaram sobre secagem de PT.....	36
Tabela 2 –	Os 10 artigos com maior número de citações.	41
Tabela 3 –	Níveis do DCCR utilizado para secagem de PT em <i>spray dryer</i>	66
Tabela 4 –	Planejamento fatorial completo 2 ² mais pontos axiais.....	66
Tabela 5 –	Classificação do tipo de fluxo.....	71
Tabela 6 –	Caracterização físico-química da PT.....	72
Tabela 7 –	Resultados do DCCR para secagem de PT em <i>spray dryer</i>	76
Tabela 8 –	ANOVA do modelo de regressão para a variável umidade.....	78
Tabela 9 –	ANOVA do modelo de regressão para a variável solubilidade.....	81
Tabela 10 –	ANOVA do modelo de regressão para a variável higroscopicidade.....	83
Tabela 11 –	ANOVA do modelo de regressão para a variável de cor <i>a</i> *.....	87
Tabela 12 –	ANOVA do modelo de regressão para a variável de cor <i>b</i> *.....	87
Tabela 13 –	Tensão principal de consolidação (σ_1) e tensão inconfínada de deslizamento (σ_c) do PPT pulverizado a 174,2 °C, contendo 20% de maltodextrina, inulina e PISL.....	91
Tabela 14 –	Densidades, ângulos de atrito de parede, índice de fluxo, índice de compressibilidade e razão de Hausner do pó da polpa de tamarindo pulverizada a 174,2 °C, contendo 20% de maltodextrina, inulina e PISL, em iguais proporções.....	92
Tabela 15 –	Classificação do tipo de fluxo.....	103
Tabela 16 –	Parâmetros físico-químicos dos PPT contendo 20% de maltodextrina, inulina e PISL.....	106
Tabela 17 –	Tensão principal de consolidação (σ_1) e tensão inconfínada de deslizamento (σ_c) dos PPT contendo 20% maltodextrina, inulina e PISL.....	112
Tabela 18 –	Correlação de Pearson entre os parâmetros físico-químicos e de fluidez do PPT com o adjuvante PISL.....	120
Tabela 19 –	Delineamento de mistura <i>Simplex Centroides</i> Aumentado dos adjuvantes de secagem do PPT em <i>spray dryer</i>	127
Tabela 20 –	Classificação do tipo de fluxo.....	131

Tabela 21 –	Resultados do planejamento experimental Simplex Centroide Aumentado para secagem de PT em <i>spray dryer</i>	132
Tabela 22 –	Efeito estimado da adição dos adjuvantes na umidade do PPT obtido em <i>spray dryer</i>	133
Tabela 23 –	ANOVA do modelo de regressão para a variável umidade.....	134
Tabela 24 –	Efeito estimado da adição dos adjuvantes no rendimento do PPT obtido em <i>spray dryer</i>	135
Tabela 25 –	ANOVA do modelo de regressão para a variável rendimento.....	136
Tabela 26 –	Efeito estimado da adição dos adjuvantes na solubilidade do PPT obtido em <i>spray dryer</i>	137
Tabela 27 –	ANOVA do modelo de regressão para a variável solubilidade.....	138
Tabela 28 –	Efeito estimado da adição dos adjuvantes na higroscopicidade do PPT obtido em <i>spray dryer</i>	139
Tabela 29 –	ANOVA do modelo de regressão para a variável higroscopicidade....	140
Tabela 30 –	Efeito estimado da adição dos adjuvantes dos PET do PPT obtido em <i>spray dryer</i>	141
Tabela 31 –	ANOVA do modelo de regressão para a variável polifenóis extraíveis totais.....	142
Tabela 32 –	Efeito estimado da adição dos adjuvantes no parâmetro de cor L^* do PPT obtido em <i>spray dryer</i>	143
Tabela 33 –	Efeito estimado da adição dos adjuvantes no parâmetro de cor a^* PPT obtido em <i>spray dryer</i>	143
Tabela 34 –	Efeito estimado da adição dos adjuvantes no parâmetro de cor b^* PPT obtido em <i>spray dryer</i>	144
Tabela 35 –	ANOVA do modelo de regressão para a variável luminosidade L^*	144
Tabela 36 –	ANOVA do modelo de regressão para a variável a^*	144
Tabela 37 –	ANOVA do modelo de regressão para a variável b^*	145
Tabela 38 –	Caracterização físico-química do PPT obtido em <i>spray dryer</i> contendo 50% de maltodextrina e 50% de PISL.....	148
Tabela 39 –	Tensão principal de consolidação (σ_1) e tensão inconfínada de deslizamento (σ_c) do pó de polpa de tamarindo obtido em <i>spray dryer</i> contendo 50% de maltodextrina e 50% de PISL.....	150

Tabela 40 –	Densidades, ângulos de atrito de parede, I_f , IC e RH do PPT obtido em <i>spray dryer</i> contendo 50% de maltodextrina e 50% de PISL.....	151
Tabela 41 –	Composição centesimal, bioativa e valor energético dos <i>smoothies</i> contendo PPT.....	168
Tabela 42 –	Efeito dos dias de armazenamento, formulações e embalagens na a_w e SST dos <i>smoothies</i> contendo PPT.....	172
Tabela 43 –	Efeito dos dias de armazenamento, formulações e embalagens no pH e ATT dos <i>smoothies</i> contendo PPT.....	175
Tabela 44 –	Índice de consistência (K) e índice de comportamento (n) dos <i>smoothies</i> contendo PPT.....	180
Tabela 45 –	Qualidade microbiológica dos <i>smoothies</i> contendo PPT.....	185
Tabela 46 –	Escores médios para avaliação de aceitação sensorial e intenção de compra dos <i>smoothies</i> contendo PPT.....	186

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AOAC	<i>Association of Official Analytical Chemists</i>
ANOVA	Análise de variância
ATT	Acidez total titulável
BS	Base seca
CE	Paraíba
CIELab	<i>Commission Internationale de L'eclairage</i>
CLAE	Cromatografia Líquida de Alta Eficiência
CCA	Centro de Ciências Agrárias
DE	Dextrose equivalente
DCCR	Delineamento Composto Central Rotacional
EAG	Equivalente grama de ácido gálico
Eq	Equação
<i>et al</i>	E colaboradores
IC	Índice de compressibilidade
LACONSA	Laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
Min	Minuto
nº	Número
PFT	<i>Powder Flow Test</i>
PISL	Proteína Isolada do Soro de Leite
PIQ	Padrão de Identidade e Qualidade
PT	Polpa de tamarindo
PPT	Pó de polpa de tamarindo
RDC	Resolução da diretoria colegiada
RH	Razão de Hausner
rpm	Rotação por minuto
UFC	Universidade Federal do Ceará

LISTA DE SÍMBOLOS

a_w	Atividade de água
a^*	Intensidade de cor (- a^* : verde e + a^* : vermelho)
b^*	Intensidade de cor (- b^* : azul e + b^* : amarelo)
°Brix	Graus Brix
°C	Graus Celsius
Ca	Cálcio
Fe	Ferro
G	Grama
H	Hora
HCl	Ácido clorídrico
IC	Índice de compressibilidade
K	Índice de consistência
kcal	Kilocaloria
Kg	Kilograma
kPa	Kilopascal
L	Litro
L^*	Luminosidade
Mg	Miligrama
M	Molar
Mg	Magnésio
mL	Mililitro
m^3	Metro cúbico
nm	Nanômetro
N	Normal
n	Índice de comportamento
NaCl	Cloreto de sódio
pH	Potencial hidrogeniônico
%	Porcentagem
psi	Libra-força por polegada quadrada
R^2	Coefficiente de determinação
R	Coefficiente de Pearson
Mg	Micrograma

μL	Microlitro
v	Volume
Zn	Zinco
<	Menor
$\leq$	Menor ou igual
>	Maior

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	25
2	OBJETIVO.....	28
2.1	Objetivo geral.....	28
2.2	Objetivos específicos.....	28
3	ESTRUTURA GERAL.....	29
4	SECAGEM DE POLPA DE TAMARINDO: ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA E REVISÃO DE LITERATURA.....	31
4.1	Introdução.....	33
4.2	Metodologia.....	34
4.3	Análise Bibliométrica.....	34
4.3.1	<i>Estudo de publicações e citações: ano, área de publicação e cooperação entre países e instituições.....</i>	34
4.3.2	<i>Estudo de artigos mais citados, cooperação entre autores e palavras- chave.....</i>	40
4.4	Revisão de Literatura.....	43
4.4.1	<i>Tamarindo.....</i>	44
4.4.2	<i>Secagem de alimentos.....</i>	46
4.4.3	<i>Secador do tipo spray dryer.....</i>	47
4.4.4	<i>Adjuvantes de secagem.....</i>	49
4.4.4.1	<i>Maltodextrina.....</i>	50
4.4.4.2	<i>Inulina.....</i>	52
4.4.4.3	<i>Proteína do soro do leite (PSL).....</i>	53
4.4.5	<i>Smoothie.....</i>	55
4.5	Conclusão.....	57
5	PÓ DE POLPA DE TAMARINDO OBTIDO EM <i>SPRAY DRYER</i>	59
5.1	Introdução.....	61
5.2	Metodologia.....	62
5.2.1	<i>Material.....</i>	62
5.2.1.1	<i>Polpa de tamarindo (PT).....</i>	62
5.2.1.2	<i>Adjuvantes de secagem.....</i>	63
5.2.1.3	<i>Caracterização físico-química da PT.....</i>	63
5.2.1.4	<i>Secagem da PT em spray dryer.....</i>	65

5.2.3	Planejamento experimental e análises do PPT.....	66
5.2.3.1	<i>Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR).....</i>	66
5.2.3.2	<i>Caracterização físico-química dos PPT.....</i>	67
5.2.3.3	<i>Análises da condição escolhida.....</i>	69
5.2.4	Análise estatística.....	71
5.3	Resultados e Discussão.....	71
5.3.1	<i>Caracterização físico-química da PT.....</i>	71
5.3.2	<i>Planejamento experimental (DCCR).....</i>	75
5.3.3	<i>Condição de secagem escolhida para avaliação da morfologia e fluidez.....</i>	89
5.3.4	<i>Avaliação morfologia do PPT da condição escolhida.....</i>	89
5.3.5	<i>Fluidez do pó da condição escolhida.....</i>	90
5.4	Conclusão.....	93
6	INFLUÊNCIA DOS ADJUVANTES DE SECAGEM SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DO PÓ DA POLPA DE TAMARINDO OBTIDO EM <i>SPRAY DRYER</i>.....	95
6.1	Introdução.....	97
6.2	Metodologia.....	99
6.2.1	Material.....	99
6.2.1.1	<i>Polpa de Tamarindo (PT)</i>	99
6.2.1.2	<i>Adjuvantes de secagem.....</i>	99
6.2.2	Métodos.....	99
6.2.2.1	<i>Secagem da PT em spray dryer.....</i>	99
6.2.2.2	<i>Caracterização físico-química dos PPT.....</i>	100
6.2.3	Análise estatística.....	104
6.3	Resultados e Discussão.....	104
6.3.1	<i>Análise de componentes principais (PCA)</i>	104
6.3.2	<i>Caracterização físico-química dos PPT.....</i>	105
6.3.3	<i>Avaliação morfológica dos PPT.....</i>	110
6.3.4	<i>Avaliação da fluidez dos PPT.....</i>	112
6.3.4.1	<i>Índice de fluxo (I_f)</i>	114
6.3.4.2	<i>Densidade aparente e densidade compactada.....</i>	115
6.3.4.3	<i>Índice de compressibilidade (IC) e razão de Hausner (RH).....</i>	117
6.3.4.4	<i>Ângulos de atrito da parede mínimo e máximo.....</i>	118

6.3.5	<i>Correlação de Pearson</i>	119
6.4	Conclusão	121
7	AVALIAÇÃO DO PÓ DE POLPA DE TAMARINDO CONTENDO MISTURAS DE ADJUVANTES	122
7.1	Introdução	124
7.2	Metodologia	125
7.2.1	Material	125
7.2.1.1	<i>Polpa de tamarindo (PT)</i>	125
7.2.1.2	<i>Adjuvantes de secagem</i>	126
7.2.1.3	<i>Secagem da PT em spray dryer</i>	126
7.2.2	Planejamento experimental e análises do PPT	126
7.2.2.1	<i>Delineamento de mistura Simples Centroide Aumentado</i>	126
7.2.2.2	<i>Caracterização físico-química do PPT</i>	128
7.2.2.3	<i>Análises da condição escolhida</i>	129
7.2.2.4	<i>Fluidez da condição escolhida</i>	130
7.2.2.5	<i>Armazenamento da condição escolhida</i>	131
7.2.3	Análise estatística	131
7.3	Resultados e Discussão	131
7.3.1	Planejamento Experimental de misturas	131
7.3.2	Condição de secagem escolhida para caracterização físico-química, avaliação da fluidez e efeito do armazenamento	147
7.3.3	Caracterização físico-química da condição escolhida	148
7.3.4	Avaliação da fluidez da condição escolhida	149
7.3.5	Estabilidade da condição escolhida	152
7.4	Conclusão	156
8	SMOOTHIE ADICONADO DE PÓ DE POLPA DE TAMARINDO: EFEITO DO ARMAZENAMENTO EM DIFERENTES EMBALAGENS	157
8.1	Introdução	159
8.2	Metodologia	161
8.2.1	Material	161
8.2.1.1	<i>Polpa de tamarindo (PT)</i>	161
8.2.1.2	<i>Adjuvantes de secagem</i>	161

8.2.2	<i>Métodos</i>	161
8.2.2.1	<i>Secagem da polpa de tamarindo em spray dryer</i>	161
8.2.2.2	<i>Preparação das polpas de banana, melão e graviola</i>	162
8.2.2.3	<i>Elaboração dos smoothies</i>	162
8.2.2.4	<i>Envase e armazenamento dos smoothies formulados</i>	162
8.2.2.5	<i>Composição centesimal, bioativa e valor energético dos smoothies formulados</i>	163
8.2.2.6	<i>Estabilidade dos smoothies formulados</i>	164
8.2.2.7	<i>Análise sensorial</i>	166
8.2.3	<i>Análise estatística</i>	167
8.3	Resultados e Discussão	168
8.3.1	<i>Composição centesimal, bioativa e valor energético dos smoothies</i>	168
8.3.2	<i>Estabilidade dos smoothies</i>	171
8.3.2.1	<i>Qualidade físico-química durante o armazenamento refrigerado</i>	171
8.3.2.2	<i>Parâmetros de cor durante o armazenamento refrigerado</i>	176
8.3.2.3	<i>Análise reológica durante o armazenamento refrigerado</i>	178
8.3.2.4	<i>Qualidade microbiológica durante o armazenamento refrigerado</i>	183
8.3.2.5	<i>Análise sensorial</i>	186
8.4	Conclusão	190
9	CONCLUSÕES FINAIS	191
	REFERÊNCIAS	193
	APÊNDICE A – TABELAS DOS EFEITOS ESTIMADOS	214
	APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)	216
	APÊNDICE C – FICHA DE IDENTIFICAÇÃO E HÁBITOS DO AVALIADOR	217
	APÊNDICE D – FICHA DE AVALIAÇÃO DA ACEITAÇÃO E INTENÇÃO DE COMPRA	218
	APÊNDICE E – FICHA DE AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO PELO CATA	219
	ANEXO A – APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA	220

ANEXO B – RESUMO EXPANDIDO PUBLICADO NO CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS.....	221
ANEXO C – RESUMO EXPANDIDO PUBLICADO NO CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS.....	222

1 INTRODUÇÃO GERAL

A espécie *Tamarindus indica* L., da família Fabaceae, subfamília Caesalpinioideae, é uma árvore pertencente ao gênero *Tamarindus*, conhecida por ser uma importante frutífera, nativa do continente africano. Os frutos contêm cerca de 30% de polpa, 40% de sementes e 30% de casca. É conhecida pela presença de baixa umidade, quantidade de açúcares relativamente alta (30% - 40%), baixo pH (2,95 – 3,40), elevado teor de carboidratos, proteínas e minerais, o que a torna uma boa fonte de nutrientes na alimentação humana, apesar de não ser tão consumida na forma *in natura*. A polpa de tamarindo (PT) é normalmente disponibilizada industrialmente na forma concentrada, diluída em água e como ingrediente na forma de pó, possuindo um futuro comercial atraente para produção de bebidas (Singh; Wangchu; Moond, 2007; Sulieman *et al.*, 2015; Okello *et al.*, 2017; Okello *et al.*, 2018). Sua elevada perecibilidade exige o emprego de técnicas capazes de aumentar sua vida útil.

A secagem em secador do tipo *spray dryer* é uma técnica amplamente utilizada em indústrias alimentícias para produção comercial de alimentos em pó por possuir várias vantagens, incluindo rápida secagem, grande rendimento e operação contínua. Durante o processo de secagem por aspersão, a solução de alimentação é pulverizada em gotas em uma corrente de ar quente. As gotículas de líquido são secas instantaneamente e o produto acabado apresenta-se na forma de pó, grânulos ou aglomerados (Saravacos; Kostaropoulos, 2002; Nindo; Tang, 2007; Quek; Chok; Swedlund, 2007; Toledo, 2007; Caprino *et al.*, 2012; Muzaffar; Kumar, 2015). Ao avaliar a composição nutricional, as propriedades físico-químicas, antioxidantes, estruturais e reológicas do pó de polpa de tamarindo seco por atomização, Muzaffar, Dar e Kumar (2017) encontraram condições ideais de secagem que incluíam temperatura do ar de entrada de 170 °C, vazão de alimentação de 400 mL/h e concentração de 25% de proteína isolada de soja como adjuvante.

A produção do PPT por aspersão pode apresentar alguns problemas, como pegajosidade e higroscopicidade, sendo necessário o uso de agentes transportadores, também denominados de carreadores ou adjuvantes, para a realização da secagem. Logo, é sempre necessário investigar um agente adjuvante eficiente na produção de pó produzido por aspersão (Bhusari; Muzaffar; Kumar, 2014; Muzaffar; Kumar, 2016). Entre os principais indicadores de benefícios do emprego dos adjuvantes de secagem estão: melhoria do desempenho do secador (i); melhoria das propriedades da matriz alvo (ii); modulação do tamanho das partículas (iii); aumento do rendimento (iv); aumento da estabilidade do produto final (v); facilidade de manuseio, transporte e armazenamento (vi); maior proteção contra a adsorção de umidade do

ambiente (vii); e aumento da biodisponibilidade (viii). Para isso, espera-se que os compostos selecionados sejam inócuos, seguros, inertes quimicamente, com estabilidade térmica e oxidativa, baixa higroscopicidade e viscosidade, alta solubilidade e baixo custo (Muzaffar; Kumar, 2015; Oliveira *et al.*, 2018). Algumas características do material carreador devem ser consideradas, como solubilidade, desempenho emulsificante, baixa viscosidade, biodegradabilidade, higroscopicidade, preço competitivo, resistência ao trato gastrointestinal e biocompatibilidade com o material a ser encapsulado (Kuhn; Azevedo; Noreña, 2020).

Os pós de frutas possuem características muito diferentes da polpa ou suco, sendo assim, é importante o conhecimento de suas propriedades. Estes produtos são caracterizados por apresentarem altos teores de açúcares e ácidos de baixo peso molecular. Estes açúcares têm natureza hidrofílica e, em estado amorfo, podem gerar efeitos indesejáveis como alta higroscopicidade e tendência a aglomeração em temperaturas acima da temperatura de transição vítrea (T_g) (Alves; Afonso; Costa, 2020). Os principais componentes da PT incluem glicose, frutose e ácido tartárico, que apresentam T_g muito baixas - 31, 5 e 18 °C, respectivamente - em estado puro e seco, podendo grudar na parede da câmara durante a secagem, levando a baixo rendimento do processo e problemas operacionais (Muzaffar; Kumar, 2016). Devido a crescente demanda dos consumidores pela diversidade de produtos alimentícios e que resultou em um rápido desenvolvimento do mercado de ingredientes alimentares, torna-se importante o desenvolvimento de novos ingredientes naturais em pó que sejam atraentes e saudáveis e que possam ser adicionados a diferentes produtos alimentares (Bhandari *et al.*, 2013; Michalska *et al.*, 2016).

A utilização de polpas de frutas em pó no desenvolvimento de bebidas é apontada como um diferencial, uma vez que este é um mercado ascendente cujos consumidores estão relacionados a um estilo de vida mais saudável. *Smoothies* são bebidas misturadas que podem conter polpa de fruta, suco de fruta, vegetais, iogurte, leite ou mel. Essas bebidas são exemplos típicos da resposta da indústria alimentícia ao aumento da conscientização dos consumidores por alimentos mais saudáveis com ingredientes simples e rótulos limpos. *Smoothies* são matrizes complexas com uma grande variedade de frutas e, em alguns casos, com adição de elementos que influenciam as propriedades e a composição química do produto final (Nunes *et al.*, 2016).

O que se espera dos centros de pesquisa e das indústrias é a ampliação deste mercado, com a introdução de novos sabores e tecnologias para atender à crescente demanda por outros produtos de melhor qualidade sensorial e nutricional (Cesarone *et al.*, 2008). Na forma de pó, a PT tem muitas vantagens e potenciais econômicos, que incluem conveniente uso

em diferentes formulações de alimentos e baixo custo logístico devido à redução de peso e volume (Jittanit *et al.*; 2011; Muzaffar; Dar; Kumar, 2017), demonstrando ser um ingrediente interessante na formulação de *smoothie*, devido também ao seu baixo pH e elevada quantidade de minerais. Na literatura, não há relatos de estudos que tenham aplicado o PPT na formulação de *smoothie*, o que torna este tema inédito e de bastante interesse científico.

Além de trabalhos acadêmicos, as pesquisas sobre o desenvolvimento de bebidas têm gerado diversas patentes em nível mundial. Diante do exposto, objetiva-se com este trabalho obter o PPT em *spray dryer*, estudar as propriedades físico-químicas, morfológicas e de fluidez de diferentes adjuvantes e aplicar o PPT da melhor condição de secagem na formulação de bebidas tipo *smoothie*.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Obter e avaliar o pó da polpa de tamarindo (PPT) produzido em *spray dryer* e aplicá-lo em bebida tipo *smoothie* a base de frutas.

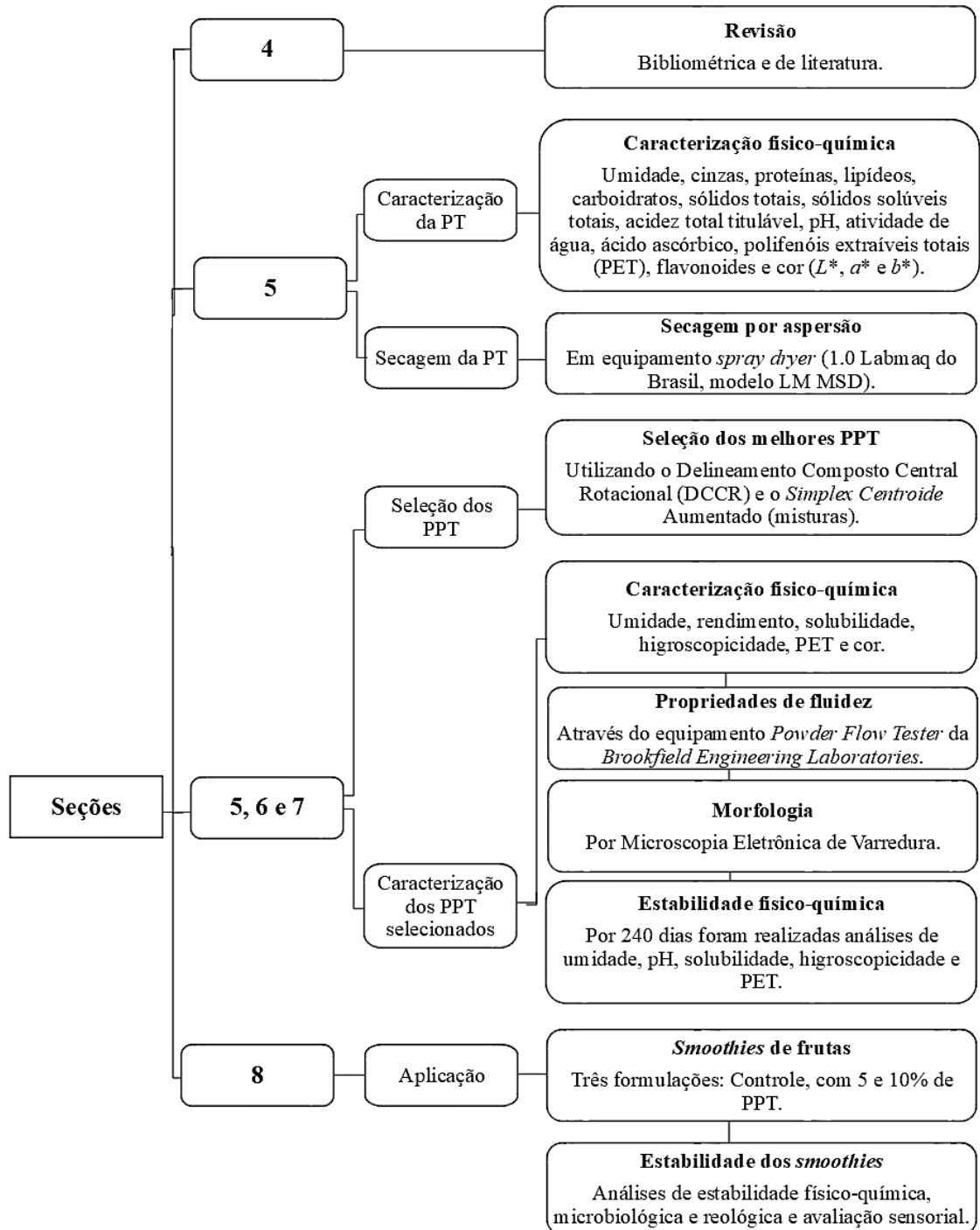
2.2 Objetivos específicos

- Desenvolver uma revisão bibliométrica mista, integrada a uma revisão de literatura, sobre o tema secagem de polpa de tamarindo;
- Definir as melhores condições de secagem e melhor concentração dos adjuvantes maltodextrina, inulina e proteína isolada do soro de leite, em iguais proporções, na produção do PPT em *spray dryer* utilizando o Delineamento Composto Central Rotacional;
- Investigar a eficiência individual dos adjuvantes na produção do PPT;
- Caracterizar os pós quanto as suas propriedades físico-químicas, morfológicas e de fluidez;
- Definir a melhor concentração dos adjuvantes, em diferentes proporções, na produção do PPT utilizando o Delineamento Experimental de Misturas (*Simplex Centroides* Aumentado);
- Avaliar a estabilidade do PPT com melhores propriedades físico-químicas durante 240 dias de armazenamento (25 °C);
- Avaliar a estabilidade de *smoothies* adicionados do PPT (Controle, T5% e T10%) por até 28 dias de armazenamento refrigerado (4 °C), a cada 7 dias, em embalagens de vidro transparente e polietileno de alta densidade (PEAD);
- Avaliar a aceitabilidade, a intenção de compra e o índice de aceitabilidade dos *smoothies* elaborados.

3 ESTRUTURA GERAL

A estrutura geral das revisões da PT, obtenção e estudo dos PPT (seções 4, 5, 6 e 7) e das formulações dos *smoothies* (seção 8) está apresentado na Figura 1.

Figura 1- Fluxograma da estrutura geral de revisão da PT, obtenção e estudo dos PPT e aplicação nos *smoothies*.



A estrutura geral deste estudo está organizada em oito seções, sendo cinco delas as seções principais (4, 5, 6, 7 e 8). A primeira norteou o prosseguimento da pesquisa e consistiu em uma revisão bibliométrica aliada a uma revisão de literatura, por meio da qual foi possível compreender as lacunas e tendências na produção de pó da polpa de tamarindo (PPT), identificar os adjuvantes mais e menos utilizados, quais eram os parâmetros físico-químicos mais frequentemente avaliados nesses produtos e quais eram os melhores parâmetros fixos de ajuste do *spray dryer*.

As três seções subsequentes abordaram experimentalmente as etapas de obtenção do PPT, com ênfase na definição das melhores condições de secagem, a partir da variação da temperatura de secagem do *spray dryer* e da proporção de adjuvantes incorporados à polpa de tamarindo (PT). A partir desses dados, foi possível selecionar as formulações mais promissoras (condições de secagem) com base, principalmente, em suas características físico-químicas.

Na última seção, o PPT da condição escolhida foi aplicado em bebidas do tipo *smoothie*, à base de frutas, com o objetivo de avaliar sua viabilidade nutricional, reológica, microbiológica e sensorial, verificando, assim, o potencial de comercialização do produto desenvolvido. Por fim, são apresentadas as conclusões finais, sintetizando os principais resultados obtidos neste estudo.

4 SECAGEM DE POLPA DE TAMARINDO: ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA E REVISÃO DE LITERATURA

RESUMO

O tamarindo é um fruto rico em nutrientes com possibilidade de aplicação tecnológica diversa para sua conservação, dentre elas a conversão da polpa em pó por meio da secagem. Suas vantagens consistem em: (i) uma longa vida útil em temperatura ambiente devido à baixa atividade de água; (ii) baixas despesas logísticas devido ao pouco peso e volume, e (iii) fácil manipulação. O pó de polpa de tamarindo (PPT) pode ser usado como ingrediente na elaboração de muitos produtos. Com base nisso, objetivou-se desenvolver uma revisão bibliométrica mista, integrada a uma revisão de literatura sobre secagem de polpa de tamarindo, com intuito de elucidar os índices de publicações científicas mais relevantes, prospectar direções futuras baseadas em evidências e averiguar a possibilidade de aplicação em bebida tipo *smoothie*. A busca foi realizada no banco de dados da base *Web of Science*®, onde foram identificados 38 estudos, utilizando os termos “*tamarindo pulp*” AND “*drying*” no item do tópico que inclui o título, resumo, palavras-chave e palavras-chave *Plus*. Os materiais coletados foram então processados no *software VOSviewer* (Java versão 1.8.0_261). A partir de 1993 estudos foram realizados, sendo o assunto explorado principalmente na área de ciência e tecnologia de alimentos por instituições de pesquisas asiáticas. A revisão de literatura revelou que os adjuvantes maltodextrina, inulina e proteína isolada do soro de leite são eficientes adjuvantes de secagem utilizados na produção do PPT, que é rico em compostos bioativos e, portanto, tem grande potencial para aplicações em *smoothie*.

Palavras-chave: Adjuvantes; bibliometria; secagem; *smoothie*; tamarindo.

4 TAMARIND PULP DRYING: BIBLIOMETRIC ANALYSIS AND LITERATURE REVIEW

ABSTRACT

Tamarind is a fruit rich in nutrients with the possibility of diverse technological application for its conservation, including the conversion of the pulp into powder through drying. Its advantages consist of: (i) a long shelf life at room temperature due to low water activity; (ii) low logistical expenses due to light weight and volume; and (iii) easy handling. Tamarind pulp powder (PPT) can be used as an ingredient in the elaboration of many products. Based on this, the objective of this study was to develop a mixed bibliometric review, integrated with a literature review on tamarind pulp drying, in order to elucidate the indexes of the most relevant scientific publications, prospect future directions based on evidence and investigate the possibility of application in smoothie drinks. The search was performed in the Web of Science® database, where 38 studies were identified, using the terms "*tamarind pulp*" AND "*drying*" in the topic item that includes the title, abstract, keywords and Plus keywords. The collected materials were then processed in the VOSviewer software (Java version 1.8.0_261). From 1993 onwards, studies were carried out, and the subject was explored mainly in the area of food science and technology by Asian research institutions. The literature review revealed that the adjuvants maltodextrin, inulin and whey protein isolate are efficient drying adjuvants used in the production of PPT, which is rich in bioactive compounds and therefore has great potential for smoothie applications.

Keywords: adjuvants; bibliometrics; drying; *smoothie*; tamarind.

4.1 Introdução

As diversas partes do tamarindo, como folhas, cascas, polpa, fibras e sementes, além de seu uso doméstico, encontram aplicações em diversas indústrias, entre elas a alimentícia (Ghaffaripour *et al.*, 2017). Os frutos fornecem dois produtos importantes: a polpa, consumida *in natura* e usada para produção de comidas e bebidas, e as sementes, obtidas após o despolpamento da vagem e que geralmente são descartadas (Okello *et al.*, 2017). A polpa possui 33,87% de umidade, 44% de açúcar total, 4,04% de minerais, especialmente Zn, Fe, Ca e Mg, 18,56% de ácido tartárico, 38 mg.100 g⁻¹ de vitamina C e propriedades antioxidantes benéficas provenientes da sua composição fitoquímica: 923,34 mg EAG.100 g⁻¹ em base seca de compostos fenólicos e 15,05 mg.100 g⁻¹ em base seca de flavonóides (Cardoso *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2014; Okello *et al.*, 2017; Souza *et al.*, 2020; Tumpa *et al.*, 2021).

A secagem por aspersão, pulverização ou atomização é a técnica amplamente utilizada nas indústrias de alimentos para a produção comercial de polpas em pó. As propriedades físico-químicas dos pós secos por aspersão são afetadas pelas variáveis do processo, como temperatura do ar de entrada, taxa de fluxo de alimentação, concentração do agente adjuvante etc (Bhusari; Muzaffar; Kumar, 2014; Muzaffar; Kumar, 2016a). Os agentes adjuvantes, carreadores ou transportadores, têm sido extensivamente utilizados, em combinação ou não, como componentes do processo de secagem na conservação pelo controle do teor de água (Campelo *et al.*, 2018; Araújo *et al.*, 2020; Martins *et al.*, 2021). A finalidade tecnológica dessas substâncias é alterar as propriedades físico-químicas da matriz alvo de secagem para facilitar ou viabilizar este processo por meio do aumento da temperatura de transição vítrea (T_g) (Muzaffar; Kumar, 2015; Oliveira *et al.*, 2018).

Atualmente, há um excelente mercado para produtos à base de tamarindo na forma natural e seca (Nagar; Dash; Rayaguru, 2022). Na forma de pó, a polpa de tamarindo (PT) tem diversas vantagens e potencialidades econômicas, que incluem praticidade de uso, não descarte de resíduos, baixos gastos logísticos devido ao peso e volume reduzidos, fácil manipulação, maior vida útil devido à baixa atividade de água e fácil de aplicar em diferentes produtos alimentícios (Bhusari; Muzaffar; Kumar, 2014; Muzaffar; Kumar, 2016a), a exemplo de bebidas (Tumpa *et al.*, 2021). Compreender o avanço dos estudos sobre secagem de PT, por meio de metodologias robustas, é fundamental para o desenvolvimento de novos trabalhos científicos.

Conforme Melo *et al.* (2021) e Souza *et al.* (2022), a aplicação de métodos estatísticos com abordagem bibliométrica permitem a obtenção de dados consistentes,

compreensão das tendências, dinâmica dos desenvolvimentos e resultados científicos. Neste contexto, não foram encontradas informações bibliométricas sobre as concentrações, desempenho, aplicações e outras propriedades tecnológicas no contexto da secagem de PT. Assim, objetivou-se desenvolver uma revisão bibliométrica mista, integrada a uma revisão de literatura, acerca da secagem de PT, com intuito de elucidar os índices de publicações científicas mais relevantes e prospectar direções futuras baseadas em evidências, bem como analisar a possibilidade de aplicação em *smoothie*.

4.2 Metodologia

Para realizar esta análise bibliométrica mista foi utilizada uma análise bibliométrica, seguida de uma revisão de literatura, seguindo a metodologia de Melo *et al.* (2021). Para a coleta dos dados bibliométricos, foi realizada uma busca na base de dados da Coleção Principal da *Web of Science*® (WOS) (www.webofknowledge.com/) durante o mês de janeiro de 2023. Os dados foram filtrados utilizando os termos “*tamarind pulp*” e “*drying*”, utilizando o operador booleano “AND” no item do tópico que inclui o título, resumo, palavras-chave e palavras-chave *Plus*. Nenhum filtro de ano foi utilizado para garantir que todos os estudos presentes na base de dados fossem obtidos.

A busca resultou em 38 estudos e como esse campo de estudo foi pouco explorado, o filtro base não foi utilizado para eliminar os arquivos. Portanto, todos os 38 documentos foram analisados e classificados nas seguintes categorias: 33 artigos de pesquisa, três artigos de conferência e dois artigos de revisão. Após essa etapa inicial, as informações referentes à distribuição com base no ano de publicação, número de citações por ano, publicações por área do conhecimento, instituições e países foram extraídas diretamente do banco de dados. Os materiais coletados no banco de dados foram então processados no *software VOSviewer* (Java versão 1.6.19) (<https://www.vosviewer.com/>) para coletar informações sobre a cooperação entre países, instituições, autores e palavras-chave. Adicionalmente, os 10 artigos mais citados também foram consultados.

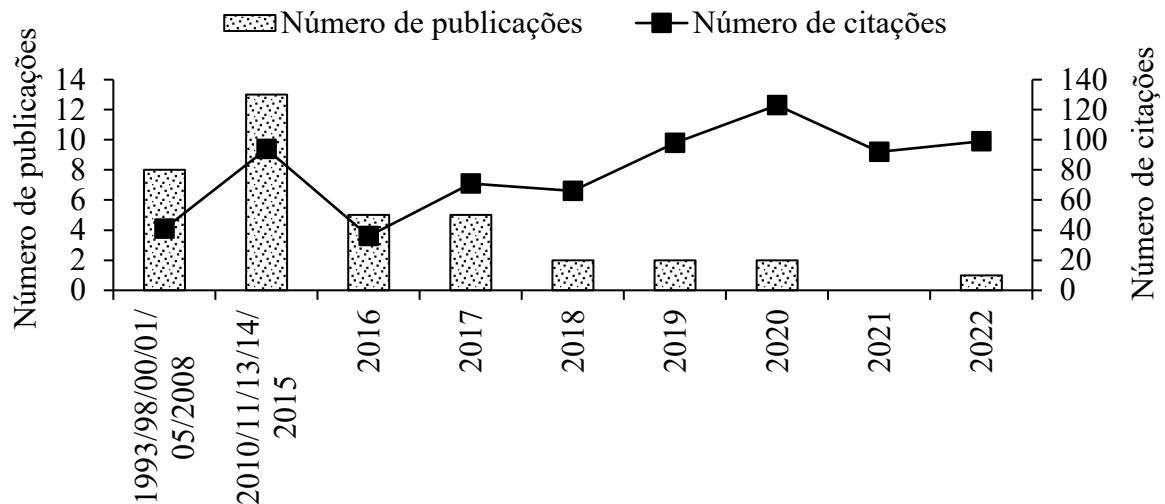
4.3 Análise Bibliométrica

4.3.1 Estudo de publicações e citações: ano, área de publicação e cooperação entre países e instituições

Os primeiros registros foram publicados em 1993, tendo oscilações no número de publicações nos anos seguintes (Figura 2). A maior concentração de artigos publicados entre os

anos de 1993 e 2022 ocorreu em 2015, período em que foram publicados nove estudos. Porém, os anos seguintes apresentam uma redução no número de publicações sobre o tema.

Figura 2 - Tendências de publicação e citação por ano relacionadas a secagem de PT.



Fonte: Autor (2025).

A Tabela 1 apresenta os países, pesquisadores, organizações e áreas mais produtivas responsáveis pelo alto número de artigos publicados e citações sobre secagem de PT. Segundo Donthu *et al.* (2021) e Souza *et al.* (2022) essas informações compõem os mapeamentos bibliométricos ou científicos e são análises que envolvem pesquisa aprofundada sobre as características da literatura publicada, examinando as relações entre constituintes da pesquisa (autores, organizações e países) e sua importância à ciência. Podem revelar também as tendências emergentes, a força acadêmica dos principais conteúdos de trabalho e o andamento de um determinado tema. Em mapas de rede, o tamanho do nó representa o número de publicações e a espessura e a cor das linhas indicam o *cluster* ao qual o item pertence (Souza *et al.*, 2022).

Tabela 1 – Países, instituições, autores e áreas de pesquisa que mais publicaram sobre secagem de PT.

Classificação	Nome	Número de publicações	Porcentagem (%) ¹
Países			
1	Índia	14	36,842
2	Brasil	8	21,053
3	Malásia	3	7,895
4	Paquistão	2	5,263
5	Uganda	2	5,263
6	Bangladesh	1	5,263
7	Bélgica	1	5,263
8	Benin	1	5,263
9	Croácia	1	5,263
10	Equador	1	5,263
Autores			
1	Kumar, Pradyuman	8	21,053
2	Muzaffar, Khalid	8	21,053
3	De Aguiar, Silva	5	13,158
4	Geron, Juliano	5	13,158
5	Garcia, Jocilaine	4	10,526
6	Da Costa, Fabiana Gomes	3	7,895
7	Cabral, Luciano da Silva	2	5,263
8	Martins Coelho Kallynka Samara	2	5,263
9	Da Silva, Ana	2	5,263
10	De Oliveira, Edimar	2	5,263
Instituições			
1	<i>Sant Longwal Institute of Engineering Technology Sliet</i>	8	21,053
2	Universidade do Estado de Mato Grosso	5	13,158
3	Universidade Federal de Mato Grosso	4	10,526
4	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul	3	7,895
5	<i>Council of Scientific Industrial Research Csir India</i>	2	5,263
6	<i>Icar Indian Veterinary Research Institute</i>	2	5,263
7	<i>Indian Council of Agricultural Research Icar</i>	2	5,263
8	<i>Makerere University</i>	2	5,263
9	Universidade Estadual de Maringá	2	5,263
10	<i>University Putra Malaysia</i>	2	5,263
Áreas de publicação			
1	<i>Food Science and Technology</i>	15	39,474

2	<i>Agriculture Multidisciplinary</i>	8	21,053
3	<i>Chemical Engineering</i>	5	13,158
4	<i>Plant Science</i>	4	10,526
5	<i>Chemistry Applied</i>	3	7,895
6	<i>Horticulture</i>	3	7,895
7	<i>Agriculture Dairy Animal Science</i>	2	5,263
8	<i>Agronomy</i>	2	5,263
9	<i>Biotechnology Applied Microbiology</i>	2	5,263
10	<i>Engineering Mechanical</i>	2	5,263

¹(%): Percentagem de 38 publicações.

Fonte: Autor (2025).

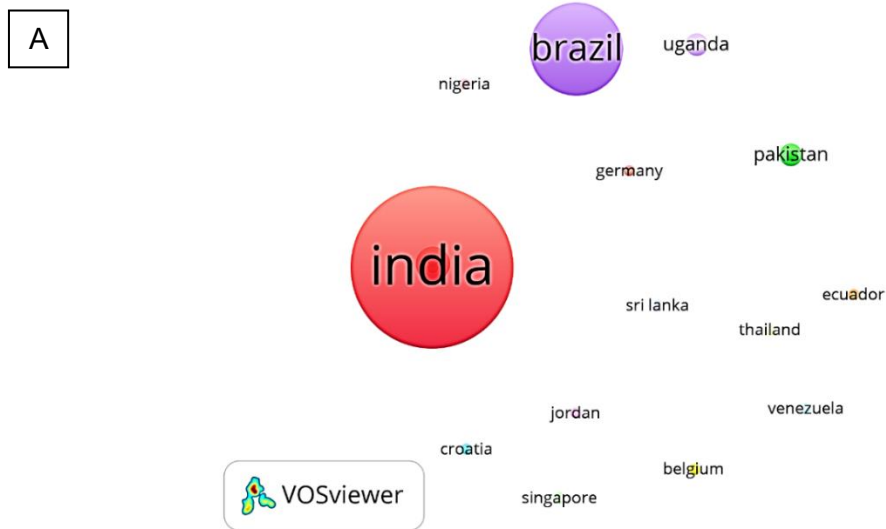
Artigos envolvendo diretamente ou indiretamente o tema foram publicados em 20 áreas do conhecimento. As 10 áreas com maior número de publicações possuem pelo menos dois registros na base de dados da WOS. Os demais campos de publicação são representados por apenas um registro cada. Estes incluem áreas como nutrição, farmacologia, química médica, ecologia, veterinária, etc. A área de ciência e tecnologia de alimentos possui quase 40% (n = 15) dos registros de publicações, tornando-se a maior área de estudo sobre o tema, seguida pelas áreas de agricultura multidisciplinar (21%, n = 8) e engenharia química (13%, n = 5). Melo *et al.* (2021) em sua análise bibliométrica sobre o bacupari (*Garcinia brasilienses*) observaram que a área de ciência e tecnologia de alimentos estava entre as cinco áreas de maior publicação (18,18%, n = 10).

Entre as instituições de pesquisa que representam os autores e coautores dos artigos, 57 instituições publicaram pesquisas relacionadas a secagem de PT, das quais 12 são brasileiras. Entre as 10 mais relevantes estão as universidades estadual (13%, n = 5) e federal (10%, n = 4) do Mato Grosso, a federal do Mato Grosso do Sul (8%, n = 3) e a estadual de Maringá (5%, n = 2). Também fazem parte da lista as universidades de Pernambuco, as estaduais de Campinas e Santa Cruz e as federais da Grande Dourados, Paraíba, Campina Grande, Santa Maria e Maranhão, ambas com 1 registro cada, o que demonstra que o tamarindo é objeto de estudo por grupos de pesquisa em todas as regiões do Brasil, com exceção da região Norte.

Embora o Brasil seja um dos países que mais produzem conhecimento sobre o assunto e pareça existir muitas instituições brasileiras pesquisando o tema, ainda há pouca cooperação internacional e nacional (Figuras 3A e 3B), demonstrando ausência de fortes cooperações pela comunidade científica que possam compreender melhor o processo de secagem de PT. Entre as instituições brasileiras, a Universidade Estadual do Mato Grosso tem colaborado fortemente com as Universidades Federal do Mato Grosso, Estadual de Maringá,

Federal do Maranhão e a Federal da Grande Dourados (Figura 3C). A Índia é o único país que demonstra ter maior colaboração internacional, fazendo parte dos estudos os países asiáticos Bangladesh, Cazaquistão, Malásia e o país europeu, Hungria (Figura 4).

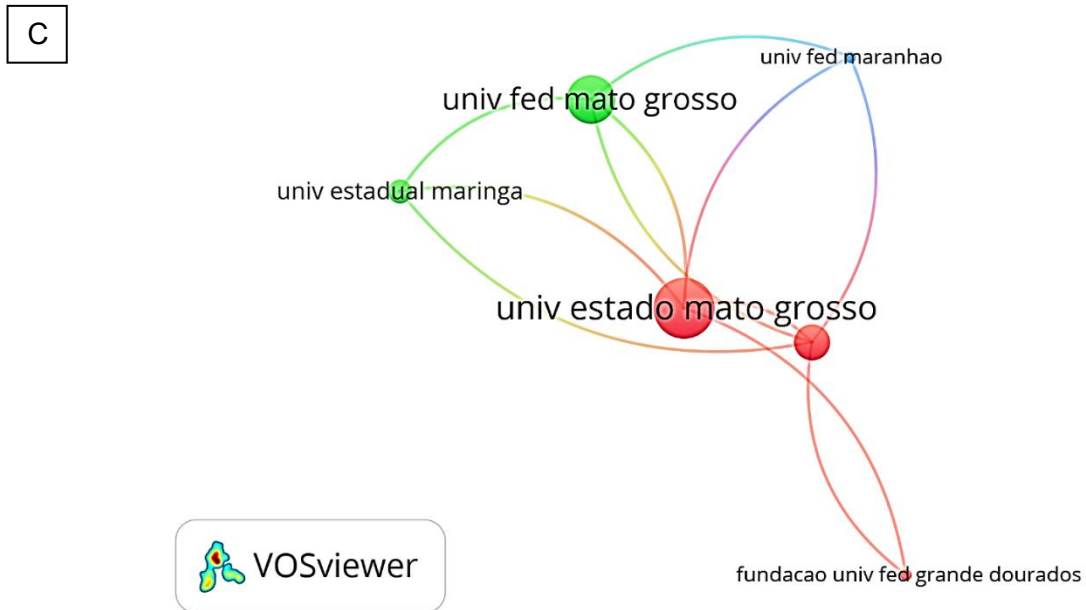
Figura 3 – (A) Mapa de visualização de rede de colaboração entre países de acordo com a coautoria. (B) Mapa de visualização de rede de colaboração entre instituições nacionais e internacionais de acordo com a coautoria. (C) Mapa de visualização de rede de colaboração entre instituições nacionais de acordo com a coautoria.



Fonte: Autor (2025).

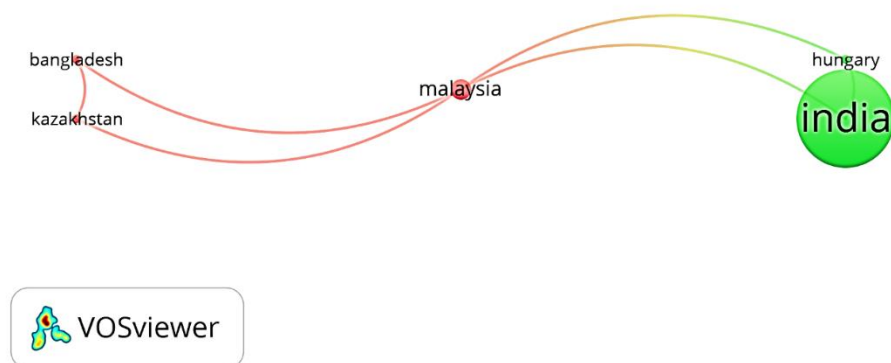


Fonte: Autor (2025).



Fonte: Autor (2025).

Figura 4 – Mapa de visualização de rede de colaboração entre países da Ásia e Europa de acordo com a coautoria.

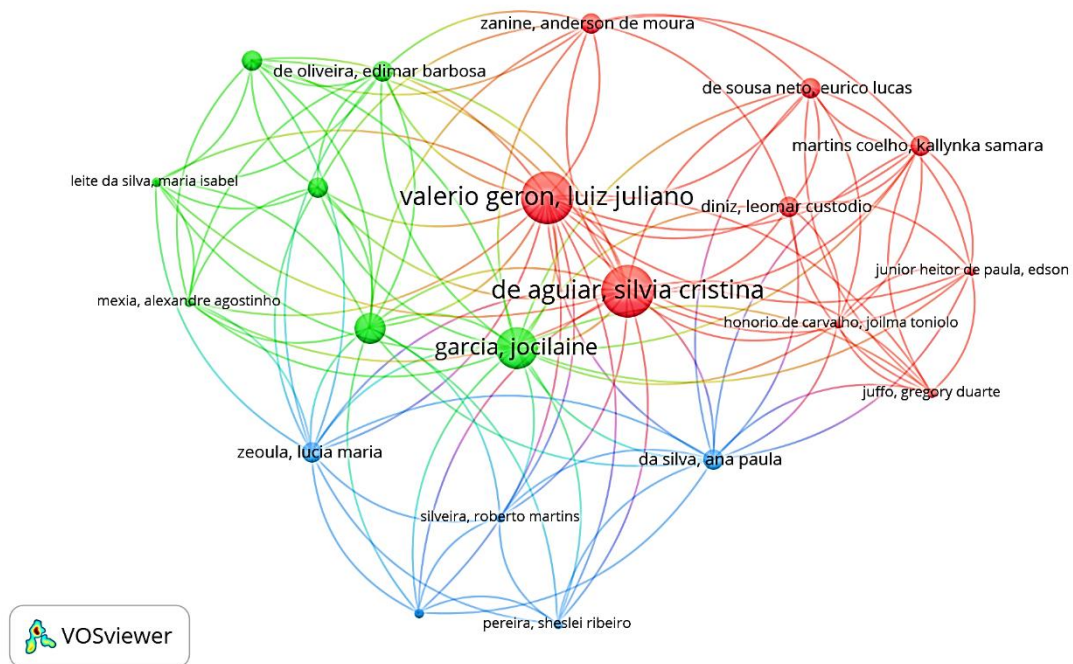


Fonte: Autor (2025).

4.3.2 Estudo de artigos mais citados, cooperação entre autores e palavras-chave

Segundo Melo *et al.* (2021), uma análise de citação é usada para identificar os periódicos e artigos citados com mais frequência. Os resultados revelam que dos 10 artigos com mais citações, seis (60%) estão diretamente ligados ao tema secagem de PT (Tabela 2). O periódico científico *Powder Technology*, com fator de impacto 5,64, é responsável por três (30%) publicações. Os autores Muzaffar e Kumar estão presentes em cinco (50%) estudos, sendo estes os autores de maior expressividade no tema, corroborando com os dados apresentados na Tabela 1. No entanto, estes autores não aparecem na rede de colaboração com outros autores, demonstrando que trabalham de forma isolada, ou seja, sem cooperações com outros países e pesquisadores na maioria das suas pesquisas (Figura 5).

Figura 5 – Mapa de visualização de rede de colaboração entre autores.



Ocorrência mínima de dois documentos por autor.

Fonte: Autor (2025).

Tabela 2 – Os 10 artigos com maior número de citações.

Classificação	Título	Periódico	NC ¹	FI ²	Referências
1º	<i>Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder</i>	<i>Powder Technology</i>	147	5,64	Bhusari; Muzaffar; Kumar (2014)
2º	<i>Tamarind seed powder and palm kernel cake: two novel agro residues for the production of tannase under solid state fermentation by Aspergillus niger ATCC 16620</i>	<i>Bioresource Technology</i>	105	11,889	Sabu <i>et al.</i> (2005)
3º	<i>Parameter optimization for spray drying of tamarind pulp using response surface methodology</i>	<i>Powder Technology</i>	67	5,64	Muzaffar; Kumar (2015)
4º	<i>Moisture sorption isotherms and storage study of spray dried tamarind pulp powder</i>	<i>Powder Technology</i>	61	5,64	Muzaffar; Kumar (2016a)
5º	<i>Tamarind - Chemistry, technology and uses - A critical appraisal</i>	<i>Journal of Food Science and Technology-Mysore</i>	52	3,117	Shankaracharya (1998)
6º	<i>Women's Traditional Knowledge, Use Value, and the Contribution of Tamarind (Tamarindus indica L.) to Rural Households' Cash Income in Benin</i>	<i>Economic Botany</i>	49	2,351	Fandohan <i>et al.</i> (2010)
7º	<i>Physical and Structural Properties of Spray Dryer Tamarind (Tamarindus indica L.) Pulp Extract Powder with Encapsulating Hydrocolloids</i>	<i>International Journal of Food Properties</i>	26	3,388	Cynthia; Bosco; Bhol (2015)
8º	<i>Trans- and cis-urocanic acid, biogenic amine and amino acid contents in ikan pekasam (fermented fish) produced from Javanese carp (Puntius gonionotus) and black tilapia (Oreochromis mossambicus)</i>	<i>Food Chemistry</i>	23	9,231	Ezzat <i>et al.</i> (2015)
9º	<i>Effect of Soya Protein Isolate as a Complementary Drying Aid of Maltodextrin on Spray Drying of Tamarind Pulp</i>	<i>Drying Technology</i>	20	3,556	Muzaffar; Kumar (2016b)
10º	<i>Comparative efficiency of maltodextrin and protein in the production of spray-dried tamarind pulp powder</i>	<i>Drying Technology</i>	20	3,556	Muzaffar; Kumar (2016c)

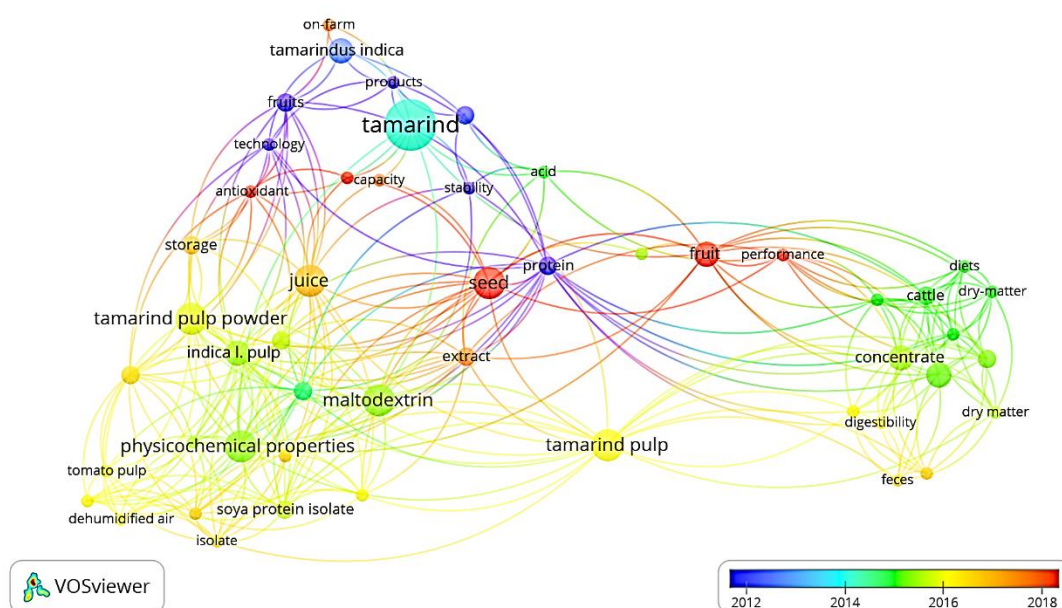
¹NC: Número de citações recebidas; ²FI: Fator de impacto do periódico em 2021, Segundo Clarivate Analytics (2022). Fonte: Autor (2025).

O artigo mais citado estudou o efeito dos adjuvantes nas propriedades físicas e microestruturais do PPT seco por aspersão, concluindo que todos os adjuvantes (maltodextrina, goma arábica e proteína do soro de leite) mostraram melhora no rendimento do produto ao aumentar sua concentração na matéria-prima, com o concentrado de proteína de soro de leite proporcionando uma maior recuperação do produto, 76,23% (Bhusari, Muzaffar; Kumar, 2014). O segundo artigo mais citado realizou a otimização dos parâmetros de secagem por aspersão utilizando metodologia de superfície de resposta e os autores observaram que a metodologia é eficiente em otimizar a produção do PPT com propriedades desejáveis de maior rendimento e solubilidade e baixo teor de umidade e higroscopicidade (Muzaffar; Kumar, 2015).

O quarto artigo avaliou as isotermas de sorção de umidade e o armazenamento do PPT seco por aspersão. Os autores Muzaffar e Kumar (2016a) chegaram a três conclusões: primeiro, o modelo GAB e o modelo Oswin foram os melhores em prever as isotermas de sorção de umidade do PPT; segundo, os parâmetros cor, umidade, acidez titulável, densidade aparente e fluidez do pó variaram de forma diferente durante o armazenamento dependendo do tipo de material de embalagem utilizado e; terceiro, o vidro foi o melhor material para o armazenamento a longo prazo do PPT. Portanto, o material de embalagem é um dos fatores importantes que influenciam as propriedades físicas, químicas e sensoriais dos alimentos em pó (Muzaffar; Kumar, 2016b). Todos os estudos acima foram realizados no *Sant Longowal Institute of Engineering and Technology*, na Índia.

Por fim, foi realizada uma análise das tendências atuais nas pesquisas sobre secagem de PT, com o objetivo de identificar o número de ocorrências de palavras-chave nos trabalhos publicados. A Figura 6 relaciona a análise de co-ocorrências à média de publicação dos documentos e palavras-chave. Este estudo analisou apenas as palavras-chave do autor. Numa análise bibliométrica, os títulos das pesquisas (primeiro contato do leitor com o artigo) e as palavras-chave do autor têm papel importante, pois indicam as tendências apontadas pelos autores no decorrer de suas buscas (Li, 2018; Rodríguez-Rojas *et al.*, 2019; Melo *et al.*, 2021).

Figura 6 – Co-ocorrência entre palavras-chave do documento (mapa de visualização Overlay).



Ocorrência mínima de duas palavras-chave por documento. Fonte: Autor (2025).

O tamanho do nó (círculo) representa o número de ocorrências da palavra-chave, sendo que um nó maior indica maior número de ocorrências. A cor representa o ano médio de publicação das obras em que a palavra específica é encontrada (Melo *et al.*, 2021). Com base na observação desses dados, pode-se inferir algumas tendências: o tamarindo, suas sementes, o suco, o extrato e o PPT têm sido objeto de diversos estudos (*clusters* azul, azul escuro, vermelho, amarelo e verde claro). Entre 2014 e 2018, muitos estudos concentraram seus esforços em observar as propriedades físico-químicas do PPT obtido com o auxílio de adjuvantes de secagem, sobretudo a maltodextrina e a proteína do soro de leite nas formas concentrada e isolada. Logo, o estudo do PPT é relevante para a indústria alimentícia, uma vez que apresenta potencial antioxidante na dieta humana, em decorrência das suas propriedades bioativas. É notório que, embora existam poucas informações na literatura sobre o PPT, suas propriedades têm sido estudadas desde a década de 1990.

Portanto, esta análise bibliométrica serviu de base para a realização da revisão de literatura, que abordou os temas de maior importância na obtenção do PPT como, por exemplo, o uso de adjuvantes de secagem - quais são os mais e menos empregados - e a utilização do equipamento *spray dryer* como principal tecnologia empregada na obtenção deste produto.

4.4 Revisão de Literatura

4.4.1 Tamarindo

O tamarindeiro (*Tamarindus indica* L.) é uma árvore frutífera da família das Leguminosas, originária da África tropical. Atualmente, é amplamente cultivado no Sudeste Asiático, nas Américas e na Austrália, adaptando-se bem a regiões tropicais e subtropicais, com temperatura média ideal de 25 °C. O tamarindeiro é uma árvore ornamental, robusta, de crescimento lento e longa duração, podendo atingir até 24 a 30 m de altura (Figura 7A). Seu tronco divide-se em diversos ramos curvados, fortes, flexíveis e volumosos, formando uma copa densa e de grande apelo visual. É considerada ideal para regiões semiáridas, pois tolera períodos de seca de 5 a 6 meses, embora não resista a temperaturas muito baixas. Os frutos são amplamente comercializados em feiras livres, com disponibilidade sazonal. No Brasil, a colheita ocorre principalmente durante a estação seca (de julho a outubro), mas os frutos podem ser encontrados ao longo de todo o ano na forma de polpa congelada (Preez, 2003; Pereira *et al.*, 2011; García *et al.*, 2012; Okello *et al.*, 2017; Sousa, 2018; Nagar; Dash; Rayaguru, 2022).

A produção anual de tamarindo no Brasil não é amplamente documentada em estatísticas oficiais, como as do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, tampouco apareceu na lista das 20 principais frutas produzidas em 2024 do Anuário Brasileiro de Horti & Fruti. Em algumas comunidades, como no Sertão de Pernambuco, há relatos de produções anuais de aproximadamente 5 toneladas de tamarindo, destacando o potencial da fruta para a geração de renda e desenvolvimento de produtos derivados, como geleias e licores (Silva; Castro; Azevedo, 2019). Esses dados sugerem que, embora a produção nacional seja modesta, existe um espaço significativo para expansão e aproveitamento comercial do tamarindo no Brasil.

As diversas partes do tamarindeiro, como folhas, cascas, polpa, fibras e sementes, além de seu uso doméstico, encontram aplicação em diversas indústrias como alimentícia, farmacêutica, combustível, eletroquímica, têxtil, construção civil, agricultura, automobilística, embalagens, tratamento de efluentes industriais e indústrias de compósitos (Ghaffaripour *et al.*, 2017). Sua característica mais marcante é a adstringência, sendo também uma rica fonte de vitaminas do complexo B. Na Ásia e na África, a polpa é comumente consumida *in natura* e usada para fazer pão de painço, mingau, suco (agridoce), refrescos, sorvetes, pastas, doces, licores, geleias, condimentos, molhos, bebidas alcoólicas, além de ser frequentemente utilizada em marcas conhecidas de *chutneys*, *curries* e de servir como aromatizante em pratos de peixe. A Índia é o maior produtor de tamarindo do mundo com uma produção estimada de aproximadamente 200 mil toneladas por ano (ICUC, 2002; Preez, 2003; Gurjão, 2006; Bourou *et al.*, 2010; Akajiaku *et al.*, 2014).

Há uma enorme produção de tamarindo nos países em desenvolvimento e embora tenha vários usos alimentícios, o principal subproduto das indústrias de PT, as sementes, que constituem cerca de 20% a 30% do peso total do fruto, dificilmente é usado como base da matéria-prima industrial. Alguns produtos de valor agregado industrial feitos de sementes de tamarindo, como polissacarídeos, goma e pó, foram testados para o desenvolvimento de novos produtos alimentícios como farinhas compostas, alimentos assados (biscoitos, pães, bolos), produtos extrusados, macarrão e como agente espessante em molho de manga (Nagar; Dash; Rayaguru, 2022).

Os frutos do tamarindeiro são vagens achatadas, com formato semelhante ao de feijões, apresentando curvaturas irregulares e sendo produzidas em abundância nos ramos mais novos. Suas dimensões variam de 50 a 150 mm de comprimento e de 20 a 30 mm de diâmetro. As vagens possuem uma coloração externa que varia entre marrom-canela e marrom-acinzentado. Inicialmente, a casca é macia, a polpa é verde e altamente ácida, enquanto as sementes são esbranquiçadas, macias e ainda subdesenvolvidas. Com o amadurecimento, as vagens se expandem, a polpa suculenta adquire uma coloração marrom a marrom-avermelhada, e a casca se torna quebradiça, podendo ser facilmente rompida. Nessa fase, a polpa desidrata-se, formando uma pasta pegajosa envolta por fios grossos de fibra que se estendem longitudinalmente a partir do caule. As sementes amadurecidas tornam-se brilhantes, marrons e apresentam um formato quadrado. No interior, contém de 1 a 5 sementes envolvidas por uma polpa de sabor ácido (Preez, 2003; Pereira *et al.*, 2011; Sousa, 2018), (Figura 7B).

Figura 7 – (A) Tamarindeiro e (B) seus frutos.



A) Fonte: <https://loja.paraisdasarvores.com.br/tamarindeiro-tamarindo.html>.

B) Fonte: <https://www.revistadafruta.com.br/artigos-tecnicos/tamarindo-propriedades-e-aplicabilidades,444697.jhtml>.

O tamarindo possui propriedades medicinais amplamente reconhecidas. Ele pode ser utilizado para estimular suavemente a função intestinal, atuando como um laxante leve. Sua

acidez natural é eficaz na correção de distúrbios biliares, pois estimula a produção de bile. O consumo regular contribui para a redução dos níveis de colesterol e promove a saúde cardiovascular. Para dores de garganta, é recomendado fazer gargarejos com a polpa diluída em água. Auxilia na reversão da deficiência de vitamina C no organismo (Izzo *et al.*, 2005; Sousa, 2018). Rico em antioxidantes, protege as células e contribui para a manutenção da saúde geral do corpo. É útil no tratamento de cólicas, sensibilidade ao frio, conjuntivite, disenteria grave, gengivite, paralisia e inchaço na córnea. Também alivia dores causadas por artrite e artrose, reduz vômitos e náuseas durante a gravidez, estimula a produção de saliva e ajuda a amenizar os efeitos da insolação, atuando como um protetor solar natural. Adicionalmente, o tamarindo acelera a cicatrização de feridas e alivia dores corporais em geral (Havinga *et al.*, 2010; Sousa, 2018).

4.4.2 Secagem de alimentos

O Brasil é um grande produtor de frutas tropicais, contudo parte dessa produção perde-se devido às formas inadequadas de transporte e armazenagem. A própria fruta possui um tempo determinado para iniciar sua perecibilidade, visto que são compostas por grande quantidade de água e açúcares. A secagem de frutas é um dos métodos mais tradicionais utilizados na conservação de alimentos, sendo usada com mais frequência atualmente para diminuir as perdas e aumentar o tempo de consumo dos alimentos (Soares, 2019).

A secagem é um dos métodos mais antigos de conservação de alimentos, sendo também um dos mais utilizados atualmente. É uma operação unitária que remove água ou outros líquidos de um determinado material (líquido, sólido ou pastoso), através do emprego do calor. No alimento ocorre tanto a transferência de calor quanto de massa e, com a retirada de parte da água, ocorre a redução da atividade de água, minimizando consideravelmente o crescimento microbiano, as reações enzimáticas e outras reações de natureza química e física. Apresenta a vantagem de estender a vida útil dos alimentos, diminuindo perdas pós-colheita, reduzindo o volume, o peso e, por consequência, custos com transporte, armazenamento, embalagem e comercialização (Gava, 2008; Celestino, 2010).

Frutas secas podem ser utilizadas como ingredientes na formulação de outros alimentos ou na reconstituição de sucos naturais de frutas, quando na forma de pó. A produção de alimentos em pó é uma indústria cada vez mais importante devido à alta estabilidade e fácil manuseio desses produtos. No entanto, o processo de obtenção do pó deve garantir a máxima qualidade do produto. Além da estabilidade dos componentes nutricionais, certas propriedades físicas do pó devem ser consideradas. Alimentos em pó devem ter aparência homogênea e

manter propriedades de fluxo livre durante o armazenamento. Para reduzir a pegajosidade, inibir a aglomeração e garantir o manuseio e armazenamento seguros de alimentos em pó, os principais fatores a serem gerenciados são o controle rígido do teor de umidade e o armazenamento em baixas temperaturas. Além disso, para melhorar a qualidade e estabilidade das frutas secas, agentes antiaglomerantes são uma alternativa amplamente utilizada (Telis; Martínez-Navarrete, 2009; Otálora *et al.*, 2015; Pacheco *et al.*, 2020).

Os mecanismos pelos quais esses agentes podem contribuir para a estabilidade de pós higroscópicos são baseados em diferentes fatores que podem ser sobrepostos: competir com os componentes do pó por umidade, atuando como uma barreira física entre as partículas - mesmo sem cobrir completamente a superfície do pó - aumentando a T_g da fase amorfa, e formando uma barreira protetora de umidade na superfície das partículas higroscópicas (Telis; Martínez-Navarrete, 2009; Pacheco *et al.*, 2020).

Jittanit *et al.* (2011) ao obterem a PPT observaram que é viável produzir o pó como um agente ácido ou aditivo aromatizante em alimentos. Para obter o pó de tamarindo, a proporção de suco de tamarindo e maltodextrina foram de 1:0,8 se secar a 140 °C ou de 1:1,4 se secar a 120 - 140 °C. No caso de usar goma arábica como adjuvante de secagem a proporção foi de 1:0,4 ou 1:0,8 para temperaturas de secagem entre 120 e 140 °C. Os PPT com maltodextrina foram preferidos em termos de aparência, cor e gosto geral, enquanto aqueles com goma arábica foram favorecidos em seus aroma e sabor.

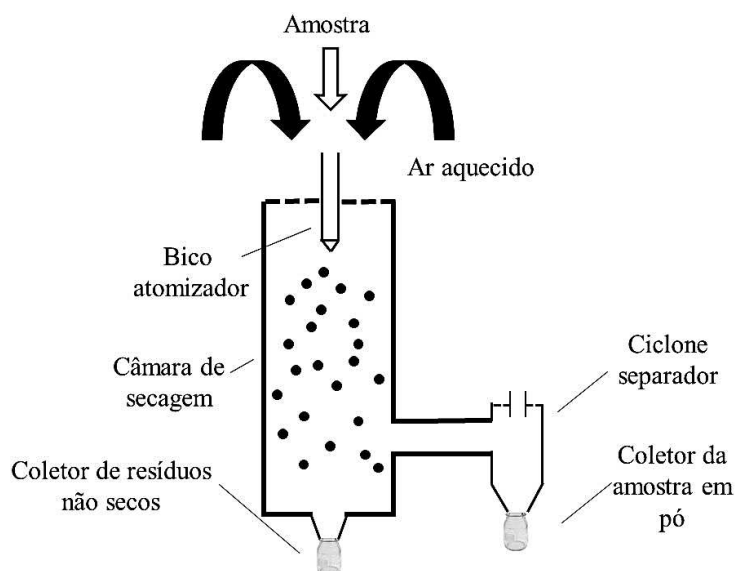
O pó de tamarindo pode ser usado como ingrediente na produção de alimentos ou como agente aromatizante em alguns produtos. Suas vantagens consistem em: i) uma longa vida útil em temperatura ambiente devido à baixa atividade de água; ii) baixas despesas logísticas devido ao pouco peso e volume; e iii) fácil utilização. Além disso, o desenvolvimento deste produto ajuda a reduzir a perda de tamarindo causada por fermentação, reações químicas e reações enzimáticas durante o pico da safra (Jittanit *et al.*, 2011).

4.4.3 Secador do tipo spray dryer

A secagem por aspersão, pulverização ou atomização em *spray dryer* é um processo amplamente utilizado na indústria de alimentos e, em condições ideais, tem se mostrado eficaz para a obtenção de diversos produtos (Rocha *et al.*, 2014). É um processo contínuo, que se caracteriza pela transformação de um líquido em um produto seco, na forma de pó, por meio de um tempo de secagem muito curto. Nesse processo, o líquido é aspergido, utilizando-se um sistema de alta pressão, pelo qual as gotículas entram em contato com um fluxo de ar quente. Assim, há uma rápida evaporação, que permite manter baixa a temperatura do produto,

possibilitando a secagem de produtos sensíveis ao calor sem afetar excessivamente sua qualidade (Ferrari *et al.*, 2012). O diagrama esquemático de uma configuração básica de *spray dryer* está apresentando na Figura 8.

Figura 8 – Diagrama esquemático de um *spray dryer*.



Fonte: Adaptado de Labmaq (2003).

O conjunto que compõe um equipamento do tipo *spray dryer* padrão é constituído de: i) sistema de atomização do material; ii) sistema de aquecimento e controle de temperatura do ar de secagem; iii) sistema de bombeamento e controle de vazão da alimentação de material a ser seco; iv) sistema da alimentação de ar para secagem; v) câmara de secagem; e vi) sistema de separação do ar - pó seco (Souza *et al.*, 2012). É um processo de difícil utilização em alimentos ricos em açúcares, devido à obtenção de produtos com alta higroscopicidade, que diminuem o rendimento do processo, bem como o escoamento e a reconstituição desses alimentos em pó. Portanto, é fundamental a utilização de temperaturas mais baixas no processo de secagem, bem como o emprego de adjuvantes com alto peso molecular antes da secagem, visando facilitar e aumentar o rendimento do processo (Oliveira *et al.*, 2007; Ferrari *et al.*, 2012).

A densidade do pó obtido por aspersão é significativamente influenciada pelo ar de quente de entrada e pelos vacúolos formados durante o processo de secagem das gotículas líquidas. A taxa de secagem, que está diretamente relacionada à temperatura de entrada, também desempenha um papel crucial. Em temperaturas mais altas, a secagem pode resultar no endurecimento superficial das partículas, mantendo sua forma inicial. Por outro lado, uma taxa de secagem mais lenta permite que a umidade interna migre através da superfície, causando o

colapso desta à medida que o volume interno diminui devido à evaporação. Além disso, a densidade do pó é impactada pela concentração de sólidos na alimentação. Uma maior quantidade de sólidos na solução inicial tende a produzir um pó mais denso, o que, por sua vez, melhora o rendimento do produto no coletor. Esses fatores destacam a importância de otimizar as condições de secagem para obter as características desejadas no pó final (Gawalek *et al.*, 2017). Quando bem conduzida, a secagem em *spray dryer* gera um produto nutritivo, estável e versátil (Pedro *et al.*, 2010; Ferrari *et al.*, 2012).

4.4.4 Adjuvantes de secagem

O uso de aditivos (agentes carreadores ou adjuvantes de secagem) tem por objetivo facilitar o processo de secagem, melhorar a qualidade do produto final (vida útil, por exemplo) e reduzir custos de processos (Lavoyer, 2012; Sousa, 2018). No caso da desidratação de polpas de frutas em *spray dryer*, o alto conteúdo de açúcares pode acarretar a obtenção de produtos com alta higroscopicidade e elevada pegajosidade, diminuindo assim o rendimento do processo (Jaya; Das, 2004; Ferrari *et al.*, 2012; Oliveira *et al.*, 2013). Portanto, é fundamental a utilização de adjuvantes de secagem com alto peso molecular, visando facilitar este processo e as operações de transporte e armazenamento (Ferrari *et al.*, 2012). A maltodextrina é um dos principais adjuvantes utilizados na indústria alimentícia para auxiliar a secagem de polpa de frutas em *spray dryer*, devido a sua alta solubilidade, baixo custo e baixa higroscopicidade, evitando a aglomeração de partículas (Kha *et al.*, 2010; Ferrari *et al.*, 2012; Ceballos *et al.*, 2012; Gawalek *et al.*, 2017).

A higroscopicidade de um alimento está ligada à sua estabilidade física, química e microbiológica. Por isso, torna-se imprescindível o conhecimento do comportamento higroscópico desses produtos (Oliveira *et al.*, 2014). Uma forma de se conhecer o comportamento higroscópico dos alimentos é através de suas isotermas de sorção. O conhecimento das isotermas de sorção de umidade dos alimentos auxilia na determinação do tempo de secagem, caracterização do produto, além da determinação de sua vida útil e do tipo de embalagem adequada para seu armazenamento (Alexandre *et al.*, 2007).

Sucos de frutas e polpas em pó são materiais valiosos em termos de transporte, embalagem, armazenamento e vida útil. O PPT é um dos produtos importantes derivado do tamarindo, no entanto, devido à alta quantidade de açúcares e ácidos na PT, ocorre maior perda significativa de produto durante a secagem por aspersão devido à viscosidade do pó. Portanto, para superar o problema de viscosidade, adjuvantes de secagem são adicionados durante a secagem por aspersão (Bhusari; Muzaffar; Kumar, 2014; Muzaffar; Kumar, 2015; Muzafar;

Kumar, 2016a). No entanto, um alto teor de adjuvante não é desejável na indústria alimentícia (Gawalek *et al.*, 2017), devido a diminuição do valor nutricional do produto carreado, custos adicionais desnecessários e descaracterização sensorial do alimento.

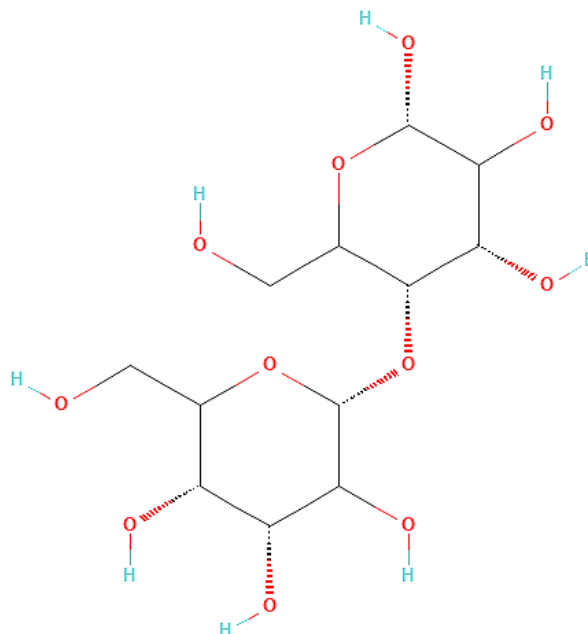
A literatura científica registra uma ampla variedade de compostos utilizados como adjuvantes de secagem em polpas de frutas. Entre eles, destacam-se: maltodextrinas DE 5 e 10, goma arábica e amido modificado com anidrido n-octanil succínico para polpa de morango (Oliveira *et al.*, 2013); leite para polpas de amora e acerola (Braga; Rocha, 2015; Dantas *et al.*, 2019); amido, inulina e maltodextrina para polpa de jussara (Lacerda *et al.*, 2016); inulina para polpa de araticum (Botrel *et al.*, 2016); maltodextrina para polpa de manga (Fongin *et al.*, 2019); colágeno hidrolisado e misturas com maltodextrina para polpa de cacau (Vargas-Muñoz *et al.*, 2020); maltodextrina e goma arábica para polpa de araçá-boi (Iturri; Calado; Prentice, 2021); goma arábica para polpa de melão (Li *et al.*, 2021); maltodextrina para polpa de pinha (Shrivastava *et al.*, 2021); e maltodextrina, goma arábica e dextrina para polpa de sapoti (Lima *et al.*, 2022).

4.4.4.1 Maltodextrina

As maltodextrinas são compostas por unidades de α -D-glicose conectadas predominantemente por ligações glicosídicas (1 $\rightarrow$ 4), com a fórmula geral $[(C_6H_{10}O_5)_nH_2O]$ (Figura 9). Sua produção industrial ocorre por meio da hidrólise do amido, que pode ser realizada de forma enzimática, ácida ou pela combinação de ambas. Trata-se de uma mistura de sacarídeos, incluindo principalmente D-glicose, maltose, além de diversos oligossacarídeos e polissacarídeos. Comercialmente, as maltodextrinas estão disponíveis na forma de um pó branco ou em soluções concentradas (Chronakis, 1998; Sousa, 2018).

A maltodextrina é classificada com base no grau de dextrose equivalente (DE), que representa o nível de hidrólise do amido, bem como a média do peso molecular das moléculas resultantes. À medida que o grau de hidrólise aumenta, o peso molecular médio diminui, enquanto o valor de DE se eleva. Além disso, a maltodextrina desempenha um papel importante como adjuvante no processamento, reduzindo a oxidação do produto e atuando como agente encapsulante, graças à sua capacidade de formar filmes com propriedades plásticas (Telis; Martinez-Navarrete, 2009; Aditivos & Ingredientes, 2018, Sousa, 2018). A utilização de agentes adjuvantes, como a maltodextrina, promove um melhor manuseio do produto obtido, conferindo-lhe maior proteção contra a absorção de umidade do ambiente e tornando-o menos higroscópico (Tonon *et al.*, 2009).

Figura 9 – Estrutura química da maltodextrina.



Fonte: National Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Summary for CID 139024271, CID 139024271. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/maltodextrin>. Acessado em 25 de dezembro de 2024.

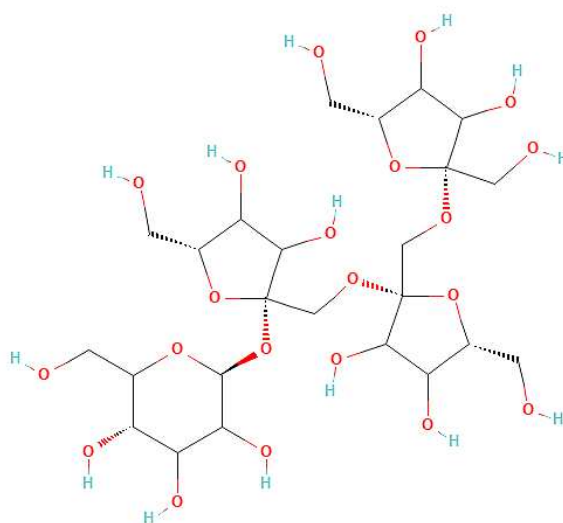
A secagem da polpa de graviola em *spray dryer* à temperatura de 169 °C e com adição de 17% de maltodextrina apresentou acidez em torno de 2,36% de ácido cítrico, pH por volta de 3,6, teor de vitamina C de 102 mg 100.g⁻¹, coloração branca com base nos baixos valores nos parâmetros a* e b*, teor de umidade e atividade de água de 1,39% e 0,22 respectivamente, permitindo-a ser classificada como estável em relação à deterioração bioquímica e microbiana. Sua densidade aparente foi de 0,53 g.mL⁻¹ (Cavalcante *et al.*, 2017). Chang, Ooi e Pui (2022) ao produzirem pó de melão seco por aspersão a 170 °C (maior temperatura estudada), obtiveram um pó fino, macio, não pegajoso e de cor amarela clara, assim como o maior rendimento do processo (69,83%), baixa atividade de água (0,17), umidade (2,00%) e elevada solubilidade (107,67 s/g).

Gawalek *et al.* (2017) afirmam que o aumento da temperatura do ar de entrada resulta em maior tamanho das partículas, menor densidade aparente, melhor fluidez e maior rendimento do pó. No caso de compostos bioativos, especificamente polifenóis, uma tendência oposta foi observada. Ao avaliarem os efeitos das condições de secagem por aspersão no suco concentrado de *chokeberry* (*Aronia melanocarpa* L.), os mesmos autores observaram que o aumento no teor de maltodextrina no processo de secagem por aspersão melhorou a fluidez, aumentou o rendimento do pó e a retenção dos polifenóis.

4.4.4.2 Inulina

O polissacarídeo inulina é classificado como uma fibra alimentar e possui algumas propriedades funcionais e tecnológicas importantes. A inulina contém polímeros de frutose, constituídos de 2 a 60 unidades, de vários comprimentos, geralmente terminados por uma única unidade de glicose (Figura 10). É uma fibra dietética que apresenta efeitos prebióticos, sendo degradada em ácidos graxos de cadeia curta, ácido lático e gases por certas bactérias do cólon como as bifidobactérias (Ronkart *et al.*, 2006; Mensink *et al.*, 2015).

Figura 10 – Estrutura química da inulina.



Fonte: National Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Summary for CID 132932783, Levan-from *Erwinia herbicola*. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Levan-from-Erwinia-herbicola>. Acessado em 25 de dezembro de 2024.

Entre os prebióticos, destacam-se os oligossacarídeos (como inulina, lactulose, frutooligosacarídeos, xilooligosacarídeos e galactooligosacarídeos) e os polissacarídeos (como pectina, dextrina e amido resistente), que estão entre os mais amplamente estudados. Esses compostos podem ser encontrados naturalmente em frutas e vegetais, como alho, chicória, alcachofra, trigo, cebola e aspargos ou obtidos por meio de processos bioquímicos e químicos envolvendo microrganismos ou reações enzimáticas. Os prebióticos desempenham um papel fundamental na melhora da sobrevivência dos probióticos no intestino grosso, servindo como fonte para a produção de ácidos graxos de cadeia curta. Esses compostos têm sido associados a diversos benefícios à saúde, como a melhora da função intestinal, aumento da absorção de minerais, regulação do metabolismo de lipídios e glicose, fortalecimento da

imunidade, redução de processos inflamatórios e diminuição do risco de câncer de cólon (Farias *et al.*, 2019; Huazo *et al.*, 2024).

Devido à sua resistência à variação de pH e às enzimas digestivas, a inulina pode ser utilizada como adjuvante no encapsulamento de compostos bioativos, permitindo sua liberação no cólon e é efetivo no encapsulamento de compostos bioativos (Ahmed; Rashid, 2019; Khun; Azevedo; Noreña, 2020; Mandim *et al.*, 2024). A suplementação de inulina em alimentos não aumenta seu índice glicêmico, o que torna a inulina um ingrediente potencial para uso em alimentos para indivíduos diabéticos. A adição de inulina aos alimentos, em determinados níveis, pode ter efeitos benéficos para a saúde do consumidor (Stevens; Meriggi; Booten, 2001; Fernandes *et al.*, 2014).

A inulina é uma alternativa promissora na substituição do açúcar e da gordura em diversos produtos alimentícios, destacando-se por seu alto teor de fibras e sua versatilidade, contribuindo para o desenvolvimento de alimentos funcionais, sem comprometer as características nutricionais, texturais e de armazenamento desejadas. Além disso, alimentos fortificados com inulina apresentam redução calórica em comparação com outras fibras alimentares. Outro aspecto relevante é o grau de doçura da inulina, que varia de 30 a 50% em relação ao açúcar de mesa. Isso permite o uso de concentrações mais altas para aumentar o teor de fibras nos alimentos, mantendo uma boa aceitação sensorial. Dessa forma, a inulina se destaca como um ingrediente funcional que equilibra benefícios nutricionais e qualidade sensorial em diferentes aplicações (Melilli; Buzzanca; Stefano, 2024).

Assim como a maltodextrina, a inulina pode fornecer proteção aos materiais do núcleo encapsulado, no entanto, esses carboidratos carecem de propriedades emulsificantes e precisam ser usados em conjunto com outros encapsulantes. A proteína isolada do soro de leite (PISL) pode ser utilizada como emulsificante e suporte protetor em associação com a inulina (Fernandes *et al.*, 2014).

4.4.4.3 Proteína do soro de leite (PSL)

A PSL vem abrindo novas perspectivas para o mercado nacional e internacional além de aguçar a curiosidade e o interesse de pesquisadores (Soares, 2019). É constituída por aproximadamente 20% das proteínas do leite, sendo um subproduto oriundo da produção de queijos e caseína. Possui alto valor nutricional e equilibrado balanço de aminoácidos. Por muito tempo essa elevada fonte de proteína teve seu valor esquecido, mas atualmente, com as novas tecnologias e a busca por alimentos mais saudáveis, a PSL tem conquistado seu espaço. A

produção do concentrado proteico de soro de leite destina-se a produção de alimentos com elevado valor nutricional (Silva, 2014).

As PSL, disponíveis na forma de isolados, concentrados ou hidrolisados, são amplamente utilizadas como ingredientes principais em alimentos, alimentos funcionais e suplementos alimentares. As PSL são compostas por diversas proteínas, incluindo β -lactoglobulina, α -lactalbumina e albumina sérica bovina. A β -lactoglobulina, que constitui aproximadamente 50% das PSL, contém um grupo tiol livre e dois grupos dissulfeto por monômero. A α -lactalbumina representa cerca de 20% das PSL e possui quatro grupos dissulfeto. Já a albumina sérica bovina, responsável por cerca de 10% das proteínas do soro de leite, apresenta um grupo tiol livre e 17 grupos dissulfeto (Fox, 2003; Zhou; Liu; Labuza, 2008a).

O uso de PISL como adjuvante na secagem de polpas de frutas em secador por aspersão tem sido apresentado como forma de tornar o material menos susceptível aos efeitos que a temperatura de secagem pode provocar. Um dos efeitos mais comuns e indesejados é a pegajosidade, responsável pelo acúmulo de material nas paredes do secador. A utilização dessas proteínas se justifica por sua capacidade de elevar a temperatura de T_g do material em função de sua característica tensoativa na interface ar/água, o que causa uma proteção ao material e evita a adesão entre partículas (Fang; Bandhari, 2012).

As proteínas solúveis do soro do leite possuem um excelente perfil de aminoácidos, classificando-as como proteínas de alto valor biológico. Elas contêm peptídeos bioativos que lhes conferem diversas propriedades funcionais. Os aminoácidos essenciais, especialmente os de cadeia ramificada, promovem o anabolismo e reduzem o catabolismo proteico, contribuindo para o aumento da força muscular e prevenindo a perda de massa muscular durante o processo de emagrecimento. Além disso, o alto teor de cálcio presente nessas proteínas auxilia na redução da gordura corporal, por meio de um mecanismo relacionado ao hormônio $1,25 (OH)_2D$. As proteínas solúveis do soro também melhoram o desempenho muscular, aumentando os níveis de glutathione e diminuindo os efeitos dos agentes oxidantes nos músculos esqueléticos. Elas desempenham um papel importante na saúde humana, como no controle da pressão arterial e na redução do risco cardiovascular. Devido a essas características, são amplamente utilizadas pela indústria alimentícia em diversas aplicações. O enriquecimento de alimentos, como bebidas, com essas proteínas, pode facilitar o consumo e ampliar a possibilidade de estudos em grandes populações (Haraguchi; Abreu; Paula, 2006; Zhou; Liu; Labuza, 2008b; Dharani et al., 2022; Budnimath et al., 2023; Souza et al., 2024).

4.4.5 Smoothie

As frutas são amplamente reconhecidas como alimentos saudáveis devido ao seu baixo teor de gordura, além de serem ricas em vitaminas, polifenóis e flavonoides, o que lhes confere excelentes propriedades antioxidantes. Entre seus principais constituintes estão carboidratos, fibras, ácidos orgânicos, vitaminas, minerais, aminoácidos e polifenóis (Salehi, 2021). O consumo está associado a benefícios à saúde, pois melhoram o sistema imunológico e digestivo, reduzindo o estresse e os efeitos do diabetes (Huazo *et al.*, 2024). O estilo de vida moderno, que demanda praticidade, tem impulsionado a busca por alimentos prontos para o consumo, contribuindo para o crescimento expressivo desse segmento ao longo dos últimos dez anos (Siroli *et al.*, 2023). Os *smoothies* estão se tornando uma alternativa prática e conveniente ao consumo de frutas e vegetais, especialmente em uma rotina diária cada vez mais acelerada, sendo adequados para consumo em qualquer lugar (Bauerle; Kuhn, 2022).

Smoothies são bebidas elaboradas a partir de uma combinação de polpa de frutas, sucos, vegetais, iogurte, leite ou bebidas vegetais (Nunes *et al.*, 2016). São atualmente bebidas amplamente populares, consumidas por pessoas de todas as idades devido às suas propriedades nutricionais e sensoriais (Siroli *et al.*, 2023). São minimamente processadas e geralmente não submetidas a tratamentos térmicos. Contudo, essa característica levanta preocupações relacionadas à segurança e estabilidade dos produtos, especialmente devido ao risco de contaminação por microrganismos associados à matéria-prima ou ao ambiente de produção (Siroli *et al.*, 2019). Nesse contexto, soluções têm sido desenvolvidas para garantir a segurança e a estabilidade desses produtos, preservando suas características funcionais e reduzindo os danos associados aos métodos tradicionais de tratamento térmico. Essas inovações buscam atender à demanda por produtos que combinem praticidade, segurança e benefícios nutricionais, consolidando os *smoothies* como uma opção de destaque no mercado de alimentos e bebidas (Siroli *et al.*, 2023).

Diversos são os estudos que desenvolveram *smoothies* nos últimos anos. Keenan *et al.* (2010) avaliaram os efeitos do processamento térmico e do processamento por alta pressão na atividade antioxidante e no conteúdo fenólico de *smoothies* de frutas (morangos, maçãs, bananas e laranjas). O processamento térmico reduziu a atividade antioxidante das frutas e o método não térmico se tornou uma alternativa eficaz para preservar os antioxidantes. Nunes *et al.* (2016) ao avaliarem 16 tipos de *smoothies* de ervas comerciais, observaram uma diminuição geral na quantidade de compostos bioativos e na atividade antioxidante ao longo do armazenamento por 21 dias, independentemente do conteúdo de fruta, formulação e tipo de

embalagem. A qualidade físico-química geral foi mantida durante todo o período de armazenamento em prateleira.

Nowicka *et al.* (2016) investigaram as alterações durante o armazenamento de *smoothies* de cereja, maçã, pêra e marmelo. O conteúdo de polifenóis variou de 517,75 mg.100 g⁻¹ no *smoothie* de cereja ácida/marmelo em flor a 333,36 mg.100 g⁻¹ de *smoothie* de cereja ácida/pêra. Após 6 meses de armazenamento, foram observados efeitos protetores no conteúdo de procianidinas, que foram positivamente correlacionados com a atividade antioxidante. O *smoothies* foram atrativos aos consumidores, principalmente aqueles com adição de sucos de maçã e marmelo. Moura *et al.* (2017) avaliaram três *smoothies* comerciais armazenados em embalagem de vidro e armazenados em temperaturas controladas de 10 °C e 25 °C na ausência de luz. Os *smoothies* apresentaram propriedades físico-químicas e termofísicas semelhantes às polpas de frutas e sucos concentrados. O comportamento reológico das amostras seguiu o modelo da lei da potência e foi ajustado ao modelo de Arrhenius. Todas as amostras apresentaram redução de compostos bioativos, alteração de cor, sabor e odor, sendo estes mais significativos a 25 °C.

Xavier *et al.* (2019) elaboraram e caracterizaram *smoothies* preparados à base de frutas e adoçados com mel em diferentes concentrações. Todas as formulações foram elaboradas com manga, uva e maracujá. Os resultados de pH, acidez e ácido ascórbico foram iguais entre os tratamentos. Os *smoothies* apresentaram padrões microbiológicos satisfatórios de acordo com a legislação vigente. Os autores ainda apontaram a necessidade da realização de testes sensoriais, como também o acompanhamento da vida útil dos *smoothies* elaborados. Bauerle e Kuhn (2022) ao desenvolverem um *smoothie* de frutas suplementado com proteína isolada de ervilha como alternativa proteica vegetal, concluíram que o enriquecimento dos *smoothies* podem atender às necessidades proteicas, mantendo-se livres de produtos de origem animal e dispensando o uso de proteína de soja e ainda ressaltaram que essa característica torna os *smoothies* ideais não apenas para o crescente público vegetariano e vegano, mas também para acompanhar as tendências nutricionais relacionadas a fontes alternativas e sustentáveis de proteína.

Mandim *et al.* (2024) exploraram o extrato de lâmina de cardo como um ingrediente bioativo em *smoothies* à base de vegetais/frutas. O extrato apresentou potencial como um ingrediente funcional para melhorar o perfil bioativo e a estabilidade dos *smoothies* durante o armazenamento. A fortificação das formulações permitiu aumentar o teor de fibra alimentar e sua estabilidade ao longo do prazo de validade, embora tenha causado aumento na viscosidade. A fortificação com lâminas de cardo pareceu fornecer uma descontaminação microbiológica

mais eficaz , com menor presença de vários grupos microbianos. Patil *et al.* (2024) ao incorporarem proteína de arroz fermentada (PAF) em *smoothies*, observaram efeito significativo no crescimento microbiano, na cor e nos atributos sensoriais ao longo de 7 dias. Os *smoothies* enriquecidos com PAF apresentaram contagens microbianas mais altas e cores mais claros. Os painelistas aprovaram a cor, o sabor, o gosto, o aroma, a sensação na boca e a aceitabilidade geral da amostra contendo PAF em comparação com o controle durante o armazenamento.

A bebida elaborada com pó de graviola, inulina e soro de leite apresentou um teor médio de compostos fenólicos e capacidade antioxidante, além de uma baixa quantidade de fibra alimentar total. Notavelmente, a aceitação sensorial da bebida foi mantida após 20 dias de armazenamento, um aspecto crucial para produtos funcionais, que devem preservar suas propriedades funcionais sem comprometer a aceitação pelo consumidor (Huazo *et al.*, 2024). Monreal *et al.* (2025) elaboraram dois *smoothies* a base de frutas (maçã, laranja e banana) e vegetais (abóbora, maçã e cenoura), fortificados com concentrado de PSL na proporção de 80% e em seguida secos em *spray dryer*. Os *smoothies* em pó de frutas e vegetais reforçados com PSL eram ricos em açúcar, proteína e fibra e apresentam altos valores nutricionais e considerável atividade antioxidante.

Os estudos sobre *smoothies* destacam avanços tecnológicos, desafios e oportunidades no setor, explorando métodos de processamento térmico e não térmico para preservar compostos bioativos. A fortificação com ingredientes funcionais, como proteínas vegetais, inulina e extratos bioativos, melhora a estabilidade e o valor nutricional. Embora o armazenamento prolongado possa reduzir compostos antioxidantes e afetar características sensoriais, a adição de proteínas isoladas e bioativos vegetais minimiza esses efeitos. Além disso, *smoothies* atendem às crescentes demandas por produtos naturais e sustentáveis. A aceitação sensorial e os padrões microbiológicos satisfatórios reforçam seu potencial no mercado de alimentos funcionais.

4.5 Conclusão

A presente pesquisa revelou que este campo de estudo tem sido pouco explorado por pesquisadores do mundo todo e pela indústria alimentícia, apesar de ser um produto fonte de substâncias nutricionais importantes para a saúde humana. As pesquisas com secagem de PT tem forte foco na área de ciência e tecnologia de alimentos desde 1993, com o Brasil posicionado em segundo lugar entre os países com maiores produções científicas. Dentre as 10 instituições de pesquisa com maiores produções, quatro são brasileiras e todas colaborando

entre si. A maltodextrina é o adjuvante de secagem mais empregado em secagem de PT e, nos últimos anos, adjuvantes a base de proteínas têm ganhado protagonismo nos estudos. A inulina não figura entre os adjuvantes mais empregados, sendo ainda necessário estudos que avaliem o seu emprego em PT em conjunto com adjuvantes como maltodextrina e a base de proteínas. O *spray dryer* é o equipamento mais empregado na obtenção de pós de PT e a otimização de parâmetros de secagem utilizando metodologias estatísticas é crucial para obtenção de resultados confiáveis. O estudo ainda revela que cada adjuvante possui propriedades distintas, influenciadas pelas suas características químicas. Portanto, este estudo propicia a identificação de lacunas na secagem de PT, oferecendo oportunidades de diversificação de formas de estudo que avaliem o emprego de adjuvantes de secagem e metodologias de otimização de parâmetros de secagem na obtenção e avaliação de PT em pó e aplicação em diferentes produtos alimentícios pela indústria, a exemplo de produtos de bebidas vegetais como os *smoothies*.

5 PÓ DE POLPA DE TAMARINDO OBTIDO EM *SPRAY DRYER*

RESUMO

As frutas têm sido objetivo de extensivos estudos devido as suas propriedades nutricionais e funcionais. O tamarindo é conhecido pela qualidade nutricional, sendo uma boa alternativa como ingrediente em produtos alimentícios, principalmente na forma de pó. Diante disso, objetivou-se avaliar o efeito da temperatura de secagem (145,8 a 174,2 °C) e concentração da mistura em proporções iguais dos adjuvantes (5,8 a 34,2%) sobre o pó da polpa de tamarindo obtido em *spray dryer* utilizando o planejamento experimental denominado Delineamento Composto Central Rotacional. Foram utilizados três adjuvantes de secagem: maltodextrina, inulina e proteína isolada do soro de leite (PISL), variando entre as proporções de 5,8 e 30%. Foram analisadas as variáveis umidade, rendimento, solubilidade, higroscopicidade, polifenóis extraíveis totais (PET), L^* , a^* e b^* . O rendimento, PET e L^* foram os parâmetros não significativos ($p > 0,10$). O PPT da melhor condição foi seco com 20% de adjuvantes a 174,2 °C (Ensaio 11) e apresentou 1,37% de umidade, 38,86% de rendimento, 97,09% de solubilidade e 9,60% de higroscopicidade, composto por um conjunto de partículas circulares, lisas e rugosas, sem aglomeração e de fácil escoamento.

Palavras-chave: aspersão; fruta; pó; secagem; vida útil.

5 TAMARIND PULP POWDER OBTAINED IN SPRAY DRYER

ABSTRACT

Fruits have been the subject of extensive studies due to their nutritional and functional properties. Tamarind is known for its nutritional quality, being a good alternative as an ingredient in food products, especially in powder form. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of the drying temperature (145.8 to 174.2 °C) and concentration of the mixture in equal proportions of the adjuvants on the tamarind pulp powder obtained in spray dryer using the experimental design called Rotational Central Composite Design. Three drying adjuvants were used: maltodextrin, inulin and whey protein isolate (WPI), ranging from 5.8 to 30%. The following variables were analyzed: moisture, yield, solubility, hygroscopicity, total extractable polyphenols (TEP), L^* , a^* and b^* . Yield, PET and L^* were the non-significant parameters ($p > 0.10$). The PPT of the best condition was dried with 20% of adjuvants at 174.2 °C (Assay 11) and presented 1.37% moisture, 38.86% yield, 97.09% solubility and 9.60% hygroscopicity, composed of a set of circular, smooth and rough particles, without agglomeration and easy to drain.

Keywords: sprinkling; fruit; powder; drying; shelf life.

5.1 Introdução

Os pós de frutas possuem características muito diferentes da polpa ou suco, sendo assim, é importante o conhecimento de suas propriedades (Alves *et al.*, 2020) e da melhor técnica de secagem empregada (Reis *et al.*, 2024). A secagem em *spray dryer* é uma técnica amplamente utilizada em indústrias alimentícias para produção comercial de alimentos em pó por possuir várias vantagens, incluindo rápida secagem, grande rendimento e operação contínua. Durante o processo de secagem por aspersão, a solução de alimentação é aspergida em gotas em uma corrente de ar quente. As gotículas de líquido são secas em segundos e o produto acabado apresenta-se na forma de pó, grânulos ou aglomerados (Saravacos; Kostaropoulos, 2002; Nindo; Tang, 2007; Quek; Chok; Swedlund, 2007; Toledo, 2007; Caprino *et al.*, 2012; Muzaffar; Kumar, 2015; Oliveira *et al.*, 2018; Khun; Azevedo; Noreña. 2020; Lima *et al.*, 2022; Huazo *et al.*, 2024).

Os agentes adjuvantes têm sido extensivamente utilizados, em combinação ou não, como componentes do processo de secagem (Campelo *et al.*, 2018; Araújo *et al.*, 2020; Martins *et al.*, 2021). A finalidade tecnológica dessas substâncias é alterar as propriedades físico-químicas da matriz alvo de secagem para facilitar ou viabilizar este processo por meio do aumento da temperatura de transição vítrea (T_g) (Muzaffar; Kumar, 2015, Oliveira *et al.*, 2018). Na literatura científica existem registros de diversos compostos empregados como adjuvantes de secagem em polpas de frutas como, por exemplo, maltodextrina em polpa de pinha (Shrivastava *et al.*, 2021), inulina em polpa de araticum (Botrel *et al.*, 2016), goma arábica e proteína do soro de leite em polpa de tamarindo (PT) (Bhusari; Muzaffar; Kumar, 2014).

A espécie *Tamarindus indica* L. é uma árvore pertencente ao gênero *Tamarindus*, conhecida por ser uma importante frutífera que contém cerca de 30% de polpa, 40% de sementes e 30% de casca. É conhecida pela presença de baixa umidade, quantidade de açúcares relativamente alta, elevado teor de proteínas e minerais, o que a torna uma boa fonte de nutrientes na alimentação humana, apesar de não ser tão consumida na forma *in natura*. A PT é normalmente disponibilizada industrialmente na forma concentrada, diluída em água e como ingrediente na forma de pó, sendo atraente para produção de bebidas (Singh; Wangchu; Moond, 2007, Sulieman *et al.*, 2015; Okello *et al.*, 2017; Okello *et al.*, 2018). Na forma de pó, a PT tem muitas vantagens e potenciais econômicos, que incluem conveniente uso em diferentes formulações de alimentos e baixas despesas logísticas devido à redução de peso e volume (Jittanit *et al.*, 2011; Muzaffar; Dar; Kumar, 2017), demonstrando ser um ingrediente interessante na formulação de produtos alimentícios diversos.

Com este estudo, objetivou-se realizar a caracterização físico-química da PT e definir a melhor concentração dos adjuvantes maltodextrina, inulina e proteína isolada do soro de leite (PISL), misturados em iguais proporções, e a melhor temperatura do ar de secagem sobre o rendimento e as propriedades físico-químicas (umidade, solubilidade, higroscopicidade, polifenóis extraíveis totais (PET) e parâmetros de cor (L^* , a^* e b^*)), morfológicas e de fluidez dos pós de PT (PPT) produzidos.

5.2 Metodologia

Este estudo foi desenvolvido nos Laboratórios do Departamento de Engenharia de Alimentos (DEAL) do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal do Ceará (UFC), *Campus* do Pici, Fortaleza, Ceará, Brasil. A manipulação da PT e dos adjuvantes de secagem foi realizada seguindo a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC), nº 216, sobre Boas Práticas de Manipulação de Alimentos (Brasil, 2004).

5.2.1 Material

5.2.1.1 Polpa de tamarindo (PT)

As polpas congeladas de tamarindo (Sempre Viva®, Ubirataia, Bahia, Brasil), provenientes de dois diferentes lotes, foram adquiridas no comércio local da cidade de Fortaleza - CE (Figura 11).

Figura 11 - PT estudada (A) na embalagem original e (B) fora da embalagem.



Fonte: Autor (2025).

As PT foram transportadas para o Laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem (LACONSA) em embalagens plásticas de polietileno de baixa densidade (PEBD), protegidas da exposição a luz e armazenadas em *freezer* vertical, sob congelamento em temperatura de -18 °C até o momento da utilização, respeitando a necessidade experimental.

5.2.1.2 Adjuvantes de secagem

Os adjuvantes de secagem maltodextrina (dextrose equivalente (DE) 20), inulina e PISL, sabor neutro, foram adquiridos das empresas Maltogill, Ingredientes Online (ingredientesonline.com.br) e VITAFOR Suplementos Nutricionais, respectivamente.

5.2.1.3 Caracterização físico-química da PT

Para as análises e realização experimental, a PT foi descongelada sob refrigeração, a 4 °C, por 24 horas. Todas as análises foram realizadas em triplicata ($n = 3$), sendo os resultados expressos como média $\pm$ desvio padrão. As análises e métodos utilizados estão discriminados a seguir:

5.2.1.3.1 Umidade (%): determinada por meio de secagem em estufa a 105 °C, até peso constante, de acordo com o método da *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 2016);

5.2.1.3.2 Cinzas (%): determinada pela incineração da amostra em mufla a 550 °C até as cinzas ficarem brancas ou ligeiramente acinzentadas (AOAC, 2016);

5.2.1.3.3 Lipídeos (%): determinado através de extrator de Soxhlet, utilizando como solvente orgânico o hexano, com a amostra embebida em algodão e previamente seca a 105 °C (AOAC, 2016);

5.2.1.3.4 Proteínas (%): o teor de nitrogênio total das amostras foi determinado pelo método de Kjeldahl, utilizando-se o fator de conversão genérico de 6,25 para transformação do teor quantificado de nitrogênio em proteínas (AOAC, 2016);

5.2.1.3.5 Carboidratos (%): determinado por diferença de 100 da soma dos percentuais dos demais componentes da composição centesimal (umidade, cinzas, lipídeos e proteínas) (AOAC, 2016);

5.2.1.3.6 Sólidos totais (%): determinada por meio de secagem em estufa a 105 °C, até peso constante (AOAC, 2016);

5.2.1.3.7 Sólidos Solúveis Totais (SST): determinado em refratômetro digital (Instrutemp®, São Paulo, Brasil) à temperatura de 25 °C, sendo expressos os resultados em °Brix (AOAC, 2016);

5.2.1.3.8 Acidez total titulável (ATT) (% de ácido tartárico): determinada através da titulação das amostras diluídas em água com solução de hidróxido de sódio 0,1 M e indicador fenolftaleína 1% até mudança de coloração para uma tonalidade levemente rósea (AOAC, 2016);

5.2.1.3.9 pH: determinado pelo método potenciométrico com pHmetro (Quimis®, Q400MT, São Paulo, Brasil), previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0 com resultados expressos em unidades de pH (AOAC, 2016);

5.2.1.3.10 Atividade de água (a_w): determinada em aparelho AquaLab 4TE (Decagon Devices®, USA) (AOAC, 2016);

5.2.1.3.11 Ácido Ascórbico ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$): determinado pelo método de Tillmans, onde cerca de 5 g da amostra foi diluída em 50 mL de ácido oxálico 0,5%, homogeneizada por 1 min e em seguida titulada com solução de 2,6 diclorofenol indofenol 0,2% até mudança de coloração (Strohecker; Henning, 1967);

5.2.1.3.11 Flavonoides amarelos ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$): determinados pela metodologia de Francis (1982). Cerca de 1 g de amostra foi diluída em 10 ml de Etanol e HCl (1,5 N) na proporção 85:15 (v.v⁻¹) em ambiente escuro e deixados em repouso por 24 horas sob refrigeração (4 ± 2 °C). A amostra foi filtrada em papel de filtro e as leituras realizadas em espectrofotômetro (CELM, LS – 3 Plus) a 374 nm. O resultado foi calculado conforme a Equação 1.

$$FA = \frac{FD \times A}{76,2} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

FA: flavonoides amarelos ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$);

FD: fator de diluição: $100 \cdot ((\text{massa da amostra (g)} / \text{volume da diluição (ml)}))^{-1}$;

A: Absorbância.

Na PT, além das análises descritas acima também foram realizadas análises de PET e análise física de cor, descritas nos itens 2.3.1.5 e 2.3.1.6, respectivamente. Na análise de PET da PT, foram utilizados 10 g da amostra.

5.2.1.4 Secagem da PT em *spray dryer*

Antes das secagens em equipamento *spray dryer* (LM MSD 1.0 – Labmaq, Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil) (Figura 12A) e adição dos adjuvantes, as PT descongeladas foram diluídas com água destilada (10%, g.g⁻¹), com o objetivo de facilitar a aspersão. Para a execução do experimento foram fixadas as seguintes condições: vazão de alimentação da amostra de 0,40 L.h⁻¹, vazão de ar comprimido de 30 L.min⁻¹, vazão do ar de secagem de 1,73 m³.min⁻¹, pressão de aspersão entre 90 e 100 psi e bico aspersor de 1,20 mm de abertura de diâmetro. Para as condições dos ensaios 8 e 9 de secagem (valores extremos de adjuvantes (%)), foram utilizadas 400 g de amostra total, contendo, no mínimo, e, no máximo, 236,88 e 339,12 g de PT, 26,32 e 37,68 g de água destilada e 7,73 e 45,60 g de cada adjuvante, no qual estes últimos foram misturados em proporções iguais (% g.g⁻¹). As concentrações de adjuvantes nas amostras e as temperaturas do ar de secagem programados no equipamento seguiram o que está descrito na Tabela 4. Os PPT obtidos no pote coletor foram pesados, a fim de calcular o rendimento, e armazenados em embalagens laminadas flexíveis de polietileno de alta densidade (PEAD) (Tradbor, Iperó – SP, Brasil), protegidos da luz, a vácuo e congelados, para maior preservação dos nutrientes, até a realização das análises (Figura 12B).

Figura 12 – (A) Equipamento *spray dryer* LM MSD 1.0, Labmaq, utilizado nesta pesquisa e (B) embalagem flexível laminada de PEAD utilizada no armazenamento dos PPT.



Fonte: Autor (2025).

5.2.3 Planejamento experimental e análises do PPT

5.2.3.1 Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR)

Um planejamento experimental do tipo DCCR foi empregado com o interesse de obter a melhor condição de secagem por meio da avaliação das seguintes variáveis independentes: X_1 - temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$) e X_2 - concentração de adjuvantes ($\%$, g g^{-1}). As variáveis independentes foram: umidade ($\%$), rendimento ($\%$), higroscopicidade ($\%$), solubilidade ($\%$), PET ($\text{mg de EAG.100 g}^{-1}$) e as coordenadas da cor L^* , a^* e b^* . Foi utilizado um planejamento experimental do tipo fatorial completo de dois níveis (2^2), tendo X_1 e X_2 , o que permitiu o estudo de 5 níveis, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Níveis do DCCR utilizado para secagem de PT em *spray dryer*.

Variáveis Independentes	Níveis				
	-1,42	-1	0	+1	+1,42
Adjuvantes ($\%$, g g^{-1}) – X_1	5,8	10	20	30	34,2
Temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$) – X_2	145,8	150	160	170	174,2

Fonte: Autor (2025).

A realização do planejamento experimental se deu pela efetivação de 11 ensaios, sendo quatro ensaios fatoriais (combinações entre os níveis ± 1), três centrais (duas variáveis independentes no nível 0) e quatro axiais (uma variável independente no nível $\pm \alpha$ e outra em 0), gerando um modelo quadrático, conforme mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 – Planejamento fatorial completo 2^2 mais pontos axiais.

Ensaio	Variáveis			
	Codificadas		Reais	
	X_1	X_2	Adjuvantes ($\%$)	Temperatura de entrada ($^{\circ}\text{C}$)
1	1	1	30	170
2	-1	1	10	170
3	1	-1	30	150
4	-1	-1	10	150
5	0	0	20	160
6	0	0	20	160
7	0	0	20	160
8	-1,42	0	5,8	160

9	1,42	0	34,2	160
10	0	-1,42	20	145,8
11	0	1,42	20	174,2

Fonte: Autor (2025).

5.2.3.2 Caracterização físico-química dos PPT

Todas as análises foram realizadas em triplicata ($n = 3$), sendo os resultados expressos como média $\pm$ desvio padrão. As análises e métodos utilizados estão discriminados a seguir:

5.2.3.2.1 Umidade

Conforme descrito no item 5.2.1.3.1.

5.2.3.2.2 Rendimento

O rendimento foi calculado pela relação entre a massa de sólidos no produto em pó obtido e a massa de sólidos que entrou no *spray dryer* (PT diluída com adjuvantes), de acordo com a Equação 2.

$$R = \frac{M_1}{M_2} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

R: rendimento (%);

M_1 : massa de sólidos do pó (g);

M_2 : massa de sólidos da solução (polpa diluída + adjuvantes) (g).

5.2.3.2.3 Solubilidade

A solubilidade foi determinada segundo o método de Eastman e Moore (1984), adaptado por Cano-Chauca *et al.* (2005). Cerca de 1 g do PPT foi pesado e adicionado em 100 mL de água destilada, sendo agitado por 5 min em agitador magnético com velocidade de 2000 rpm. Em seguida, a solução foi transferida para um tubo de Falcon de 50 mL e centrifugado a 3000 rpm por mais 5 min. Em seguida, uma alíquota de 25 mL do sobrenadante foi colocada em uma placa de Petri, previamente tarada e pesada, submetendo-a a secagem em estufa a 105 °C por 5 h, depois resfriadas e pesadas. A solubilidade foi calculada conforme a Equação 3.

$$S = \frac{Y}{X} \times 100 \quad (3)$$

Em que:

S: solubilidade (%);

X: massa da amostra (g);

Y: massa da alíquota seca (g).

5.2.3.2.4 Higroscopicidade

A higroscopicidade foi determinada segundo Goula e Adamopoulos (2010), com adaptações. Em uma placa de Petri, previamente tarada e pesada, foi pesada cerca de 1 g da amostra do PPT em peneira de 500 µm e, em seguida, a placa contendo a amostra foi transferida para as células de higroscopicidade com 75% de umidade relativa, equilibrada com solução de NaCl durante 90 min. A higroscopicidade foi calculada segundo a Equação 4.

$$H = \frac{X}{X_s} \times 100 \quad (4)$$

Em que:

H: higroscopicidade (g de água absorvida.100 g de sólidos⁻¹) (%);

X: massa de água absorvida (g);

Xs: massa de sólidos da amostra (g).

5.2.3.2.5 Polifenóis extraíveis totais (PET)

O teor de PET foi determinado sob penumbra utilizando a metodologia adaptada de Larrauri, Rupérez e Saura-Calixto (1997). Para a preparação dos extratos foram adicionados 0,5 g do PPT em 20 mL de metanol. A solução foi homogeneizada, deixada em repouso por 60 min e centrifugada a 2197 x g (3400 rpm, CELM, LS – 3 Plus) a temperatura ambiente (25 a 30 °C) por 15 min. Após a centrifugação, foi recolhido e filtrado o sobrenadante em um balão volumétrico âmbar (50 mL). Ao resíduo da primeira extração foram adicionados 20 mL de acetona e os passos seguintes foram iguais aos da primeira extração. Por fim, 500 µL dos extratos foram homogeneizados com 500 µL do reagente *Folin-Ciocalteu*, 1000 µL de carbonato de sódio:água (20:80, g.v⁻¹), 1000 µL de água destilada, submetidos a agitação e repouso. A absorbância foi medida a 700 nm (Biochrom, Cambridge, England) e os resultados foram calculados com o auxílio de uma curva padrão de calibração de ácido gálico (0, 10, 20, 30, 40 e 50 mg de GAE.100 g⁻¹ de sólidos da polpa).

5.2.3.2.6 Cor

As medidas foram realizadas utilizando um calorímetro digital (Konica Minolta, modelo CR410), sendo os resultados expressos no sistema CIELAB de cor, onde *L** indica a

luminosidade e a^* e b^* são as coordenadas de cromaticidade ($+a^*$: vermelho; $-a^*$: verde; $+b^*$: amarelo; $-b^*$: azul), conforme especificações da *Comission Internationale de L'éclairage* (CIELab, 2004).

5.2.3.2.7 Cálculo da diferença percentual

A diferença percentual entre os resultados máximos e mínimos obtidos para as variáveis dependentes pelo DCCR foi calculada segundo a Equação 5, adaptada de Comerlato e Procianoy (1995).

$$DP = \frac{V_{Max} - V_{Min}}{V_{min}} \times 100 \quad (5)$$

Em que:

DP: Diferença percentual (%);

VMax: valor máximo;

VMin: valor mínimo.

5.2.3.3 Análises da condição escolhida

A determinação da melhor condição de secagem foi alcançada por meio de uma minuciosa análise de cada uma das variáveis dependentes, independentemente do comportamento da variável ter sido explicada ou não na descrição do modelo de regressão, sendo consideradas desejáveis as seguintes condições associadas: maior rendimento, menor teor de umidade, maior solubilidade e menor higroscopicidade, tendo em vista que essas variáveis são as mais decisivas na viabilidade de um processo industrial e na inserção do produto no mercado. Após a escolha, procedeu-se com as análises de morfologia e fluidez.

5.2.3.4 Morfologia da condição escolhida

Foi realizada análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) para avaliar a superfície e a morfologia do PPT. A análise foi efetuada na Central Analítica da UFC com auxílio de um microscópio eletrônico de varredura, marca Inspect S50 da FEI®. As amostras foram depositadas sobre fita adesiva dupla face de carbono, fixada em suporte metálico (*stubs*) e, posteriormente, recobertas com ouro em metalizadora da marca Q150T ES da Quorum®. A varredura foi realizada a uma tensão de aceleração de 20 kV e as imagens foram capturadas em resoluções de 800 e 2000x.

5.2.3.5 Fluidez da condição escolhida

Amostras foram inseridas em bandejas circulares de aço inox e transferidas ao equipamento *Powder Flow Tester* (PFT) da empresa *Brookfield Engineering Laboratories* (Figura 13). Em seguida, foram realizados dois testes, o *Wall Friction* e *Flow Function*. O primeiro trata das medidas de atrito entre o PPT e uma superfície de parede, já o segundo é utilizado para caracterizar a resistência de fluxo e potencial dos PPT. Foram obtidas as densidades aparente e de compactação, ângulos de atrito de parede mínimo e máximo, tensão principal de consolidação e a tensão inconfínada de deslizamento.

Figura 13 – Equipamento de *Powder Flow Tester*.



Fonte: Autor (2025).

A partir das densidades foram determinados os índices de fluidez (Equação 6) (Lopes Neto *et al.*, 2007) e de compressibilidade (Equação 7) (CARR, 1965) e a relação de Hausner (Equação 8) (Hausner, 1967).

$$If = \frac{\sigma_1}{\sigma_c} \quad (6)$$

$$IC = \frac{\alpha_c - \alpha_a}{\alpha_c} \times 100 \quad (7)$$

$$RH = \frac{\alpha_c}{\alpha_a} \quad (8)$$

Em que:

I_F : índice de fluidez;

σ_1 : tensão principal de consolidação (kPa);

σ_c : tensão inconfínada de deslizamento (kPa);

IC: índice de compressibilidade (%);
 RH: relação de Hausner;
 α_c : densidade compactada (kg.m^{-3});
 α_a : densidade aparente (kg.m^{-3}).

Após a obtenção dos resultados as amostras foram classificadas quanto sua fluidez (Tabela 5) de acordo com Aziz *et al.* (2018).

Tabela 5 – Classificação do tipo de fluxo.

Tipo de fluxo ¹	IC (%) ²	RH ³
Excelente	<10	1,00 – 1,11
Boa	11-15	1,12-1,18
Adequada	16-20	1,19-1,25
Aceitável	21-25	1,26-1,34
Difícil	26-31	1,35-1,45
Muito difícil	32-37	1,46-1,59
Excessivamente difícil	>38	1,46-1,59

Fonte: ¹Shah, Tawakkul e Khan (2008), ²Índice de compressibilidade (Carr, 1965) e ³Relação de Hausner (Hausner, 1967).

5.2.4 Análise estatística

A partir dos resultados obtidos no DCCR, foram gerados modelos de regressão. Para os parâmetros que se apresentaram significativos ao nível de confiança de 90% de probabilidade, foi aplicada a análise de variância (ANOVA) e geradas as superfícies de resposta e as curvas de contorno. O ajuste do modelo matemático foi avaliado pelo teste F e pelo coeficiente de determinação (R^2). Os dados foram tratados estatisticamente com o auxílio do *software Statistica 7.0* (Statsoft, 2007).

5.3 Resultados e Discussão

5.3.1 Caracterização físico-química da PT

O controle de qualidade dos parâmetros físicos e químicos de polpas de frutas congeladas é muito importante na padronização do produto e na análise de alterações ocorridas durante o processamento e o armazenamento (Castro *et al.*, 2015). Para Nayak *et al.* (2018), a caracterização é um requisito essencial para se ter conhecimento sobre a composição química e os componentes bioativos. Com base nisso, a caracterização físico-química da PT pode ser observada na Tabela 6.

Tabela 6 - Caracterização físico-química da PT.

Parâmetro	Média ± Desvio Padrão	Legislação ¹	
		Mínimo	Máximo
Umidade (%)	91,41 ± 0,06	-	-
Carboidratos (%)	6,64 ± 0,20	-	-
Proteínas (%)	0,43 ± 0,00	-	-
Lipídeos (%)	1,93 ± 0,27	-	-
Cinzas (%)	0,45 ± 0,26	-	-
Sólidos totais (%)	8,48 ± 0,09	6,5	-
SST (°Brix)	6,40 ± 0,10	6,0	-
ATT (% ácido tartárico)	1,83 ± 0,04	1,9 ²	-
pH	3,69 ± 0,09	2,3	-
<i>A_w</i>	0,99 ± 0,00	-	-
Ácido ascórbico (mg.100 g ⁻¹ b.s ³)	4,12 ± 0,70	0,1	-
PET (mg de EAG.100 g ⁻¹ b.s ³)	1882,54 ± 42,94	-	-
Flavonóides amarelos (mg.100 g ⁻¹ b.s ³)	9,47 ± 0,43	-	-
Cor	<i>L</i> *	38,07 ± 0,19	-
	<i>a</i> *	7,28 ± 0,25	-
	<i>b</i> *	3,26 ± 0,46	-

Média ± Desvio Padrão (n = 3). ¹Instrução Normativa nº 37/MAPA/2018. ²Acidez total expressa em ácido cítrico (%). ³Base seca. EAG: Equivalente de ácido gálico.

Fonte: Autor (2025).

Na legislação brasileira, o Padrão de Identidade e Qualidade (PIQ) que apresenta os parâmetros analíticos e quesitos complementares aos padrões de identidade e qualidade de polpa de fruta, é a Instrução Normativa (IN) nº 37/2018 (Brasil, 2018), no seu Anexo II, incluindo os padrões para suco e PT. Nesta IN, para a PT são indicados valores mínimos de 6,5% de sólidos totais, SST a 6,0 °Brix (20 °C), pH de 2,3, ATT de no mínimo 1,9% expressa em ácido cítrico (equivale a 2,03 g de ácido tartárico por 100 g de amostra) e ácido ascórbico a 0,1 mg.100 g⁻¹ (Tabela 6). Com base nisso, as PT avaliadas no presente estudo atendem parcialmente aos padrões da IN, com apenas a ATT abaixo do mínimo exigido.

Os resultados de Khairunnuur *et al.* (2009) mostraram que a PT apresentou teores de umidade e cinzas de 51,1% e 34,84%, respectivamente. A PT apresentou alto rendimento de polpa (50,3%) e altos teores de carboidratos (68%), fibras (5,55%) e ATT (18,56% de ácido tartárico) no estudo de Cardoso *et al.* (2012). Tumpa *et al.* (2021) ao também investigarem PT, obtiveram 33,87%, 4,04%, 65 °Brix, 2,43, 1,09, 38 mg.100g⁻¹ e 44% de umidade, cinzas,

sólidos solúveis totais, pH, acidez total, vitamina C e teor de açúcar total, respectivamente. Hamacek *et al.* (2013) ao avaliarem PT obtiveram altos teores de SST (44 °Brix) e ATT (18,52% ácido tartárico) e baixo pH (2,95). Os autores ainda afirmaram que a fruta pode ser considerada uma boa fonte de fibras alimentares, folatos e vitamina C para crianças e homens adultos, seja consumida *in natura* ou processada. Em geral, a composição da PT é influenciada pela variedade, estágio de maturação (Nagar; Dash; Rayaguru, 2022) e processamento aplicado.

A umidade da PT deste estudo apresentou valor superior a 90% e sólidos totais de 8,48%. Este alto teor de água permite uma aceleração das reações químicas, físicas e bioquímicas, que estão diretamente associadas a rápida deterioração e, além disso, permite uma maior atividade de microrganismos patogênicos e deteriorantes (Sheng; Wang, 2023; Michalski *et al.*, 2025).

Hamacek *et al.* (2013) encontraram 6,09% de proteínas e 5,04% de lipídeos em PT. Salih e Yahia (2015) reportaram 4,75 e 2,71% para proteínas e lipídeos, respectivamente. Já Muzaffar, Dar e Kumar (2017) encontraram 2,97% de proteínas e 0,10% de lipídeos. As proteínas compuseram aproximadamente 0,45% da PT deste estudo. Este macronutriente contribui diretamente para o crescimento, desenvolvimento, regeneração e reconstrução do corpo e são responsáveis pelo bom funcionamento dos vários órgãos através da produção de anticorpos, hormônios e enzimas (Nayak *et al.*, 2018). Os lipídeos compuseram 1,93% da PT. As frutas não apresentam teores elevados de proteínas e lipídeos, mas em forma de pó e farinhas são ótimas fontes destes nutrientes e podem ser adicionadas a produtos alimentícios com a finalidade de melhorar o teor proteico e lipídico (Storck *et al.*, 2015).

O teor de cinzas encontrado neste estudo foi de 0,45%. Para Okello *et al.* (2017), como as amostras de tamarindo têm bons conteúdos minerais, podem ser normalmente incluídas na maioria das dietas para melhorar a saúde humana, principalmente para atender às necessidades diárias de minerais, especialmente Zn, Fe, Ca e Mg. Diversos estudos já documentaram a composição mineral da polpa e sementes de tamarindo (Yusuf; Mofio; Ahmed, 2007; Hamacek *et al.*, 2013; Akajiaku *et al.*, 2014; Salih; Yahia, 2015; Okello *et al.*, 2017).

Segundo Akajiaku *et al.* (2014), a PT é ácida e possui um ácido orgânico predominante, o ácido tartárico, enquanto a semente é uma boa fonte de proteína, fibra bruta e carboidrato. O ácido tartárico é um ácido diidroxissuccínico solúvel em água encontrado principalmente em frutas como bananas, uvas e tamarindo (Gopi *et al.*, 2013). Para Lima *et al.* (2002), a ATT superior a 1% é considerada interessante para a indústria, uma vez que minimiza a necessidade de adição de ácido na inibição do desenvolvimento de microrganismos.

O pH na faixa ácida (3,69) tem uma característica importante por influenciar no tempo de conservação, ao evitar o desenvolvimento de microrganismos patogênicos e influenciar a atividade enzimática, não alterando negativamente as características sensoriais dos produtos (Lima *et al.*, 2013). Para Hoffman (2001) e Santos *et al.* (2010), valores elevados de pH e baixos de acidez são preferidos para o consumo, porém, um pH mais elevado constitui um problema, na medida em que favorece a atividade enzimática e bacteriana. A indústria de alimentos utiliza o efeito do pH sobre os microrganismos para a preservação dos alimentos, sendo o $\text{pH} < 4,5$ muito importante, pois abaixo desse valor não há o desenvolvimento, de forma geral, das bactérias patogênicas. Em alimentos muito ácidos ($\text{pH} < 4,0$), a microbiota capaz de se desenvolver é restrita apenas aos bolores e leveduras, e, por vezes, bactérias lácticas e acéticas.

O presente estudo revelou valor de SST de 6,40 °Brix e 6,64% de carboidratos. Os açúcares constituem a maior parte dos SST e apresentam-se principalmente sob a forma de glicose, frutose e sacarose. Valores elevados de SST são preferidos para o consumo *in natura* e para a industrialização, pois oferecem a vantagem de proporcionar maior rendimento no processamento (Santos *et al.*, 2010). Por apresentarem altas concentrações de açúcares simples e elevada atividade de água, as frutas são importantes substratos para uma imensidão de microrganismos, sendo suscetíveis a uma rápida deterioração, principalmente sob conservação inadequada (Faria *et al.*, 2012; Gonçalves *et al.*, 2014). A PT deste estudo apresentou atividade de água de 0,99. O teor de ácido ascórbico (vitamina C) encontrado foi de 4,12 mg.100 g⁻¹ em b.s. A contribuição desta vitamina para o valor antioxidante das polpas de frutas varia muito entre as frutas (Guo *et al.*, 2003).

O valor de PET encontrado na PT (1882,54 mg de EAG.100 g⁻¹ b.s) foi superior ao reportado por Silva *et al.* (2014), que encontraram teores de PET para PT de 923,34 mg de EAG.100 g⁻¹, maracujá de 765,09 mg de EAG.100 g⁻¹ e manga de 652,59 mg de EAG.100 g⁻¹. Os autores ainda classificaram as frutas em três categorias quanto ao conteúdo fenólico total: baixo (< 500 mg de EAG.100 g⁻¹), médio (500 – 2500 mg de EAG.100 g⁻¹) e alto (> 2500 mg de EAG.100 g⁻¹), o que permite afirmar que a PT deste estudo possui teor médio de PET.

Os flavonoides amarelos apresentaram teores de 9,47 mg.100 g⁻¹ b.s, inferior ao reportado por Silva *et al.* (2014), que encontraram valores de 15,05 mg.100 g⁻¹ em base seca para PT, 60,37 mg.100 g⁻¹ para maracujá e 102,45 mg.100 g⁻¹ para cereja. Essas diferenças podem ser justificadas por vários fatores que podem influenciar os níveis de compostos bioativos em frutas e seus subprodutos, como tipo de cultivo, clima, variedade da fruta e época do ano (Deng; West; Jensen, 2010). Os flavonoides amarelos apresentam efeitos antioxidantes

benéficos para a saúde humana, atuando como nutracêuticos e antioxidantes e a atividade antioxidante está positivamente correlacionada com o conteúdo fenólico total (Kim *et al.* 2018; Souza *et al.*, 2020).

Os resultados para a^* e b^* mostraram que a PT se localizou no primeiro quadrante do espaço de cor ($+a^*$, $+b^*$), indicando uma tendência do amarelo para o vermelho, com luminosidade (L^*) ligeiramente escura, característica da PT, conforme observado na Figura 11. Salih e Yahia (2015) obtiveram 58,40 para L^* , 7,02 para a^* e 13,05 para b^* em PT.

5.3.2 Planejamento experimental (DCCR)

Os resultados da aplicação do DCCR na secagem de PT encontram-se na Tabela 7. Modelos de regressão foram gerados com o objetivo de descrever o comportamento das variáveis independentes sobre as variáveis dependentes (respostas) e assim avaliar e selecionar a melhor condição de secagem com base nos resultados obtidos.

A adição dos adjuvantes em proporções iguais na secagem de PT apresentou efeito estimado significativo ($p \leq 0,10$) para os parâmetros umidade, solubilidade, higroscopicidade e parâmetros de cor a^* e b^* , porém não significativo ($p > 0,10$) para rendimento, PET e L^* . Muzaffar e Kumar (2015) ao utilizarem a metodologia de superfície de resposta para otimizarem os parâmetros de secagem por pulverização de PT utilizando proteína isolada de soja como adjuvantes, observaram que a ANOVA mostrou que os modelos ajustados eram adequados mostrando regressão significativa, baixos valores residuais, sem falta de ajuste, com R^2 satisfatórios de 0,9717, 0,9374, 0,9678 e 0,9919 para as variáveis rendimento, umidade, higroscopicidade e solubilidade, respectivamente.

Tabela 7 - Resultados do DCCR para secagem de PT em *spray dryer*.

Ensaio	Variáveis independentes				Variáveis dependentes					
	Temperatura de entrada (°C)	Adjuvante (%) ¹	Umidade (%)	Rendimento (%)	Solubilidade (%)	Higroscopicidade (%)	PET (mg de EAG.100 g ⁻¹ b.s ²)	Cor		
								<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *
1	170	30	1,28 ± 0,04	30,48 ± 0,15	96,46 ± 2,27	6,44 ± 1,04	588,18 ± 73,34	75,17 ± 0,27	-3,26 ± 0,16	10,82 ± 0,51
2	170	10	3,65 ± 0,13	30,64 ± 0,16	93,96 ± 0,52	7,53 ± 0,75	707,59 ± 38,42	72,87 ± 1,12	-2,91 ± 0,13	10,40 ± 0,57
3	150	30	1,19 ± 0,19	22,07 ± 0,12	96,96 ± 2,44	6,78 ± 0,53	599,74 ± 25,99	75,57 ± 0,84	-2,71 ± 0,08	8,88 ± 0,47
4	150	10	4,26 ± 1,36	28,93 ± 0,20	89,55 ± 2,97	8,07 ± 0,88	613,63 ± 69,85	73,44 ± 0,91	-2,63 ± 0,06	9,47 ± 0,35
5	160	20	0,97 ± 0,13	36,94 ± 0,14	95,63 ± 1,72	7,03 ± 0,25	457,93 ± 15,35	78,92 ± 0,98	-3,00 ± 0,16	8,66 ± 0,32
6	160	20	1,45 ± 0,15	35,22 ± 0,61	97,96 ± 0,99	8,19 ± 1,00	477,19 ± 20,95	75,06 ± 1,54	-2,76 ± 0,10	9,73 ± 0,11
7	160	20	1,45 ± 0,22	39,61 ± 0,34	94,47 ± 2,21	6,81 ± 0,74	478,84 ± 71,03	76,10 ± 1,28	-2,30 ± 0,14	9,15 ± 0,52
8	160	5,8	6,88 ± 0,44	35,14 ± 0,61	87,68 ± 2,39	11,28 ± 0,22	658,57 ± 16,65	73,91 ± 0,49	-1,53 ± 0,24	11,48 ± 0,48
9	160	34,2	0,64 ± 0,05	37,69 ± 0,08	95,32 ± 0,24	6,27 ± 0,57	354,33 ± 45,31	76,75 ± 1,31	-3,49 ± 0,16	9,00 ± 0,82
10	145,8	20	2,48 ± 0,44	31,77 ± 0,27	94,05 ± 1,34	7,12 ± 0,64	436,39 ± 38,89	76,42 ± 0,69	-3,09 ± 0,12	8,76 ± 0,11
11	174,2	20	1,37 ± 0,05	38,86 ± 0,43	97,09 ± 2,54	9,60 ± 0,60	473,65 ± 12,50	75,52 ± 1,24	-3,86 ± 0,11	10,62 ± 0,64

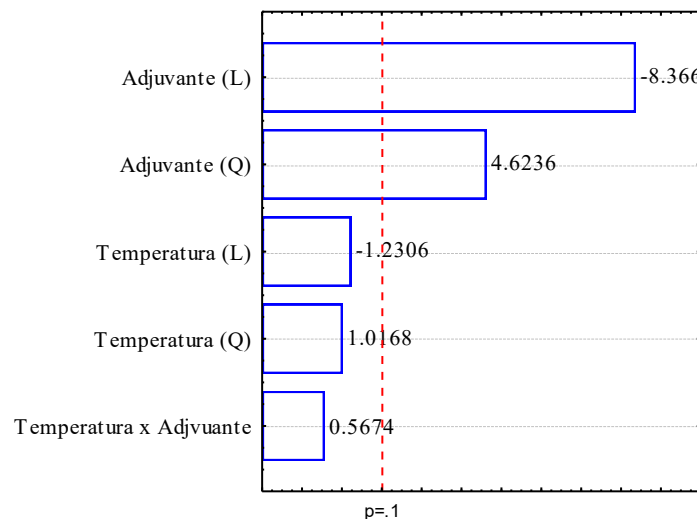
Média ± Desvio Padrão (n = 3). ¹Em massa (g g⁻¹). ²Base seca. EAG: Equivalente de ácido gálico.

Fonte: Autor (2025).

5.3.2.1 Umidade

Os PPT apresentaram umidade abaixo dos 5% recomendados (Tabela 8), com exceção apenas do ensaio 8, podendo, ainda assim, este produto ser considerado como não perecível (Masters, 1991; Muzaffar; Kumar, 2016a). Os resultados variaram entre 0,64% (ensaio 9) e 6,88% (ensaio 8), revelando uma diferença percentual entre os resultados mínimo e máximo de 975%. Muzaffar e Kumar (2016a) encontraram teor mínimo e máximo de 2,62 e 7,39% (diferença de 182%) para umidade do PPT secos em *spray dryer* a 170 °C com 25% de proteína isolada de soja como adjuvante, respectivamente. Na Figura 14 estão dispostos os resultados dos efeitos estimados. Dentre os fatores lineares e quadráticos, apenas o adjuvante foi significativo ($p \leq 0,10$), demonstrando dessa forma que a temperatura não exerceu influência significativa na umidade do produto ($p > 0,10$). Ocorreu ainda efeito negativo na variável adjuvante (L), significando que um aumento nessa variável ocasionou uma redução na umidade do produto.

Figura 14 - Efeito estimado da adição dos adjuvantes e da temperatura do ar de secagem na umidade de PT obtido em *spray dryer*.



Em que: L: Termo linear; e Q: Termo quadrático. Valores significativos a $p \leq 0,10$.
Fonte: Autor (2025).

A ANOVA do modelo de regressão foi obtida a partir dos efeitos significativos e mostrou que o modelo gerado descreveu fortemente os dados experimentais. O teste F apresentou o $F_{\text{calculado}}$ maior que o F_{tabelado} , confirmando o efeito significativo (Tabela 8). Na falta de ajuste, o $F_{\text{calculado}}$ foi menor que o F_{tabelado} . O modelo ajustado apresentou um R^2 de 0,9199 e está representado pela Equação 9.

Tabela 8 - ANOVA do modelo de regressão para a variável umidade.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{cal.}	F _{tab.10%}	R ²
Regressão	32,8971	2	16,4485	45,9922*	3,11	0,9199
Resíduo	2,8611	8	0,3576			
Falta de ajuste	2,7056	6	0,4509	5,8018	9,33	
Erro puro	0,1554	2	0,0777			
Total	35,7581	10				

Em que: SQ = Soma Quadrática; GL = Grau de Liberdade; QM = Média Quadrática; F_{calc} = F_{calculado}; F_{tab.10%} = F_{tabelado com 10% de significância}; R² = Coeficiente de determinação. *Significativo a $p \leq 0,10$.
 Fonte: Autor (2025).

$$U = 9,4560 - 0,61409A + 0,0109A^2 \quad (9)$$

Em que:

U: Umidade (%);

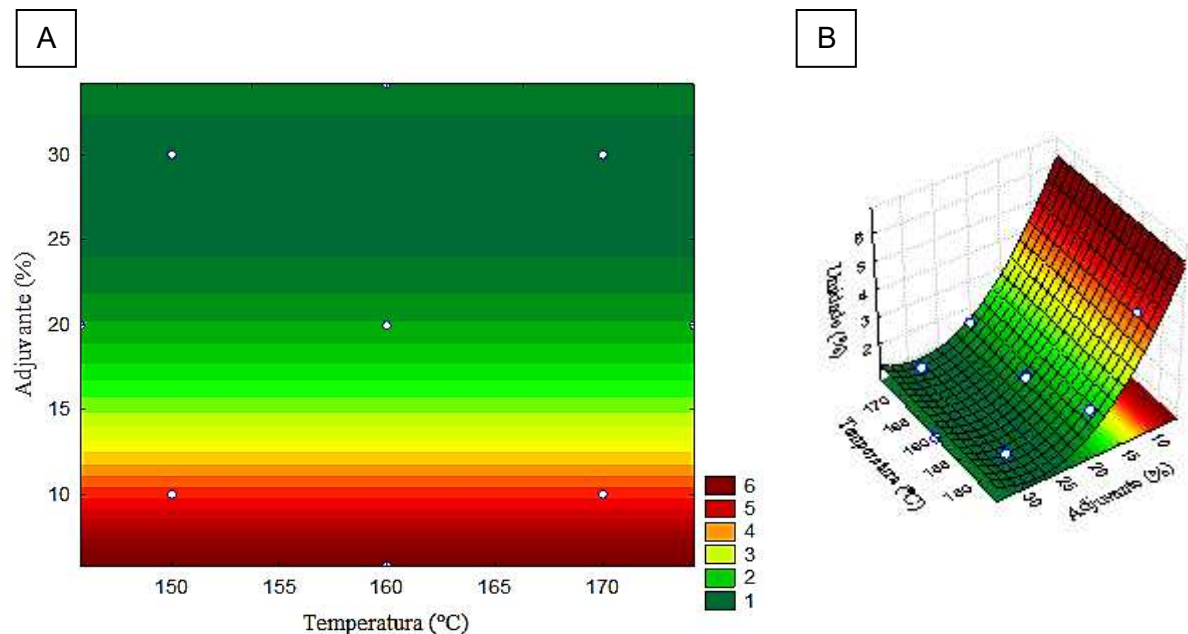
A: Adjuvante (%).

A curva de contorno e a superfície de resposta, representadas na Figura 15, foram obtidas por meio da Equação 8, sendo possível observar detalhadamente o comportamento da variável umidade. As diferentes concentrações de adjuvantes unidas as diferentes temperaturas do ar de secagem evidenciaram a tendência na redução da umidade, com maior representatividade do adjuvante, ou seja, quanto maior o teor de adjuvantes menor o teor de umidade. Esse fato pode ser observado numericamente ao verificar os ensaios 8 e 9, em que ambos os PPT foram secos na mesma temperatura, 160 °C, porém o ensaio 8 com 5,8% e o ensaio 9 com 34,2% de adjuvantes, tendo o ensaio 9 apresentado o menor teor de umidade entre os 11 ensaios (0,64%), em detrimento aos 6,88% de umidade do ensaio 8 (maior umidade).

Para Muzaffar e Kumar *et al.* (2015), o aumento da temperatura de entrada leva à diminuição do teor de umidade das amostras do PPT, devido ao maior gradiente de temperatura entre a alimentação atomizada e o meio de secagem, causando rápida remoção de água e resultando em pós com baixo teor de umidade. Chang, Ooi e Pui (2022) encontraram um padrão semelhante, onde o aumento da concentração de maltodextrina levou ao aumento do teor total de sólidos e reduziu a quantidade de água para evaporação, o que por sua vez reduziu o teor de umidade do pó de melão seco por aspersão. O pó tem maior vida útil devido à baixa atividade de água, reduzindo assim as chances de reação de *Maillard* e aumentando a facilidade de aplicar em diferentes formulações de alimentos. Geralmente, pó com baixa higroscopicidade

e teor de umidade e alta solubilidade é considerado um bom pó (Bhusari; Muzaffar; Kumar, 2014; Muzaffar; Kumar, 2016b).

Figura 15 – (A) curva de contorno e (B) superfície de resposta da umidade do PPT obtido em *spray dryer*.



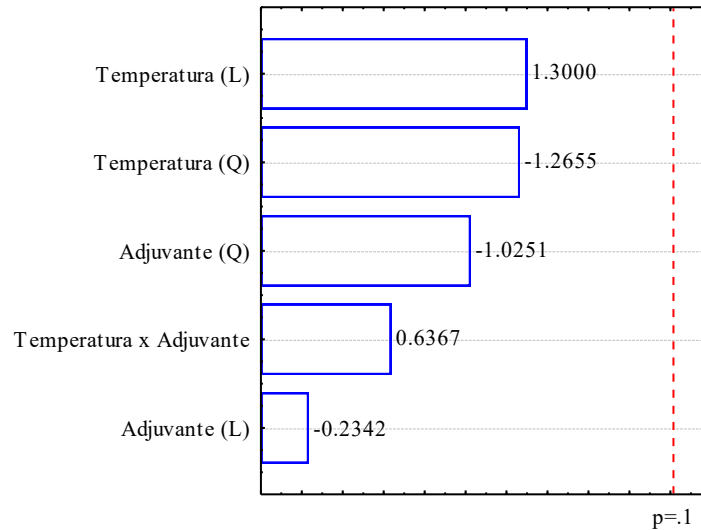
Fonte: Autor (2025).

5.3.2.2 Rendimento

Os PPT apresentaram rendimento superiores a 22% (Tabela 7). O rendimento revelou valores que oscilaram entre 22,07% (ensaio 3) e 39,61% (ensaio 7), ou seja, 79,47% de diferença percentual. Muzaffar e Kumar *et al.* (2015) notaram que o aumento da temperatura do ar de entrada elevou o rendimento dos PPT com proteína de soja como adjuvante e afirmaram que esse efeito pode ser atribuído à maior eficiência da transferência de calor e massa que ocorre em temperaturas de ar de entrada mais altas.

Contudo, apesar da elevada variação observada neste estudo, o comportamento do rendimento não pôde ser descrito pelas variáveis estudadas, uma vez que não houve diferença significativa ($p \leq 0,10$) nos efeitos a um nível de 90% de confiança, tanto em termos lineares quanto quadráticos (Figura 16). Por esse motivo, não foi gerada a ANOVA e, por consequência, o modelo de regressão, a curva de contorno e a superfície de resposta.

Figura 16 – Efeito estimado da adição dos adjuvantes e da temperatura do ar de secagem no rendimento do PPT obtido em *spray dryer*.

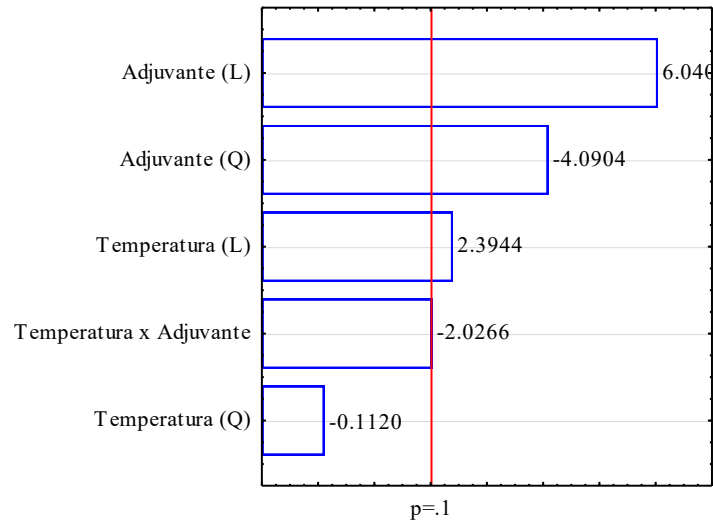


Em que: L: Termo linear; e Q: Termo quadrático. Valores não significativos a $p > 0,10$.
 Fonte: Autor (2025).

5.3.2.3 Solubilidade

Conforme a Tabela 9, a solubilidade dos PPT foi superior a 87%. O teor mínimo foi de 87,68% para o ensaio 8 e o máximo atingido chegou a 97,96% no ensaio 6. A diferença percentual entre os resultados mínimo e máximo foi de 11,72%, fazendo-se perceber a capacidade que os ensaios avaliados têm em produzir PPT de elevada solubilidade. A Figura 17 apresenta o efeito estimado da adição dos adjuvantes e da temperatura do ar de secagem sobre a solubilidade.

Figura 17 - Efeito estimado da adição dos adjuvantes e da temperatura do ar de secagem na solubilidade do PPT obtido em *spray dryer*.



Em que: L: Termo linear; e Q: Termo quadrático. Valores significativos a $p \leq 0,10$.
Fonte: Autor (2025).

Todas as variáveis independentes exerceram influência na solubilidade ($p \leq 0,10$). Houve efeito negativo da interação entre os fatores temperatura e adjuvante, significando que o aumento tanto da temperatura quanto da concentração de adjuvantes produz, em conjunto, pós mais solúveis. Na Tabela 9, a ANOVA mostrou que o modelo ajustado ($F_{\text{calculado}}$ maior que F_{tabelado}) apresentou um forte R^2 (0,9277) e está representado pela Equação 10.

Tabela 9 - ANOVA do modelo de regressão para a variável solubilidade.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{cal.}	F _{tab.10%}	R ²
Regressão	94,5542	4	23,6385	19,2667*	3,18	0,9277
Resíduo	7,3614	6	1,2269			
Falta de ajuste	1,0416	4	0,2604	0,0824	9,24	
Erro puro	6,3198	2	3,1599			
Total	101,9156	10				

Em que: SQ = Soma Quadrática; GL = Grau de Liberdade; QM = Média Quadrática; $F_{\text{calc}} = F_{\text{calculado}}$; $F_{\text{tab.10\%}} = F_{\text{tabelado com 10\% de significância}}$; R^2 = Coeficiente de determinação. *Significativo a $p \leq 0,10$.
Fonte: Autor (2025).

$$S = 26,8993 + 0,3480T + 3,0460A - 0,0208A^2 - 0,0123TA \quad (10)$$

Em que:

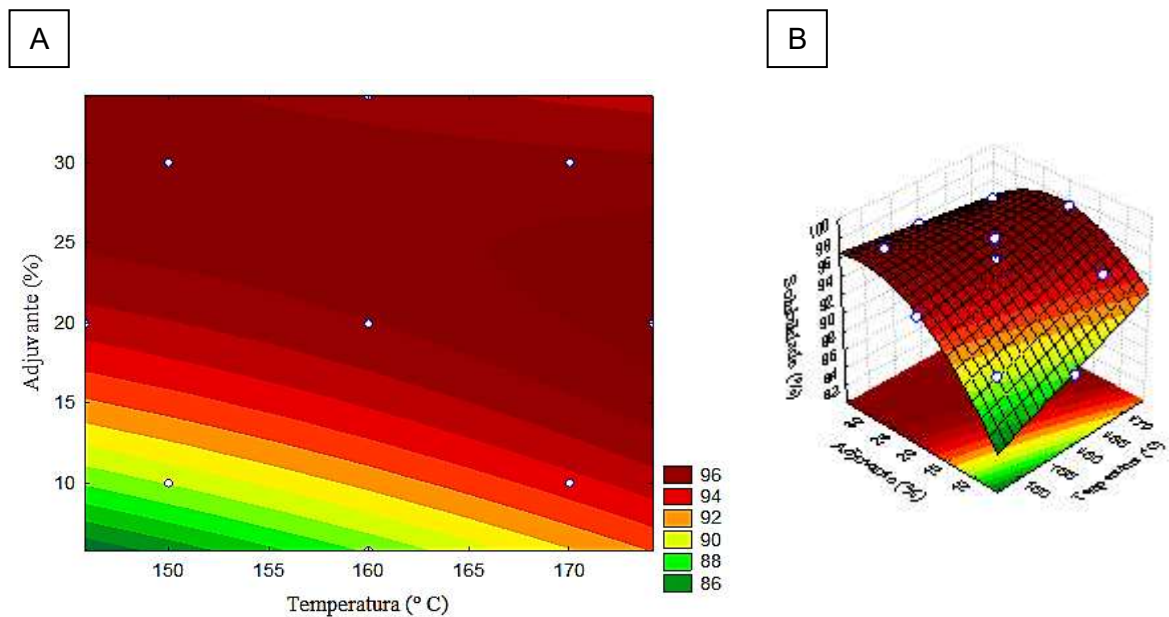
S: Solubilidade (%);

T: Temperatura (°C);

A: Adjuvante (%).

Por meio da Figura 18, é possível analisar detalhadamente o efeito significativo das variáveis independentes. Quanto maior a temperatura e maior a quantidade de adjuvantes, maior foi a solubilidade dos PPT. Pós obtidos a temperaturas acima de 160 °C com concentrações de adjuvantes entre 15 e 30% tiveram suas solubilidades superiores a 90%. Notadamente, os ensaios 8 (160 °C e 5,8%) e 4 (150 °C e 10%) foram os únicos com solubilidades inferiores a 90%. O aumento da solubilidade com o aumento da temperatura do ar de entrada é devido ao seu efeito sobre o teor de umidade residual. Quanto menor o teor de umidade da amostra de pó, mais solúvel ela é (Muzaffar; Dar; Kumar, 2017). Chang, Ooi e Pui (2022) observaram comportamento semelhante na solubilidade de pó de melão. O maior grau de solubilidade (107,67 s/g a 119,67 s/g) foi obtido sob maior temperatura do ar de entrada a 170 °C e 180 °C, onde a maior temperatura contribuiu para um pó mais poroso e que, por sua vez, tinha uma grande área de superfície de contato entre o pó e a água.

Figura 18 – (A) curva de contorno e (B) superfície de resposta da solubilidade do PPT obtido em *spray dryer*.



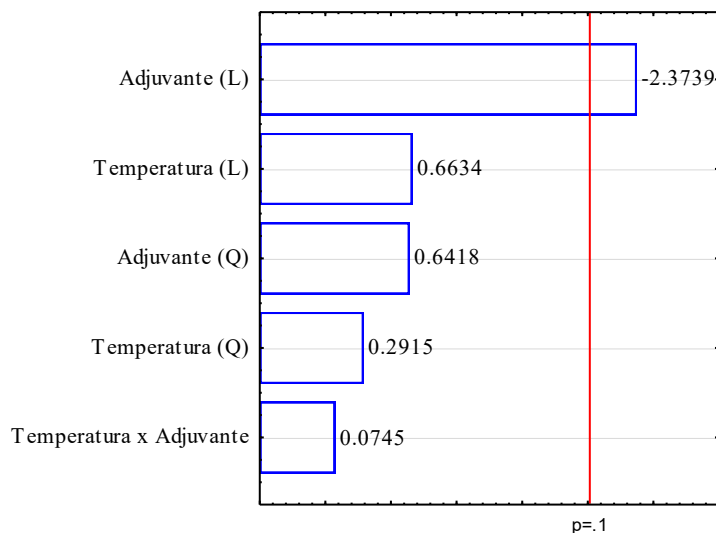
Fonte: Autor (2025).

5.3.2.4 Higroscopicidade

A higroscopicidade dos PPT apresentou valores que variaram entre 6,27 e 11,28% nos ensaios 9 e 8, respectivamente, correspondendo a 79,90% de diferença percentual (Tabela 7). Constatou-se que a higroscopicidade dos PPT foi influenciada significativamente ($p \leq 0,10$) pela concentração de adjuvantes (L). Com o aumento na concentração dessa variável, os PPT

revelaram-se menos higroscópicos (Figura 19). Para os efeitos estimados não houve influência da temperatura ($p > 0,10$).

Figura 19 – Efeito estimado da adição dos adjuvantes e da temperatura do ar de secagem na higroscopicidade do PPT obtido em *spray dryer*.



Em que: L: Termo linear; e Q: Termo quadrático. Valores significativos a $p \leq 0,10$.
Fonte: Autor (2025).

Na Tabela 10 estão apresentados os resultados da ANOVA para a variável higroscopicidade. O modelo de regressão gerado apresentou um fraco R^2 , de 0,4899, mostrando baixa representação da variação dos resultados. O modelo matemático ajustado aos dados experimentais está representado pela Equação 11.

Tabela 10 - ANOVA do modelo de regressão para a variável higroscopicidade.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{cal.}	F _{tab.10%}	R ²
Regressão	11,1979	1	11,1979	8,6421*	3,36	0,4899
Resíduo	11,6616	9	1,2957			
Falta de ajuste	10,5577	7	1,5082	2,7327	9,35	
Erro puro	1,1039	2	0,5519			
Total	22,8594	10				

Em que: SQ = Soma Quadrática; GL = Grau de Liberdade; QM = Média Quadrática; F_{calc} = F_{calculado}; F_{tab.10%} = F_{tabelado com 10% de significância}; R² = Coeficiente de determinação. *Significativo a $p \leq 0,10$.
Fonte: Autor (2025).

$$H = 10,1021 - 0,1181A$$

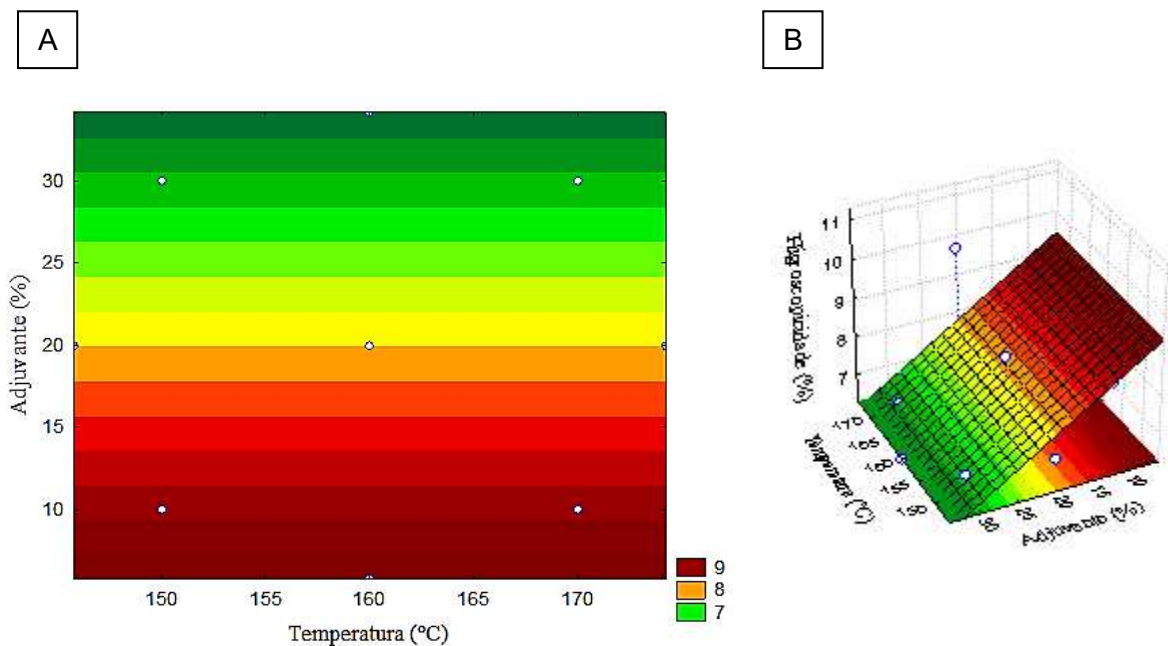
Em que:

H: Higroscopicidade (%);

A: Adjuvante (%).

Semelhante aos resultados da variável umidade, a curva de contorno e a superfície de resposta demonstraram que o aumento da concentração de adjuvante ocasionou uma redução na higroscopicidade dos ensaios estudados (Figura 20), demonstrando uma interdependência entre essas duas variáveis. A exemplo, os ensaios 8 e 9, apresentaram os valores extremos de concentração de adjuvantes dentro do DCCR (Tabela 7), com concentrações que variaram de 5,8 a 34,2% de adjuvantes, respectivamente, no entanto, o ensaio 8 teve 11,28% de higroscopicidade, enquanto o ensaio 9 teve 6,27%, uma oscilação significativa ($p \leq 0,10$). Bhusari, Muzaffar e Kumar (2014) justificam que a higroscopicidade é a capacidade de um material de absorver a umidade do ambiente de alta umidade relativa, portanto, sua variação é sempre dependente da variação no teor de água livre que está em contato com o pó. Logo, como a umidade diminuiu no ensaio 9 com o aumento do percentual de adjuvantes (Figura 5), era de se esperar o mesmo comportamento para a variável higroscopicidade.

Figura 20 – (A) curva de contorno e (B) superfície de resposta da higroscopicidade do PPT obtido em *spray dryer*.

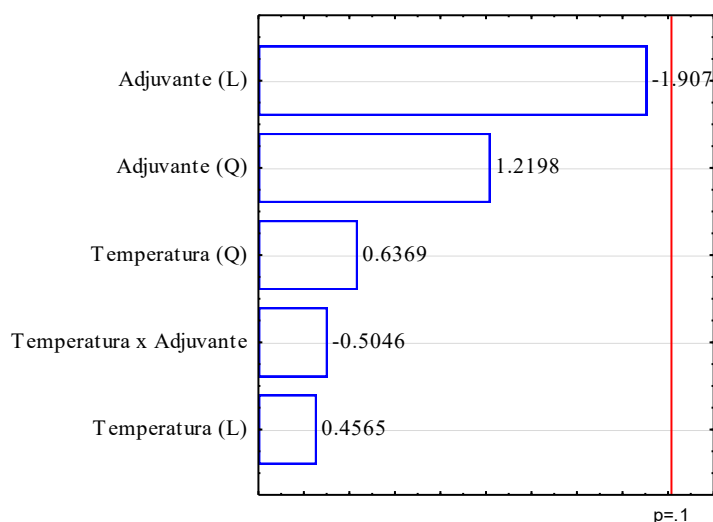


Fonte: Autor (2025).

5.3.2.5 PET

Os PPT obtidos em *spray dryer* apresentaram teores de PET superiores a 300 mg de EAG.100 g⁻¹ b.s, com variação entre 354,33 mg de EAG.100 g⁻¹ para o ensaio 9 e 707,59 mg de EAG.100 g⁻¹ para o ensaio 2. Logo, a diferença entre os resultados mínimo e máximo foi próximo a 99,69% (Tabela 7). Apesar dessa grande diferença, estatisticamente não houve significância na análise dos efeitos estudados ($p > 0,10$) em nenhum dos fatores analisados a um nível de 90% de confiança, tanto em termos lineares quanto quadráticos (Figura 21). Por esse motivo, não foi gerada a ANOVA e, por consequência, o modelo de regressão, a curva de contorno e a superfície de resposta.

Figura 21 - Efeito estimado da adição dos adjuvantes e da temperatura do ar de secagem nos PET do PPT obtido em *spray dryer*.



Em que: L: Termo linear; e Q: Termo quadrático. Valores não significativos a $p > 0,10$.

Fonte: Autor (2025).

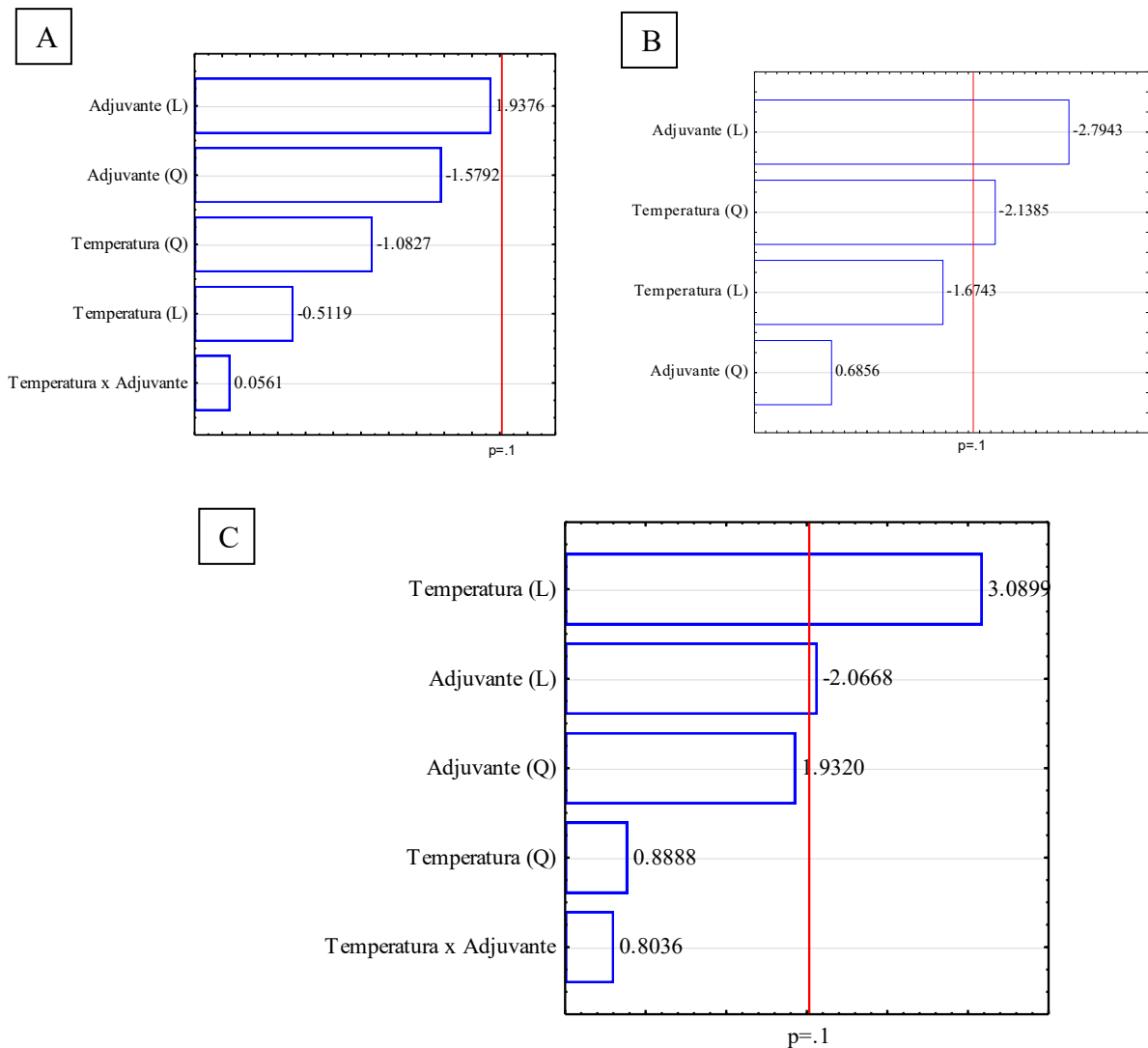
5.3.2.6 Parâmetros de cor: L^* , a^* e b^*

A cor é uma característica de qualidade muito importante de produtos de frutas e vegetais que influencia a aceitabilidade do consumidor e deve exibir uniformidade e intensidade (Muzaffar; Kumar, 2016a). Os parâmetros de cor L^* , a^* e b^* oscilaram na faixa de 72,87 (ensaio 2) a 78,92 (ensaio 5), -3,86 (ensaio 11) a -1,53 (ensaio 8) e 8,76 (ensaio 10) a 11,48 (ensaio 8), respectivamente. A maior variação percentual foi notada para a^* , com 152,28%, seguida por b^* (31,05%) e L^* (8,30%), conforme Tabela 7.

Os resultados para a^* e b^* mostraram que a cor dos PPT de todos os ensaios ficou localizada no segundo quadrante ($-a^*$, $+b^*$) do espaço de cor, indicando uma variância de cor

no espectro do amarelo para o verde, com L^* escuras, característica de um produto em pó de fruta naturalmente escura (Tabela 6), que contém reduzida umidade e maior predominância dos sólidos escuros da polpa e dos adjuvantes. Valores máximos de 66,56, 13,52 e 27,21 para L^* , a^* e b^* foram reportados por Muzaffar e Kumar (2016a) em secagem por aspersão a 170 °C de PT com 25% de proteína isolada de soja como adjuvante, respectivamente. A Figura 22 apresenta os efeitos estimados para cada parâmetro de cor.

Figura 22 - Efeito estimado da adição dos adjuvantes e da temperatura do ar de secagem na (A) luminosidade (L^*), (B) parâmetro de cor a^* e (C) parâmetro de cor b^* do PPT obtido em *spray dryer*.



Em que: L: Termo linear; e Q: Termo quadrático. (A) Valores não significativos a $p > 0,10$. (B) e (C) Valores significativos a $p \leq 0,10$.

Fonte: Autor (2025).

A L^* foi o único parâmetro não significativo ($p > 0,10$) a um nível de 90% de confiança. Por esse motivo, não foi gerada a ANOVA e, por consequência, o modelo de regressão, a curva de contorno e a superfície de resposta. Dentre os fatores lineares e quadráticos, o adjuvante (L) foi significativo ($p \leq 0,10$) para a^* e b^* e as temperaturas (Q) e (L) foram significativas para a^* e b^* , respectivamente.

As ANOVAs dos modelos de regressão gerados para a^* e b^* descreveram moderadamente os dados experimentais, onde esses parâmetros apresentaram R^2 de 0,5986 e 0,5929, segundo as Tabelas 11 e 12, respectivamente. Os modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais para a^* e b^* estão representados pelas Equações 12 e 13, respectivamente.

Tabela 11 - ANOVA do modelo de regressão para a variável de cor a^* .

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{cal.}	F _{tab.10%}	R ²
Regressão	2,2834	2	1,1417	5,9657*	3,11	0,5986
Resíduo	1,5310	8	0,1914			
Falta de ajuste	1,2789	6	0,2131	1,6909	9,33	
Erro puro	0,2521	2	0,1261			
Total	3,8145	10				

Em que: SQ = Soma Quadrática; GL = Grau de Liberdade; QM = Média Quadrática; F_{calc} = F_{calculado}; F_{tab.10%} = F_{tabelado com 10% de significância}; R² = Coeficiente de determinação. *Significativo a $p \leq 0,10$.
Fonte: Autor (2025).

$$a^* = -0,0643 - 0,00008T^2 - 0,04006A \quad (12)$$

Em que:

a^* : Parâmetro de cor;

T: Temperatura (°C);

A: Adjuvante (%).

Tabela 12 - ANOVA do modelo de regressão para a variável de cor b^* .

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{cal.}	F _{tab.10%}	R ²
Regressão	5,4927	2	2,7464	5,8273*	3,11	0,5929
Resíduo	3,7701	8	0,4713			
Falta de ajuste	3,1932	6	0,5322	1,8434	9,33	
Erro puro	0,5775	2	0,2887			
Total	9,2634	10				

Em que: SQ = Soma Quadrática; GL = Grau de Liberdade; QM = Média Quadrática; F_{calc} = F_{calculado}; F_{tab.10%} = F_{tabelado com 10% de significância}; R² = Coeficiente de determinação. *Significativo a $p \leq 0,10$.
Fonte: Autor (2025).

$$b^* = -0,3536 + 0,06873T - 0,04598A \quad (13)$$

Em que:

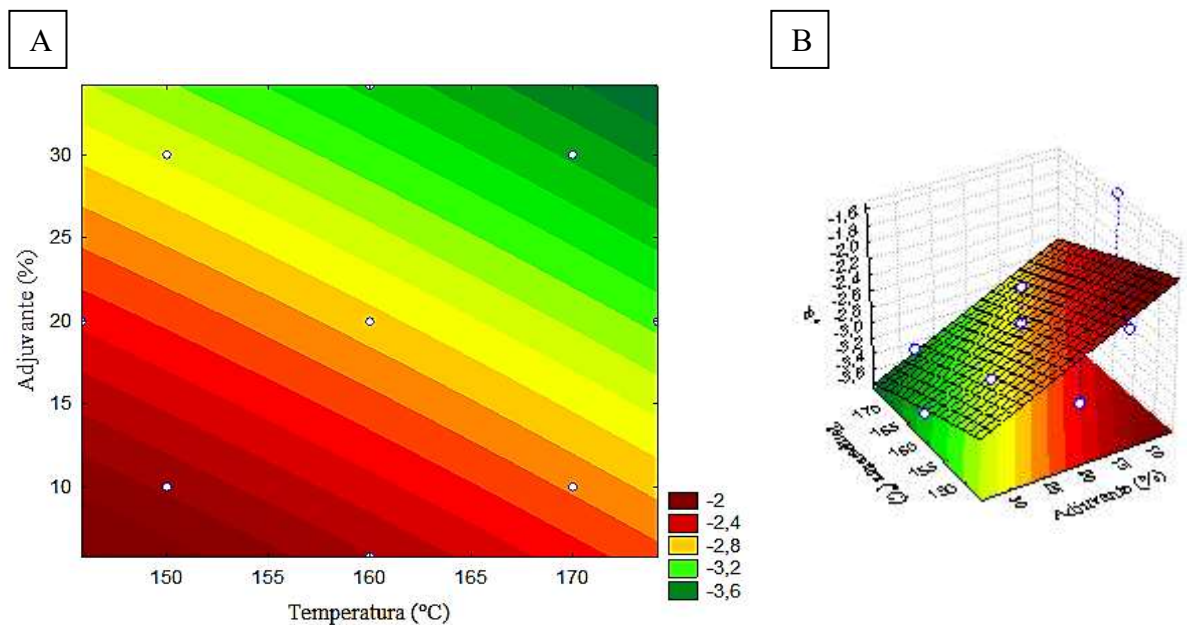
b^* : Parâmetro de cor;

T : Temperatura (°C);

A : Adjuvante (%).

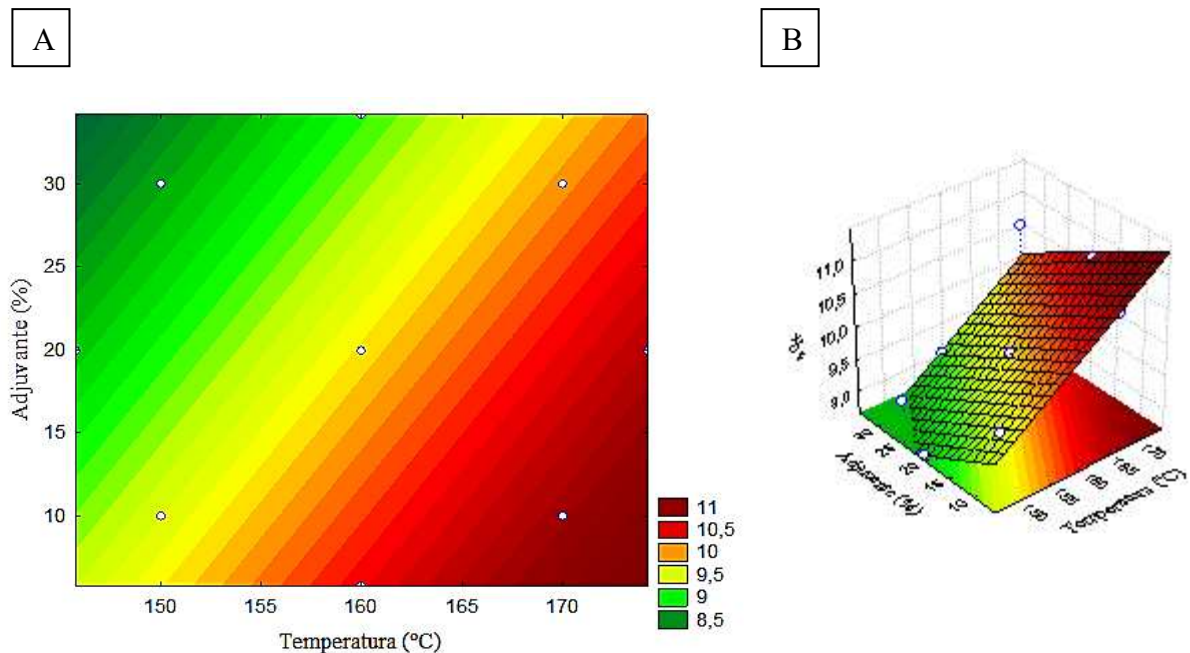
Para a^* à medida em que as variáveis independentes aumentavam a cor diminuía, ficando mais próxima do espectro verde da escala CIELab (Figura 23). Para b^* , enquanto aumentava o teor de adjuvantes, menos amarela eram as cores dos PPT e a medida em que elevava a temperatura, para mais amarela tendia a cor dos PPT (Figura 24).

Figura 23 – (A) curva de contorno e (B) superfície de resposta do parâmetro de cor a^* do PPT obtido em *spray dryer*.



Fonte: Autor (2025).

Figura 24 - (A) curva de contorno e (B) superfície de resposta do parâmetro de cor b^* do PPT obtido em *spray dryer*.



Fonte: Autor (2025).

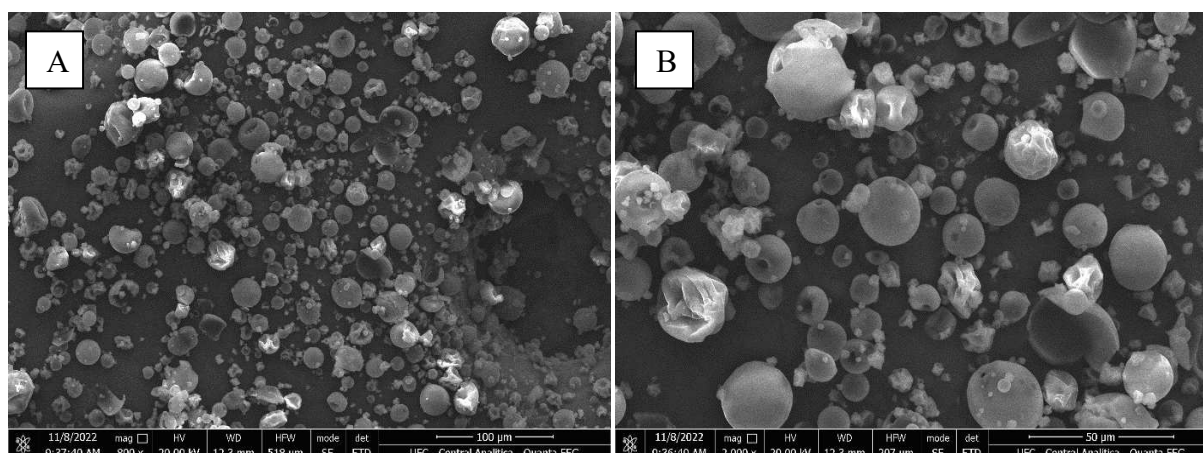
5.3.3 Condição de secagem escolhida para avaliação da morfologia e fluidez

O ensaio 11 apresentou o melhor conjunto de resultados avaliados para definição da melhor condição, conforme critérios mencionados em 2.2.3.3, com 1,37% de umidade, 38,86% de rendimento, 97,09% de solubilidade e 9,60% de higroscopicidade, cujas variáveis independentes estavam ajustadas em 20% de adjuvantes e 174,2 °C de temperatura de secagem. Diante do exposto, duas novas secagens da condição escolhida foram realizadas para obtenção do PPT para as análises de morfologia e fluidez.

5.3.4 Avaliação morfologia do PPT da condição escolhida

A MEV é uma importante análise utilizada para caracterizar a microestrutura de produtos em pó, pois a morfologia pode influenciar na taxa de liberação e na proteção do material encapsulado (Oliveira *et al.*, 2018; Kuhn; Azevedo; Noreña, 2020). As partículas do PPT pulverizada a 174,2 °C, contendo 20% de maltodextrina, inulina e PISL em iguais proporções, avaliadas pelas imagens obtidas pela MEV, podem ser visualizadas na Figura 25.

Figura 25 – Micrografias (A) 800x e (B) 2000x das partículas do PPT pulverizada a 174,2 °C, contendo 20% de maltodextrina, inulina e PISL, em iguais proporções.



Fonte: Autor (2025).

As partículas apresentaram heterogeneidade nas suas morfologias, o que já era esperado por ter sido uma amostra com presença de três adjuvantes distintos. Não houve aglomeração entre as partículas, explicando a baixa higroscopicidade e revelando que o PPT escolhido possui boa fluidez, fato confirmado na Figura 25. A geometria esférica foi predominante quando observada com aproximação de 800x (Figura 25A). Contudo, a aproximação de 2000x (Figura 25B) revelou partículas esféricas com superfícies lisas e outras com superfícies profundamente rugosas e irregulares, não sendo possível diferenciar visualmente os três diferentes adjuvantes que fizeram parte da composição do PPT.

A secagem em *spray dryer* geralmente fornece pós com uma distribuição de tamanho homogênea de micropartículas e boa estabilidade dos compostos encapsulados. As esferas lisas estão associadas a inulina devido à elasticidade durante o processo de secagem inerente deste adjuvante. A superfície enrugada tem sido associada ao encolhimento das partículas durante o processo de secagem, devido à perda drástica de umidade e ao resfriamento rápido (Kuhn; Azevedo; Noreña, 2020).

5.3.5 Fluidez do pó da condição escolhida

A fluidez dos pós é importante durante a fabricação de produtos contendo misturas de pó, especialmente durante as operações de dosagem e mistura (Pauck *et al.*, 2017). A Tabela 13 apresenta os resultados da tensão inconfina de deslizamento (σ_c) em função das tensões

principais de consolidação (σ_1) aplicadas nas amostras do PPT pulverizadas a 174,2 °C, contendo 20% de maltodextrina, inulina e PISL, em iguais proporções.

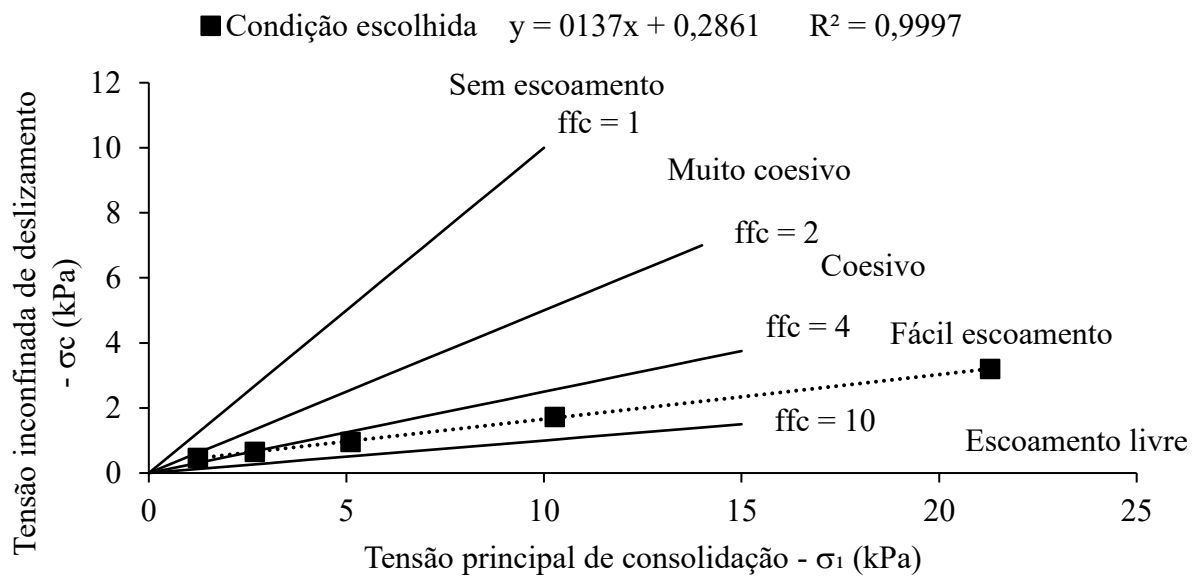
Tabela 13 - Tensão principal de consolidação (σ_1) e tensão inconfiada de deslizamento (σ_c) do PPT pulverizado a 174,2 °C, contendo 20% de maltodextrina, inulina e PISL.

Níveis	σ_1 (kPa)	σ_c (kPa)
1	1,2400	0,4610
2	2,6835	0,6555
3	5,1085	0,9585
4	10,2715	1,7225
5	21,2930	3,1965

Fonte: Autor (2025).

O pó apresentou um baixo valor de σ_c , o que indica ser menos resistente ao escoamento. A equação de regressão da σ_c em função da σ_1 do PPT apresentou elevado R^2 , 0,9997, podendo ser usada para estimar a escoabilidade do PPT (Figura 26). Logo, quanto mais próximo a reta estiver do eixo vertical (σ_c) mais difícil é o seu escoamento, confirmando então um bom escoamento do pó estudado, por estar dentro da faixa de fácil escoamento.

Figura 26 - Tensão não confinada de deslizamento (σ_c) em função da tensão principal de consolidação (σ_1) do PPT pulverizado a 174,2 °C, contendo 20% de maltodextrina, inulina e PISL, em iguais proporções.



ffc: razão entre σ_1 e σ_c .
Fonte: Autor (2025).

A Tabela 14 apresenta os parâmetros de fluidez analisados no PPT pulverizado a 174,2 °C, contendo 20% de maltodextrina, inulina e PISL, em iguais proporções.

Tabela 14 - Densidades, ângulos de atrito de parede, índice de fluxo, índice de compressibilidade e razão de Hausner do pó da polpa de tamarindo pulverizada a 174,2 °C, contendo 20% de maltodextrina, inulina e PISL, em iguais proporções.

Parâmetro de fluidez	Média ± Desvio Padrão
Índice de fluxo (I_f)	5,88 ± 0,90
Densidade aparente (kg.m ⁻³)	271 ± 10,46
Densidade compactada (kg.m ⁻³)	751,55 ± 303,28
Índice de compressibilidade (%)	61,05 ± 14,32
Razão de Hausner	2,75 ± 1,01
Ângulo de atrito mínimo de parede (°)	20,60 ± 4,10
Ângulo de atrito máximo de parede (°)	29,17 ± 3,22

Média ± Desvio Padrão (n = 3).

Fonte: Autor (2025).

Uma forma clássica de classificar os pós quanto a seu escoamento em um meio foi desenvolvida por Jenike (1964), o índice de fluxo ou índice de fluidez (I_f). Esse índice foi calculado a partir da Equação 6, utilizando os dados da Tabela 13, e pode classificar os pós como: sem escoamento ($I_f < 1,0$), muito coesivo ($1,0 < I_f < 2,0$), coesivo ($2,0 < I_f < 4,0$), de fácil escoamento ($4,0 < I_f < 10,0$) e de escoamento livre ($I_f > 10,0$). A partir desses intervalos, o pó novamente confirma seu fácil escoamento. Apesar da irregularidade observada nas superfícies das partículas (Figura 26), essa característica morfológica não foi capaz de tornar coeso a fluidez do PPT, tendo em vista que a não aglomeração observada das partículas e a baixa higroscopicidade são características já mencionadas como importantes na boa fluidez.

A densidade de um pó é uma propriedade importante porque está diretamente relacionada ao comportamento de sua fluidez. Os pós são formados a partir de partículas que podem ter poros e espaços vazios entre eles. Portanto, uma maneira usual é expressar sua densidade como densidade aparente. Outra forma muito difundida é através da densidade compactada. Quando um determinado pó sofre uma ação de tensão, suas partículas se reorganizam e há uma redução dos espaços vazios (Lima *et al.*, 2022). Os resultados observados de densidade aparente e compactada indicaram um aumento percentual considerável na densidade após a compactação, de cerca de 177%.

A partir dessas densidades, pode-se usar o IC e a RH para classificar o fluxo de um pó. O IC é uma medida relacionada à resistência e estabilidade de contato entre as partículas de

um pó. Já a RH está relacionada ao atrito entre as partículas (Aziz *et al.*, 2018). O IC e a RH foram calculados pelas Equações 7 e 8 e de acordo com a classificação apresentada na Tabela 5, o PPT apresentou uma fluidez excessivamente difícil entre as partículas ($IC > 38$ e $RH > 1,60$). Muzaffar e Kumar (2015) ao analisarem a fluidez unicamente pela metodologia IC e RH também observaram que os PT com maltodextrina e goma arábica apresentaram fluxo difícil, exceto o pó com 20% de PISL, que apresentou caráter de fluxo médio, devido ao seu grande tamanho de partícula e teor de umidade intermediário. Segundo Düsenberg *et al.* (2023), a classificação da fluidez de pós finos e polidispersos pela relação entre IC e HR não é confiável, uma vez que esses índices foram originalmente desenvolvidos para pós de alta densidade (metal) ou de granulação grossa (grãos integrais), sendo, para nossas amostras, a classificação pelo I_f mais confiável.

De acordo com os valores dos ângulos de atrito obtidos, o pó apresentou variação percentual entre os ângulos de atrito máximo e mínimo de 41,60%. Segundo Fitzpatrick *et al.* (2004), o ângulo de atrito da parede representa a resistência adesiva entre o pó e o material da parede do ambiente de armazenamento, e quanto maior, mais difícil para o pó se mover ao longo da parede. Assim, quanto menor o ângulo, menor a inclinação necessária de uma parede para garantir o escoamento dos pós (Afonso *et al.*, 2019). Com base em Lopes-Neto, Meire e Nascimento (2017) que apontaram uma relação inversa entre o ângulo de atrito da parede e o índice de fluxo, os resultados obtidos indicam que o índice de fluxo de 5,88, classificado como de fácil escoamento, está alinhado com o ângulo de atrito da parede máximo de 29,17. Esses valores sugerem que o material apresenta boas propriedades de fluidez, com baixa resistência ao movimento contra as superfícies de contenção, corroborando a expectativa de que menores ângulos de atrito favorecem um fluxo mais eficiente.

5.4 Conclusão

As características físico-químicas da PT encontraram-se dentro dos parâmetros estabelecidos pela legislação brasileira vigente, com exceção do parâmetro acidez. Os ensaios realizados em secador do tipo *spray dryer* foram eficazes na identificação da melhor concentração de adjuvantes e temperatura de secagem capaz de apresentar resultados significativos ($p \leq 0,10$) para os parâmetros umidade, solubilidade, higroscopicidade e parâmetros de cor a^* e b^* , revelando que o Ensaio 11 (20% de adjuvante e 174,2 °C de temperatura) se sobressaiu perante os demais, por ter apresentado as seguintes condições associadas: maior rendimento, menor teor de umidade, maior solubilidade e menor higroscopicidade. O pó da melhor condição apresentou partículas circulares, lisas e rugosas,

sem aglomeração e de fácil escoamento pela análise do I_f , mas fluidez excessivamente difícil entre as partículas segundo o IC e a RH. Contudo, ainda é possível otimizar esse estudo avaliando a influência individual dos adjuvantes de secagem maltodextrina, inulina e PISL nas propriedades físico-químicas, morfológicas e de fluidez do PPT pulverizado com 20% de cada adjuvante.

6 INFLUÊNCIA DOS ADJUVANTES DE SECAGEM SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DO PÓ DA POLPA DE TAMARINDO OBTIDO EM *SPRAY DRYER*

RESUMO

Os adjuvantes de secagem são componentes importantes na formação de pós de polpa de fruta secos por aspersão. Este estudo teve como objetivo avaliar a influência individual dos adjuvantes de secagem maltodextrina, inulina e proteína isolada do soro de leite (PISL) nas propriedades físico-químicas, morfológicas e de fluidez do pó da polpa de tamarindo (PPT) pulverizado com 20% (g. g⁻¹) de cada adjuvante. Os PPT foram analisados quanto à umidade, higroscopicidade, rendimento, solubilidade, polifenóis extraíveis totais (PET), pH, sólidos solúveis totais, *aw*, cor (*L**, *a** e *b**), morfologia das partículas e fluidez usando o *Powder Flow Tester*. A retenção dos PET também foi investigada. Os resultados foram significativos ($p \leq 0,05$) para os parâmetros umidade, rendimento, solubilidade, PET, pH e *b**. Higroscopicidade, *L** e *a** foram não significativos ($p > 0,05$). O PPT contendo PISL apresentou a menor solubilidade (80,26%) e o maior rendimento (35,21%). O PPT com inulina apresentou o maior teor de PET (475,22 mg de EAG.100 g⁻¹ b.s), com retenção de 25,24%. A geometria esférica foi predominante, mas com rugosidades e menores aglomerações nos PPT contendo PISL. Os pós com PISL, maltodextrina e inulina foram classificados como de fácil escoamento, coesivo e muito coesivo, respectivamente. Através da correlação de Pearson (*r*) observou-se que os parâmetros de fluidez apresentaram elevadas correlações lineares significativas entre si. Portanto, os adjuvantes de secagem influenciaram diretamente as propriedades físico-químicas, rendimento e de fluidez dos PPT.

Palavras-chave: densidade aparente; densidade compactada; fluidez; proteína; solubilidade.

6 INFLUENCE OF THE ADJUVANT ON THE PHYSICOCHEMICAL, MORPHOLOGICAL AND FLOWABILITY PROPERTIES OF TAMARIND POWDER OBTAINED IN SPRAY DRYER

ABSTRACT

Drying admixtures are important components in the formation of spray-dried fruit pulp powders. This study aimed to evaluate the individual influence of the drying adjuvants maltodextrin, inulin and whey protein isolate (WPI) on the physicochemical, morphological and fluidity properties of tamarind pulp powder (PPT) sprayed with 20% (g. g⁻¹) of each adjuvant. PPT were analyzed for moisture, hygroscopicity, yield, solubility, total extractable polyphenols (TEP), pH, total soluble solids, *aw*, color (*L**, *a** and *b**), particle morphology and fluidity using the Powder Flow Tester. The retention of TEP was also investigated. The results were significant ($p \leq 0.05$) for the parameters moisture, yield, solubility, PET, pH and *b**. Hygroscopicity, *L** and *a** were not significant ($p > 0.05$). The PPT containing PISL had the lowest solubility (80.26%) and the highest yield (35.21%). The PPT with inulin had the highest PET content (475.22 mg of GAE.100 g⁻¹ d.b), with retention of 25.24%. The spherical geometry was predominant, but with roughness and smaller agglomerations in the PPT containing WPI. Powders with PISL, maltodextrin and inulin were classified as easy to flow, cohesive and very cohesive, respectively. Through Pearson's correlation (*r*), it was observed that the flow parameters presented high significant linear correlations with each other. Therefore, flexibility adjuvants directly influenced the physical-chemical properties, yield and fluidity of PPT.

Keywords: bulk density; compacted density; fluidity; protein; solubility.

6.1 Introdução

O tamarindeiro (*Tamarindus indica* L.) é uma árvore frutífera da família das Leguminosas, originária da África tropical, amplamente cultivada em regiões tropicais e subtropicais, como o Sudeste Asiático, Américas e Austrália. Adaptada a climas semiáridos, tolera períodos de seca de até seis meses, mas não resiste a baixas temperaturas. No Brasil, seus frutos, colhidos principalmente na estação seca (julho a outubro), são comercializados em feiras livres ou como polpa congelada disponível o ano todo. Há um excelente mercado para produtos à base de tamarindo em pó (Preez, 2003; Pereira *et al.*, 2011; García *et al.*, 2012; Okello *et al.*, 2017; Sousa, 2018; Nagar; Dash; Rayaguru, 2022). O pó da polpa de tamarindo (PPT) tem diversas vantagens e potencialidades econômicas, entre elas a praticidade de uso, ausência de resíduos, baixos gastos logísticos devido ao peso e volume reduzidos, fácil manipulação, maior vida útil devido à baixa atividade de água e fácil de servir como ingrediente em produtos alimentícios (Bhusari; Muzaffar; Kumar, 2014; Muzaffar; Kumar, 2016a).

A secagem por aspersão é a técnica amplamente utilizada nas indústrias de alimentos para a produção comercial de polpas em pó. As propriedades físico-químicas dos pós secos por aspersão são afetadas pelas variáveis do processo, como temperatura do ar de entrada, taxa de fluxo de alimentação, concentração do adjuvante etc. No entanto, a produção de polpas em pó por aspersão pode apresentar alguns problemas devido à presença de açúcares (glicose, frutose) e ácidos (tartárico) de baixo peso molecular que possuem baixa temperatura de transição vítrea (T_g) em estado seco puro, aderindo então à parede da câmara do secador durante a secagem em elevadas temperaturas, levando a um baixo rendimento do processo e problemas operacionais. Por isso, é necessário o uso de agentes transportadores para a realização da secagem por aspersão da polpa de tamarindo (PT). Logo, é necessário investigar um agente adjuvante eficiente na produção do PPT de qualidade seco por aspersão (Bhusari; Muzaffar; Kumar, 2014; Muzaffar; Kumar, 2016a).

Entre os principais indicadores de benefícios do emprego dos adjuvantes de secagem estão: melhoria do desempenho do secador (i); melhoria das propriedades da matriz alvo (ii); modulação do tamanho das partículas (iii); aumento do rendimento (iv); aumento da estabilidade do produto (v); facilidade de manuseio, transporte e armazenamento (vi); maior proteção contra a adsorção de umidade do ambiente (vii); e aumento da biodisponibilidade (viii). Para isso, espera-se que os adjuvantes selecionados sejam inócuos, seguros, inertes quimicamente, com estabilidade térmica e oxidativa, baixa higroscopicidade e viscosidade, alta solubilidade e baixo custo (Muzaffar; Kumar, 2015; Oliveira *et al.*, 2018). Os adjuvantes têm

sido extensivamente utilizados, em combinação ou não, como componentes do processo de secagem na conservação pelo controle do teor de água (Campelo *et al.*, 2018; Araújo *et al.*, 2020; Martins *et al.*, 2021).

Na literatura científica existem registros de diversos compostos empregados como adjuvantes de secagem em polpas de frutas. Podem ser especificados maltodextrinas DE 5 e 10, goma arábica e o amido modificado com anidrido n-octanil succínico em polpa de morango (Oliveira *et al.*, 2013); leite em polpas de amora e acerola (Braga; Rocha, 2015; Dantas *et al.*, 2019); amido, inulina e maltodextrina em polpa de jussara (Lacerda *et al.*, 2016); inulina em polpa de araticum (Botrel *et al.*, 2016); maltodextrina em polpa de manga (Fongin *et al.*, 2019); colágeno hidrolisado e mistura de maltodextrina em polpa de cacau (Vargas-Muñoz *et al.*, 2020); maltodextrina e goma arábica em polpa de araçá-boi (Iturri; Calado; Prentice, 2021); goma arábica em polpa de melão (Li *et al.*, 2021); maltodextrina em polpa de pinha (Shrivastava *et al.*, 2021); maltodextrina, goma arábica e dextrina em polpa de sapoti (Lima *et al.*, 2022).

Grandes quantidades e variedades de materiais alimentícios são produzidos, armazenados e manuseados na forma de pó nas indústrias, havendo a necessidade de informações sobre suas propriedades. Os pós e farinhas são os menos previsíveis de todos os materiais em relação à fluidez devido ao grande número de fatores que podem alterar suas propriedades reológicas (Jan; Ghoroi; Saxena, 2017). Assim, segundo Lima *et al.* (2022) a avaliação das características do pó, como fluidez e estrutura das partículas, torna-se importante para determinar as melhores condições de embalagem e manuseio. Além disso, devem ser avaliados os efeitos dos diferentes agentes carreadores na secagem de polpas e sucos de frutas por aspersão, a fim de se obter pós com melhor fluidez. Essas características tornam-se importantes para o desenvolvimento de produtos em pó de boa qualidade.

Diante da necessidade do aprofundamento de investigações científicas nas propriedades de fluidez do PPT comercial, objetivou-se investigar o efeito individual de três diferentes adjuvantes de secagem (maltodextrina, inulina e proteína isolada do soro de leite (PISL)), nas suas propriedades físico-químicas, morfológicas e de fluidez.

6.2 Metodologia

Este estudo foi desenvolvido nos Laboratórios do Departamento de Engenharia de Alimentos (DEAL) do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal do Ceará (UFC), *Campus* do Pici, Fortaleza, Ceará, Brasil. A manipulação da PT e dos adjuvantes de secagem foi realizada seguindo a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC), nº 216, sobre Boas Práticas de Manipulação de Alimentos (Brasil, 2004).

6.2.1 Material

6.2.1.1 Polpa de tamarindo (PT)

As polpas congeladas de tamarindo (Sempre Viva®, Ubirataia, Bahia, Brasil), provenientes de dois diferentes lotes, foram adquiridas no comércio local da cidade de Fortaleza, Ceará, Brasil. As PT foram transportadas para o Laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem (LACONSA) em embalagens plásticas de polietileno de baixa densidade (PEBD), protegidas da exposição a luz e armazenadas em *freezer* vertical, sob congelamento em temperatura de -18 °C até o momento da utilização, respeitando a necessidade experimental.

6.2.1.2 Adjuvantes de secagem

Os adjuvantes de secagem maltodextrina (dextrose equivalente (DE) 20), inulina e proteína isolada do soro de leite (PISL), sabor neutro, foram adquiridos das empresas Maltogill, Ingredientes Online (ingredientesonline.com.br) e VITAFOR Suplementos Nutricionais, respectivamente.

6.2.2 Métodos

6.2.2.1 Secagem da PT em spray dryer

Antes das secagens em equipamento *spray dryer* (LM MSD 1.0 – Labmaq, Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil) e adição dos adjuvantes, as PT descongeladas foram diluídas com água destilada (10%, g.g⁻¹), com o objetivo de facilitar sua aspersão. Para a execução do experimento foram fixadas as seguintes condições: vazão de alimentação da amostra de 0,40 L.h⁻¹, vazão de ar comprimido de 30 L.min⁻¹, vazão do ar de secagem de 1,73 m³.min⁻¹, pressão de aspersão entre 90 e 100 psi e bico aspersor de 1,2 mm de abertura de diâmetro. Para cada uma das três secagens foram utilizados 400 g de amostra total, contendo 288 g de PT, 32 g de água destilada e 80 g de cada um dos três adjuvantes. Todas as amostras foram preparadas em concentração de 20% de adjuvantes (g.g⁻¹) e desidratadas em *spray dryer* a 174,2 °C, com base na melhor condição definida na seção 5. Os PPT obtidos no pote coletor foram pesados, a fim de calcular o rendimento, e armazenados em embalagens laminadas flexíveis de polietileno de alta densidade (PEAD) (Tradbor, Iperó – SP, Brasil), protegidos da luz, a vácuo e congelados, para maior preservação dos nutrientes, até a realização das análises.

6.2.2.2 Caracterização físico-química dos PPT

Para as análises e realização experimental, a PT foi descongelada sob refrigeração, a 4 °C, por 24 horas. Todas as análises foram realizadas em triplicata (n = 3), sendo os resultados expressos como média ± desvio padrão. As análises e métodos utilizados estão discriminados a seguir:

6.2.2.2.1 Umidade

Determinada por meio de secagem em estufa a 105 °C, até peso constante, de acordo com o método da *Association of Official Analytical Chemist* (AOAC, 2016).

6.2.2.2.2 Rendimento

O rendimento foi calculado pela relação entre a massa de sólidos no produto em pó obtido e a massa de sólidos que entrou no *spray dryer* (PT diluída com adjuvantes), de acordo com a Equação 1.

$$R = \frac{M_1}{M_2} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

R: rendimento (%);

M₁: massa de sólidos do pó (g);

M₂: massa de sólidos da solução (polpa diluída + adjuvantes) (g).

6.2.2.2.3 Solubilidade

A solubilidade foi determinada segundo o método de Eastman e Moore (1984), adaptado por Cano-Chauca *et al.* (2005). Cerca de 1 g do PPT foi pesado e adicionado em 100 mL de água destilada, sendo agitado por 5 min em agitador magnético com velocidade de 2000 rpm. Em seguida, a solução foi transferida para um tubo de Falcon de 50 mL e centrifugado a 3000 rpm por mais 5 min. Em seguida, uma alíquota de 25 mL do sobrenadante foi colocada em uma placa de Petri, previamente tarada e pesada, submetendo-a a secagem em estufa a 105 °C por 5 h, depois resfriadas e pesadas. A solubilidade foi calculada conforme a Equação 2.

$$S = \frac{Y}{X} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

S: solubilidade (%);

X: massa da amostra (g);

Y: massa da alíquota seca (g).

6.2.2.2.4 Higroscopicidade

A higroscopicidade foi determinada segundo Goula e Adamopoulos (2010), com adaptações. Em uma placa de Petri, previamente tarada e pesada, foi pesada cerca de 1 g da amostra do PPT em peneira de 500 µm e, em seguida, a placa contendo a amostra foi transferida para as células de higroscopicidade com 75% de umidade relativa, equilibrada com solução de NaCl durante 90 min. A higroscopicidade foi calculada segundo a Equação 3.

$$H = \frac{X}{X_s} \times 100 \quad (3)$$

Em que:

H: higroscopicidade (g de água absorvida.100 g de sólidos⁻¹) (%);

X: massa de água absorvida (g);

Xs: massa de sólidos da amostra (g).

6.2.2.2.5 PET

O teor de PET foi determinado sob penumbra utilizando a metodologia adaptada de Larrauri, Rupérez e Saura-Calixto (1997). Para a preparação dos extratos foram adicionados 0,5 g do PPT em 20 mL de metanol:água (50:50, v.v⁻¹). A solução foi homogeneizada, deixada em repouso por 60 min e centrifugada a 2197 x g (3400 rpm, CELM, LS – 3 *Plus*) a temperatura ambiente (25 a 30 °C) por 15 min. Após a centrifugação, foi recolhido e filtrado o sobrenadante em um balão volumétrico âmbar (50 mL). Ao resíduo da primeira extração foram adicionados 20 mL de solução de acetona:água (70:30, v.v⁻¹) e os passos seguintes foram iguais aos da primeira extração. Por fim, 500 µL dos extratos foram homogeneizados com 500 µL do reagente *Folin-Ciocalteu*, 1000 µL de carbonato de sódio:água (20:80, g.v⁻¹), 1000 µL de água destilada, submetidos a agitação e repouso. A absorbância foi medida a 700 nm (*Biochrom, Cambridge, Inglaterra*) e os resultados foram calculados com o auxílio de uma curva padrão de calibração de ácido gálico (0, 10, 20, 30, 40 e 50 mg de GAE.100 g⁻¹ de sólidos da polpa).

6.2.2.2.6 Retenção dos PET

O cálculo da retenção dos PET foi realizado de acordo com Nóbrega *et al.* (2015), através da Equação 4.

$$R (\%) = \frac{T_p}{T_n} \times 100 \quad (4)$$

Em que:

R: Retenção (%);

T_p: teor do componente após secagem sem base seca;

T_n: teor do componente natural em base seca.

6.2.2.2.7 Cor, pH, sólidos solúveis totais (SST) e atividade de água (*a_w*)

As medidas foram realizadas utilizando um calorímetro digital (Konica Minolta, modelo CR410), sendo os resultados expressos no sistema CIELAB de cor, onde *L** indica a luminosidade e *a** e *b** são as coordenadas de cromaticidade (+*a**: vermelho; -*a**:verde; +*b**: amarelo; -*b**: azul), conforme especificações da *Comission Internationale de L'éclairage* (CIELab, 2004). O pH foi determinado pelo método potenciométrico, utilizando um medidor digital (Quimis®, Q400MT, São Paulo, Brasil) calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0. O teor de SST foi avaliado por meio de um refratômetro digital de bancada (Instrutemp®, São Paulo, Brasil) e expresso em °Brix e a *a_w* foi determinada a 25 °C usando um medidor de atividade de água AquaLab 4TE (Decagon Devices®, USA).

6.2.2.3 Morfologia

Foi realizada análise de microscopia eletrônica de varredura para avaliar a superfície e a morfologia do pó de tamarindo, a mesma foi efetuada na Central Analítica da UFC com auxílio de um microscópio eletrônico de varredura (MEV), marca Inspect S50 da FEI®. As amostras foram depositadas sobre fita adesiva dupla face de carbono, fixada em suporte metálico (*stubs*) e, posteriormente, recobertas com ouro em metalizadora da marca Q150T ES da Quorum®. A varredura foi realizada a tensões de aceleração de 10 e 20 kV. As imagens foram capturadas em resoluções de 800 e 2000x.

6.2.2.4 Fluidez

Amostras foram inseridas em bandejas circulares de aço inox e transferidas ao equipamento *Powder Flow Tester* (PFT) da empresa *Brookfield Engineering Laboratories*. Em seguida, foram realizados dois testes, o *Wall Friction* e *Flow Function*. O primeiro trata das medidas de atrito entre o PPT e uma superfície de parede, já o segundo é utilizado para caracterizar a resistência de fluxo e potencial dos PPT. Foram obtidas as densidades aparente e de compactação, ângulos de atrito de parede mínimo e máximo, tensão principal de consolidação e a tensão confinada de deslizamento. A partir das densidades foram

determinados os índices de fluidez (Equação 5) (Lopes Neto *et al.*, 2007) e de compressibilidade (Equação 6) (Carr, 1965) e a relação de Hausner (Equação 7) (Hausner, 1967). Após a obtenção dos resultados as amostras foram classificadas quanto sua fluidez (Tabela 15) de acordo com Aziz *et al.* (2018).

$$If = \frac{\sigma_1}{\sigma_c} \quad (5)$$

$$IC = \frac{\alpha_c - \alpha_\alpha}{\alpha_c} \times 100 \quad (6)$$

$$RH = \frac{\alpha_c}{\alpha_\alpha} \quad (7)$$

Em que:

I_f : índice de fluidez;

σ_1 : tensão principal de consolidação (kPa);

σ_c : tensão incondfinada de deslizamento (kPa);

IC: índice de compressibilidade (%);

RH: relação de Hausner;

α_c : densidade compactada (kg.m^{-3});

α_α : densidade aparente (kg.m^{-3}).

Tabela 15 – Classificação do tipo de fluxo.

Tipo de fluxo ¹	IC (%) ²	RH ³
Excelente	<10	1,00 – 1,11
Boa	11-15	1,12-1,18
Adequada	16-20	1,19-1,25
Aceitável	21-25	1,26-1,34
Difícil	26-31	1,35-1,45
Muito difícil	32-37	1,46-1,59
Excessivamente difícil	>38	1,46-1,59

Fonte: ¹Shah, Tawakkul e Khan (2008), ²Índice de compressibilidade (Carr, 1965) e ³Relação de Hausner (Hausner, 1967).

6.2.2.5 Cálculo da diferença percentual

A diferença percentual entre os resultados máximos e mínimos das densidades e dos ângulos de atrito foi calculada segundo a Equação 8, adaptada de Comerlato e Procianoy (1995).

$$DP = \frac{V_{\text{Max}} - V_{\text{Min}}}{V_{\text{min}}} \times 100 \quad (8)$$

Em que:

DP: Diferença percentual (%);

VMax: valor máximo;

VMin: valor mínimo.

6.2.3 Análise estatística

A análise de componentes principais (PCA) foi usada para inicialmente visualizar a característica dos carreadores em relação aos parâmetros físico-químicos e de fluidez usando o *software Statistica 7.0* (Statsoft, 2007). Todos os resultados foram obtidos a partir da média dos experimentos, em duplicata. Os parâmetros foram avaliados por análise de variância (ANOVA) e submetidos ao teste de Tukey para determinar diferenças significativas ($p \leq 0.05$). A correlação de Pearson (r) foi conduzida para o pó de maior índice de fluxo, através da Equação 8, e as médias foram comparadas pelo Teste t de *Student* ($p \leq 0,05$; $p < 0,01$). As análises foram realizadas utilizando o *Assistat software* versão 7.7 beta (Silva; Azevedo, 2016).

$$r = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \sum_i (y_i - \bar{y})^2}} \quad (8)$$

Em que:

I: Número de repetições ($i = 1, \dots, n$);

x_i : Valores de um conjunto de dados ($x_1, x_2, \dots, x_n$);

$\bar{x}$: Média dos valores de um conjunto de dados;

y_i : Valores de outro conjunto de dados correspondentes ($y_1, y_2, \dots, y_n$);

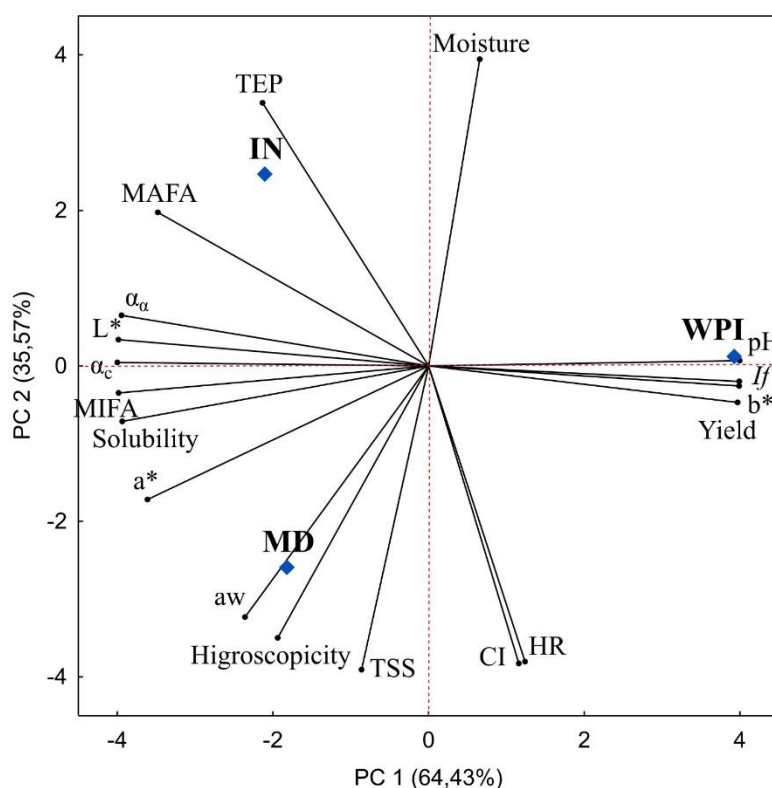
$\bar{y}$: Média dos valores de outro conjunto de dados correspondentes.

6.3 Resultados e Discussão

6.3.1 Análise de componentes principais (PCA)

A Figura 27 revela a variação entre os PPT com diferentes carreadores de secagem. O PC1 e o PC2 foram capazes de explicar 64,43 e 35,57% da variação dos dados, respectivamente. A PCA permitiu a identificação das características do produto a partir dos parâmetros físico-químicos e de fluidez avaliados. Os PPT produzidos com PISL (localizado nos eixos positivos de PC1 e PC2), inulina (eixo positivo de PC1 e negativo de PC2) e maltodextrina (eixos negativos de PC1 e PC2) distanciaram-se consideravelmente entre si, ressaltando a forte influência que cada carreador teve em proporcionar diferentes características. O PPT contendo PISL caracterizou-se por apresentar vetores com maior proporção dos parâmetros pH, I_f , b^* e rendimento. Os vetores dos parâmetros a_w , higroscopicidade e SST caracterizaram fortemente o PPT contendo maltodextrina. Já o PPT contendo inulina foi fortemente influenciado pelos parâmetros MAFA e PET. Os demais vetores caracterizaram os carreadores mais próximos de si.

Figura 27 - Análise de Componentes Principais (ACP) dos parâmetros físico-químicos e de fluidez dos PPT contendo 20% de maltodextrina, inulina e PISL.



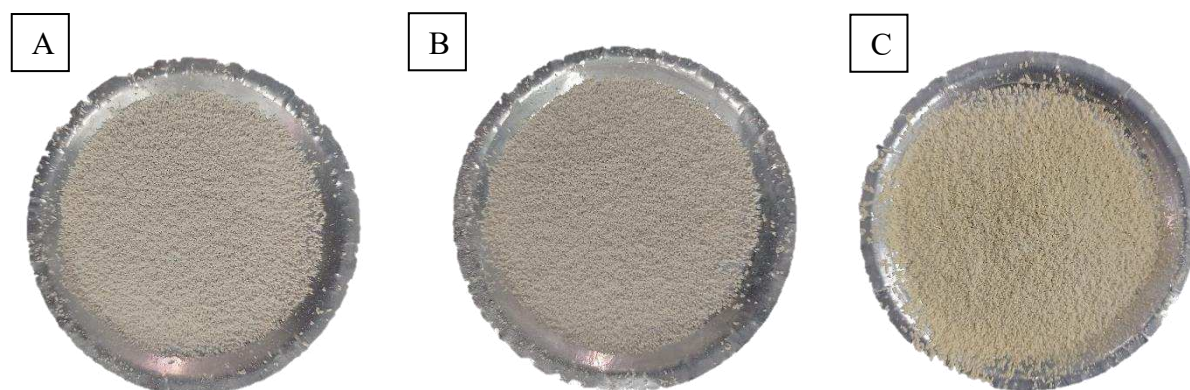
TEP: Polifenóis extraíveis totais, Moisture: Umidade, Yield: Rendimento, Solubility: Solubilidade, L^* :luminosidade, a^* : cor vermelha ($+a^*$) a cor verde ($-a^*$), b^* : cor amarela ($+b^*$) a cor azul ($-b^*$), TSS: sólidos solúveis totais, a_w : atividade de água, I_f : índice de fluxo, α_a : densidade aparente, α_c : densidade compactada, CI: índice de compressibilidade, HR: relação de Hausner, MIFA: ângulo de atrito mínimo and MAFA: ângulo de atrito máximo. MD: Maltodextrina, IN: Inulina e WPI: Proteína isolada do soro de leite.

Fonte: Autor (2025).

6.3.2 Caracterização físico-química dos PPT

Os PPT obtidos e seus parâmetros físico-químicos estão apresentadas na Figura 28 e na Tabela 16, respectivamente. Foram significativos ($p \leq 0,05$) os parâmetros umidade, rendimento, solubilidade, PET, retenção e b^* . Higroscopicidade, L^* e a^* foram não significativos ($p > 0,05$).

Figura 28 - PPT obtidos em *spray dryer* a 174,2 °C, contendo 20% de maltodextrina (A), inulina (B) e PISL (C).



Fonte: Autor (2025).

Tabela 16 - Parâmetros físico-químicos dos PPT contendo 20% de maltodextrina, inulina e PISL.

Parâmetros	Adjuvantes		
	Maltodextrina	Inulina	PISL
Umidade (%)	2,39 ± 0,05 ^b	3,49 ± 0,01 ^a	3,14 ± 1,57 ^a
Solubilidade (%)	98,27 ± 1,30 ^a	95,60 ± 0,87 ^a	80,26 ± 1,02 ^b
Higroscopicidade (%)	9,94 ± 0,04 ^a	8,86 ± 0,20 ^a	8,83 ± 2,28 ^a
Rendimento (%)	17,69 ± 0,05 ^b	14,10 ± 0,04 ^c	35,21 ± 0,47 ^a
PET ¹ (mg de EAG.100 g ⁻¹ b.s ²) ³	412,97 ± 11,23 ^b	429,71 ± 15,54 ^b	1457,17 ± 65,61 ^a
PET ¹ (mg de EAG.100 g ⁻¹ b.s ²) ⁴	354,77 ± 20,80 ^b	475,22 ± 30,51 ^a	355,21 ± 8,27 ^b
Ph	4.62 ± 0.00 ^b	4.60 ± 0,04 ^b	5.48 ± 0,00 ^a
SST (°Brix)	77.61 ± 0.57 ^a	73.07 ± 1,84 ^a	74.30 ± 4,83 ^a
<i>a_w</i>	0.38 ± 0.04 ^a	0.30 ± 0,00 ^a	0.29 ± 0,02 ^a
Cor	<i>L</i> [*]	75,94 ± 1,32 ^a	76,81 ± 0,47 ^a
	<i>a</i> [*]	-4,04 ± 0,01 ^a	-4,49 ± 0,00 ^a
	<i>b</i> [*]	9,08 ± 0,04 ^b	7,82 ± 0,02 ^b

Média ± Desvio Padrão (n = 3). Letras iguais na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p>0,05).

¹Polifenóis extraíveis totais. ²Base seca. ³Resultados sem ajustes. ⁴Resultados com ajustes.

Fonte: Autor (2025).

A umidade das amostras foi inferior a 3,50% para todos os adjuvantes avaliados e significativamente menor no PPT contendo maltodextrina ($p \leq 0,05$). Os pós contendo inulina e PISL não diferiram entre si ($p > 0,05$). Estes valores estão abaixo dos 5% propostos por Masters (1991) e Muzaffar e Kumar (2016a). Segundo Akther *et al.* (2020), níveis de umidade abaixo de 10% são considerados ideais para alimentos secos, como em pós para bebidas.

Wachirasiri, Julakarangka e Wanlapa (2009) recomendaram que o teor de umidade de pós e farinhas seja mantido abaixo de 14% para evitar aglomeração, desenvolvimento de mofo e infestação por insetos.

Semelhante ao presente estudo, Lima *et al.* (2022) compararam o efeito da adição de maltodextrina, goma arábica e dextrina no pó de polpa de sapoti e verificaram menor teor de umidade na amostra contendo maltodextrina. Fernandes *et al.* (2014) verificaram que conforme aumentava a concentração de inulina, aumentava o teor de umidade em pó de óleo essencial de alecrim encapsulado por secagem por aspersão, utilizando misturas de proteína de soro de leite e inulina como adjuvantes e justificaram que isso provavelmente ocorreu devido à maior afinidade da inulina pela água com base na presença de grupos hidrofílicos que se ligam fortemente, influenciando diretamente na sua solubilidade. Essa também é uma característica da maltodextrina.

É sabido que um menor teor de umidade contribui para uma vida útil mais longa dos alimentos (Halim *et al.*, 2024). Os resultados obtidos neste estudo apresentaram teores de umidade inferiores aos recomendados por outros estudos na literatura, o que sugere que os pós obtidos de maltodextrina, inulina e PISL não favorecem o crescimento microbiano, sendo, portanto, estáveis durante o armazenamento.

A menor solubilidade foi para o adjuvante PISL, diferindo significativamente ($p \leq 0,05$) da maltodextrina e da inulina, que foram iguais entre si ($p > 0,05$). Baixo índice de solubilidade em água do PPT contendo proteína como adjuvante também foi reportado por Muzaffar, Dar e Kumar (2017), 71,95%. Esse resultado é justificado pela menor interação das moléculas de PISL com a água, devido a presença de proteínas globulares com grupos hidrofóbicos localizados dentro da estrutura globular (Zhou; Liu; Labuza, 2008a; Zhou; Liu; Labuza, 2008b). Geralmente, pó com alta solubilidade, baixa umidade e higroscopicidade é considerado um bom pó (Bhusari; Muzaffar; Kumar, 2014). Quanto menor o teor de umidade da amostra de pó, mais solúvel ela é (Muzaffar; Dar; Kumar, 2017). A alta solubilidade da maltodextrina e da inulina é justificada pela maior presença de grupos hidroxila (OH) na composição e, além disso, a solubilidade da inulina está intimamente relacionada ao comprimento de sua cadeia (Kim; Faqih; Wang, 2001). Kuhn, Azevedo e Noreña (2020) reportaram baixa solubilidade em pós contendo inulina (57,88 a 67,37%), resultado de uma inulina de longa cadeia. A inulina deste estudo apresentou alta solubilidade, possivelmente por possuir uma curta cadeia polimérica.

A higroscopicidade entre os PPT foi similar, uma vez que os resultados não foram estaticamente diferentes ($p > 0,05$). Comportamento idêntico foi observado por Lima *et al.*

(2022) em pó de polpa de sapoti com maltodextrina, goma arábica e dextrina, que obtiveram higroscopiedades entre 8 e 9%, semelhante aos resultados deste estudo, e classificaram os pós como não higroscópicos. Kuhn, Azevedo e Noreña (2020) ao estudarem o comportamento da inulina, polidextrose e albumina de ovo como adjuvantes do extrato de brácteas, observaram que o pó seco por pulverização contendo inulina apresentou a menor higroscopiedade. A higroscopiedade é a capacidade de um material de absorver a umidade do ambiente (Bhusari; Muzaffar; Kumar, 2014). Para Fernandes *et al.*, (2014), a qualidade dos alimentos secos depende também do teor de umidade e da higroscopiedade do alimento durante o armazenamento.

O rendimento foi o parâmetro mais influenciado pelos diferentes adjuvantes utilizados, pois foi maior no PPT contendo PISL, seguido por maltodextrina e inulina ($p \leq 0,05$). Notadamente, a inulina contribuiu pouco para melhorar o rendimento de secagem de PT, mas demonstrou ser mais eficiente em promover uma maior solubilidade aos PPT. O aumento no rendimento do PPT com PISL é devido à redução da viscosidade e à formação de um filme rico em proteínas, que é capaz de superar a coalescência das gotículas, bem como as interações pegajosas das partículas na câmara de secagem do secador, podendo ter uma Tg relativamente mais alta, devido ao alto peso molecular da proteína (Bhusari; Muzaffar; Kumar, 2014).

Inicialmente, a PISL foi o adjuvante que apresentou maior destaque para o teor de PET, com pico de 1457,17 mg EAG.100 g⁻¹ b.s, sendo $\cong 250\%$ superior a maltodextrina e inulina ($p \leq 0,05$). Utilizando metodologia idêntica, Lima *et al.* (2022) encontraram valores de 501,7, 635,6 e 457,1 mg EAG.100 g⁻¹ b.s para pó de sapoti com maltodextrina, goma arábica e dextrina, respectivamente. Osés *et al.* (2022) ao avaliarem em que medida a quantidade de polifenóis de méis foram modificados em pós obtidos com diferentes tratamentos de secagem (*spray drying*, *vácuo drying* e liofilização) utilizando diferentes adjuvantes (maltodextrina, goma arábica e PISL), notaram que os valores muito altos dos polifenóis obtidos para PSIL foram devidos ao alto teor de proteínas (> 90%) que também reagiu com o reagente *Folin-Ciocalteu* (Singleton; Orthofer; Lamuela-Raventos, 1999). O mesmo ocorre em compostos redutores, como açúcares (Petretto *et al.*, 2015), que estão presentes nas amostras brutas, mas não em seus extratos metanólicos. Os teores para maltodextrina e goma arábica foram inferiores a 400 mg de ácido gálico (AG).100 g⁻¹ b.s (Osés *et al.*, 2022).

Para eliminar a interferência dos açúcares (do mel) e das proteínas (principalmente da PISL), Osés *et al.* (2022), realizaram medições desse parâmetro em extratos utilizando o metanol puro. Redução significativa foi obtida, onde os polifenóis passaram de quase 1400 para < 50 mg AG.100 g⁻¹ b.s nas amostras de pó com PISL. Portanto, no presente estudo,

procedimento semelhante foi realizado, onde a metodologia foi readaptada para utilizar o metanol e a acetona em sua forma pura, onde, com os resultados ajustados, houve uma redução no teor de PET para os PPT contendo PISL. A inulina desta vez foi superior aos demais adjuvantes ($p \leq 0,05$) e todos os valores foram inferiores a 500 mg de EAG.100 g⁻¹ b.s (Tabela 16). Toniazzi *et al.* (2023) realizaram procedimento semelhante em mel em pó utilizando proteínas de ervilha e arroz como adjuvantes e observaram que os resultados foram semelhantes aos encontrados no mel puro (301,31 mg EAG.kg⁻¹), sugerindo que os polifenóis não foram afetados negativamente pelas condições do *spray dryer* e que o método de microencapsulação foi eficaz na proteção desses compostos bioativos.

Partindo dos resultados ajustados, as PPT apresentaram retenção de PET em relação ao teor encontrado na polpa (1882,54 EAG.100 g⁻¹, resultado da seção 5) de 25,24% no pó contendo inulina ($p \leq 0,05$), seguido por 18,86 e 18,84% nos pós contendo PISL e maltodextrina ($p > 0,05$), respectivamente. Houve perda durante a produção dos pós, mas claramente a inulina foi o adjuvante que mais reteve os PET. Kuhn, Azevedo e Noreña (2020) observaram que a inulina reteve a maior quantidade de betalaínas em secagem de brácteas e justificam que perdas de compostos bioativos no pó durante a secagem podem ocorrer por diversos motivos. Na secagem por aspersão ocorrem devido à exposição ao oxigênio e altas temperaturas, o que pode causar degradação e polimerização desses compostos. Nóbrega *et al.* (2015) relataram retenção de fenólicos totais entre 26 e 31% em secagem de resíduo de acerola por convecção. Em pó de polpa de sapoti obtido em *spray dryer*, 47% de retenção foi notada para maltodextrina, 60% para goma arábica e 43% para dextrina (Lima *et al.*, 2022).

Estatisticamente, o pH foi maior para PISL ($p \leq 0,05$) e não houve diferença estatística entre SST e a_w ($p > 0,05$). A secagem promoveu uma redução da a_w e elevação dos SST nos PPT. O pH na faixa ácida e a reduzida a_w são características importantes por influenciar no tempo de conservação (Lima *et al.*, 2013). O pH desempenha um papel crucial na presença de microrganismos, nas alterações químicas e no perfil de sabor dos alimentos. Amostras com pH inferior a 4,6 são consideradas seguras, pois não favorecem o crescimento bacteriano nem a produção de toxinas (Halim *et al.*, 2024). Assim como no estudo de Halim *et al.* (2024), todos os PPT tinham concentrações de a_w abaixo de 0,40, o que indica alta estabilidade dos pós. Logo, eles podem ser considerados bem estabilizados bioquimicamente ou microbiologicamente, pois, de acordo com Kowalski e Szadzin'ska (2014), os pós alimentícios que têm uma a_w de 0,6 ou menos são geralmente considerados livres de reações bioquímicas ou microbiológicas.

A não diferença no teor de SST se deu porque os sólidos solúveis contidos é o total de todos os sólidos dissolvidos na água, começando com açúcar, sais, proteínas, ácidos etc., e a leitura do valor medido é a soma total de todos esses componentes (Moraes, 2006; Salehi, 2021). Como os adjuvantes foram diluídos em proporções iguais, não houve alteração no teor de SST.

Os resultados para a^* e b^* mostraram que a cor dos PPT de todos os ensaios esteve localizada no segundo quadrante do espaço de cor ($-a^*$, $+b^*$), indicando uma variância de cor no espectro do amarelo para o verde, com L^* escura. Os parâmetros L^* e a^* não sofreram alterações pelos diferentes adjuvantes, porém b^* foi significativamente maior para PISL ($p \leq 0,05$) e igual estatisticamente ($p > 0,05$) para maltodextrina e inulina. A cor mais amarelada do PPT contendo PISL está relacionada com a cor inerente da PISL, que é naturalmente mais amarelada e menos luminosa quando comparada a maltodextrina e que, segundo Bhusari, Muzaffar e Kumar (2014) e Chang, Ooi e Pui (2022), são mais luminosas.

6.3.3 Avaliação morfológica dos PPT

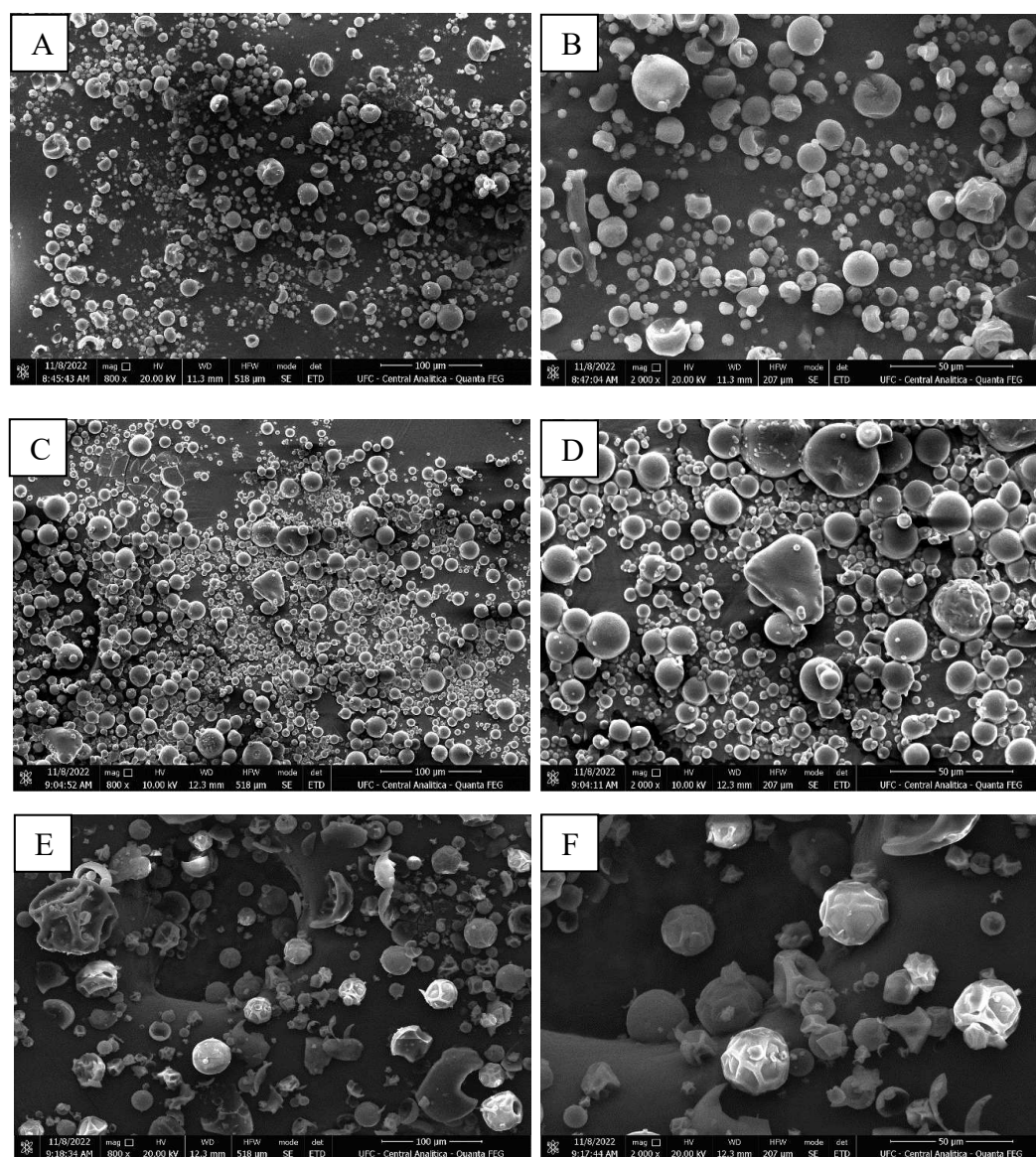
A MEV é uma importante análise utilizada para caracterizar a microestrutura de produtos em pó, pois ajuda a entender a influência na taxa de liberação e na proteção do material encapsulado (Oliveira *et al.*, 2018; Kuhn; Azevedo; Noreña, 2020). As micrografias podem ser visualizadas na Figura 29.

As partículas apresentaram heterogeneidade entre si, com maior homogeneidade nos PPT contendo maltodextrina, seguido por inulina. A geometria esférica foi predominante, com maior rugosidade nos PPT contendo PISL. Kuhn, Azevedo e Noreña (2020) observaram que a secagem em *spray dryer* forneceu pós com uma distribuição de tamanho homogênea de micropartículas e boa estabilidade dos compostos encapsulados. A superfície enrugada foi associada ao encolhimento das partículas durante o processo de secagem, devido à perda drástica de umidade e ao resfriamento rápido.

A maior aglomeração e tamanhos menores das partículas foi observada nos PPT contendo inulina, seguida por maltodextrina e PISL, revelando que há diferença entre os pós em relação a fluidez e que o PPT contendo PISL é possivelmente mais fluido. Notadamente, uma maior proporção de tamanhos de partículas pequenas aumenta a densidade (Finney; Buffo; Reineccius, 2002; Shah *et al.*, 2023), provavelmente pela maior quantidade de sólidos contidos. Segundo Muzaffar e Kumar (2016a), o maior tamanho das partículas de PISL se deu pela maior viscosidade do material de alimentação, resultando em maiores gotículas formadas durante a pulverização e, portanto, maiores as partículas de pó. A aglomeração pode contribuir para a

solubilidade, pois permite que o líquido penetre nos poros com mais facilidade (Fernandes *et al.*, 2014). Logo, PISL por apresentar-se menos aglomerado, de fato obteve a menor solubilidade (Tabela 16).

Figura 29 – Micrografias (800 e 2000x) das partículas dos PPT contendo 20% de maltodextrina (A e B), inulina (C e D) e PISL (E e F).



Fonte: Autor (2025).

A forma e a superfície das partículas afetam diretamente as características de fluidez e densidade do pó, formas e superfícies irregulares podem fazer com que as partículas se intertravem, aumentando sua resistência ao fluxo, enquanto as partículas lisas e arredondadas reduzem as forças interpartículas (Mohammed *et al.*, 2011). Lima *et al.* (2022), ao utilizarem a maltodextrina, goma arábica e dextrina como adjuvante de secagem em polpa de sapoti, obtiveram partículas dos pós predominantemente esféricas, típicas da

secagem em *spray dryer*, apresentando rugosidade na superfície, semelhante a este estudo. Chang, Ooi e Pui (2022) obtiveram pó de melão fino, macio e levemente pegajoso, com uma cor amarela brilhante, contendo 20% de maltodextrina.

O seguinte é verdade na maioria dos casos para pós e materiais granulados: (i) quanto mais fino o pó, mais fortes as forças coesivas; e (ii) quanto mais homogênea for a distribuição do tamanho da partícula, maior será a tendência a aglomerar (Hollenbach; Peleg; Rufner, 1982; Peleg; Mannhein, 1973; Chinwan; Castell-Perez, 2019).

6.3.4 Avaliação da fluidez dos PPT

Uma forma de avaliar a resistência ao fluxo de pós é através do estudo da tensão inconfina de deslizamento (σ_c). Essa tensão é o parâmetro que indica a resistência à compressão dos pós e é dependente da tensão aplicada, conhecida como tensão principal de consolidação (σ_1). Cada valor de σ_c é uma resposta à tensão de consolidação aplicada. Portanto, quanto maior a σ_c , maior a dificuldade de deslizamento do pó (Lopes Neto *et al.*, 2007; Lima *et al.*, 2022). Para avaliar o comportamento da resistência ao fluxo de um pó é necessário avaliar a σ_c dentro de uma faixa de maior tensão de consolidação (Lima *et al.*, 2022). A Tabela 17 apresenta os resultados das σ_c em função das σ_1 aplicadas nas amostras do PPT.

Tabela 17 - Tensão principal de consolidação (σ_1) e tensão inconfina de deslizamento (σ_c) dos PPT contendo 20% maltodextrina, inulina e PISL.

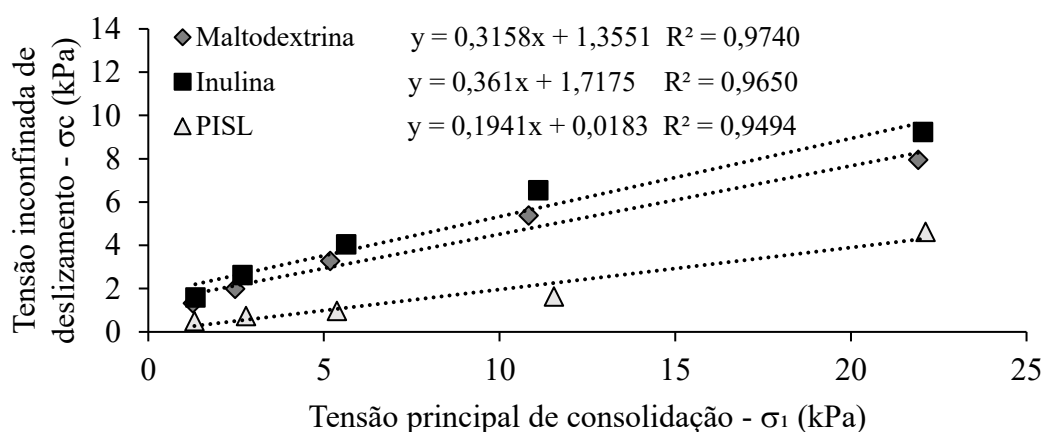
Nível	σ_1 (kPa)	σ_c (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_c (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_c (kPa)
	Maltodextrina		Inulina		PISL	
1	1,2660	1,3290	1,3400	1,5905	1,3120	0,4955
2	2,4705	1,9940	2,6770	2,6235	2,7780	0,7385
3	5,1740	3,2775	5,6325	4,0425	5,3720	0,9705
4	10,8275	5,3810	11,0965	6,5490	11,5475	1,6330
5	21,9180	7,9510	22,0530	9,2345	22,1245	4,6245

Fonte: Autor (2025).

Os PPT contendo PISL e inulina apresentaram em média o menor e maior valor de σ_c , respectivamente. Este comportamento indica que o PPT contendo PISL é menos resistente ao escoamento do que aqueles contendo inulina e maltodextrina. Lima *et al.* (2022) relataram mudanças nos valores de σ_c entre pós de polpa de sapoti em função das diferentes concentrações de maltodextrina, goma arábica e dextrina, tendo a dextrina apresentado a menor resistência ao escoamento, seguida da goma arábica e da maltodextrina. Portanto, o tipo e a concentração do

adjuvante influenciam a fluidez dos pós. Além disso, a fluidez é também afetada pela distribuição do tamanho, formato e densidade, composição química das partículas, umidade e temperatura, entre outros fatores (Chinwan; Castell-Perez, 2019). Na Figura 30 é possível observar a Equação de regressão da σ_c em função da σ_1 dos pós de polpa de tamarindo.

Figura 30 - Tensão não confinada de deslizamento (σ_c) em função da tensão principal de consolidação (σ_1) dos PPT contendo 20% de maltodextrina, inulina e PISL.



Fonte: Autor (2025).

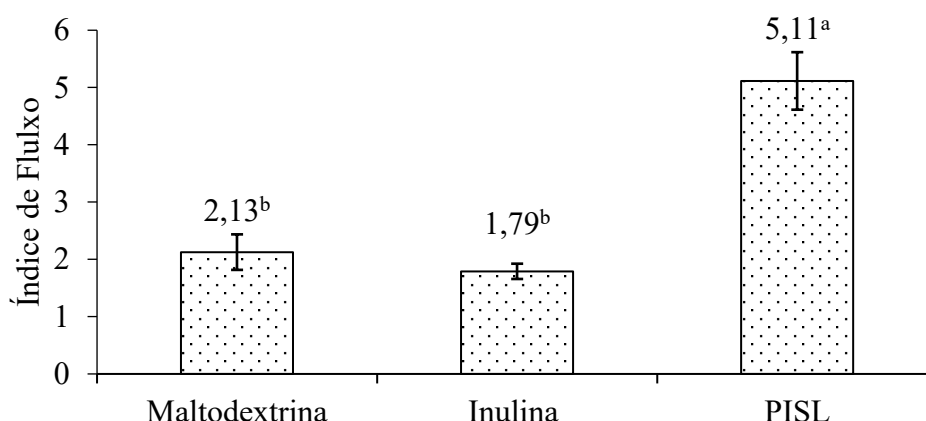
Quanto mais próximo a reta estiver do eixo horizontal mais fácil é o seu escoamento, confirmando assim, a menor resistência ao escoamento da amostra em pó contendo PISL, seguida da maltodextrina e da inulina. Esse resultado corrobora com a morfologia apresentada na Figura 29. A equação linear ajustou bem os dados da fluidez dos diferentes pós, revelando elevados coeficientes de determinação (R^2) para maltodextrina (0,9740), inulina (0,9650) e PISL (0,9494), podendo ser usada para estimar com elevada confiança a escoabilidade dos PPT.

A fluidez de materiais moídos e em pó é definida como a facilidade com que um material fluirá sob um conjunto especificado de condições (Prescott; Ploof; Carson, 1999; Chinwan; Castell-Perez, 2019). É importante ser avaliada antes do início de qualquer processo para evitar qualquer empecilho e perdas ao longo da linha de produção (Prescott; Ploof; Carson, 1999; Chinwan; Castell-Perez, 2019; Shah *et al.*, 2023). A fluidez não é uma propriedade inerente a um material, por isso nunca pode ser expressa como um único valor ou índice, mas sim como uma combinação de propriedades físicas do material que afetam o fluxo (Goodridge; Tuck; Hague, 2012; Lopes Neto; Meira; Nascimento, 2017; Chinwan; Castell-Perez, 2019).

6.3.4.1 Índice de fluxo (I_f)

Uma forma clássica de classificar os pós quanto à sua fluidez em um meio foi desenvolvida por Jenike (1964), por meio do I_f . Esse índice é calculado usando os dados da Tabela 17 e pode classificar os pós como: sem escoamento ($I_f < 1,0$), muito coesivo ($1,0 < I_f < 2,0$), coesivo ($2,0 < I_f < 4,0$), de fácil escoamento ($4,0 < I_f < 10,0$) e de escoamento livre ($I_f > 10,0$). Os resultados estão expressos na Figura 31.

Figura 31 - I_f dos PPT contendo 20% de maltodextrina, inulina e PISL.



Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Fonte: Autor (2025).

Os PPT contendo PISL, maltodextrina e inulina foram classificados como de fácil escoamento, coesivo e muito coesivo, respectivamente. Não houve diferença significativa entre maltodextrina e inulina ($p > 0,05$), porém o PPT com PISL foi diferente dos demais adjuvantes ($p \leq 0,05$), consolidando esse adjuvante como de fácil escoamento. As diferenças encontradas estão principalmente associadas à forma, tamanho e superfícies das partículas (Lima *et al.*, 2022). Apesar da alta rugosidade observada nas superfícies das partículas do PPT de PISL (Figuras 29E e 29F), essa característica não foi capaz de tornar coesivo esse PPT em comparação com os demais adjuvantes. Contudo, a maior interação entre as partículas observadas para os PPT de maltodextrina (Figuras 29A e 29B) e inulina (Figuras 29C e 29D) influenciou na redução do escoamento (Mohammed *et al.*, 2011; Shah *et al.*, 2023). Para Muzaffar e Kumar (2016a), o tamanho de partícula maior da PISL oferece menor número de pontos de contato para ligações e interações entre partículas, diminuindo assim a coesão.

O I_f é definido como a medida da resistência interna ao fluxo de um pó, muitas vezes manifestada em sua capacidade de formar um bloqueio em um funil ou alimentador, ou seja, descreve a capacidade do material de se cisalhar em várias pressões de consolidação

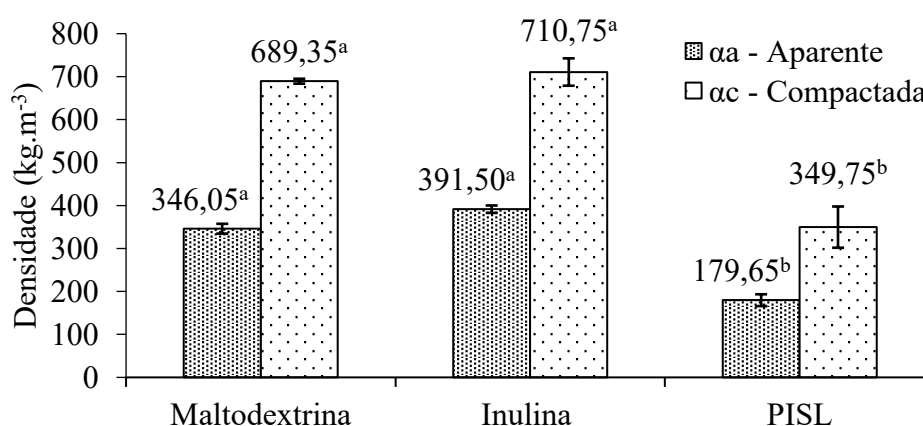
aplicadas. O material fluirá uma vez que a tensão de escoamento seja superada pela força que atua sobre ele (Berry; Bradley; McGregor, 2015; Chinwan; Castell-Perez, 2019).

A fricção da parede entre as partículas do material e as paredes do recipiente de armazenamento podem impedir o fluxo ao proporcionar maior resistência às partículas. Embora um material moído com boas propriedades de fluxo seja ideal para aplicação, muitas vezes, os adjuvantes são necessários para aumentar sua fluidez por impedirem a aglomeração, pois atuam como uma barreira entre as partículas, reduzindo assim as forças atrativas que causariam uma inibição do fluxo. Os adjuvantes também podem reduzir o atrito entre as partículas do material, agindo como lubrificantes (Chinwan; Castell-Perez, 2019).

6.3.4.2 Densidade aparente e densidade compactada

A densidade de um pó é uma propriedade importante porque está diretamente relacionada ao comportamento de sua fluidez (Lima *et al.*, 2022). Os pós são formados a partir de partículas que podem ter poros e espaços vazios entre eles. Portanto, uma maneira usual é expressar sua densidade como densidade aparente. Outra forma muito difundida é através da densidade compactada. Quando um determinado pó sofre uma ação de tensão, suas partículas se reorganizam e há uma redução dos espaços vazios (Lima *et al.*, 2022). Os resultados observados para as densidades aparente e compactada das amostras do PPT indicaram um aumento considerável na densidade após a compactação, de 99,20% para maltodextrina, 81,54% para inulina e 94,68% para PISL (Figura 32).

Figura 32 - Densidades aparente e compactada dos PPT contendo 20% de maltodextrina, inulina e PISL.



Letras iguais para o mesmo parâmetro não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).
Fonte: Autor (2025).

Maltodextrina e inulina forneceram as maiores densidades para PPT, tanto aparente quanto a compactada, não diferenciando significativamente entre si ($p > 0,05$). O PPT contendo PISL foi responsável pela menor densidade aparente e compactada. Muzaffar e Kumar (2015) notaram maior densidade aparente em PPT com maltodextrina e goma arábica, em comparação com a PISL, devido à baixa mudança de viscosidade no material de alimentação, produzindo assim pós de pequeno tamanho de partícula e, conseqüentemente, mais densos. Em uma análise morfológica, a inulina e a maltodextrina são menores que a PISL e acomodam-se mais facilmente nos espaços entre as partículas, provendo uma maior densidade (Figura 29).

Lopes-Neto, Meira e Nascimento (2017) afirmam que quanto maior o valor da densidade aparente do produto armazenado, maior a pressão exercida sobre a estrutura de um silo. Contudo, uma baixa densidade aparente em substâncias alimentares é uma característica indesejável, pois resulta em maior volume na embalagem. Além disso, valores reduzidos de densidade aparente indicam a presença de ar retido nos pós alimentares, o que aumenta o risco de oxidação e compromete a estabilidade dos alimentos durante o armazenamento. Assim, para garantir maior estabilidade no armazenamento, são geralmente preferidos os pós alimentares com maior densidade aparente (Halim *et al.*, 2024).

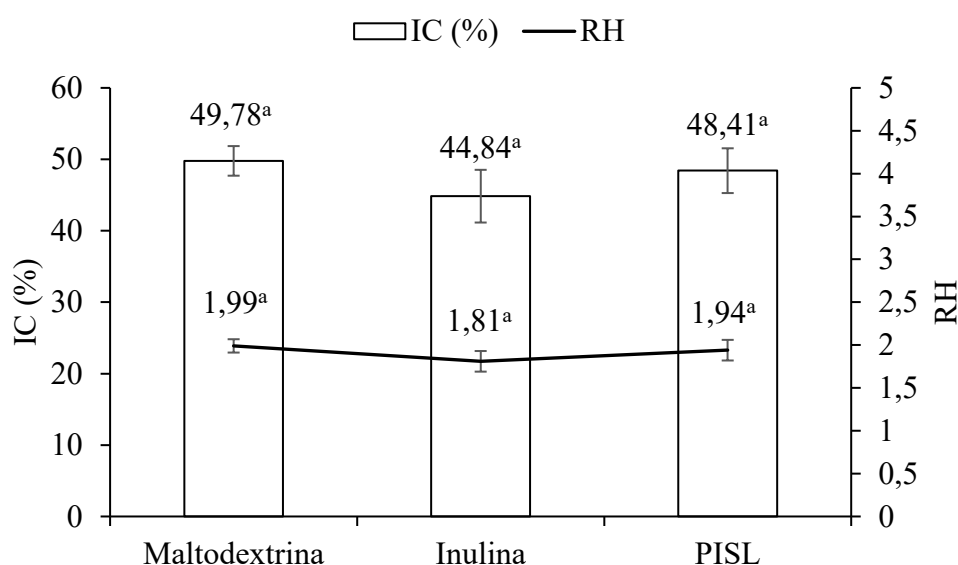
Lima *et al.* (2022) observaram que as densidades aparente e compactada dos pós de sapoti também sofreram interferência em suas propriedades em relação ao tipo de adjuvante. As amostras com maior concentração de inulina apresentaram maiores densidades aparentes, compactadas e de partículas em comparação com PISL em pó de óleo essencial de alecrim encapsulado em secagem por aspersão utilizando misturas de proteína de soro de leite e inulina como adjuvantes (Fernandes *et al.*, 2014). Muzaffar e Kumar (2016b) encontraram teor mínimo e máximo de 430 e 660 kg.m⁻³ de densidade aparente para PPT obtidos em *spray dryer* a 170 °C com 25% de proteína isolada de soja como adjuvante, no primeiro e sexto mês de armazenamento, respectivamente.

A menor diferença de compactação foi observada para PISL. Afonso *et al.* (2019) notaram que pós com maiores diferenças entre as densidades inicial e final de compactação resultaram em pós mais coesos. A densidade compactada é um fator importante relacionado à embalagem, transporte e comercialização de pós. A otimização do seu valor pode ser útil em termos de peso e quantidade de material que caberá em um recipiente. Um produto seco de alta densidade pode ser armazenado em recipientes menores do que um produto de baixa densidade (Quispe-Condori; Saldaña; Temelli, 2011; Goula; Adamopoulos, 2012; Fernandes *et al.*, 2014). A partir dessas densidades, pode-se usar o IC e a RH para classificar o fluxo de um pó quanto a interação entre as partículas.

6.3.4.3 Índice de compressibilidade (IC) e razão de Hausner (RH)

O IC é uma medida relacionada à resistência e estabilidade de contato entre as partículas de um pó. Já a RH está relacionada ao atrito entre as partículas (Aziz *et al.*, 2018). O IC e a RH foram calculados pelas Equações 6 e 7, e os resultados estão apresentados na Figura 33.

Figura 33 - IC e RH dos PPT contendo 20% de maltodextrina, inulina e PISL.



Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Fonte: Autor (2025).

De acordo com os valores de IC e HR e a classificação apresentada na Tabela 15, os PPT apresentaram fluxo excessivamente difícil ($IC > 38$ e $RH > 1,60$). Em ambos os parâmetros não houve diferença estatística significativa ($p > 0,05$). O IC e HR são medidas da capacidade do material de assentar e ajudam a avaliar a importância relativa das interações interparticuladas à medida que influenciam a fluidez (Shah; Tawakkul; Khan, 2008). Quando um material em forma de pó é de fluxo livre, tais interações não têm grande significado, e as densidades aparente e compactada têm valores semelhantes. Pelo contrário, quando há materiais de fluxo mais pobre, geralmente há maiores interações interparticuladas e os valores de massa e densidade compactada são muito diferentes (Chinwan; Castell-Perez, 2019).

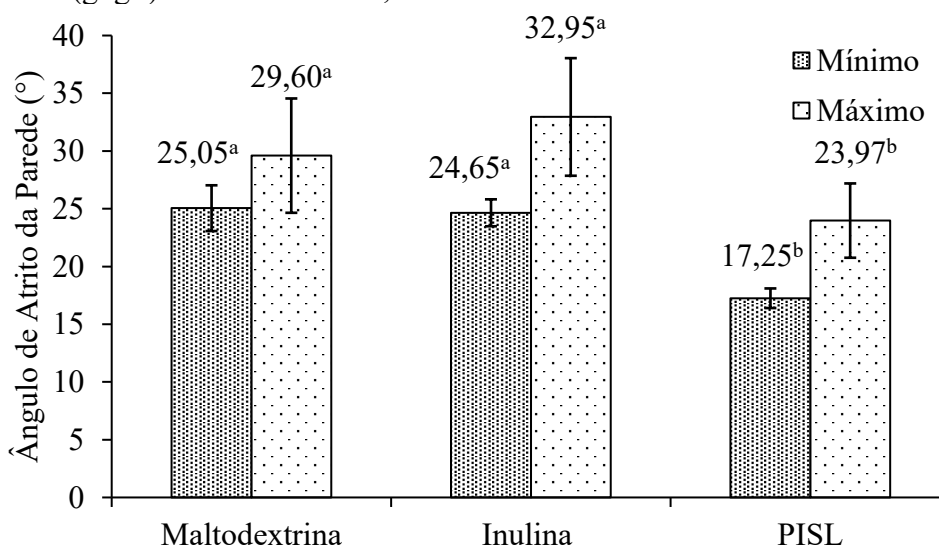
Muzaffar e Kumar (2015), ao analisarem a interação entre as partículas unicamente pelo IC e RH, observaram que os PPT com maltodextrina e goma arábica também tiveram fluxo difícil, exceto o pó com 20% de PISL, que apresentou caráter de fluxo médio, devido ao seu grande tamanho de partícula e teor de umidade intermediário. Lima *et al.*

(2022) também obtiveram pós da polpa de sapoti com uma fluidez excessivamente difícil ($IC > 38$, $HR > 1,60$), contendo maltodextrina, goma arábica e dextrina. Segundo Düsenberg *et al.* (2023), a classificação da fluidez de pós finos e polidispersos pela relação entre IC e HR não é confiável, uma vez que esses índices foram originalmente desenvolvidos para pós de alta densidade (metal) ou de granulação grossa (grãos integrais), sendo, para nossas amostras, a classificação pelo I_f mais confiável.

6.3.4.4 Ângulos de atrito da parede mínimo e máximo

Para os valores dos ângulos de atrito obtidos (Figura 34), o PPT contendo PISL apresentou significativamente ($p \leq 0,05$) os menores ângulos de atrito máximo e mínimo, porém a maior diferença percentual entre eles foi de 38,95% para PISL, enquanto a variação para maltodextrina foi de 18,16% e para inulina foi de 33,67%. De acordo com Fitzpatrick *et al.* (2004), o ângulo de atrito da parede representa a resistência adesiva entre o pó e o material da parede do ambiente de armazenamento, e quanto maior, mais difícil para o pó se mover ao longo da parede. Assim, quanto menor o ângulo, menor a inclinação necessária de uma parede para garantir o escoamento do pó (Afonso *et al.*, 2019). O tipo de adjuvante e a concentração influenciaram os ângulos de atrito em pó de sapoti, onde o pó contendo dextrina apresentou os menores ângulos, além da menor diferença entre eles (Lima *et al.*, 2022). Lopes-Neto, Meire e Nascimento (2017), inferiram que quanto maior o ângulo de atrito da parede, menor o I_f , o que foi confirmado neste estudo pela correlação de Pearson (Tabela 18).

Figura 34 - Ângulos de atrito da parede do pó de polpa de tamarindo obtido em *spray dryer* contendo 20% (g. g⁻¹) de maltodextrina, inulina e PISL.



Letras iguais para o mesmo parâmetro não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Fonte: Autor (2025).

6.3.5 Correlação de Pearson

Os resultados da correlação de Pearson estão apresentados nas Tabela 18 e foram destacadas somente as correlações lineares significativas muito fortes ($r \geq 0,9$ ou $r \leq -0,9$). A análise apresentou resultados significativos a 1 e 5% de significância. O conjunto das variáveis de fluidez tiveram forte correlação positiva e negativa entre si ($p \leq 0,01$). As variáveis IF, DA, DC, IC e RH foram negativamente significativas para os parâmetros físico-químicos de umidade e para a coordenada de cor a^* ao nível de $p \leq 0,05$ e $p < 0,01$, respectivamente. Já as variáveis AMI e AMA foram positivamente significativas para os parâmetros físico-químicos de umidade e coordenada a^* ao nível de $p \leq 0,05$ e $p < 0,01$, respectivamente, e negativas para todos os parâmetros de fluidez ($p \leq 0,05$).

Conforme estabelecido na literatura e mencionado durante as discussões dos dados anteriormente, o teor de umidade desempenha um papel importante na diminuição da fluidez, apresentando comportamento inversamente proporcional. A quantidade de umidade presente no material em pó ou moído pode alterar drasticamente suas características de fluxo e estabilidade de armazenamento. À medida que o material absorve a umidade do ambiente, sua fluidez diminui porque o aumento da espessura da camada líquida absorvida do material aumenta a resistência das pontes líquidas (capilares) desenvolvidas entre as partículas (Chinwan; Castell-Perez, 2019; Shah *et al.*, 2023).

Chinwan e Castell-Perez (2019), ao avaliarem o efeito do estearato de cálcio e teor de umidade na fluidez do fubá amarelo, observaram que a RH, o IC e o ângulo de repouso mostraram uma forte relação linear positiva com o I_f , obtendo valores de correlação superiores a 0,9. Ainda segundo os autores, embora o I_f não correlacione bem com o ângulo interno de atrito, ele mostra uma forte relação linear negativa com o ângulo de atrito da parede, logo, conforme o ângulo aumentava, o I_f diminuía e a amostra não fluía tão facilmente. Lopes-Neto, Meira e Nascimento (2017), também encontraram uma relação inversamente proporcional ao analisarem seis produtos alimentícios comerciais: amido de milho, aveia em flocos, farinha de mandioca, farinha de trigo com fermento, farinha de trigo sem fermento e milho em flocos. Portanto, nas condições deste estudo, qualquer índice pode ser usado como uma medida confiável para correlações em parâmetros de fluidez do PPT, com exceção do IC e da RH.

Tabela 18 – Correlação de Pearson entre os parâmetros físico-químicos e de fluidez do PPT com o adjuvante PISL.

Variável	U	S	H	R	PET	L^*	a^*	b^*	I_f	DA	DC	IC	RH	AMI	AMA
U	1,0000	0,6919 ^{ns}	0,1690 ^{ns}	-0,5246 ^{ns}	-0,7417 ^{ns}	-0,9266 ^{ns}	0,9463 ^{ns}	0,8941 ^{ns}	-0,9995**	-0,9999**	-0,9999**	-0,9998**	-0,9976**	0,9999**	0,9999**
S		1,0000	0,8287 ^{ns}	0,2504 ^{ns}	-0,9974**	-0,3697 ^{ns}	0,8845 ^{ns}	0,3012 ^{ns}	-0,7071 ^{ns}	-0,7014 ^{ns}	-0,7014 ^{ns}	-0,7023 ^{ns}	-0,7247 ^{ns}	0,7014 ^{ns}	0,7005 ^{ns}
H			1,0000	0,7495 ^{ns}	-0,7866 ^{ns}	0,2136 ^{ns}	0,4741 ^{ns}	-0,2821 ^{ns}	-0,1906 ^{ns}	-0,1825 ^{ns}	-0,1825 ^{ns}	-0,1838 ^{ns}	-0,2163 ^{ns}	0,1825 ^{ns}	0,1812 ^{ns}
R				1,0000	-0,1807 ^{ns}	0,8067 ^{ns}	-0,2264 ^{ns}	-0,8408 ^{ns}	0,5076 ^{ns}	0,5141 ^{ns}	0,5141 ^{ns}	0,5129 ^{ns}	-0,5141 ^{ns}	-0,4868 ^{ns}	-0,5151 ^{ns}
PET					1,0000	0,4352 ^{ns}	-0,9157 ^{ns}	-0,3681 ^{ns}	0,7560 ^{ns}	0,7506 ^{ns}	0,7506 ^{ns}	0,7515 ^{ns}	0,7724 ^{ns}	-0,7506 ^{ns}	0,7498 ^{ns}
L^*						1,0000	-	0,75822 ^{ns}	-0,9928**	0,9183 ^{ns}	0,9216 ^{ns}	0,9216 ^{ns}	0,9076 ^{ns}	-0,9216 ^{ns}	-0,9220 ^{ns}
a^*							1,0000	0,7111 ^{ns}	-0,9528*	-0,9513*	-0,9513*	-0,9516*	-0,9567*	0,9513*	0,9511*
b^*								1,0000	-0,8831 ^{ns}	-0,8873 ^{ns}	-0,8873 ^{ns}	-0,8867 ^{ns}	-0,8692 ^{ns}	0,8873 ^{ns}	0,8880 ^{ns}
I_f									1,0000	0,9999**	0,9999**	0,9999**	0,9999**	-0,9999**	-0,9999**
DA										1,0000	0,9999**	0,9999**	0,9999**	-0,9999**	-0,9999**
DC											1,0000	0,9999**	0,9991**	-0,9999**	-0,9999**
IC												1,0000	0,9993**	-0,9999**	-0,9991**
RH													1,0000	-0,9991**	-0,9999**
AMI														1,0000	0,9999**
AMA															1,0000

U: Umidade, S: Solubilidade, H: Higroscopicidade, R: Rendimento, PET: polifenóis extraíveis totais, L^* : Luminosidade, a^* : Intensidade de verde ao vermelho, b^* : Intensidade de azul ao amarelo, I_f : Índice de fluidez, DA: Densidade aparente, DC: Densidade compactada, IC: Índice de compressibilidade, RH: Razão de Hausner, AMI: Ângulo de atrito mínimo e AMA: Ângulo de atrito máximo. Significância estatística da ANOVA: **($p \leq 0,01$), *($p \leq 0,05$) e ^{ns}(não significativo).

Fonte: Autor (2025).

Não houve forte correlação significativa entre o conjunto de variáveis físico-químicas, com exceção entre solubilidade e PET ($r = -0,9974^{**}$) e entre L^* e b^* ($r = -0,9928^{**}$) ($p \leq 0,05$), confirmando os resultados da Tabela 16.

6.4 Conclusão

O uso de adjuvantes de secagem influenciou o teor de umidade, solubilidade, rendimento, PET e pH na PPT. A inulina se destacou por reter 25,24% dos PET. A PISL foi capaz de formar pós mais amarelados. Os pós contendo inulina, maltodextrina e PISL foram classificados como muito coesivo, coesivo e de fácil escoamento, respectivamente, pelo I_f . As partículas do PPT contendo PISL apresentaram-se maiores, menos agregadas e com superfícies rugosas quando comparadas aos demais adjuvantes. A PISL gerou um pó mais fluido, com menores densidades e ângulos de atrito na parede, sendo o adjuvante de maior rendimento (35,21%). Os parâmetros de fluidez tiveram elevadas correlações lineares significativas entre si. Portanto, os adjuvantes de secagem aqui estudados foram importantes para fornecer características de fluidez aos PPT obtidos por aspersão. Ainda é possível otimizar esse estudo produzindo PPT utilizando os três adjuvantes, em diferentes proporções, utilizando delineamento experimental de misturas, e avaliando seu efeito sobre parâmetros físico-químicos e de fluidez, definindo a melhor condição de secagem e avaliando sua estabilidade durante o armazenamento.

7 AVALIAÇÃO DO PÓ DE POLPA DE TAMARINDO CONTENDO MISTURAS DE ADJUVANTES

RESUMO

Pós de polpas de frutas têm sido cada vez mais estudados. Devido suas características nutricionais peculiares, o tamarindo tem sido objetivo de diversos estudos, a fim de prolongar sua vida útil e agregar valor comercial. Com este estudo buscou-se produzir o pó da polpa de tamarindo (PPT) em *spray dryer* utilizando três diferentes adjuvantes de secagem (maltodextrina, inulina e proteína isolada do soro de leite, PISL), em diferentes proporções, e avaliar seu efeito sobre os parâmetros umidade, rendimento, higroscopicidade, solubilidade, polifenóis extraíveis totais (PET), cor (L^* , a^* e b^*) e fluidez, além de avaliar a estabilidade por 240 dias de armazenamento da melhor condição escolhida utilizando o delineamento experimental de misturas. O PPT contendo maltodextrina foi responsável pelas menores umidades. O PPT com PISL teve forte influência nas maiores umidades, rendimentos, menores higroscopicidades, solubilidades e L^* ($p \leq 0,05$). A inulina contribuiu pouco para melhorar o rendimento e quando misturada a maltodextrina promoveu uma maior solubilidade, bem como permitiu uma aparência mais escura. O conteúdo de PET dos PPT também foi influenciado, com destaque para a inulina que apresentou o maior teor entre os adjuvantes individuais (355,21 mg de EAG.100 g⁻¹ b.s). O PPT contendo 50% de maltodextrina e 50% de PISL foi o destaque, com alto rendimento, solubilidade, teor de PET e baixa umidade e higroscopicidade, apresentando fácil escoamento, porém baixa higroscopicidade, solubilidade e PET após 240 dias de armazenamento.

Palavras-chave: densidade aparente; densidade compactada; fluidez; proteína; solubilidade.

7 EVALUATION OF TAMARIND PULP POWDER CONTAINING ADJUVANT MIXTURES

ABSTRACT

Fruit pulp powders have been increasingly studied. Due to its peculiar nutritional characteristics, tamarind has been the subject of several studies in order to extend its shelf life and add commercial value. The aim of this study was to produce tamarind pulp powder (PPT) in spray dryer using three different drying adjuvants (maltodextrin, inulin and whey protein isolate, WPI), in different proportions, and to evaluate its effect on moisture, yield, hygroscopicity, solubility, total extractable polyphenols (TEP), color (L^* , a^* and b^*) and fluidity, in addition to evaluating the stability for 240 days of storage of the best chosen condition using the experimental design of mixtures. The PPT containing maltodextrin was responsible for the lowest moisture. The PPT with PISL had a strong influence on the higher moisture, yields, lower hygroscopicities, solubilities and L^* ($p \leq 0.05$). Inulin contributed little to improving yield and when mixed with maltodextrin promoted greater solubility as well as allowed for a darker appearance. The TEP content of the PPT was also influenced, with emphasis on inulin, which presented the highest content among the individual adjuvants (355.21 mg of GAE.100 g⁻¹ d.b). The PPT containing 50% maltodextrin and 50% WPI was the highlight, with high yield, solubility, TEP content and low moisture and hygroscopicity, presenting easy flow, but low hygroscopicity, solubility and TEP after 240 days of storage.

Keywords: bulk density; compacted density; fluidity; protein; solubility.

7.1 Introdução

O tamarindeiro (*Tamarindus indica* L.), nativo do continente africano, possui frutos que contém cerca de 30% de polpa, 40% de sementes e 30% de casca. É conhecido pela presença de baixa umidade, quantidade de açúcares relativamente alta (30% - 40%), baixo pH (2,95 – 3,40), elevado teor de carboidratos, proteínas e minerais, o que o torna uma boa fonte de nutrientes na alimentação humana, apesar de não ser comumente consumido na forma *in natura*. A polpa de tamarindo (PT) é normalmente disponibilizada industrialmente na forma concentrada, diluída em água e como ingrediente na forma de pó (Singh; Wangchu; Moond, 2007; Sulieman, *et al.*, 2015; Okello *et al.*, 2017; Okello *et al.*, 2018). Transformar o tamarindo em pó possui inúmeras vantagens, dentre elas: (i) prolongar a vida útil em temperatura ambiente devido à baixa atividade de água, (ii) diminuir as despesas logísticas de transporte devido ao pouco peso e volume; e (iii) facilidade de manipulação e uso (Jittanit *et al.*, 2011).

A secagem por aspersão em *spray dryer* é um processo amplamente utilizado na indústria de alimentos e, em condições ideais, tem se mostrado eficaz para a obtenção de diversos produtos. Os pós de frutas possuem características muito diferentes da polpa ou suco, sendo assim, é importante o conhecimento de suas propriedades. Os agentes adjuvantes têm sido extensivamente utilizados, em combinação ou não, como componentes do processo de secagem (Araújo *et al.*, 2020; Martins *et al.*, 2021). Entre os principais indicadores de benefícios do emprego dos adjuvantes de secagem estão: (i) melhoria do desempenho do secador; (ii) melhoria das propriedades da matriz alvo; (iii) modulação do tamanho das partículas; (iv) aumento do rendimento; (v) aumento da estabilidade do produto; (vi) facilidade de manuseio, transporte e armazenamento; (vii) maior proteção contra a adsorção de umidade do ambiente; e (viii) aumento da biodisponibilidade. Para isso, espera-se que os adjuvantes selecionados sejam inócuos, seguros, inertes quimicamente, com estabilidade térmica e oxidativa, baixa higroscopicidade e viscosidade, alta solubilidade e baixo custo (Muzaffar; Kumar, 2015; Oliveira *et al.*, 2018).

Na literatura científica existem registros de diversos compostos empregados como adjuvantes de secagem em polpas de frutas como, por exemplo, amido, inulina e maltodextrina em polpa de jussara e pinha (Lacerda *et al.*, 2016; Shrivastava *et al.*, 2021), goma arábica em polpa de araçá-boi (Iturri; Calado; Prentice, 2021) e polpa de melão (Li *et al.*, 2021), inulina em polpa de araticum (Botrel *et al.*, 2016), goma arábica e proteína do soro de leite em polpa de tamarindo (Bhusari; Muzaffar; Kumar, 2014). Os pós de polpa de tamarindo (PPT) obtidos

com concentrado protéico de soro de leite apresentaram melhores propriedades, em comparação aos obtidos com maltodextrina e goma arábica (Bhusari; Muzaffar; Kumar *et al.*, 2014).

Com o avanço tecnológico da pesquisa científica, o planejamento de experimentos ganha cada vez mais importância por gerar economia e qualidade. Experimentos de misturas são aqueles em que as propriedades estudadas (as respostas), dependem basicamente das proporções relativas entre os constituintes e não das quantidades individuais (Scheffé, 1963). Pesquisar sobre a estabilidade de armazenamento de frutas secas, tipo de embalagem, condições de armazenamento, parâmetros de processamento e tipo de adjuvantes e suas concentrações torna-se importante para compreender o efeito nas propriedades do produto (Korese; Achaglinkame; Adzitey, 2022).

Portanto, objetivou-se definir a melhor concentração dos adjuvantes maltodextrina, inulina e proteína isolada do soro de leite (PISL), misturados em diferentes proporções, sobre o rendimento e as propriedades físico-químicas e de fluidez dos PPT obtidos em *spray dryer* utilizando o delineamento experimental de misturas *Simplex Centroide* Aumentado e avaliar o efeito do armazenamento por 240 dias nos teores de umidade, pH, solubilidade, higroscopicidade e de polifenóis extraíveis totais (PET).

7.2 Metodologia

Este estudo foi desenvolvido nos Laboratórios do Departamento de Engenharia de Alimentos (DEAL) do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal do Ceará (UFC), *Campus* do Pici, Fortaleza, Ceará, Brasil. A manipulação da PT e dos adjuvantes de secagem foi realizada seguindo a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC), nº 216, sobre Boas Práticas de Manipulação de Alimentos (Brasil, 2004).

7.2.1 Material

7.2.1.1 Polpa de tamarindo (PT)

As polpas congeladas de tamarindo (Sempre Viva®, Ubirataia, Bahia, Brasil), provenientes de dois diferentes lotes, foram adquiridas no comércio local da cidade de Fortaleza - CE. As PT foram transportadas para o Laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem (LACONSA) em embalagens plásticas de polietileno de baixa densidade (PEBD), protegidas da exposição a luz e armazenadas em *freezer* vertical, sob congelamento em temperatura de -18 °C até o momento da utilização, respeitando a necessidade experimental.

7.2.1.2 Adjuvantes de secagem

Os adjuvantes de secagem maltodextrina (dextrose equivalente (DE) 20), inulina e PISL, sabor neutro, foram adquiridos das empresas Maltogill, Ingredientes Online (ingredientesonline.com.br) e VITAFOR Suplementos Nutricionais, respectivamente.

7.2.1.3 Secagem da PT em *spray dryer*

Antes das secagens em equipamento *spray dryer* (LM MSD 1.0 – Labmaq, Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil) e adição dos adjuvantes, as PT descongeladas foram diluídas com água destilada (10%, g.g⁻¹), com o objetivo de facilitar sua aspersão. Para a execução do experimento foram fixadas as seguintes condições: vazão de alimentação da amostra de 0,40 L.h⁻¹, vazão de ar comprimido de 30 L.min⁻¹, vazão do ar de secagem de 1,73 m³.min⁻¹, pressão de aspersão entre 90 e 100 psi e bico aspersor de 1,2 mm de abertura de diâmetro. Para cada ensaio de secagem foram utilizadas 400 g de amostra total, contendo 288 g de PT, 32 g de água destilada e 80 g dos adjuvantes de secagem maltodextrina, inulina e PISL (20%, g.g⁻¹) misturados em diferentes proporções, a 174,2 °C, conforme melhor condição definida na seção 5, seguindo as proporções apresentadas na Tabela 19. Os PPT obtidos no pote coletor foram pesados, a fim de calcular o rendimento, e armazenados em embalagens laminadas flexíveis de polietileno de alta densidade (PEAD) (Tradbor, Iperó – SP, Brasil), protegidos da luz, a vácuo e congelados, para maior preservação dos nutrientes, até a realização das análises

7.2.2 Planejamento experimental e análises do PPT

7.2.2.1 Delineamento de mistura Simplex Centroides Aumentado

Um delineamento de misturas do tipo *Simplex Centroides* Aumentado foi proposto com o intuito de avaliar o uso da mistura dos adjuvantes. Assim, além dos ensaios que continham os adjuvantes individualmente (ensaios 1 a 3), foram adicionados mais sete ensaios contendo a mistura destes (ensaios 4 a 10). Cada amostra continha, em massa (g.g⁻¹), valores fixos de 288 g da polpa, 32 g de água destilada e 80 g (20%) dos adjuvantes em mistura, obedecendo as proporções descritas na Tabela 19. As amostras de cada ensaio foram avaliadas segundo a umidade, rendimento, solubilidade, higroscopicidade, teor de PET e parâmetros de cor L^* , a^* e b^* .

Tabela 19 – Delineamento de mistura *Simplex Centroide* Aumentado dos adjuvantes de secagem do PPT em *spray dryer*.

Ensaio	Valores codificados			Valores reais (%) ¹		
	X ₁	X ₂	X ₃	Maltodextrina (X ₁)	Inulina (X ₂)	PISL (X ₃)
1	1	0	0	100	0	0
2	0	1	0	0	100	0
3	0	0	1	0	0	100
4	0,50	0,50	0	50	50	0
5	0,50	0	0,50	50	0	50
6	0	0,50	0,50	0	50	50
7	0,33	0,33	0,33	33,33	33,33	33,33
8	0,66	0,16	0,16	66,67	16,67	16,67
9	0,16	0,66	0,16	16,67	66,67	16,67
10	0,16	0,16	0,66	16,67	16,67	66,67

¹Em massa (g.g⁻¹).

Fonte: Autor (2025).

7.2.2.2 Caracterização físico-química dos PPT

Todas as análises foram realizadas em triplicata (n = 3), sendo os resultados expressos como média ± desvio padrão. As análises e métodos utilizados estão discriminados a seguir:

7.2.2.2.1 Umidade

Determinada por meio de secagem em estufa a 105 °C, até peso constante, de acordo com o método da *Association of Official Analytical Chemist* (AOAC, 2016).

7.2.2.2.2 Rendimento

O rendimento foi calculado pela relação entre a massa de sólidos no produto em pó obtido e a massa de sólidos que entrou no *spray dryer* (PT diluída com adjuvantes), de acordo com a Equação 1.

$$R = \frac{M_1}{M_2} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

R: rendimento (%);

M₁: massa de sólidos do pó (g);

M₂: massa de sólidos da solução (polpa diluída + adjuvantes) (g).

7.2.2.2.3 Solubilidade

A solubilidade foi determinada segundo o método de Eastman e Moore (1984), adaptado por Cano-Chauca *et al.* (2005). Cerca de 1 g do PPT foi pesado e adicionado em 100 mL de água destilada, sendo agitado por 5 min em agitador magnético com velocidade de 2000 rpm. Em seguida, a solução foi transferida para um tubo de Falcon de 50 mL e centrifugado a 3000 rpm por mais 5 min. Em seguida, uma alíquota de 25 mL do sobrenadante foi colocada em uma placa de Petri, previamente tarada e pesada, submetendo-a a secagem em estufa a 105 °C por 5 h, depois resfriadas e pesadas. A solubilidade foi calculada conforme a seguinte Equação 2.

$$S = \frac{Y}{X} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

S: solubilidade (%);

X: massa da amostra (g);

Y: massa da alíquota seca (g).

7.2.2.2.4 Higroscopicidade

A higroscopicidade foi determinada segundo Goula e Adamopoulos (2010), com adaptações. Em uma placa de Petri, previamente tarada e pesada, foi pesada cerca de 1 g da amostra do PPT em peneira de 500 µm e, em seguida, a placa contendo a amostra foi transferida para as células de higroscopicidade com 75% de umidade relativa, equilibrada com solução de NaCl durante 90 min. A higroscopicidade foi calculada segundo a Equação 3.

$$H = \frac{X}{X_s} \times 100 \quad (3)$$

Em que:

H: higroscopicidade (g de água absorvida.100 g de sólidos⁻¹) (%);

X: massa de água absorvida (g);

X_s: massa de sólidos da amostra (g).

7.2.2.2.5 PET

O teor de PET foi determinado sob penumbra utilizando a metodologia adaptada de Larrauri, Rupérez e Saura-Calixto (1997). Para a preparação dos extratos foram adicionados

0,5 g do PPT em 20 mL de metanol. A solução foi homogeneizada, deixada em repouso por 60 min e centrifugada a 2197 x g (3400 rpm, CELM, LS – 3 Plus) a temperatura ambiente (25 a 30 °C) por 15 min. Após a centrifugação, foi recolhido e filtrado o sobrenadante em um balão volumétrico âmbar (50 mL). Ao resíduo da primeira extração foram adicionados 20 mL de acetona e os passos seguintes foram iguais aos da primeira extração. Por fim, 500 µL dos extratos foram homogeneizados com 500 µl do reagente *Folin-Ciocalteu*, 1000 µL de carbonato de sódio:água (20:80, g.v⁻¹), 1000 µL de água destilada, submetidos a agitação e repouso. A absorbância foi medida a 700 nm (Biochrom, Cambridge, England) e os resultados foram calculados com o auxílio de uma curva padrão de calibração de ácido gálico (0, 10, 20, 30, 40 e 50 mg de GAE.100 g⁻¹ de sólidos da polpa).

7.2.2.2.6 Cor

As medidas foram realizadas utilizando um calorímetro digital (Konica Minolta, modelo CR410), sendo os resultados expressos no sistema CIELAB de cor, onde L^* indica a luminosidade e a^* e b^* são as coordenadas de cromaticidade ($+a^*$: vermelho; $-a^*$:verde; $+b^*$: amarelo; $-b^*$: azul), conforme especificações da *Comission Internationale de L'éclairage* (CIELab, 2004).

7.2.2.2.7 Cálculo da diferença percentual

A diferença percentual entre os resultados máximos e mínimos obtidos para as variáveis dependentes pelo DCCR foi calculada segundo a Equação 4, adaptada de Comerlato e Procianoy (1995).

$$DP = \frac{V_{Max} - V_{Min}}{V_{min}} \times 100 \quad (4)$$

Em que:

DP: Diferença percentual (%);

VMax: valor máximo;

VMin: valor mínimo.

7.2.2.3 Análises da condição escolhida

A determinação da melhor condição de secagem foi feita por meio de uma minuciosa análise de cada uma das variáveis dependentes, sendo consideradas desejáveis as seguintes condições associadas: maior rendimento, menor teor de umidade, maior solubilidade

e menor higroscopicidade, tendo em vista que essas variáveis são as mais decisivas na viabilidade de um processo industrial e na inserção do produto no mercado. Após a escolha, procedeu-se com a caracterização físico-química, análises de fluidez e armazenamento por 240 dias.

7.2.2.4 Fluidez da condição escolhida

As amostras foram inseridas em bandejas circulares de aço inox e transferidas ao equipamento *Powder Flow Tester* (PFT) da empresa *Brookfield Engineering Laboratories*. Em seguida, foram realizados dois testes, o *Wall Friction* e *Flow Function*. O primeiro trata das medidas de atrito entre o PPT e uma superfície de parede, já o segundo é utilizado para caracterizar a resistência de fluxo e potencial dos PPT. Foram obtidas as densidades aparente e de compactação, ângulos de atrito de parede mínimo e máximo, tensão principal de consolidação e a tensão inconfínada de deslizamento. A partir das densidades foram determinados os índices de fluidez (Equação 5) (Lopes Neto *et al.*, 2007) e de compressibilidade (Equação 6) (Carr, 1965) e a relação de Hausner (Equação 7) (Hausner, 1967). Após a obtenção dos resultados as amostras foram classificadas quanto sua fluidez (Tabela 20) de acordo com Aziz *et al.* (2018).

$$If = \frac{\sigma_1}{\sigma_c} \quad (5)$$

$$IC = \frac{\alpha_c - \alpha_a}{\alpha_c} \times 100 \quad (6)$$

$$RH = \frac{\alpha_c}{\alpha_a} \quad (7)$$

Em que:

If : índice de fluidez;

σ_1 : tensão principal de consolidação (kPa);

σ_c : tensão inconfínada de deslizamento (kPa);

IC : índice de compressibilidade (%);

RH : relação de Hausner;

α_c : densidade compactada (kg.m^{-3});

α_a : densidade aparente (kg.m^{-3}).

Tabela 20 – Classificação do tipo de fluxo.

Tipo de fluxo ¹	IC (%) ²	RH ³
Excelente	<10	1,00 – 1,11
Boa	11-15	1,12-1,18
Adequada	16-20	1,19-1,25
Aceitável	21-25	1,26-1,34
Difícil	26-31	1,35-1,45
Muito difícil	32-37	1,46-1,59
Excessivamente difícil	>38	1,46-1,59

Fonte: ¹Shah, Tawakkul e Khan (2008), ²Índice de compressibilidade (Carr, 1965) e ³Relação de Hausner (Hausner, 1967).

7.2.2.5 Armazenamento da condição escolhida

As amostras do PPT escolhido foram armazenadas em embalagens laminadas flexíveis de polietileno de alta densidade (PEAD) (Tradbor, Iperó – SP, Brasil), protegidos da luz, a vácuo, em temperatura ambiente (25 °C) durante 240 dias de armazenamento (25 °C). Foram realizadas análises físico-químicas de umidade, pH, solubilidade, higroscopicidade e PET nos dias 0, 15, 30, 60, 120 e 240. Para cada dia de armazenamento foram geradas duas unidades amostrais que somente foram manipuladas para a realização das análises no respectivo dia final de armazenamento.

7.2.3 Análise estatística

A partir dos resultados obtidos no planejamento experimental de misturas, foram gerados modelos de regressão e para os parâmetros que se apresentaram significativos ao nível de confiança de 90%, foi aplicada a análise de variância (ANOVA) e gerados os diagramas ternários. O ajuste do modelo matemático foi avaliado pelo teste F e pelo coeficiente de determinação (R^2). Os dados foram tratados estatisticamente com o auxílio do *software Statistica 7.0* (Statsoft, 2007). Os resultados da estabilidade do ensaio da melhor condição foram avaliados por ANOVA e submetidos ao teste de Tukey para determinar diferenças significativas ($p \leq 0.05$), utilizando o *Assistat software* versão 7.7 beta (Silva; Azevedo, 2016).

7.3 Resultados e Discussão

7.3.1 Planejamento experimental de misturas

Os resultados do delineamento *Simplex Centroide* Aumentado dos PPT encontram-se na Tabela 21. A adição dos adjuvantes maltodextrina, inulina e PISL em proporções diferentes na PT apresentou efeito estimado significativo ($p \leq 0,10$) para todas as variáveis respostas.

Tabela 21 - Resultados do planejamento experimental *Simplex Centroides* Aumentado para secagem de PT em *spray dryer*.

Variáveis independentes					Variáveis dependentes						
Ensaio	Maltodextrina (%) ¹	Inulina (%) ¹	PISL (%) ¹	Umidade (%)	Rendimento (%)	Solubilidade (%)	Higroscopicidade (%)	PET (mg de EAG.100 g ⁻¹ b.s ²)	Cor		
									<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *
1	100	0	0	2,39 ± 0,05	17,69 ± 0,05	98,27 ± 1,30	9,94 ± 0,04	354,77 ± 20,80	75,94 ± 1,32	-4,04 ± 0,01	9,08 ± 0,04
2	0	100	0	3,49 ± 0,01	14,10 ± 0,04	95,60 ± 0,87	8,86 ± 0,20	475,22 ± 30,51	76,81 ± 0,47	-4,49 ± 0,00	7,82 ± 0,02
3	0	0	100	3,14 ± 1,57	35,21 ± 0,47	80,26 ± 1,02	8,83 ± 2,28	355,21 ± 8,27	70,44 ± 0,42	-5,18 ± 1,25	18,67 ± 5,26
4	50	50	0	1,43 ± 0,18	31,04 ± 0,34	96,40 ± 0,11	10,54 ± 0,33	491,97 ± 13,95	73,97 ± 0,06	-3,97 ± 0,07	7,32 ± 0,21
5	50	0	50	3,35 ± 0,06	44,75 ± 0,68	89,69 ± 0,58	9,88 ± 0,48	1007,90 ± 62,70	74,09 ± 2,56	-4,98 ± 0,03	10,04 ± 0,36
6	0	50	50	2,77 ± 0,13	40,54 ± 0,05	91,19 ± 0,69	9,99 ± 1,21	969,10 ± 45,91	75,62 ± 3,93	-4,79 ± 0,20	10,80 ± 1,39
7	33,33	33,33	33,33	3,01 ± 0,30	40,55 ± 0,39	94,22 ± 0,17	10,84 ± 0,37	863,28 ± 105,12	76,46 ± 3,94	-4,66 ± 0,10	9,29 ± 0,29
8	66,67	16,67	16,67	2,27 ± 0,12	36,06 ± 0,17	93,76 ± 1,04	9,74 ± 0,59	682,41 ± 15,35	71,23 ± 0,91	-4,61 ± 0,20	7,75 ± 0,57
9	16,67	66,67	16,67	2,86 ± 0,19	32,46 ± 0,16	93,39 ± 0,08	10,70 ± 0,67	702,83 ± 28,18	75,88 ± 0,85	-4,69 ± 0,01	7,72 ± 0,10
10	16,67	16,67	66,67	3,14 ± 0,24	35,41 ± 0,45	95,23 ± 1,50	10,04 ± 0,87	1176,62 ± 67,72	72,53 ± 0,90	-4,87 ± 0,04	10,47 ± 0,45

Média ± Desvio Padrão (n = 3). ¹Em massa (g.g⁻¹). ²Base seca. EAG: Equivalente de ácido gálico.

Fonte: Autor (2025).

7.3.1.1 Umidade

Os PPT apresentaram umidade baixa, menor que 5% para todos os 10 ensaios, fator positivo, podendo este produto ser considerado como de alta estabilidade, com valores abaixo dos 5% propostos por Masters (1991) e Muzaffar e Kumar (2016). Dentre os resultados obtidos para a umidade, encontram-se valores entre 1,43% (ensaio 4) a 3,49% (ensaio 2), logo a diferença percentual entre os resultados mínimo e máximo foi de 144%, o que demonstra uma alta variação deste componente para as diferentes proporções de adjuvantes. Na Tabela 22 estão dispostos os resultados dos efeitos estimados. Todos os fatores influenciaram significativamente a variável resposta ($p \leq 0,10$). As misturas entre maltodextrina e inulina e inulina e PSIL apresentaram efeito estimado negativo, o que significa que o aumento na concentração dessas misturas ocasionou uma redução na umidade final dos PPT.

Tabela 22 - Efeito estimado da adição dos adjuvantes na umidade do PPT obtido em *spray dryer*.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t(3)	p-valor
M	2,3292	0,1637	14,2310	0,0007*
I	3,5420	0,1637	21,6407	0,0002*
PISL	3,1248	0,1637	19,0919	0,0003*
M x I	-6,0271	0,8239	-7,3153	0,0052*
M x PISL	2,2086	0,8239	2,6807	0,0750*
I x PISL	-2,0976	0,8239	-2,5460	0,0843*
M x I x PISL	16,1688	5,4317	2,9767	0,0587*

M: Maltodextrina, I: Inulina e PISL: Proteína Isolada do Soro de Leite. *Valores significativos a $p \leq 0,10$.

Fonte: Autor (2025).

A ANOVA do modelo de regressão foi gerada levando em consideração apenas os efeitos significativos da Tabela 22. Os resultados mostraram que o teste F apresentou para a regressão um $F_{\text{calculado}}$ maior que F_{tabelado} (Tabela 23). O modelo gerado descreveu fortemente os dados experimentais, podendo ser utilizada para estimar a umidade dos PPT, com um coeficiente de determinação (R^2) de 0,9744, representado pela Equação 8.

Tabela 23 - ANOVA do modelo de regressão para a variável umidade.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{cal.}	F _{tab.10%}	R ²
Regressão	3,2773	6	0,5462	19,0539*	5,28	0,9744
Resíduo	0,0860	3	0,0287			
Total	3,3633	9	0,3737			

Em que: SQ: Soma Quadrática, GL: Grau de Liberdade, QM: Média Quadrática; F_{calc.}: F_{calculado}; F_{tab.10%}: F_{tabelado} com 10% de significância, R²: Coeficiente de determinação. *Significativo a $p \leq 0,10$.

Fonte: Autor (2025).

$$U = 2,3292M + 3,5420I + 3,1249Z - 6,0271MI + 2,2086MP - 2,0976IP + 16,1688MIP \quad (8)$$

Em que:

U: Umidade (%);

M: Maltodextrina (%);

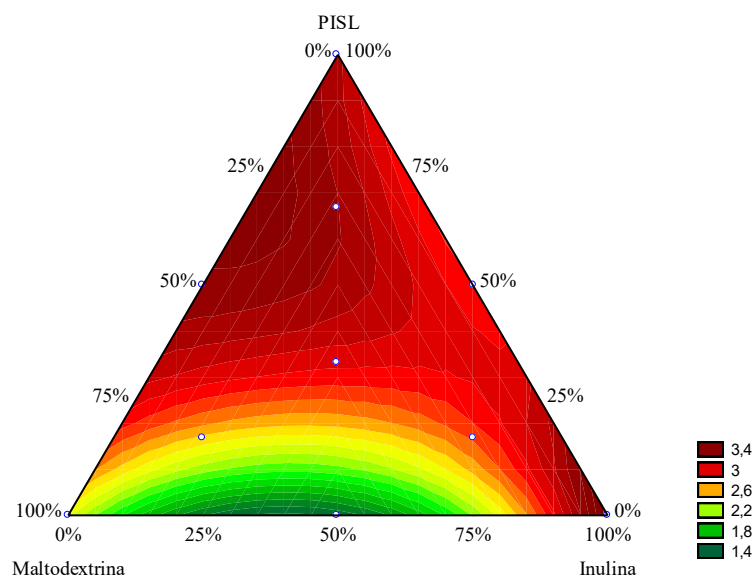
I: Inulina (%);

P: PISL (%).

O diagrama ternário foi obtido por meio da Equação 8, sendo possível observar o comportamento da variável umidade (Figura 35). As maiores umidades foram para os PPT que continham como adjuvantes a inulina e a PISL na composição, contudo, em mistura, os ensaios com maior proporção de maltodextrina e inulina (ensaios 4, 8 e 9) promoveram os menores teores de umidade (Tabela 22). Esses resultados convergem com os resultados e discussões da Tabela 21 da seção 6, onde a inulina e a PISL não diferiram estatisticamente quanto ao teor de umidade, sendo ambas superiores a maltodextrina ($p > 0,05$).

Claramente, a mistura maltodextrina e PISL não é eficiente em promover redução no teor de umidade do PPT, quando PISL tiver em maior proporção. A maltodextrina gera pós com menores umidades e quanto maior o seu teor na amostra, menor a umidade (Chang; Ooi; Pui, 2022). Chang, Ooi e Pui (2022) analisaram pó de melão obtido em *spray dryer* contendo cinco diferentes proporções de maltodextrina (10, 20, 30, 40 e 50%) e observaram que quanto maior o teor do adjuvante menor era a umidade respectiva (7,72, 5,33, 4,22, 3,95 e 2,89% b.s). O pó possui maior vida útil devido à sua baixa atividade de água, o que diminui as chances de ocorrência da reação de *Maillard*, além de torná-lo prático para aplicação em diversas formulações alimentícias. Em geral, um pó de boa qualidade é caracterizado por baixa higroscopicidade, baixo teor de umidade e alta solubilidade (Bhusari; Muzaffar; Kumar, 2014; Muzaffar; Kumar, 2016).

Figura 35 - Diagrama ternário da umidade do PPT obtido em *spray dryer*.



Fonte: Autor (2025).

7.3.1.2 Rendimento

O rendimento revelou valores que variaram de 14,10% (ensaio 2) a 44,75% (ensaio 5), ou seja, 217,37% de diferença percentual (Tabela 21). Os efeitos estimados que influenciaram nesta variável estão presentes na Tabela 24. Todos os fatores influenciaram significativamente a variável resposta, tendo maior destaque a PISL individualmente e em mistura, no aumento do rendimento ($p \leq 0,10$).

Tabela 24 - Efeito estimado da adição dos adjuvantes no rendimento do PPT obtido em *spray dryer*.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t(4)	p-valor
M	18,7399	4,1026	4,5678	0,0103*
I	14,8782	4,1026	3,6265	0,0222*
PISL	33,6279	4,1026	8,1966	0,0012*
M x I	54,6804	18,9085	2,8918	0,0445*
M x PISL	62,5767	18,9085	3,3094	0,0297*
I x PISL	52,3934	18,9085	2,7709	0,0503*

M: Maltodextrina, I: Inulina e PISL: Proteína Isolada do Soro de Leite. *Valores significativos a $p \leq 0,10$.
Fonte: Autor (2025).

Na Tabela 25, a ANOVA demonstrou que o modelo ajustado ($F_{\text{calculado}}$ maior que F_{tabelado}) apresentou um elevado R^2 , 0,9165, e está representado pela Equação 8.

Tabela 25 - ANOVA do modelo de regressão para a variável rendimento.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	$F_{\text{cal.}}$	$F_{\text{tab.10\%}}$	R^2
Regressão	794,7498	5	158,9500	8,7837*	4,05	0,9165
Resíduo	72,3838	4	18,0960			
Total	867,1336	9	96,3482			

Em que: SQ: Soma Quadrática, GL: Grau de Liberdade, QM: Média Quadrática; $F_{\text{calc.}}$: $F_{\text{calculado}}$; $F_{\text{tab.10\%}}$: F_{tabelado} com 10% de significância, R^2 : Coeficiente de determinação. *Significativo a $p \leq 0,10$.
Fonte: Autor (2025).

$$R = 18,7399M + 14,8782I + 33,6279P + 54,6804MI + 62,5767MP + 52,3934IP \quad (9)$$

Em que:

R: Rendimento (%);

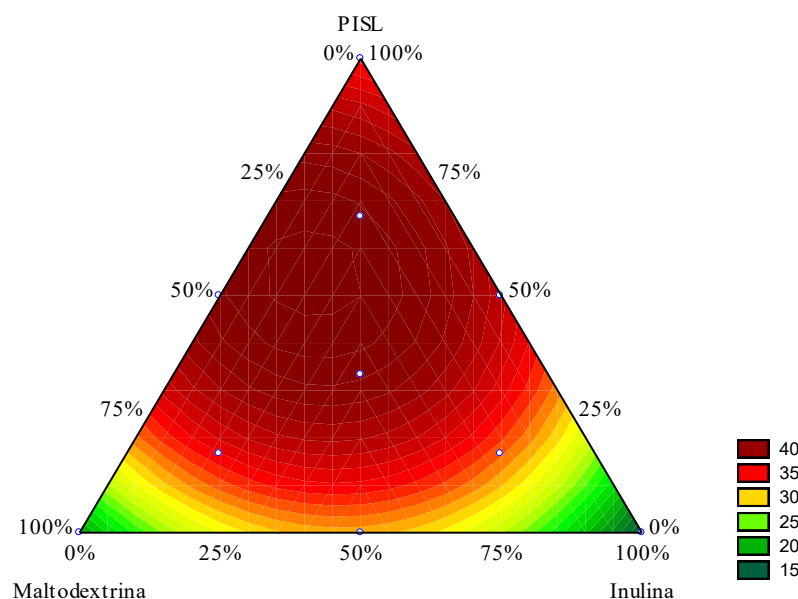
M: Maltodextrina (%);

I: Inulina (%);

P: PISL (%).

No diagrama ternário observa-se com maior destaque a ação na promoção do rendimento quando o pó possui PISL na composição, principalmente associada a maltodextrina, com valores superiores a 35% (Figura 36). Esses resultados convergem com os resultados e discussões da Tabela 16 da seção 6, onde a PISL apresentou o maior rendimento na análise individual. A maltodextrina e a inulina proporcionaram pós com rendimentos abaixo de 20%. Notadamente, a inulina contribuiu pouco para melhorar o rendimento de secagem de PT, seja de forma individual ou em mistura. O aumento no rendimento do PPT pela PSIL pode ser atribuído à redução da viscosidade e à formação de um filme rico em proteínas. Esse filme é eficaz em evitar a coalescência das gotículas e reduzir as interações pegajosas das partículas na câmara de secagem do secador. Além disso, é possível que apresente uma temperatura de transição vítrea (T_g) relativamente mais alta, devido ao seu elevado peso molecular (Bhusari; Muzaffar; Kumar, 2014).

Figura 36 - Diagrama ternário do rendimento do PPT obtido em *spray dryer*.



Fonte: Autor (2025).

7.3.1.3 Solubilidade

Conforme a Tabela 21, o teor mínimo de solubilidade foi de 80,26% para o ensaio 3 e o máximo atingido foi de 98,27% para o ensaio 1, revelando uma diferença percentual de 22,43% entre os resultados mínimo e máximo. Segundo a Tabela 26, a tendência na maior solubilidade foi notada para a maltodextrina, seguida pela inulina e PISL ($p \leq 0,10$). As interações não foram significativas ($p > 0,10$). Baixo índice de solubilidade em água do PPT contendo proteína como adjuvante também foi reportado por Muzaffar, Dar e Kumar (2017), 71,95%, justificado pela menor interação das moléculas de proteína com a água.

Tabela 26 - Efeito estimado da adição dos adjuvantes na solubilidade do PPT obtido em *spray dryer*.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t(4)	p-valor
M	97,4104	3,4306	28,3949	0,000009*
I	94,7414	3,4306	27,6169	0,00001*
PISL	81,9101	3,4306	23,8766	0,00002*
M x I	-1,7794	15,8109	-0,1125	0,9158
M x PISL	7,0635	15,8109	0,4467	0,6782
I x PISL	18,4421	15,8109	1,1664	0,3082

M: Maltodextrina, I: Inulina e PISL: Proteína Isolada do Soro de Leite. *Valores significativos a $p \leq 0,10$.
Fonte: Autor (2025).

Na Tabela 9, a ANOVA gerou um modelo que representou moderadamente a variância dos dados, com R^2 de 0,6929, estando representado pela Equação 9.

Tabela 27 - ANOVA do modelo de regressão para a variável solubilidade.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{cal.}	F _{tab.10%}	R ²
Regressão	159,0096	2	79,5048	7,8986*	3,26	0,6929
Resíduo	70,4596	7	10,0657			
Total	229,4693	9	25,4966			

Em que: SQ: Soma Quadrática, GL: Grau de Liberdade, QM: Média Quadrática; F_{calc.}: F_{calculado}; F_{tab.10%}: F_{tabelado} com 10% de significância, R²: Coeficiente de determinação. *Significativo a $p \leq 0,10$.
Fonte: Autor (2025).

Em que:

S: Solubilidade (%);

M: Maltodextrina (%);

I: Inulina (%);

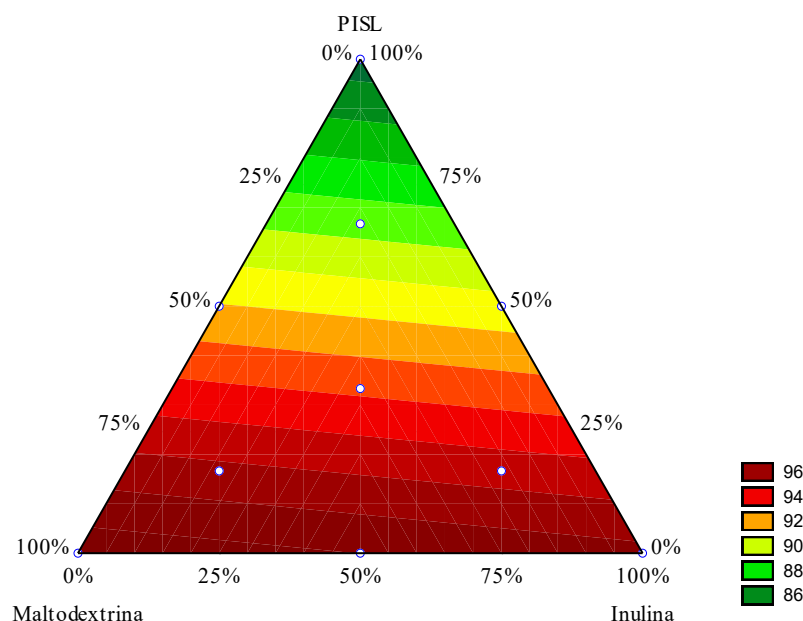
P: PISL (%).

$$S = 97,6899M + 96,2853I + 84,4365P \quad (9)$$

O diagrama ternário gerado a partir da significância do modelo confirmou a capacidade da PISL em gerar pós menos solúveis (Figura 37). Segundo Muzaffar, Dar e Kumar (2017) quanto maior o teor de umidade da amostra de pó, menos solúvel ela é. O PPT contendo PISL também possui a menor umidade. Fernandes *et al.* (2014) observaram que o aumento na concentração de inulina levou a um incremento no teor de umidade no pó de óleo essencial de alecrim obtido por aspersão, utilizando misturas de proteína de soro de leite e inulina como adjuvantes. Os autores explicaram que isso ocorre devido à alta afinidade da inulina pela água, atribuída à presença de grupos hidrofílicos que se ligam fortemente com a água, impactando diretamente sua solubilidade.

Esse comportamento é semelhante ao da maltodextrina, que também apresenta alta afinidade com a água e influencia os processos de secagem e encapsulamento. Kim, Faqih e Wang (2001) e Chang, Ooi e Pui (2022) confirmam a elevada solubilidade da inulina e da maltodextrina, respectivamente. Zhou, Liu e Labuza (2008a) e Zhou, Liu e Labuza (2008b) notaram que há menor interação das moléculas de PISL com a água, devido a presença de proteínas globulares com grupos hidrofóbicos localizados dentro da estrutura globular.

Figura 37 - Diagrama ternário da solubilidade do PPT obtido em *spray dryer*.



Fonte: Autor (2025).

7.3.1.4 Higroscopicidade

A higroscopicidade dos PPT apresentou valores que variaram entre 8,83 e 10,84% nos ensaios 3 e 7, respectivamente, correspondendo a 22,73% de diferença percentual (Tabela 21). Constatou-se que a higroscopicidade dos PPT foi influenciada significativamente pelos adjuvantes e suas misturas, com exceção da maltodextrina e PISL ($p \leq 0,10$), conforme a Tabela 28.

Tabela 28 - Efeito estimado da adição dos adjuvantes na higroscopicidade do PPT obtido em *spray dryer*.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t(4)	p-valor
M	9,7178	0,4370	22,2367	0,00002*
I	8,9847	0,4370	20,5593	0,00003*
PISL	8,8399	0,4370	20,2279	0,00003*
M x I	4,9134	2,0141	2,4394	0,0712*
M x PISL	2,0998	2,0141	1,0425	0,3560
I x PISL	5,3922	2,0141	2,6772	0,0554*

M: Maltodextrina, I: Inulina e PISL: Proteína Isolada do Soro de Leite. *Valores significativos a $p \leq 0,10$.
Fonte: Autor (2025).

Na Tabela 29 estão apresentados os resultados da ANOVA, cujo modelo de regressão gerado apresentou um R^2 de 0,7525, valor com forte representação dos resultados. O modelo matemático ajustado aos dados experimentais está representado pela Equação 10.

Tabela 29 - ANOVA do modelo de regressão para a variável higroscopicidade.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{cal.}	F _{tab.10%}	R ²
Regressão	3,1761	4	0,7940	3,8011*	3,52	0,7525
Resíduo	1,0445	5	0,2089			
Total	4,2206	9	0,4689			

Em que: SQ: Soma Quadrática, GL: Grau de Liberdade, QM: Média Quadrática; F_{calc.}: F_{calculado}; F_{tab.10%}: F_{tabelado} com 10% de significância, R²: Coeficiente de determinação. *Significativo a $p \leq 0,10$.
Fonte: Autor (2025).

$$H = 9,9249M + 8,9600I + 9,04711P + 4,9005MI + 5,3793IP \quad (10)$$

Em que:

H: Higroscopicidade (%);

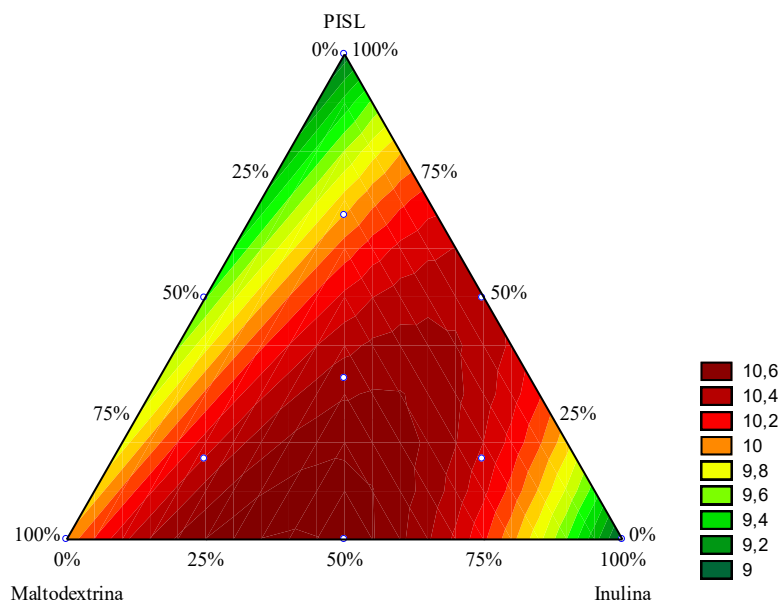
M: Maltodextrina (%);

I: Inulina (%);

P: PISL (%).

A inulina e a PISL foram os adjuvantes responsáveis pelas maiores reduções na higroscopicidade dos PPT (Figura 38). As misturas entre maltodextrina e inulina e entre inulina e PISL formaram pós com higroscopicidades próximas a 10%. A higroscopicidade refere-se à capacidade de um material absorver umidade do ambiente em condições de alta umidade relativa. Em geral, um pó de boa qualidade é caracterizado por baixa higroscopicidade, baixo teor de umidade e alta solubilidade (Bhusari; Muzaffar; Kumar, 2014). A maior capacidade higroscópica apresentada pela inulina é justificada pela maior presença de grupos hidroxila (OH) na sua composição, elevando a capacidade de ligação com moléculas de água do ambiente (Kim; Faqih; Wang, 2001).

Figura 38 - Diagrama ternário da higroscopicidade do PPT obtido em *spray dryer*.



Fonte: Autor (2025).

7.3.1.5 PET

O PPT apresentou teor de PET superior a 300 mg de EAG.100 g⁻¹ b.s, com oscilação entre 354,77 mg de EAG.100 g⁻¹ (ensaio 1) a 1176,62 mg de EAG.100 g⁻¹ (ensaio 10), logo a diferença percentual foi de 231,65% (Tabela 21). Na Tabela 30, percebe-se que todos os fatores influenciaram significativamente a variável resposta ($p \leq 0,10$). Não houve interação entre maltodextrina e inulina.

Tabela 30 - Efeito estimado da adição dos adjuvantes dos PET do PPT obtido em *spray dryer*.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t(4)	p-valor
M	660,9980	95,6823	6,9082	0,0009*
I	699,3960	95,6823	7,3096	0,0007*
PISL	903,7520	107,2762	8,4245	0,0004*
M x PISL	3725,3360	495,1400	7,5238	0,0007*
I x PISL	3206,8040	495,1400	6,4766	0,0013*

M: Maltodextrina, I: Inulina e PISL: Proteína Isolada do Soro de Leite. *Valores significativos a $p \leq 0,10$.
Fonte: Autor (2025).

A Tabela 31 apresenta a ANOVA do modelo de regressão. De acordo com os valores de F, o modelo de regressão foi significativo ($p \leq 0,10$) com um forte R², 0,9623, tendo sua representação expressada pela Equação 11.

Tabela 31 - ANOVA do modelo de regressão para a variável polifenóis extraíveis totais.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{cal.}	F _{tab.10%}	R ²
Regressão	1586388	4	396596,9	31,9603*	3,52	0,9623
Resíduo	62045	5	12409,1			
Total	1648433	9	183159,2			

Em que: SQ: Soma Quadrática, GL: Grau de Liberdade, QM: Média Quadrática; F_{calc.}: F_{calculado}; F_{tab.10%}: F_{tabelado} com 10% de significância, R²: Coeficiente de determinação. *Significativo a $p \leq 0,10$.

Fonte: Autor (2025).

$$PET = 660,9977M + 699,3955I + 903,7523P + 3725,3355MP + 3206,8038IP \quad (11)$$

Em que:

PET – Polifenóis extraíveis totais (%);

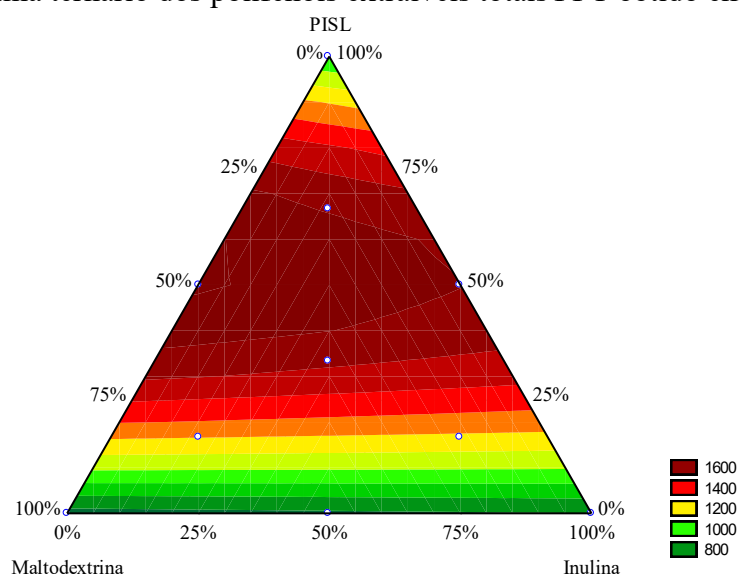
M - Maltodextrina (%);

I - Inulina (%);

P - PISL (%).

O conteúdo de PET também foi fortemente influenciado pela inulina, que apresentou o maior teor entre os adjuvantes individuais (Figura 39). O maior teor de PET (1176,62 mg de EAG.100 g⁻¹) entre as misturas foi para o ensaio com 66,67% de PISL, justificado pela maior capacidade de polimerização da PISL (Bhusari; Muzaffar; Kumar, 2014). Maltodextrina e PISL tem melhor conteúdo fenólico se comparado a inulina e PISL. Os menores valores para maltodextrina e inulina, segundo Pauck *et al.* (2017), podem ser por não apresentarem papel crucial na proteção dos compostos fenólicos durante o processamento.

Figura 39 - Diagrama ternário dos polifenóis extraíveis totais PPT obtido em *spray dryer*.



Fonte: Autor (2025).

7.3.1.6 Parâmetros de cor: L^* , a^* e b^*

Os parâmetros de cor L^* , a^* e b^* oscilaram na faixa de 70,44 (ensaio 3) a 76,46 (ensaio 7), -5,18 (ensaio 3) a -4,04 (ensaio 1) e 7,32 (ensaio 4) a 18,67 (ensaio 3), respectivamente. A maior variação percentual foi notada para b^* , com 155,05%, seguida por a^* (28,21%) e L^* (8,54%), conforme Tabela 21. Os efeitos estimados para ambos os parâmetros podem ser observados nas Tabelas 32, 33 e 34. Todos os fatores influenciaram significativamente as variáveis respostas ($p \leq 0,10$). Para L^* não houve efeito nas interações ($p > 0,10$). Para a^* , maltodextrina e PISL foram significativos. Para b^* , maltodextrina e PISL e inulina e PISL foram significativos.

Tabela 32 - Efeito estimado da adição dos adjuvantes no parâmetro de cor L^* do PPT obtido em *spray dryer*.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t(3)	p-valor
M	75,1570	2,1220	35,4174	0,00005*
I	77,0722	2,1220	36,3199	0,00005*
PISL	70,3610	2,1220	33,1573	0,00006*
M x I	-10,6683	10,6819	-0,9987	0,3915
M x PISL	1,8626	10,6819	0,1744	0,8727
I x PISL	8,3663	10,6819	0,7832	0,4906
M x I x PISL	13,8388	70,4223	0,1965	0,8568

M: Maltodextrina, I: Inulina e PISL: Proteína Isolada do Soro de Leite. *Valores significativos a $p \leq 0,10$.
Fonte: Autor (2025).

Tabela 33 - Efeito estimado da adição dos adjuvantes no parâmetro de cor a^* PPT obtido em *spray dryer*.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t(4)	p-valor
M	-4,0799	0,1638	-24,9139	0,00001*
I	-4,5278	0,1638	-27,6488	0,00001*
PISL	-5,1187	0,1638	-31,2572	0,000006*
M x I	0,7791	0,7547	1,0322	0,3603
M x PISL	-1,6628	0,7547	-2,2030	0,0923*
I x PISL	0,0081	0,7547	0,0108	0,9919

M: Maltodextrina, I: Inulina e PISL: Proteína Isolada do Soro de Leite. *Valores significativos a $p \leq 0,10$.
Fonte: Autor (2025).

Tabela 34 - Efeito estimado da adição dos adjuvantes no parâmetro de cor b^* PPT obtido em *spray dryer*.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t(4)	p-valor
M	9,1130	0,9084	10,0319	0,0005*
I	7,8936	0,9084	8,6896	0,0009*
PISL	18,2624	0,9084	20,1040	0,00003*
M x I	-4,1456	4,1867	-0,9902	0,3781
M x PISL	-15,9347	4,1867	-3,8061	0,0190*
I x PISL	-10,3202	4,1867	-2,4650	0,0693*

M: Maltodextrina, I: Inulina e PISL: Proteína Isolada do Soro de Leite. *Valores significativos a $p \leq 0,10$.
Fonte: Autor (2025).

As Tabelas 35, 36 e 37 apresentam as ANOVAs do modelo de regressão para as variáveis de medição da cor dos PPT. Com exceção da L^* ($R^2 = 0,4666$), as demais variáveis de cor tiveram forte representação dos modelos de regressão: a^* com $R^2 = 0,8898$ e b^* com $R^2 = 0,9556$. As Equações 12, 13 e 14 representam o modelo matemático das variáveis de cor.

Tabela 35 - ANOVA do modelo de regressão para a variável luminosidade L^* .

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{cal.}	F _{tab.10%}	R ²
Regressão	21,2184	2	10,6092	3,0623 ^{ns}	3,26	0,4666
Resíduo	24,2513	7	3,4645			
Total	45,4697	9	5,0522			

Em que: SQ: Soma Quadrática, GL: Grau de Liberdade, QM: Média Quadrática; F_{calc.}: F_{calculado}; F_{tab.10%}: F_{tabelado} com 10% de significância, R²: Coeficiente de determinação. *Significativo a $p \leq 0,10$.
Fonte: Autor (2025).

Tabela 36 - ANOVA do modelo de regressão para a variável a^* .

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{cal.}	F _{tab.10%}	R ²
Regressão	1,1790	3	0,3930	16,1458*	3,29	0,8898
Resíduo	0,1460	6	0,0243			
Total	1,3251	9	0,1472			

Em que: SQ: Soma Quadrática, GL: Grau de Liberdade, QM: Média Quadrática; F_{calc.}: F_{calculado}; F_{tab.10%}: F_{tabelado} com 10% de significância, R²: Coeficiente de determinação. *Significativo a $p \leq 0,10$.
Fonte: Autor (2025).

Tabela 37 - ANOVA do modelo de regressão para a variável b^* .

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{cal.}	F _{tab.10%}	R ²
Regressão	95,0980	4	23,7745	26,9034*	3,62	0,9556
Resíduo	4,4185	5	0,8837			
Total	99,5165	9	11,0574			

Em que: SQ: Soma Quadrática, GL: Grau de Liberdade, QM: Média Quadrática; F_{calc.}: F_{calculado}; F_{tab.10%}: F_{tabelado} com 10% de significância, R²: Coeficiente de determinação. *Significativo a $p \leq 0,10$.
 Fonte: Autor (2025).

$$L^* = 74,3124M + 76,9502I + 71,6313P \quad (12)$$

$$a^* = -4,0031M - 4,4506I - 5,1275P - 1,6676MP \quad (13)$$

$$b^* = 8,7039M + 7,4845I + 18,3111P - 15,9093MP - 10,2947IP \quad (14)$$

Em que:

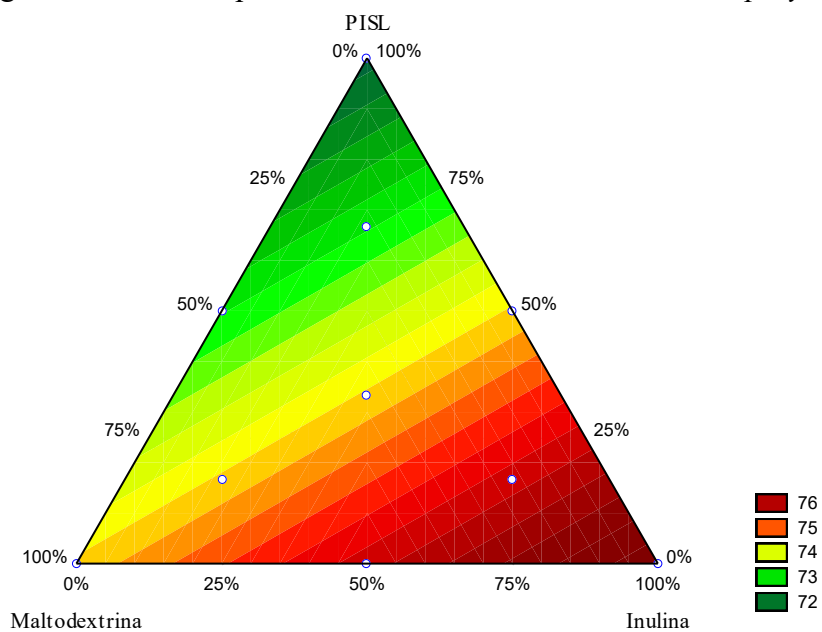
M : Maltodextrina (%);

I : Inulina (%);

P : PISL (%).

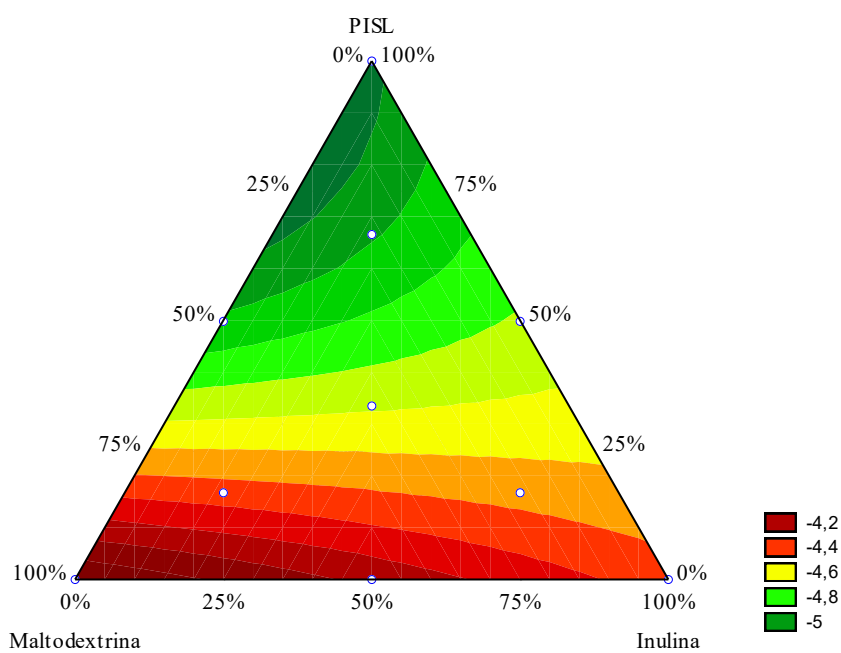
Nas Figuras 40, 41 e 42, correspondentes a L^* , a^* e b^* , respectivamente, observamos que individualmente os adjuvantes exerceram forte influência sobre diferentes variáveis de cor. Os resultados para a^* e b^* mostraram que a cor dos pós de todos os ensaios esteve localizada no segundo quadrante do espaço de cor ($-a^*$, $+b^*$), indicando uma variância de cor no espectro do amarelo para o verde, com L^* escura. Inulina apresentou a maior luminosidade e PISL a menor. Maltodextrina ressaltou com menos intensidade a cor verde dos PPT (Figura 41). Já PISL foi responsável por uma cor mais amarelada. A cor menos luminosa do pó de PISL pode ser justificada pela cor inerente da PISL, que é naturalmente mais amarelada e menos luminosa quando comparada a maltodextrina e inulina e que, segundo Bhusari, Muzaffar e Kumar (2014), são mais luminosas. Kuhn, Azevedo e Noreña (2020) também obtiveram maiores luminosidades em pós contendo inulina.

Figura 40 - Diagrama ternário do parâmetro de cor L^* do PPT obtido em *spray dryer*.



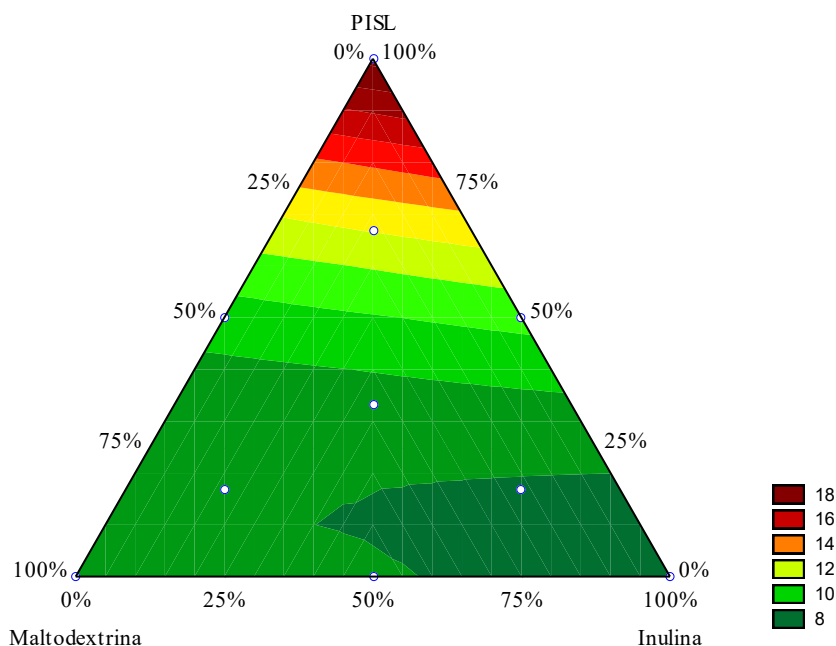
Fonte: Autor (2025).

Figura 41 - Diagrama ternário do parâmetro de cor a^* do PPT obtido em *spray dryer*.



Fonte: Autor (2025).

Figura 42 - Diagrama ternário do parâmetro de cor b^* do PPT obtido em *spray dryer*.



Fonte: Autor (2025).

7.3.2 Condição de secagem escolhida para caracterização físico-química, avaliação da fluidez e efeito do armazenamento

O ensaio 5 apresentou o melhor conjunto de resultados avaliados para definição da melhor condição, conforme critérios mencionados em 4.2.2.3, com 3,35% de umidade, 44% de rendimento, 89,69% de solubilidade, 9,88% de higroscopicidade, cujas variáveis independentes estavam ajustadas em 50% de maltodextrina e 50% de PISL. Diante do exposto, duas novas secagens da condição escolhida foram realizadas para a obtenção do PPT para caracterização físico-química, análises de fluidez e armazenamento por 240 dias.

7.3.3 Caracterização físico-química da condição escolhida

A caracterização físico-química da melhor condição escolhida obtida pelo delineamento experimental de misturas está apresentada na Tabela 38.

Tabela 38 - Caracterização físico-química do PPT obtido em spray dryer contendo 50% de maltodextrina e 50% de PISL.

Parâmetro	Média ± Desvio Padrão
Umidade (%)	2,83 ± 0,06
Cinzas (%)	2,34 ± 0,08
Lipídeos (%)	1,25 ± 0,27
Proteínas (%)	34,36 ± 0,21
Carboidratos (%)	59,35 ± 0,32
Sólidos totais (%)	97,17 ± 0,06
SST (°Brix)	84,14 ± 1,12
ATT (% ácido tartárico)	6,64 ± 0,00
pH	4,52 ± 0,01
a_w	0,16 ± 0,00
Ácido ascórbico (mg.100 g ⁻¹ b.s ¹)	6,81 ± 1,69
PET (mg de EAG.100 g ⁻¹ b.s ¹)	816,10 ± 57,10
Flavonóides amarelos (mg.100 g ⁻¹ b.s ¹)	196,18 ± 5,94
	L^*
	75,64 ± 1,85
Cor	a^*
	-5,12 ± 0,05
	b^*
	7,77 ± 0,40

Média ± Desvio Padrão (n = 3). ¹Base seca.

Fonte: Autor (2025).

A caracterização físico-química revelou elevada quantidade de proteínas, sólidos totais, carboidratos, SST, PET e flavonoides amarelos. O valor de proteínas é justificado pela presença elevada do adjuvante PISL, que foi utilizado na sua forma isolada. Já os valores elevados de sólidos totais estão relacionados ao reduzido teor de umidade e atividade de água, proporcionando ao PPT uma maior atuação dos sólidos da PT e dos adjuvantes. Os parâmetros de açúcares se justificam principalmente pela presença elevada de maltodextrina na composição do pó, conhecido por ser um carboidrato proveniente da hidrólise do amido, além dos açúcares naturais da PT. Os resultados para a^* e b^* mostraram que a cor dos PPT de todos os ensaios esteve localizada no segundo quadrante do espaço de cor ($-a^*$, $+b^*$), indicando uma variância de cor no espectro do amarelo para o verde, com L^* escura. A cor mais amarelada do PPT se dá pela presença da PISL, naturalmente amarela. A baixa a_w e pH na faixa ácida colaboram para uma maior estabilidade físico-química e microbiológica do PPT (Halim et al., 2024).

Muzaffar, Dar e Kumar (2017) ao avaliarem a composição nutricional e as propriedades físico-químicas do PPT seco com 25% de proteína isolada de soja por pulverização verificaram que o pó apresentou 2,62% de umidade, 21,69% de proteína, 3,64% de fibra bruta, 1,69% de cinzas, 70,28% de carboidratos, 0,08% de lipídeos, 66,56 para L^* , 10,87 para a^* e 27,31 para b^* . A análise mineral revelou alto teor de potássio (582,31 mg.100 g⁻¹), seguido de cálcio (182,26 mg.100 g⁻¹), fósforo (117,82 mg.100 g⁻¹), magnésio (65,95 mg.100 g⁻¹) e sódio (42,67 mg.100 g⁻¹). Atividade de água, acidez, pH, higroscopicidade e solubilidade foram 0,152, 9,37%, 2,59, 25 g/100 g e 71,95%, respectivamente. O PPT apresentou ainda alto teor de polifenóis (204,53 mg EAG.100 g⁻¹), flavonoides (5,96 mg equivalente de catequina.100 g⁻¹), densidade aparente de 450 kg.m⁻³ e boa fluidez, avaliada com base na RH (1,16) e IC (14,05%).

7.3.4 Avaliação da fluidez da condição escolhida

A avaliação da fluidez dos pós é importante durante a fabricação de produtos contendo misturas, especialmente durante as operações de dosagem e mistura (Pauck *et al.*, 2017). A Tabela 39 apresenta os resultados da tensão inconfínada de deslizamento (σ_c) em função das tensões principais de consolidação (σ_1) aplicadas nas amostras do PPT obtido em *spray dryer* contendo 50% de maltodextrina e 50% de PISL.

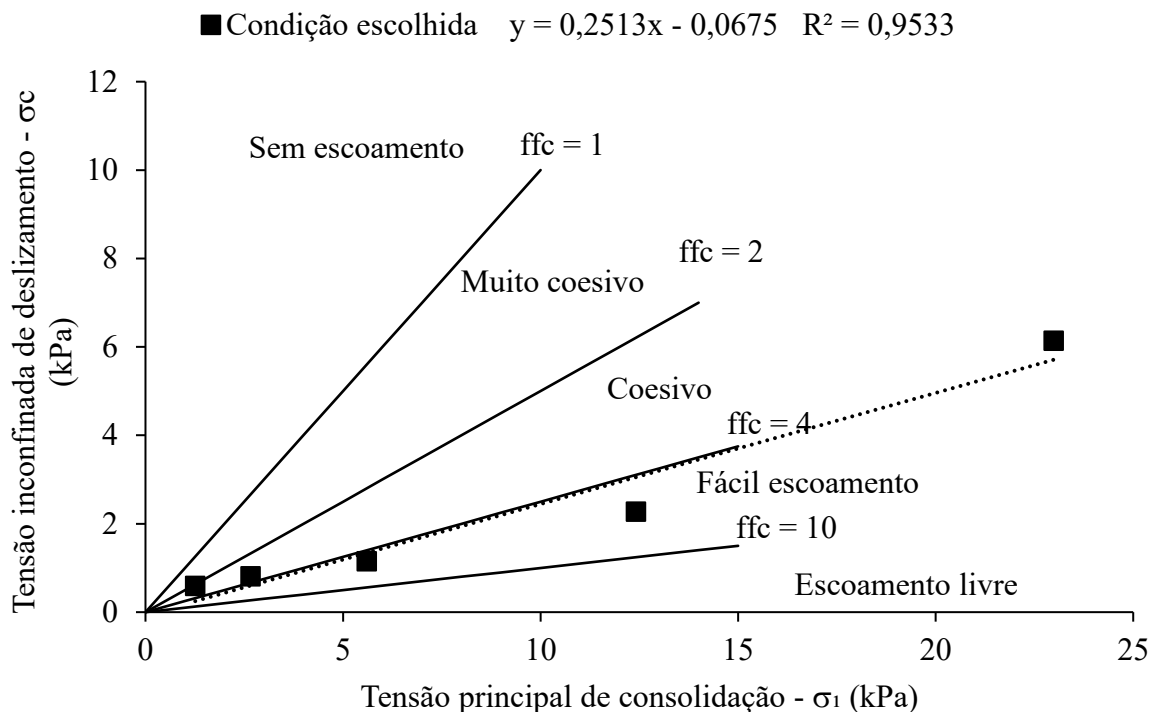
Tabela 39 - Tensão principal de consolidação (σ_1) e tensão inconfínada de deslizamento (σ_c) do pó de polpa de tamarindo obtido em *spray dryer* contendo 50% de maltodextrina e 50% de PISL.

Níveis	σ_1 (kPa)	σ_c (kPa)
1	1,2595	0,5895
2	2,661	0,8085
3	5,6045	1,1475
4	12,4180	2,2730
5	22,9890	6,1360

Fonte: Autor (2025).

O pó apresentou levemente um valor alto de σ_c , o que indica não ser muito resistente ao escoamento. A Equação de regressão linear da σ_c em função da σ_1 apresentou elevado R^2 , 0,9533, podendo ser usada para estimar a escoabilidade do pó (Figura 43). Logo, quanto mais próximo a reta estiver do eixo vertical (σ_c) mais difícil é o seu escoamento, confirmando então um possível escoamento coesivo da condição escolhida.

Figura 43 - Regressão da tensão não confinada de deslizamento (σ_c) em função da tensão principal de consolidação (σ_1) do PPT obtido em *spray dryer* contendo 50% de maltodextrina e 50% de PISL.



ffc: razão entre σ_c e σ_1 .

Fonte: Autor (2025).

A Tabela 40 apresenta os parâmetros de fluidez. Pela classificação de Jenike (1964), usando a Equação 5 e os dados da Tabela 39, o I_f confirma que o escoamento do PPT é de fácil escoamento ($4,0 < I_f < 10,0$), apresentando uma grande aproximação a classificação de coesivo ($2,0 < I_f < 4,0$), fortemente influenciado pela coesividade da maltodextrina, conforme a Figura 30 da seção 6.

Tabela 40 - Densidades, ângulos de atrito de parede, I_f , IC e RH do PPT obtido em *spray dryer* contendo 50% de maltodextrina e 50% de PISL.

Parâmetro	Média $\pm$ Desvio Padrão
Índice de fluxo (I_f)	4,18 $\pm$ 1,15
Densidade aparente (kg.m ⁻³)	251,65 $\pm$ 9,54
Densidade compactada (kg.m ⁻³)	469,00 $\pm$ 6,64
Índice de compressibilidade (%)	46,33 $\pm$ 2,80
Razão de Hausner	1,86 $\pm$ 0,09
Ângulo de atrito de parede mínimo (°)	23,67 $\pm$ 0,88
Ângulo de atrito de parede máximo (°)	32,45 $\pm$ 0,99

Média $\pm$ Desvio Padrão (n = 3). Fonte: Autor (2025).

A densidade de um pó é uma propriedade importante porque está diretamente relacionada ao comportamento de sua fluidez. Os pós são formados a partir de partículas que podem ter poros e espaços vazios entre eles. Portanto, uma maneira usual é expressar sua densidade como densidade aparente. Outra forma muito difundida é através da densidade compactada. Quando um determinado pó sofre uma ação de tensão, suas partículas se reorganizam e há uma redução dos espaços vazios (Lima *et al.*, 2022). Os resultados de densidade aparente e compactada apresentaram-se baixos quando comparados aos adjuvantes individuais (Figura 32 da seção 6), tendo uma forte influência da PISL. Lopes-Neto, Meira e Nascimento (2017) destacaram que valores mais altos de densidade aparente do produto armazenado resultam em maior pressão sobre as estruturas dos silos. Entretanto, uma baixa densidade aparente é considerada indesejável em substâncias alimentares, pois aumenta o volume necessário para a embalagem. Além disso, densidades aparentes reduzidas indicam a presença de ar retido nos pós alimentares, elevando o risco de oxidação e comprometendo a estabilidade dos alimentos ao longo do armazenamento.

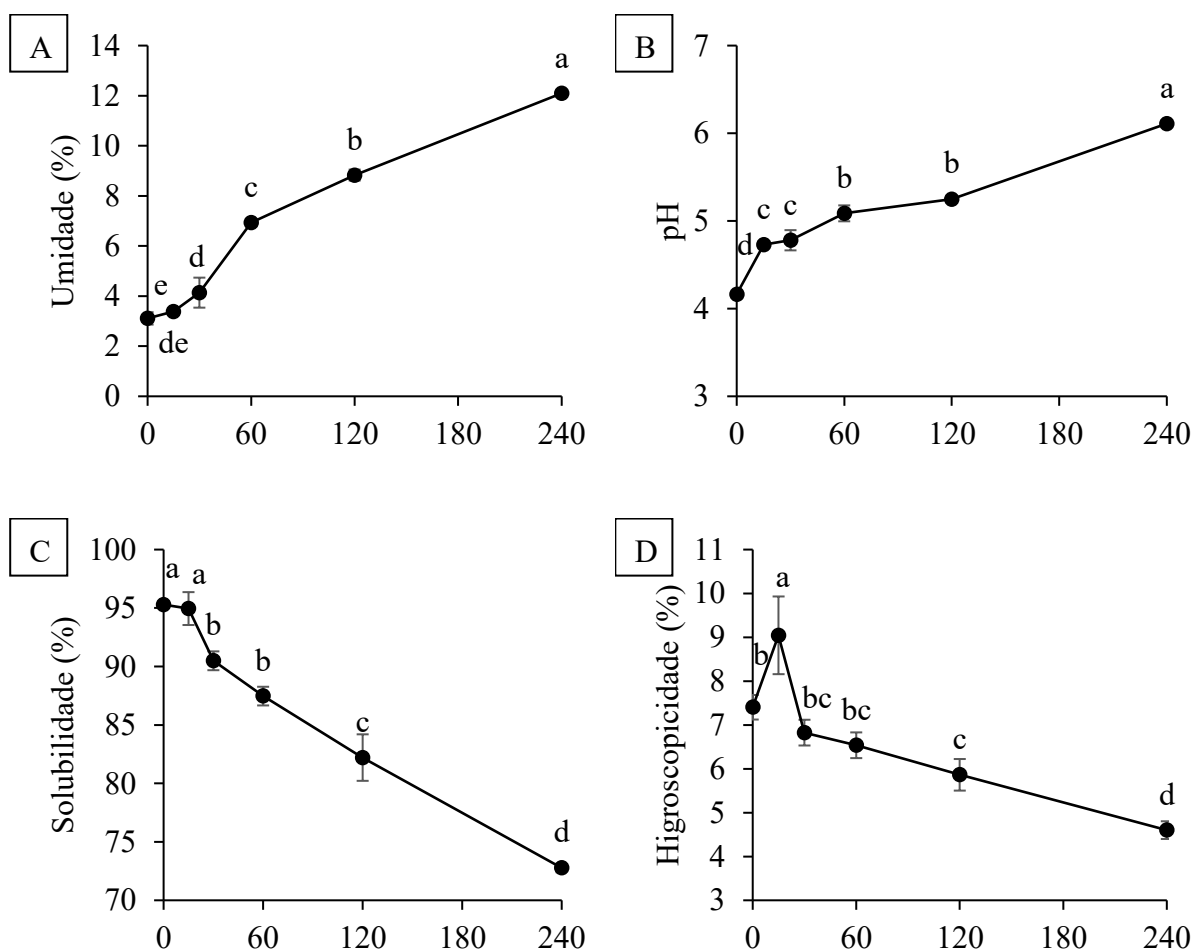
O IC e a RH foram calculados pelas Equações 5 e 6 e, de acordo com a classificação apresentada na Tabela 39, o PPT apresentou uma fluidez excessivamente difícil (IC > 38 e RH > 1,60). De acordo com Düsenberg *et al.* (2023), a classificação da fluidez de pós finos e polidispersos com base na relação entre IC e HR é considerada pouco confiável, já que esses índices foram inicialmente desenvolvidos para pós de alta densidade (metálicos) ou de granulação grossa (grãos integrais). Para as amostras analisadas no presente estudo, a classificação pelo I_f mostra-se mais precisa e adequada. De acordo com os valores dos ângulos de atrito obtidos, o pó apresentou variação entre os ângulos de atrito máximo e mínimo de

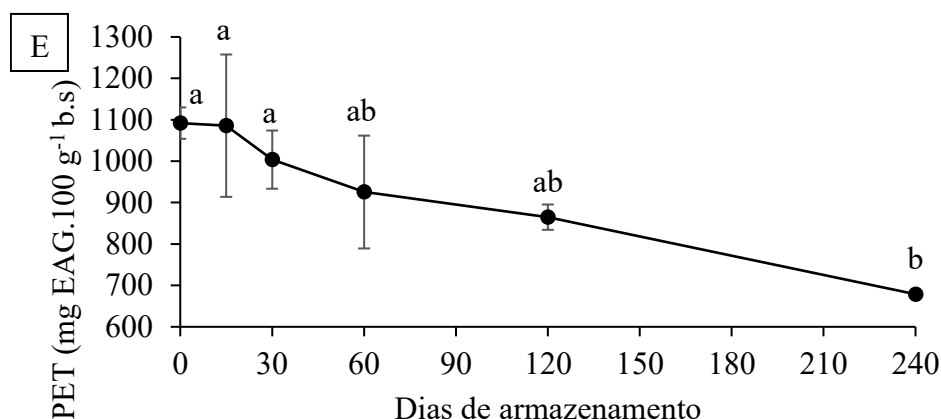
37,09%. Lopes-Neto, Meire e Nascimento (2017) concluíram que o aumento do ângulo de atrito da parede está associado a uma redução no I_f

7.3.5 Estabilidade da condição escolhida

A Figura 44 apresenta os resultados da estabilidade da condição escolhida para os parâmetros umidade, pH, solubilidade, higroscopicidade e PET.

Figura 44 - Estabilidade do PPT obtido em *spray dryer* contendo 50% de maltodextrina e 50% de PISL para (A) umidade, (B) pH, (C) solubilidade, (D) higroscopicidade e (E) PET.





Letras minúsculas iguais nos dias de armazenamento indicam que não houve diferença significativa ($p > 0,05$).
 Fonte: Autor (2025).

A umidade apresentou um aumento significativo no teor de água ao longo de 240 dias de armazenamento do PPT ($p \leq 0,05$) (Figura 44A). Resultado semelhante foi observado por Halim *et al.* (2024) ao estudarem o efeito do armazenamento nas propriedades físico-químicas, compostos bioativos e atributos sensoriais de bebidas em pó enriquecidas com abóbora. O baixo teor inicial de umidade ($\approx 3\%$) reflete a eficiência do processo de secagem, que removeu grande parte da água livre, essencial para garantir a estabilidade microbiológica e química do produto. Entretanto, o aumento gradual da umidade ao longo do tempo, sugere a absorção de água do ambiente, característica de produtos em pó altamente higroscópicos, como aqueles que contém maltodextrina. A presença de PISL também influencia essa dinâmica. Embora a proteína contribua para maior estabilidade estrutural do PPT inicialmente, sua capacidade de formar redes de interação com água pode aumentar ao longo do tempo, especialmente em condições de umidade relativa elevada, formando ligações de hidrogênio com moléculas de água, facilitando a retenção de umidade no pó, pois durante o processamento e armazenamento dos alimentos, as proteínas do soro estão sujeitas à desnaturação e em soluções diluídas, a desnaturação das proteínas do soro causa a formação de proteínas solúveis (Zhou; Liu; Labuza, 2008a; Zhou; Liu; Labuza, 2008b).

Ao final do armazenamento, a umidade atingiu aproximadamente 12%, seu maior valor, indicando um acúmulo progressivo que pode alterar as propriedades físicas e químicas do produto. O aumento constante da umidade deve-se principalmente a permeabilidade da embalagem utilizada que, mesmo vedada em seladora a vácuo, permitiu a migração de vapor de água do ambiente externo para a matriz do pó. O mesmo comportamento foi relatado por Korese, Achaglinkame e Adzitey (2022) ao avaliarem o efeito de diferentes materiais de embalagem (polietileno e papelão) na estabilidade de armazenamento de pó de frutas. Esse

aumento tem implicações diretas na estabilidade do pó (Halim *et al.*, 2024), incluindo a potencial redução da solubilidade, formação de grumos e maior suscetibilidade a reações químicas indesejáveis, como a degradação de compostos bioativos e a reação de *Maillard* (Bhusari; Muzaffar; Kumar, 2014; Muzaffar; Kumar, 2016; Muzaffar; Dar; Kumar, 2017). Apesar do expressivo aumento, Wachirasiri, Julakarangka e Wanlapa (2009) recomendaram que o teor de umidade de pós e farinhas seja mantido abaixo de 14% para evitar aglomeração, desenvolvimento de mofo e infestação por insetos.

Para minimizar esses efeitos, estratégias como o uso de embalagens de mais alta barreira à umidade ou a adição de aditivos antiumectantes (por exemplo, carbonato de cálcio, óxido de magnésio, dióxido de silício etc.), podem ser implementadas, garantindo uma maior estabilidade ao longo de períodos prolongados de armazenamento (Brasil, 2023). Segundo a Instrução Normativa nº 211, de 01 de março de 2023, o aditivo antiumectante é uma substância capaz de reduzir as características higroscópicas dos alimentos e diminuir a tendência de adesão, umas às outras, das partículas individuais (Brasil, 2023).

O aumento da umidade também pode impactar a estabilidade ácido-base do produto, uma vez que a água livre aumenta a atividade química e pode promover a dissociação de ácidos orgânicos e sais (Zhou; Liu; Labuza, 2008a). Essa dinâmica explica, em parte, a elevação do pH. Inicialmente, o pH ácido ($\approx 4,0$) reflete a composição natural da PT, rica em ácidos orgânicos como o tartárico e cítrico (Tabela 6, seção 5). No entanto, o aumento gradual do pH nos primeiros 60 dias, com diferenças estatisticamente significativas ($p \leq 0,05$), pode ser atribuído à interação entre os ácidos orgânicos da PT e o aumento da umidade (Figura 44B). Kim e Kwak (2010) observaram aumento no pH durante o armazenamento do pó de inhame (*Dioscorea japonica*) adicionado em Sulgidduk, tradicional bolo de arroz coreano. Tan *et al.* (2023) notaram flutuações no pH do pó de manga no início do armazenamento, diminuindo após 90 dias, justificado pela produção de ácidos orgânicos. Osthoff *et al.* (2010) inferiram que o armazenamento aumentou o pH do pó de soja, de 6,68 para 7,06 ($p < 0,001$), após 12 meses, e justificaram que as proteínas podem contribuir para essa mudança, agregando-se durante o armazenamento e afetando a rigidez isoelétrica e o pH da suspensão, porém a origem do aumento do pH não foi devidamente descoberta pelos autores.

Ao final do período de 240 dias, o pH atinge um valor mais próximo ao neutro ($\approx 6,0$). A maltodextrina, devido à sua maior natureza higroscópica, também pode ter diluído a concentração dos ácidos orgânicos em função da absorção da umidade do ambiente, reduzindo a atividade ácida. O pH exerce influência significativa na presença de microrganismos, nas alterações químicas e nos sabores dos alimentos, sendo que amostras com pH inferior a 4,6

inibem o crescimento bacteriano e a produção de toxinas (Halim *et al.*, 2024). Para Hoffman (2001) e Santos *et al.* (2010), valores elevados de pH e baixos de acidez são preferidos para o consumo, porém, um pH mais elevado constitui um problema, na medida em que favorece a atividade enzimática e bacteriana.

A Figura 44C evidencia uma redução progressiva na solubilidade do PPT ao longo dos 240 dias de armazenamento, com diferenças estatisticamente significativas ($p \leq 0,05$) entre os intervalos analisados. Inicialmente, o produto apresentou solubilidade elevada ($\approx 95\%$), refletindo uma matriz bem processada e caracterizada por alta dispersibilidade, resultado da escolha dos adjuvantes (maltodextrina e PISL) e do processo de secagem. À medida que o armazenamento avança, a solubilidade reduz gradualmente, chegando a aproximadamente 75% após 240 dias. Essa queda pode ser explicada por modificações estruturais, como aglomeração de partículas devido à absorção de umidade (Zhou; Liu; Labuza, 2008a; Zhou; Liu; Labuza, 2008b). Para Muzaffar, Dar e Kumar (2017) quanto maior o teor de umidade da amostra de pó, menos solúvel ela é.

A Figura 44D evidencia uma variação significativa na higroscopicidade durante os 240 dias de armazenamento, com diferenças estatisticamente significativas ($p \leq 0,05$) em diferentes dias. Inicialmente, a higroscopicidade foi elevada ($\approx 9\%$), refletindo a natureza intrinsecamente higroscópica dos adjuvantes adicionados. No decorrer do armazenamento, a higroscopicidade apresentou uma redução gradual, alcançando cerca de 4% ao final de 240 dias. Esse declínio pode ser atribuído a mudanças estruturais na matriz do pó, como a transição de um estado amorfo para um parcialmente cristalino (Zhou; Liu; Labuza, 2008b). A diminuição da higroscopicidade ao longo do tempo é um indicativo de que o PPT absorveu umidade do ambiente e que essa água foi incorporada estruturalmente na matriz, reduzindo a disponibilidade de sítios livres para novas interações com água.

Uma diminuição progressiva na quantidade de PET foi observada durante os 240 dias de armazenamento (Figura 44E). Inicialmente, o produto apresenta valores elevados, o que reflete a rica composição em PET do PPT. Durante os primeiros 60 dias, embora tenha ocorrido uma leve redução, as diferenças estatísticas não foram significativas ($p > 0,05$), indicando que a matriz do PPT forneceu proteção inicial contra degradação oxidativa. Contudo, a partir do 120º dia, os valores começam a declinar mais acentuadamente, atingindo aproximadamente 700 mg EAG.100 g⁻¹ no final dos 240 dias, com diferenças estatisticamente significativas ($p \leq 0,05$). Essa redução pode ser atribuída a elevação da umidade, que pode ocasionar um efeito diluente, assim como por processos de degradação oxidativa e reações de interação entre os PET e os adjuvantes, pois os polifenóis podem reagir com proteínas, formando complexos fenólicos-

proteicos que dificultam sua extração e quantificação, contribuindo para a aparente diminuição (Varela-Santos *et al.*, 2012; Kuhn; Azevedo; Noreña, 2020; Halim *et al.*, 2024).

A implementação de embalagens com mais alta barreira ao oxigênio poderia mitigar a degradação e preservar os PET. Halim *et al.* (2024) observaram que os polifenóis do pó para bebidas de abóbora diminuíram de 520 $\mu\text{g.g}^{-1}$ para 140 $\mu\text{g.g}^{-1}$ do 1º ao 5º mês de armazenamento, respectivamente, devido à oxidação, degradação do composto fenólico e polimerização do composto fenólico com proteínas.

7.4 Conclusão

O delineamento de misturas mostrou que os adjuvantes maltodextrina, inulina e PISL são viáveis como adjuvantes de secagem na obtenção do PPT por aspersão. Os ensaios realizados em secador do tipo *spray dryer* foram eficazes na identificação da melhor concentração de adjuvantes capaz de apresentar resultados significativos ($p \leq 0,10$) para todas as variáveis respostas estudadas. De forma individual ou em misturas, a PISL se destaca, principalmente em elevar o rendimento e a maltodextrina em reduzir a umidade. Misturada a maltodextrina, a PISL apresenta um maior rendimento se comparada a mistura com inulina, demonstrando assim que o pó com 50% de maltodextrina e 50% de PISL se destaca entre os demais as seguintes condições associadas: maior rendimento, menor teor de umidade, maior solubilidade e menor higroscopicidade, apresentando fácil escoamento. Durante a estabilidade por 240 dias, houve aumento significativo ($p \leq 0,05$) da umidade e do pH e redução da solubilidade, higroscopicidade e teor de PET, resultando em um pó solúvel, com baixa umidade e higroscopicidade ao final do 240º dia. O pó estudado tem potencialidade para aplicação em diversos produtos alimentícios, a exemplo de molhos, biscoitos, pães, laticínios e bebidas.

8 *SMOOTHIE* ADICIONADO DE PÓ DE POLPA DE TAMARINDO: EFEITO DO ARMAZENAMENTO EM DIFERENTES EMBALAGENS

RESUMO

Objetivou-se elaborar três formulações de bebida tipo *smoothie* adicionadas de pó de polpa de tamarindo (PPT), sendo elas: Controle, sem PPT; T5%, *smoothie* contendo 5% do PPT; e T10%, *smoothie* contendo 10% do PPT. Como base, foram utilizados banana nanica (33,33%), melão amarelo (33,33%), polpa de graviola (33,33%) e ácido cítrico (1 g.L⁻¹). As formulações foram submetidas a análises de composição centesimal e de armazenamento (físico-químicas, reológicas e microbiológicas (*Salmonella* spp., Enterobacteriaceae e bolores e leveduras)). Análises sensoriais de aceitação e preferência, intenção de compra e aceitabilidade também foram realizadas. A bebida contendo T10% apresentou os maiores teores de carboidratos, proteínas e lipídeos ($p \leq 0,05$). Embalagens de vidro foram eficazes na preservação da qualidade, reduzindo as perdas de água, estabilizando o pH e mantendo os SST. Todos os *smoothies* apresentaram-se como fluidos pseudoplásticos e não-Newtonianos. A vida útil foi de até 7 dias em embalagens de vidro. A formulação T5% é viável para comercialização, apresentando índice de aceitabilidade global de 71,90%.

Palavras-chave: bebidas; consumidores; inovação; novos alimentos; saúde.

8 TAMARIND PULP POWDER SMOOTHIE: EFFECT OF STORAGE IN DIFFERENT PACKAGES

ABSTRACT

The objective of this study was to develop three smoothie drink formulations with the addition of tamarind pulp powder (PPT), namely: Control, without PPT; T5%, *smoothie* containing 5% PPT; and T10%, *smoothie* containing 10% PPT. As a base, banana (33.33%), yellow melon (33.33%), soursop pulp (33.33%) and citric acid (1 g.L^{-1}) were used. The formulations were submitted to proximate composition and storage analyses (physicochemical, rheological and microbiological (*Salmonella spp.*, Enterobacteriaceae and molds and yeasts)). Sensory analyses of acceptance and preference, purchase intention and acceptability were also performed. The beverage containing T10% had the highest levels of carbohydrates, proteins and lipids ($p \leq 0.05$). Glass packaging was effective in preserving quality, reducing water losses, stabilizing pH and maintaining TSS. All *smoothies* were pseudoplastic and non-Newtonian fluids. The shelf life is up to 7 days in glass packaging. The T5% formulation is viable for commercialization, presenting a global acceptability index of 71.90%.

Keywords: beverages; consumers; innovation; novel foods; health.

8.1 Introdução

As bebidas à base de frutas têm conquistado cada vez mais espaço no mercado devido ao seu alto potencial nutritivo e às características sensoriais atrativas. Essas bebidas combinam sabores, cores e aromas únicos, oferecendo uma experiência agradável que alia saúde e praticidade, especialmente quando enriquecidas com ingredientes funcionais. As frutas, por sua vez, são fontes de compostos bioativos naturais e probióticos que oferecem diversos benefícios à saúde. Esses compostos contribuem para a melhora da digestão, o fortalecimento do sistema imunológico e a redução do risco de doenças crônicas. Entre as principais bioatividades associadas às frutas destacam-se as propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, antiobesidade, antidiabéticas, anticâncer, anti-hiperuricêmicas e antidepressivas (Shi *et al.*, 2023; Yuan *et al.*, 2024). O consumo de frutas deixou de ser apenas uma questão de gosto ou preferência pessoal, passando a ser um hábito importante para a saúde, devido à riqueza dos nutrientes essenciais que elas oferecem (Silva *et al.*, 2014).

Estudos revelaram que melão (*Cucumis melo* L.), banana (*Musa acuminata* L.) e graviola (*Annona muricata* L.), frutas amplamente consumidas e apreciadas no Brasil, são reconhecidas por suas propriedades nutricionais, como a presença de fibras, minerais, vitaminas e compostos bioativos (Pereira; Maraschin, 2015; Faria *et al.*, 2021; Gurgel De Medeiros *et al.*, 2024). Essas frutas, quando combinadas, podem proporcionar uma base ideal para o desenvolvimento de bebidas com perfil sensorial inovador e valor agregado. O tamarindo (*Tamarindus indica* L.), uma fruta tropical rica em ácidos orgânicos e compostos fenólicos, tem sido utilizado como ingrediente funcional em diversos produtos alimentícios, incluindo laticínios, confeitaria, panificação, sobremesas congeladas, bebidas, carne e frutos do mar (Caluwé; Halamouá; Damme, 2010; Silva *et al.*, 2014; Geethalaxmi; Sunil; Venkatachalapathy, 2024). Sua polpa em pó é uma forma prática de adicionar sabor ácido, cor e propriedades antioxidantes às formulações alimentares. Estudos apontam que diferentes concentrações de polpa de tamarindo (PT) podem alterar o sabor, a acidez e a estabilidade de bebidas, tornando-o um elemento estratégico na formulação de novos produtos (Adamu *et al.*, 2021; Tumpa *et al.*, 2021; Vidal-Tovar *et al.*, 2022; Ibrahim; Aal; Saleh, 2024).

Dantas *et al.* (2021), ao analisarem os hábitos de consumo de bebidas à base de frutas entre indivíduos com idade média entre 36 e 45 anos, observaram uma preferência predominante por sabores como laranja, limão e uva (85,0, 60,7 e 62,9%, respectivamente). Embora apreciem o sabor do tamarindo (82,60%), o consumo de produtos derivados dessa fruta é raro (41,30%), provavelmente devido à sua limitada exploração econômica, que restringe sua

disponibilidade no mercado. O desenvolvimento de bebidas enriquecidas com tamarindo apresenta potencial para atender à crescente demanda por alimentos funcionais e naturais. A incorporação da PT em bebidas mistas, combinada com frutas como melão, banana e graviola, pode resultar em formulações sensorialmente equilibradas e atrativas, além de ampliar a aceitação no mercado. Essa abordagem também oferece a oportunidade de agregar valor nutricional aos produtos, contribuindo para o desenvolvimento de opções inovadoras e saudáveis.

Os *smoothies* são bebidas compostas por uma mistura de polpa e sumo concentrado de frutas, podendo incluir gelo, leite ou iogurte. Eles são consumidos prontos, com ou sem adição de açúcar, livres de corantes e aromatizantes (Moreira, 2011; Nunes *et al.*, 2016). Esse produto reflete a adaptabilidade da indústria às tendências de consumo por alimentos mais naturais, ricos em frutas e hortaliças. Embora possam ser preparados em casa, também estão disponíveis no mercado como opções convenientes e prontas para consumo (Keenan *et al.*, 2010). Apesar de populares e amplamente aceitos, os *smoothies* ainda não possuem regulamentação específica, sendo classificados como sucos mistos (Xavier *et al.*, 2019). Seu apelo saudável e prático contribuiu para o rápido crescimento desse segmento na indústria alimentícia global (Morales-De La Peña *et al.*, 2016).

O uso de produtos em pó, como polpas de frutas, é uma alternativa prática para a produção de bebidas estáveis, seguras e de fácil armazenamento, transporte e processamento (NUNES *et al.*, 2016; Chang, Ooi, Pui, 2022; Korese; Achaglinkame; Adzitey, 2022; Halim *et al.*, 2024). O desenvolvimento de novos produtos exige compreender as propriedades nutricionais e as preferências dos consumidores por meio de análises sensoriais que avaliem a aceitação e a intenção de compra. Além de atender ao paladar, as inovações em bebidas devem focar na promoção da saúde. Nesse cenário, a criação de novos sabores é promissora, especialmente com frutas tropicais, tão abundantes no Brasil (Dantas *et al.*, 2021).

Compreender as condições de armazenamento é essencial para preservar a qualidade sensorial, nutricional e microbiológica dos alimentos e o conhecimento sobre a vida útil garante segurança ao consumidor e reduz o desperdício. Portanto, objetivou-se elaborar uma bebida tipo *smoothie* à base de polpas de melão, banana e graviola com diferentes concentrações de polpa em pó de tamarindo (PPT), avaliando os impactos dessa adição na qualidade físico-química durante 28 dias de armazenamento refrigerado (4 ± 2 °C), na reologia, na qualidade microbiológica e na aceitação sensorial. A pesquisa busca explorar a viabilidade de desenvolvimento de um produto funcional e inovador que atenda às preferências do consumidor moderno.

8.2 Metodologia

Este estudo foi desenvolvido nos Laboratórios do Departamento de Engenharia de Alimentos (DEAL) do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal do Ceará (UFC), *Campus* do Pici, Fortaleza, Ceará, Brasil. A manipulação da polpa, dos adjuvantes de secagem e das bebidas do tipo *smoothie* foi realizada seguindo a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC), nº 216, sobre Boas Práticas de Manipulação de Alimentos (Brasil, 2004).

8.2.1 Material

8.2.1.1 Polpa de tamarindo (PT)

As polpas congeladas de tamarindo (Sempre Viva®, Ubirataia, Bahia, Brasil), provenientes de dois diferentes lotes, foram adquiridas no comércio local da cidade de Fortaleza, Ceará, Brasil. As PT foram transportadas para o Laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem (LACONSA) em embalagens plásticas de polietileno de baixa densidade (PEBD), protegidas da exposição a luz e armazenadas em *freezer* vertical, sob congelamento em temperatura de -18 °C, até o momento da utilização, respeitando a necessidade experimental.

8.2.1.2 Adjuvantes de secagem

Os adjuvantes de secagem maltodextrina (dextrose equivalente (DE) 20) e proteína isolada do soro de leite (PISL), sabor neutro, foram adquiridos das empresas Maltogill e VITAFOR Suplementos Nutricionais, respectivamente.

8.2.2 Métodos

8.2.2.1 Secagem da polpa de tamarindo em *spray dryer*

Antes das secagens em equipamento *spray dryer* (LM MSD 1.0 – Labmaq, Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil) e adição dos adjuvantes, as PT descongeladas foram diluídas com água destilada (10%, g.g⁻¹), com o objetivo de facilitar sua aspersão. Para a execução do experimento foram fixadas as seguintes condições: vazão de alimentação da amostra de 0,40 L.h⁻¹, vazão de ar comprimido de 30 L.min⁻¹, vazão do ar de secagem de 1,73 m³.min⁻¹, pressão de aspersão entre 90 e 100 psi e bico aspersor de 1,2 mm de abertura de diâmetro. Para cada ensaio de secagem foram utilizadas 400 g de amostra total, contendo 288 g de polpa de tamarindo, 32 g de água destilada e 80 g dos adjuvantes de secagem (40 g de maltodextrina e 40 g de PISL (20%, g.g⁻¹)). A amostra foi seca a 174,2 °C, conforme melhor condição escolhida na seção 7.

O PPT obtido no pote coletor foi armazenado em embalagem laminada flexível de polietileno de alta densidade (PEAD) (Tradbor, Iperó – SP, Brasil), protegida da luz, selada a vácuo e congelados até o momento da aplicação.

8.2.2.2 *Preparação das polpas de banana, melão e graviola*

Banana nanica, melão amarelo e polpa congelada de graviola foram adquiridos no comércio local da cidade de Fortaleza - CE. Foram selecionados frutos maduros com boa qualidade e homogeneidade em tamanho, volume e cor e a amostragem ocorreu em pelo menos dois lotes diferentes, conforme (Feitosa *et al.*, 2023). Seguindo o procedimento descrito por Sousa *et al.* (2015), com adaptações, ao chegarem no LACONSA, os frutos foram lavados em água corrente, sanitizados com solução de cloro ativo (200 ppm/15 min) e enxaguados em água corrente para retirada de poeira, microrganismos, excesso da solução sanitizante e outras matérias estranhas que estiverem presentes.

8.2.2.3 *Elaboração dos smoothies*

Baseado no método descrito por Patil *et al.* (2024), com adaptações, foram elaborados três formulações de bebida tipo *smoothie*, sendo elas: Controle, *smoothie* sem PPT; T5%, *smoothie* adicionado de 5% do PPT (v.g^{-1}); e T10%, *smoothie* adicionado de 10% do PPT (v.g^{-1}). Para isso, foram utilizados como base 33,33% de polpa de banana nanica, melão amarelo e graviola, totalizando 99,99%. A adição do PPT teve como base o volume de *smoothie* produzido contendo as três frutas. Posteriormente foi adicionado ácido cítrico (1 g.L^{-1}) para minimizar fenômenos negativos devido ao escurecimento enzimático (Siroli *et al.*, 2023). A mistura foi homogeneizada em liquidificador industrial (IndShop®, AR) por três minutos, em alta velocidade.

8.2.2.4 *Envase e armazenamento dos smoothies formulados*

Cerca de 300 mL de cada formulação das bebidas foram envazadas em embalagens plásticas de PEAD incolor de 300 mL e de vidro transparente de 500 mL (Fonseca *et al.*, 2021), previamente lavadas e sanitizadas com solução de cloro ativo (200 ppm/15 min). Após o envase, as bebidas foram armazenadas por 28 dias sob refrigeração ($4 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$). As análises de estabilidade físico-químicas, microbiológicas e reológicas das três formulações foram realizadas a cada sete dias (0, 7, 14, 21 e 28), para as duas embalagens, totalizando 30 unidades amostrais. Todas as análises foram realizadas em triplicata ($n = 3$), sendo os resultados

expressos como média $\pm$ desvio padrão. A análise sensorial foi realizada apenas no tempo 0 de armazenamento.

8.2.2.5 Composição centesimal, bioativa e valor energético dos smoothies formulados

As análises e métodos utilizados estão discriminados a seguir:

8.2.2.5.1 *Umidade (%)*: determinada por meio de secagem em estufa a 105 °C, até peso constante, de acordo com o método da *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 2016);

8.2.2.5.2 *Proteínas (%)*: o teor de nitrogênio total das amostras foi determinado pelo método de Kjeldahl, utilizando-se o fator de conversão genérico de 6,25 para transformação do teor quantificado de nitrogênio em proteínas (AOAC, 2016);

8.2.2.5.3 *Lipídeos (%)*: determinado através de extrator de Soxhlet, utilizando como solvente orgânico o hexano, com a amostra embebida em algodão e previamente seca a 105 °C (AOAC, 2016);

8.2.2.5.4 *Cinzas (%)*: determinada pela incineração da amostra em mufla a 550 °C até as cinzas ficarem brancas ou ligeiramente acinzentadas (AOAC, 2016);

8.2.2.5.5 *Carboidratos (%)*: determinado por diferença de 100 da soma dos percentuais dos demais componentes da composição centesimal (umidade, cinzas, lipídeos e proteínas), segundo o método descrito pela AOAC (2016);

8.2.2.5.6 *Valor energético (%)*: determinado multiplicando-se os valores obtidos pelos fatores de conversão adequados: proteínas e carboidratos por 4 kcal. g⁻¹ e lipídios por 9 kcal. g⁻¹ (Brasil, 2020);

8.2.2.5.7 *Polifenóis extraíveis totais (PET) (mg de EAG.100 g⁻¹)*: determinado sob penumbra utilizando a metodologia adaptada de Larrauri, Rupérez e Saura-Calixto (1997). Para a preparação dos extratos foram adicionados 0,8 g da amostra a em 20 mL de metanol. A solução foi homogeneizada, deixada em repouso por 60 min e centrifugada a 2197 x g (3400 rpm, CELM, LS – 3 Plus) a temperatura ambiente (25 a 30 °C) por 15 min. Após a centrifugação, foi recolhido e filtrado o sobrenadante em um balão volumétrico âmbar (50 mL). Ao resíduo da primeira extração foram adicionados 20 mL de acetona e os passos seguintes foram iguais aos

da primeira extração. Por fim, 500 μL dos extratos foram homogeneizados com 500 μL do reagente *Folin-Ciocalteu*, 1000 μL de carbonato de sódio:água (20:80, g.v⁻¹), 1000 μL de água destilada, submetidos a agitação e repouso. A absorbância foi medida a 700 nm (Biochrom, Cambridge, England) e os resultados foram calculados com o auxílio de uma curva padrão de calibração de ácido gálico (0, 10, 20, 30, 40 e 50 mg de GAE.100 g⁻¹).

8.2.2.6 Estabilidade dos smoothies formulados

8.2.2.6.1 Qualidade físico-química durante o armazenamento refrigerado

As análises de estabilidade foram realizadas no tempo inicial (0 dia) e a cada 7 dias de armazenamento refrigerado. Os parâmetros físico-químicos foram avaliados conforme os métodos oficiais (AOAC, 2016). A atividade de água (a_w) foi determinada a 25 °C usando um medidor de atividade de água AquaLab 4TE (Decagon Devices®, USA). O pH foi determinado pelo método potenciométrico, utilizando-se um medidor digital (Quimis®, São Paulo, Brasil) calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0. A acidez titulável total (ATT) foi determinada pela técnica de titulação, com indicador de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 N e solução alcoólica de fenolftaleína (C₂₀H₁₄O₄) a 1%. O teor de sólidos solúveis totais (SST) foi avaliado por meio de um refratômetro digital de bancada RTD-95 (Instrutemp®, São Paulo, Brasil), com escala de 0 a 95 °Brix.

8.2.2.6.2 Cor durante o armazenamento refrigerado

A leitura direta foi realizada usando um colorímetro digital portátil (Konica Minolta, modelo CR410), equipado com o sistema de cores da *Commission Internationale de l'Éclairage* (CIE). Placas de Petri (35 × 10 mm) foram usadas para leitura da amostra. Foram avaliados os seguintes parâmetros: luminosidade (L^*), variando do branco ($L^* = 100$) ao preto ($L^* = 0$); vermelhidão/esverdeamento (a^*), variando do vermelho ($+a^*$) ao verde ($-a^*$); e amarelecimento/azulamento (b^*), variando do amarelo ($+b^*$) ao azul ($-b^*$) (CIELab, 2004).

8.2.2.6.3 Reologia durante o armazenamento refrigerado

As medições reológicas foram realizadas utilizando um reômetro de cilindro concêntrico (Brookfield Searle, modelo R/S SST Plus 2000, Brookfield Co., EUA). As determinações foram realizadas em temperatura aproximada de 16 °C. Os resultados de viscosidade, tensão de cisalhamento e taxa de cisalhamento foram registrados utilizando o *software* RHEO V2.8 (Brookfield Co., EUA). O comportamento reológico foi medido com uma

taxa de cisalhamento variando de 0 a 200.s⁻¹ (curva ascendente) e de 200 a 0.s⁻¹ (curva descendente) por 1 min com 25 leituras para cada curva. As leituras foram realizadas em triplicata e, para cada medição, uma nova amostra foi usada. O modelo matemático da Lei da Potência (Ostwald-de-Waele) foi o mais indicado para ajustar os dados de sucos e concentrados vegetais, conforme a Equação 1 (Salehi, 2021).

$$\tau = K(\dot{\gamma})^n \quad (1)$$

Em que:

τ : tensão de cisalhamento (Pa);

K: coeficiente de consistência da Lei de Potência (Pa.sⁿ);

$\dot{\gamma}$: taxa de cisalhamento (s⁻¹); e

n : índice de comportamento do fluxo da Lei da Potência.

Neste modelo, as constantes K e n são necessárias para caracterizar o comportamento do fluxo. O valor K corresponde à viscosidade absoluta (> 0). Os diferentes valores de n indicam o comportamento do fluido. Para um fluido Newtoniano, $n = 1$. Se $n < 1$, o fluido é chamado pseudoplástico; se $n > 1$, o fluido é dilatante.

8.2.2.6.4 Qualidade microbiológica durante o armazenamento refrigerado

Os parâmetros e técnicas utilizados para avaliar a qualidade microbiológica seguem os padrões microbiológicos para produtos alimentícios estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) por meio da Instrução Normativa nº 161, de 01 de Julho de 2022 (Brasil, 2022). Os procedimentos de preparação do material, esterilização, amostragem, aliquotagem, diluição e subcultura foram realizados de acordo com os procedimentos adotados pelo Laboratório de Microbiologia de Alimentos do DEAL/UFC, conforme APHA (2001) e BAM (*Food and Drug Administration*, 2022). A qualidade microbiológica foi avaliada utilizando os seguintes parâmetros:

5.2.2.6.4.1 *Salmonella* spp.: assepticamente, 25 mL da amostra, foi transferido para um frasco contendo 225mL de caldo lactosado, previamente preparado e esterilizado e incubado em estufa microbiológica a 35 °C por 24 h. Após o período de incubação, o frasco foi cuidadosamente agitado, sendo transferido 1,0 mL do seu conteúdo para 10 mL de caldo Tetrationato, o qual foi incubado a estufa a 35 °C/24 horas e 0,1 mL para Caldo Rappaport- Vassiliadis modificado (RV), incubando-se em banho-maria a 42 °C por 24 horas. Após o período de incubação, os tubos foram agitados e, em seguida, foi transferida uma alçada de cada caldo para placas

contendo Ágar Entérico de Hectoen (HE) e para placas contendo Ágar Xilose Lisina Desoxiciolato (XLD), que foram incubadas invertidas a 35 °C/24 horas.

8.2.2.6.4.2 Enterobacteriaceae: determinada pela técnica de placa Petrifilm (3 M™ Petrifilm™, Polônia), com incubação a 35 - 37 °C por 24 h;

8.2.2.6.4.3 Bolores e leveduras: determinada por inoculação em ágar batata dextrose (PDA) (Kasvi®, Paraná, Brasil) e incubação a 25 °C por 5 - 7 dias.

O conteúdo das embalagens foi homogeneizado por agitação manual e os frascos antes de abertos foram limpos com álcool 70%. Os resultados para *Salmonella* spp. foram dicotomizados como presença ou ausência em 25 mL de amostra. Os outros parâmetros microbiológicos foram expressos em unidades formadoras de colônias (UFC.mL⁻¹).

8.2.2.7 Análise sensorial

A autorização para atividades envolvendo seres humanos foi obtida do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) vinculada a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPESQ), da UFC, aprovada via Plataforma Brasil (<https://plataformabrasil.saude.gov.br/login.jsf>), sob parecer de nº 6.946.086 e CAAE nº 78966824.3.0000.5054, conforme Resolução nº 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde (Brasil, 2012). O preparo das amostras e a análise sensorial foram conduzidos em condições laboratoriais, seguindo as recomendações de Macfie *et al.* (1989) e Dutcosky (2013). Para isso, foram recrutados 104 potenciais consumidores (61 homens e 43 mulheres). A frequência de consumo também foi levantada e as bebidas foram analisadas imediatamente após formuladas, apenas uma única vez (dia 0).

A aceitação sensorial dos atributos aparência, cor, textura, odor, sabor e impressão global foi coletada utilizando uma escala hedônica de 9 pontos (1 – Desgostei extremamente, 2 – Desgostei muito, 3 – Desgostei moderadamente, 4 – Desgostei ligeiramente, 5 – Nem gostei/ Nem desgostei, 6 – Gostei ligeiramente, 7 – Gostei moderadamente, 8 – Gostei muito e 9 – Gostei extremamente). A intenção de compra foi avaliada usando uma escala hedônica de 5 pontos (1 – Certamente compraria, 2 – Possivelmente compraria, 3 – Talvez comprasse/Talvez não comprasse, 4 – Possivelmente não compraria e 5 – Certamente não compraria) (Meilgaard; Carr; Civille, 2006).

Os índices de aceitabilidade (IA) dos atributos sensoriais foram calculados conforme a Equação 2, seguindo a metodologia de Teixeira *et al.* (1987).

$$IA(\%) = \frac{M}{N} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

IA: índice de aceitabilidade (%);

M: pontuação média do atributo;

N: pontuação máxima do atributo.

8.2.2.7.1 Cálculo da diferença percentual

A diferença percentual entre os parâmetros avaliados foi calculada segundo a Equação 3, adaptada de Comerlato e Procianny (1995).

$$DP = \frac{V_{\text{Max}} - V_{\text{Min}}}{V_{\text{min}}} \times 100 \quad (3)$$

Em que:

DP: Diferença percentual (%);

VMax: valor máximo;

VMin: valor mínimo.

8.2.2.7.1 Check-All-That-Apply (CATA)

Um questionário com descritores para cada um dos cinco atributos avaliados - aparência (n = 5), cor (n = 6), textura (n = 5), odor (n = 7) e sabor (n = 10) - foi usado para conduzir o teste. A técnica delineada por Ares *et al.* (2010) serviu como base para o protocolo de escolha das características e aplicação do questionário. Cada amostra foi previamente apresentada em um delineamento de blocos completos para 10 potenciais consumidores, com experiência no protocolo CATA e avaliação sensorial de diferentes produtos alimentícios. Depois disso, os consumidores criaram descritores únicos (i). Um líder liderou uma discussão aberta para filtrar os descritores e eliminar aqueles considerados irrelevantes ou não representativos (ii). Uma discussão final seguiu para chegar a um consenso e definir os descritores finais (iii).

8.2.3 Análise estatística

O teste de Shapiro-Wilk foi aplicado para avaliar a normalidade dos dados. Em seguida, foi realizada uma Análise de Variância (ANOVA). As análises foram realizadas utilizando o *software* Assistat versão 7.7 beta (Silva; Azevedo, 2016). Para a estabilidade, foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado (DIC) com arranjo fatorial $2 \times 5 \times 3$ para

os parâmetros físico-químicos, com pelo menos três repetições. Os fatores analisados foram embalagens (vidro e plástico), tempo de armazenamento (0, 7, 14, 21 e 2 dias) e formulações das bebidas (Controle, T5% e T10%). Quando a ANOVA apresentou efeito significativo dos fatores, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey com $p < 0,05$ e $p < 0,01$. Para o teste CATA foi realizada uma Análise dos Componentes Principais (ACP) para entender as características das formulações, utilizando o *software Statistica 7.0* (Statsoft, 2007).

8.3 Resultados e Discussão

8.3.1 Composição centesimal, bioativa e valor energético dos smoothies

A Tabela 41 apresenta a composição centesimal, bioativa e o valor energético dos *smoothies* adicionados do PPT em diferentes concentrações (Controle, T5% e T10%), destacando alterações estatísticas significativas ($p \leq 0,05$) para todos os parâmetros analisados. Ao ser adicionado, o PPT enriqueceu significativamente o valor nutricional dos *smoothies*.

Tabela 41 – Composição centesimal, bioativa e valor energético dos smoothies contendo PPT.

Parâmetro	Formulações		
	Controle	T5%	T10%
Valor energético (kcal.100 g ⁻¹)	56,24 ± 0,13 ^c	75,46 ± 1,81 ^b	85,52 ± 0,71 ^a
Umidade (%)	86,00 ± 0,07 ^a	83,12 ± 0,43 ^b	78,95 ± 0,05 ^c
Carboidratos (%)	12,67 ± 0,23 ^c	15,06 ± 0,37 ^b	15,88 ± 0,03 ^a
Proteínas (%)	0,85 ± 0,02 ^c	2,50 ± 0,09 ^b	3,97 ± 0,07 ^a
Lipídeos (%)	0,24 ± 0,03 ^c	0,58 ± 0,01 ^b	0,68 ± 0,13 ^a
Cinzas (%)	0,26 ± 0,08 ^c	0,38 ± 0,03 ^b	0,50 ± 0,03 ^a
PET (mg de EAG.100 g ⁻¹)	130,70 ± 5,04 ^c	152,30 ± 26,86 ^b	166,77 ± 48,44 ^a

Média ± Desvio Padrão (n = 3) seguidas pela mesma letra nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Fonte: Autor (2025).

O aumento do valor energético dos *smoothies* foi significativo ($p \leq 0,05$), passando de 56,24 kcal.100 g⁻¹ na Controle para 85,52 kcal.100 g⁻¹ na T10%, um incremento percentual de 52,06%. Essa elevação é atribuída ao aumento nos macronutrientes carboidratos, proteínas e lipídeos, responsáveis pelo incremento calórico. Mandim *et al.* (2024) não observaram mudança significativa no valor energético dos *smoothies* à base de frutas e vegetais e enriquecidos com cardo (*Cynara cardunculus* L. var. *altilis*), variando entre 23 e 35 kcal.100 mL⁻¹. Segundo os autores, o baixo conteúdo calórico dos *smoothies* se alinha com o crescimento

de dietas de baixa caloria, potencialmente melhorando a aceitabilidade. Esses resultados reforçam a relevância de considerar o perfil energético na formulação de *smoothies* destinados a diferentes públicos.

A umidade é um parâmetro crítico para a estabilidade de alimentos, especialmente bebidas, pois afeta diretamente sua textura, qualidade sensorial e estabilidade microbiológica (Siroli *et al.*, 2023; Halim *et al.*, 2024). A umidade reduziu significativamente ($p \leq 0,05$) com o incremento do PPT, passando de 86% na Controle para 78,95% na T10%, proveniente do maior teor de sólidos totais. Este comportamento indica que, quanto maior a adição do PPT maior é o potencial de estabilidade dos *smoothies*.

Os carboidratos são responsáveis por grande parte da energia fornecida por *smoothies*, além de influenciarem características sensoriais, como doçura e viscosidade (Nowicka *et al.*, 2016). O teor de carboidratos aumentou significativamente ($p \leq 0,05$), de 12,67% na Controle para 15,88% na T10%, aumento percentual de 25,33%. Isso ocorreu devido à contribuição dos açúcares naturais da PT, além da presença da maltodextrina. Os carboidratos são os macronutrientes mais abundantes no PPT (59,35%, resultado da seção 7), seguido pelas proteínas (34,36%, seção 7) e lipídeos (1,25%, seção 7). O incremento também reflete a substituição parcial de água por sólidos no produto. Mandim *et al.* (2024) relataram que frutose, glicose e sacarose foram os açúcares detectados nas formulações de *smoothie* a base de abacaxi (54%), espinafre (4%), hortelã (2%) e água (40%). Além disso, os carboidratos foram os macronutrientes mais abundantes em todas as formulações dos *smoothies* (entre 5,2 e 7,9%), seguidos pelas proteínas (0,28 a 0,50%), lipídeos (0,014 a 0,113%) e cinzas (0,0026 a 0,0058%).

As proteínas são fundamentais para enriquecer bebidas funcionais, promovendo benefícios como saciedade e contribuição à saúde muscular (Nayak *et al.*, 2018). Houve um aumento expressivo no teor de proteínas, que passou de 0,85% na Controle para 3,97% na T10%, incremento de 367,05%, quase cinco vezes maior ($p \leq 0,05$). Esse resultado deve-se a adição do PPT, uma fonte rica de proteínas, devido a presença da PISL na composição. A alta concentração proteica pode contribuir para melhorias na textura e viscosidade da bebida, propriedades frequentemente associadas à percepção de qualidade. O teor lipídico também aumentou significativamente ($p \leq 0,05$), variando de 0,24% na Controle para 0,68% T10%. Essa elevação está relacionada à presença de gorduras no PPT. Embora o aumento seja discreto, ele pode ter implicações sensoriais, como melhorias na sensação de boca e na textura do produto e, apesar do aumento, os níveis permanecem baixos, preservando o perfil saudável do produto. Ingredientes vegetais em pó podem enriquecer bebidas com lipídeos funcionais, sem comprometer sua característica de baixo teor calórico (Mandim *et al.*, 2024),

Mandim *et al.* (2024) identificaram um total de 17 ácidos graxos nos *smoothies* à base de frutas e vegetais estudados. Os ácidos graxos saturados foram a classe mais representativa, com porcentagens relativas variando de 78 a 94,1%, seguidos pelos ácidos graxos poli-insaturados (1,66 a 17%) e ácidos graxos monoinsaturados (1,36 a 6,4%). Os ácidos palmítico (C16:0) e esteárico (C18:0) foram os mais abundantes, com porcentagens entre 46 e 57,5% e 10 e 27,2%, respectivamente. Com base nesses dados, nota-se que o leve aumento nos tratamentos com PPT não apenas enriquece nutricionalmente a bebida, mas também pode potencializar seus benefícios funcionais.

O teor de cinzas, indicador de minerais, aumentou de 0,26% na Controle para 0,50% na T10%. Esse incremento reflete a riqueza mineral do PPT, que inclui nutrientes como Zn, Fe, Ca e Mg e outros minerais essenciais (Okello *et al.*, 2017). Resultados semelhantes foram relatados por Halim *et al.* (2024), que observaram que os teores minerais do pó para bebidas aumentam com a adição de pó de frutas e vegetais, contribuindo para o apelo funcional desses produtos.

O conteúdo de PET foi significativamente maior nas formulações com adição do PPT, alcançando 166,77 mg de EAG.100 g⁻¹ na T10%, comparada a 130,70 mg de EAG.100 g⁻¹ na Controle. Esse aumento é consistente com a incorporação de fontes de compostos bioativos, como é o caso do PPT, que possui alto teor de TEP (seção 7). Polifenóis são compostos antioxidantes naturais presentes em frutas e vegetais que contribuem tanto para os aspectos funcionais quanto sensoriais dos materiais alimentares, como seus efeitos anticancerígenos, antioxidantes e antidiabéticos, bem como seu sabor, aroma e cor (Halim *et al.*, 2024). O alto teor de PET também pode contribuir para a preservação do produto, reduzindo a degradação oxidativa de compostos sensoriais e nutricionais durante o armazenamento. Bebidas à base de graviola, inulina e soro de leite apresentaram maior capacidade antioxidante, devido à ligação das proteínas do soro do leite com os polifenóis da graviola (Fernández-Huazo *et al.*, 2024), o que sugere que as formulações enriquecidas com PPT podem apresentar uma maior capacidade antioxidante se comparadas com a Controle.

Os resultados da composição centesimal demonstram que a adição do PPT aos *smoothies* promove melhorias significativas no perfil nutricional. A redução da umidade e o aumento dos teores de carboidratos, proteínas, lipídeos, cinzas e PET destacam o potencial dessas formulações para atender às demandas de consumidores em busca de alimentos saudáveis.

8.3.2 Estabilidade dos smoothies

8.3.2.1 Qualidade físico-química durante o armazenamento refrigerado

As Tabelas 42 e 43 apresentam os resultados das análises de estabilidade físico-química dos *smoothies* durante 28 dias de armazenamento refrigerado (4 °C) em diferentes embalagens. Foi observado efeito significativo ($p \leq 0,05$) para a interação entre os fatores dias de armazenamento, formulações e embalagens em todos os parâmetros analisados, com exceção da ATT. O fator embalagens não apresentou efeito significativo ($p > 0,05$) quando analisado isoladamente para pH, ATT e SST. Também não houve efeito significativo para o fator dias de armazenamento para ATT.

No início do armazenamento, os valores da a_w mantiveram-se altos e homogêneos entre as formulações e embalagens ($\approx 0,99$), o que é esperado para produtos com alta umidade, como *smoothies*. Entre as formulações, houve redução significativa ($p \leq 0,05$), mesmo que muito pequena, a partir do 21º dia de armazenamento para T5% e T10% em ambas as embalagens. Ao longo dos dias as diferenças tornaram-se evidentes, com uma redução mais acentuada no plástico, principalmente nas formulações Controle e T5%. A Controle em vidro teve a menor variação ao longo dos dias. A a_w reflete a fração de água livre disponível no alimento para reações químicas, enzimáticas e de crescimento microbiano (Fonseca *et al.*, 2021). Todas as amostras apresentaram elevada a_w . Em termos microbiológicos, a redução da a_w para valores abaixo de 0,97 limita o crescimento de algumas bactérias e fungos deteriorantes (Halim *et al.*, 2024).

Diferenças entre as embalagens de plástico e vidro são explicadas pela maior permeabilidade ao vapor d'água do plástico em comparação ao vidro. Isso favorece a desidratação do produto no plástico, alterando a disponibilidade de água (Nogueira *et al.*, 2023). Estudos como o de Carneiro *et al.* (2016) corroboram com esse comportamento, mostrando que alimentos armazenados em plástico sofreram maior variação na a_w devido à maior permeabilidade dessa embalagem, permitindo a evaporação de água durante o armazenamento. Portanto, a maior preservação da a_w em embalagens de vidro pode ser considerada um fator positivo para aumentar a vida útil do produto.

Tabela 42 – Efeito dos dias de armazenamento, formulações e embalagens na a_w e SST dos *smoothies* contendo PPT.

Parâmetro	Dias de armazenamento	Formulações				CV (%)	Valor de p^1							
		Embalagem	Controle	5%	10%		D	F	E	D × T × E				
a_w	0	Vidro	0,9916 ± 0,00 ^{aA}	0,9917 ± 0,00 ^{aA}	0,9912 ± 0,00 ^{aA}	0,26	**	**	**	**				
	7		0,9847 ± 0,00 ^{bcA}	0,9821 ± 0,00 ^{bA}	0,9734 ± 0,00 ^{cB}									
	14		0,9954 ± 0,00 ^{aA}	0,9958 ± 0,00 ^{aA}	0,9955 ± 0,00 ^{aA}									
	21		0,9779 ± 0,00 ^{cA}	0,9759 ± 0,00 ^{bAB}	0,9709 ± 0,00 ^{cB}									
	28		0,9900 ± 0,00 ^{abA}	0,9671 ± 0,00 ^{cB}	0,9705 ± 0,00 ^{cB}									
	0	Plástico	0,9916 ± 0,00 ^{aA}	0,9917 ± 0,00 ^{aA}	0,9912 ± 0,00 ^{aA}									
	7		0,9693 ± 0,00 ^{dA}	0,9681 ± 0,00 ^{cA}	0,9683 ± 0,00 ^{cA}									
	14		0,9965 ± 0,00 ^{aA}	0,9960 ± 0,00 ^{aA}	0,9937 ± 0,00 ^{aA}									
	21		0,9790 ± 0,00 ^{cA}	0,9689 ± 0,00 ^{cB}	0,9691 ± 0,00 ^{cB}									
	28		0,9830 ± 0,01 ^{cA}	0,9634 ± 0,00 ^{cB}	0,9835 ± 0,00 ^{bB}									
SST (°Brix)	0	Vidro	11,47 ± 0,21 ^{bC}	15,87 ± 0,06 ^{bcB}	20,23 ± 0,30 ^{aA}	1,12	**	**	ns	**				
	7		12,37 ± 0,06 ^{aC}	15,87 ± 0,06 ^{bcB}	19,53 ± 0,30 ^{bA}									
	14		12,53 ± 0,23 ^{aC}	15,57 ± 0,25 ^{cdB}	19,50 ± 0,10 ^{bA}									
	21		11,40 ± 0,17 ^{bC}	15,67 ± 0,21 ^{cdB}	18,87 ± 0,15 ^{dA}									
	28		12,57 ± 0,06 ^{aC}	15,33 ± 0,11 ^{dB}	18,93 ± 0,06 ^{dA}									
	0	Plástico	11,47 ± 0,21 ^{bC}	15,87 ± 0,06 ^{bcB}	20,23 ± 0,30 ^{aA}									
	7		11,57 ± 0,11 ^{bC}	16,17 ± 0,11 ^{bB}	19,73 ± 0,15 ^{bA}									
	14		11,57 ± 0,29 ^{bC}	17,00 ± 0,26 ^{aB}	19,57 ± 0,06 ^{bA}									
	21		12,20 ± 0,10 ^{aC}	15,33 ± 0,06 ^{dB}	19,03 ± 0,06 ^{cdA}									
	28		11,57 ± 0,25 ^{bC}	15,63 ± 0,06 ^{cdB}	19,27 ± 0,15 ^{bcdA}									

Média $\pm$ Desvio Padrão (n = 3). CV: coeficiente de variação.

a, b, c, d, e, f: Uma mesma letra minúscula na coluna indica que as formulações não diferem significativamente entre as embalagens e dias de armazenamento.

A, B, C: Uma mesma letra maiúscula na linha indica que as formulações não diferem significativamente entre si para cada dia de armazenamento.

¹ANOVA: **: $p \leq 0,01$; ns: não significativo. D: dias de armazenamento (n = 5); F: formulações (n = 3); E: embalagem (n = 2). D $\times$ T $\times$ E: interação entre fatores.

Fonte: Autor (2025).

Os SST representam a concentração de principalmente açúcares como a sacarose, mas também de proteínas, minerais e outros solutos dissolvidos (Moraes, 2006; Salehi, 2021). Os valores de SST diferiram significativamente entre as formulações, sendo mais altos na formulação T10%, enquanto a Controle apresentou os valores mais baixos para ambas embalagens e dias de armazenamento ($p \leq 0,05$). Esse comportamento é justificado pelo maior teor do PPT nas formulações T5% e T10%. Durante o armazenamento, variações mais expressivas foram observadas nas formulações contendo PPT, principalmente nas embalagens de vidro. No estudo de Carneiro *et al.* (2016), geleias acondicionadas nas embalagens de vidro sofreram pequena variação com o tempo de armazenamento, no entanto, as geleias que foram armazenadas nas embalagens de polipropileno apresentaram um maior incremento nos teores de SST com o decorrer dos dias.

A redução dos SST ao final do armazenamento em embalagens de vidro pode ser atribuída à maior proteção contra trocas gasosas proporcionada por esse material, que favorece reações internas na bebida, como fermentação residual ou precipitação de compostos solúveis. Diferentemente do plástico, que permite maior permeabilidade, o vidro cria um ambiente fechado que pode intensificar processos químicos e bioquímicos, como a conversão de açúcares em ácidos por microrganismos resistentes (Carneiro *et al.*, 2016). Assim, o vidro, embora ofereça maior proteção contra fatores externos, pode favorecer alterações internas no produto, refletindo nas diferenças significativas observadas. Mandim *et al.* (2024) inferiram que o conteúdo de SST não diferiu em *smoothies* vegetais submetidos ao processamento térmico e armazenados a 5 e 20 °C por 21 dias, exceto no *smoothie* 3, onde um aumento significativo de 7,4 para 7,8 °Brix foi registrado ao longo do tempo de armazenamento.

O pH inicial foi consistentemente ácido ($\approx 5,30$), típico de bebidas contendo frutas. Entre as formulações, as diferenças foram maiores na embalagem de vidro ($p \leq 0,05$), onde as formulações com adição do PPT permaneceram inferiores, principalmente no 14º e 21º dia. Ao longo do armazenamento, observou-se um declínio significativo, atingindo valores mínimos de cerca de 4,30 nos tratamentos com maior concentração do PPT aos 21 dias, seguido por uma leve recuperação aos 28 dias, em ambas as embalagens. Essa flutuação é característica de processos fermentativos e oxidativos. Apesar do efeito não significativo ($p > 0,05$) da embalagem quando avaliado isoladamente, é importante ressaltar que na interação dos fatores o tipo de embalagem foi marcante, pois a interação significativa ($p \leq 0,05$) indica que o efeito da embalagem depende das condições dos dias de armazenamento e das formulações.

A acidificação pode desempenhar um papel positivo na estabilidade microbiológica das bebidas, ao criar um ambiente menos favorável para o crescimento de microrganismos

(Halim *et al.*, 2024). Mandim *et al.* (2024) obtiveram valores iniciais de pH para os *smoothies* em torno de 4,0. Souza *et al.* (2020) ao avaliarem a estabilidade do suco misto de acerola e vinagreira em garrafas de vidro e plástico sob refrigeração por 90 dias, concluíram que, nas condições avaliadas, o tipo de embalagem não teve influência sobre a qualidade sensorial, físico-química e microbiológica. Carneiro *et al.* (2016) não observaram diferença significativa nos valores de pH em diferentes embalagens, apenas durante o armazenamento e explicaram que isso se deve provavelmente à liberação de íons H^+ no meio em razão do ácido adicionado presente no PPT. As bebidas apresentaram pH abaixo de 4,0 para todas as condições e os autores mencionaram que pH baixo auxiliam na prevenção do desenvolvimento de microrganismos.

A ausência de efeito significativo ($p \leq 0,05$) entre os três fatores justifica a não aplicação do teste de médias e indica que o comportamento dos resultados pode ser explicado principalmente pelos efeitos isolados dos fatores ou por interações de menor ordem (dois fatores). A significância isolada do efeito formulações ($p \leq 0,05$) foi crucial nesta discussão. No início, os valores de ATT foram relativamente baixos (0,76% para Controle e 1,24% para T10%), apresentando flutuações durante o armazenamento para ambas embalagens, mas aumentaram entre as formulações, especialmente nos tratamentos com maior concentração do PPT. Esse aumento foi devido a elevada acidez natural do PPT (6,64% ácido tartárico, resultado da seção 7). Para Lima *et al.* (2002), ATT superior a 1% é considerado interessante para a indústria, uma vez que minimiza a necessidade de adição de ácido na inibição do desenvolvimento de microrganismos. Carneiro *et al.* (2016) não notaram influência significativa pelo tempo de armazenamento nem pelo tipo de embalagem utilizada, com valores 0,86 e 0,87% de ácido cítrico em embalagens de vidro e de polipropileno, respectivamente.

A diminuição do pH não proporcional a alterações na ATT pode ser justificada parcialmente pelo aumento no conteúdo microbiano, onde alguns microrganismos podem produzir metabólitos ácidos em pequenas quantidades, suficientes para alterar o pH, mas não o suficiente para impactar a ATT, medida com base na titulação (Jay, 2005).

Nunes *et al.* (2016) observaram uma diminuição geral na quantidade de compostos bioativos e atividade antioxidante ao longo do armazenamento dos *smoothies*, especialmente no 21º dia. No entanto, a qualidade físico-química geral foi mantida durante todo o período de armazenamento (21 dias).

Tabela 43 – Efeito dos dias de armazenamento, formulações e embalagens no pH e ATT dos *smoothies* contendo PPT.

Parâmetro	Dias de armazenamento	Embalagem	Formulações		CV (%)	Valor de p^1			
			Controle	5%	10%	D	F	E	D × T × E
pH	0	Vidro	5,32 ± 0,07 ^{aA}	5,30 ± 0,01 ^{aA}	5,28 ± 0,01 ^{aA}	0,49	**	**	ns
	7		5,22 ± 0,01 ^{bA}	5,15 ± 0,01 ^{bB}	5,13 ± 0,01 ^{bA}				
	14		4,78 ± 0,01 ^{cA}	4,70 ± 0,00 ^{dB}	4,64 ± 0,01 ^{deC}				
	21		4,50 ± 0,02 ^{cA}	4,33 ± 0,03 ^{eB}	4,31 ± 0,01 ^{FB}				
	28		4,64 ± 0,03 ^{dB}	4,69 ± 0,03 ^{dA}	4,62 ± 0,02 ^{eB}				
	0	Plástico	5,32 ± 0,07 ^{aA}	5,30 ± 0,01 ^{aA}	5,28 ± 0,01 ^{aA}				
	7		5,19 ± 0,00 ^{bA}	5,17 ± 0,00 ^{bA}	5,17 ± 0,01 ^{bA}				
	14		4,76 ± 0,01 ^{cA}	4,77 ± 0,00 ^{cA}	4,74 ± 0,01 ^{cA}				
	21		4,30 ± 0,01 ^{fA}	4,22 ± 0,03 ^{FB}	4,28 ± 0,02 ^{fA}				
	28		4,70 ± 0,01 ^{dA}	4,74 ± 0,01 ^{cdA}	4,70 ± 0,02 ^{cdA}				
ATT (% ácido tartárico)	0	Vidro	0,76 ± 0,08	0,96 ± 0,15	1,24 ± 0,15	14,73	ns	**	ns
	7		0,72 ± 0,04	1,04 ± 0,31	1,06 ± 0,10				
	14		0,79 ± 0,04	0,87 ± 0,04	1,03 ± 0,07				
	21		0,76 ± 0,12	0,86 ± 0,17	0,98 ± 0,06				
	28		0,88 ± 0,31	0,90 ± 0,17	1,01 ± 0,14				
	0	Plástico	0,76 ± 0,08	0,96 ± 0,15	1,24 ± 0,15				
	7		0,82 ± 0,11	0,86 ± 0,12	1,05 ± 0,10				
	14		0,73 ± 0,11	0,88 ± 0,08	0,97 ± 0,09				
	21		0,74 ± 0,08	0,82 ± 0,02	1,06 ± 0,07				
	28		0,70 ± 0,15	0,85 ± 0,05	1,23 ± 0,16				

Média ± Desvio Padrão (n = 3). CV: coeficiente de variação.

a, b, c, d, e, f: Uma mesma letra minúscula na coluna indica que as formulações não diferem significativamente entre as embalagens e dias de armazenamento.

A, B, C: Uma mesma letra maiúscula na linha indica que as formulações não diferem significativamente entre si para cada dia de armazenamento.

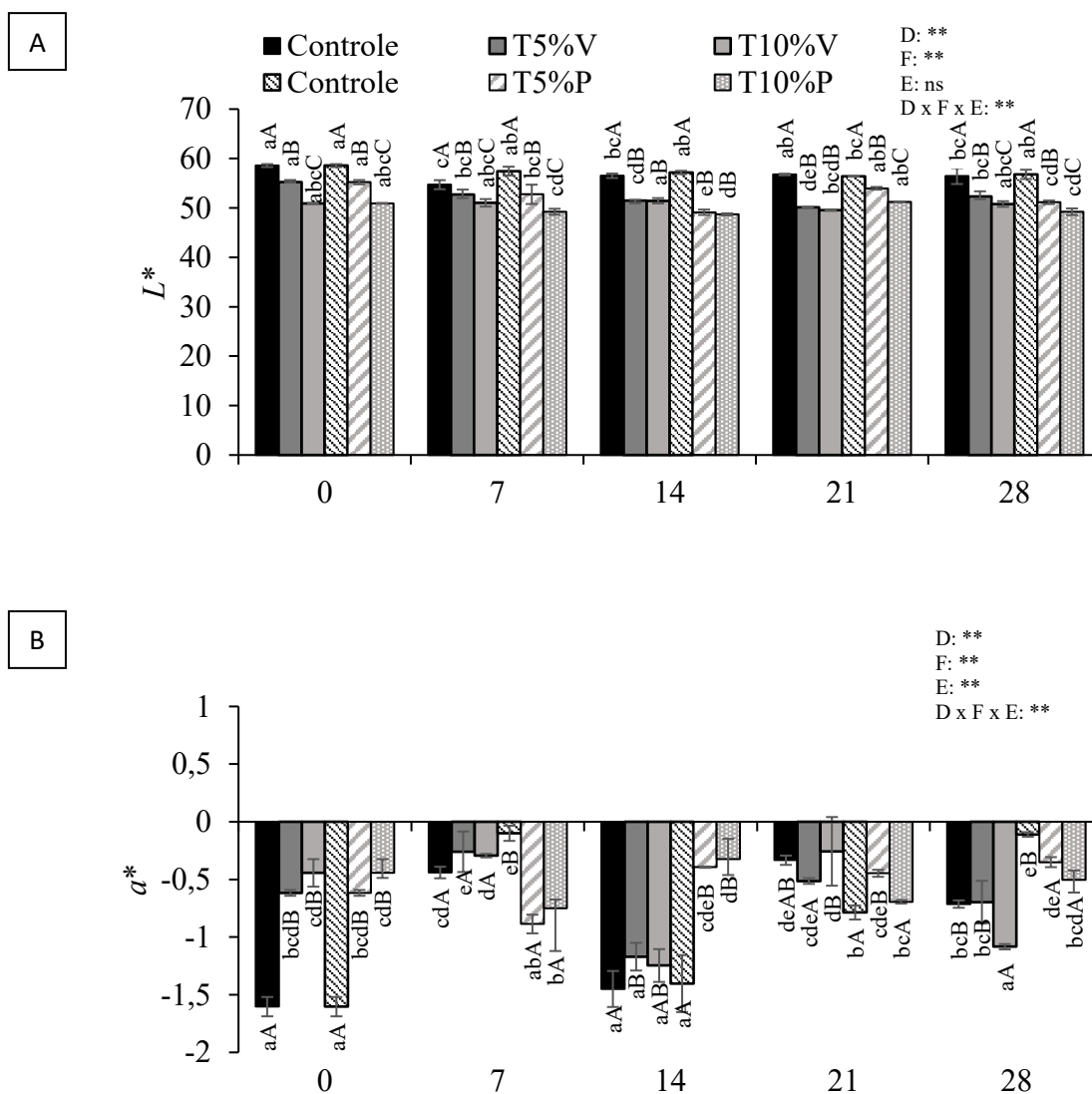
¹ANOVA: **: $p \leq 0,01$; ns: não significativo. D: dias de armazenamento (n = 5); F: formulações (n = 3); E: embalagem (n = 2). D × T × E: interação entre fatores.

Fonte: Autor (2025).

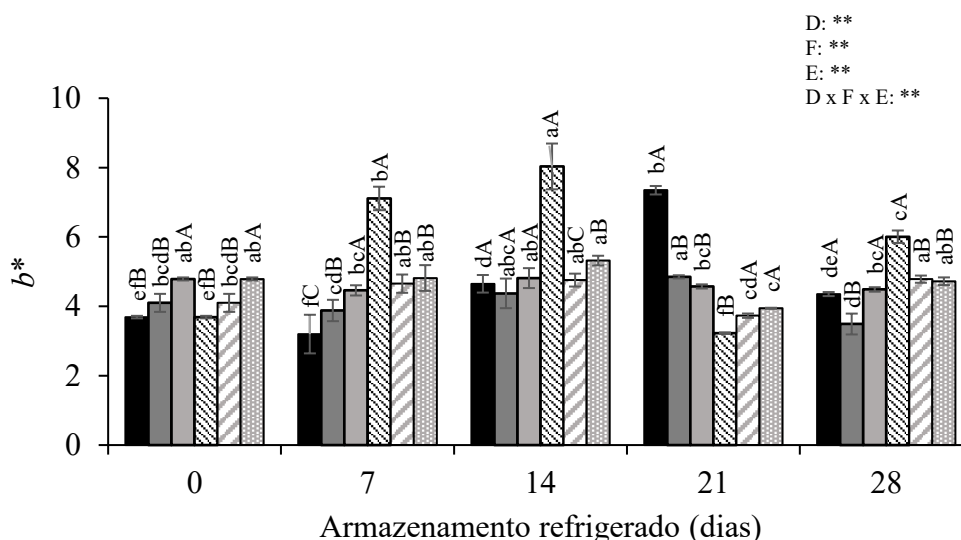
8.3.2.2 Parâmetros de cor durante o armazenamento refrigerado

Os parâmetros de cor L^* , a^* e b^* foram analisados para caracterizar a cor dos *smoothies* e estão apresentados na Figura 45. O parâmetro L^* apresentou valores altos indicando uma coloração mais clara (Figura 45A). O parâmetro a^* refletiu valores negativos relacionados a tonalidades verdes (Figura 45B) e os valores do componente b^* foram predominantemente negativos, indicativos de colorações amareladas.

Figura 45 – Parâmetros de cor (A) L^* , (B) a^* e (C) b^* dos *smoothies* contendo PPT.



C



Cada barra representa uma média ($n = 3$) e a barra de erro representa o desvio padrão.

a, b, c, d, e, f: Uma mesma letra minúscula na barra indica que as formulações não diferem significativamente entre as embalagens e dias de armazenamento.

A, B, C: Uma mesma letra maiúscula na barra indica que as formulações não diferem significativamente entre si para cada dia de armazenamento e embalagens.

¹ANOVA: **: $p \leq 0,01$; ns: não significativo. D: dias de armazenamento ($n = 5$); F: formulações ($n = 3$); E: embalagem ($n = 2$). D $\times$ F $\times$ E: interação entre fatores.

Fonte: Autor (2025).

Todos os parâmetros de cor dos *smoothies* variaram significativamente ($p \leq 0,05$) ao longo dos dias de armazenamento refrigerado, com diferenças evidentes entre as formulações. O efeito embalagem não foi significativo apenas para L^* ($p > 0,05$). À medida que a concentração do PPT aumentou e o armazenamento progrediu, houve uma redução progressiva e sutil nos valores de L^* , respectivamente. Durante o armazenamento essa diferença foi mais perceptível na embalagem de vidro. Essa redução pode ser explicada por mudanças físico-químicas no produto, como oxidação de pigmentos, facilitada pela transparência do vidro e reações de escurecimento enzimático. A T10% apresentou-se mais estável em embalagens plásticas quando comparadas as Controle e T5%.

Os resultados obtidos estão de acordo com os descritos por Mandim *et al.* (2024) para *smoothies* funcionais enriquecidos com cardo. Esses autores sugeriram que as diferenças observadas durante o armazenamento foram devido a processos enzimáticos ou não enzimáticos, bem como à quebra e polimerização dos principais pigmentos e que mudanças na cor e na viscosidade dos *smoothies* influenciam o apelo visual dos consumidores, afetando potencialmente sua aceitabilidade. Nunes *et al.* (2016) complementa mencionando que a perda de pigmentos e cor também ocorre pelas condições de processamento (pH, acidez, oxidação, tempo e temperatura). Siroli *et al.* (2023) também notaram mudanças significativas na cor, com

reduções de L^* e elevação de a^* ao longo de 14 dias de armazenamento em *smoothies* de vegetais.

Os resultados para a^* e b^* mostraram que a cor dos *smoothies* esteve localizada no segundo quadrante do espaço de cor ($-a^*$, $+b^*$), indicando uma variância de cor no espectro do amarelo para o verde, com L^* claro. Para a^* , as formulações apresentaram oscilações durante todo o período de armazenamento, com significativas reduções ao 28º dia ($p \leq 0,05$) para ambas as embalagens. Os *smoothies* contendo PPT pareceram estabilizar a cor. Para b^* , no início do armazenamento, as Controles apresentaram valores inferiores, enquanto as formulações com PPT em embalagens de vidro e plástico exibiram valores mais elevados, destacando o impacto da adição do PPT na intensificação da coloração amarelada, o que sugere que a formulação mais concentrada em compostos bioativos pode conter pigmentos naturais responsáveis pela coloração amarela. Entre as formulações, a adição do PPT teve tendência em diminuir a intensidade de vermelho e aumentar a intensidade do amarelo. Essas variações refletem mudanças na estabilidade dos pigmentos, sendo as embalagens de vidro as mais suscetíveis a alterações que comprometem a estabilidade da luminosidade.

A cor durante o armazenamento de *smoothies* preparados a partir de frutas selecionadas diferiu significativamente (Nowicka *et al.*, 2016). Em todos os *smoothies*, aumento nos valores a^* foi observado ao longo do tempo, sugerindo uma diminuição nos tons verdes e melhor preservação da coloração vermelha, particularmente nos *smoothies* fortificados com cardo. No entanto, os valores b^* não mudaram significativamente ao longo do tempo (Mandim *et al.*, 2024). Diferentes parâmetros físico-químicos foram avaliados em *smoothies* comerciais contendo frutas ou vegetais (Nunes *et al.*, 2016). Os autores concluíram que poucas alterações na cor (L^* , a^* e b^*) foram observadas em 21 dias de armazenamento a 4°C.

8.3.2.3 Análise reológica durante o armazenamento refrigerado

A Tabela 44 apresenta os dados reológicos dos *smoothies* analisados durante o armazenamento. Reologia é a ciência da deformação e do comportamento do fluxo da matéria (Salehi, 2021). O conhecimento da reologia do fluido é importante para o projeto e otimização das operações unitárias (Mondal *et al.*, 2016). A análise dos índices de consistência (K) e de comportamento (n) das bebidas ao longo dos 28 dias de armazenamento revelaram padrões distintos, influenciados pela formulação e, em menor grau, pela embalagem, não havendo interação estatística significativa ($p \leq 0,05$) entre os três fatores analisados. A ausência de efeito significativo entre os três fatores justifica a não aplicação do teste de médias e indica que o

comportamento dos resultados pode ser explicado principalmente pelos efeitos isolados dos fatores ou por interações de menor ordem (dois fatores).

O K pode ser considerado uma medida de viscosidade e indica o grau de resistência do fluido durante o escoamento (Fonseca *et al.*, 2021). O K diminuiu significativamente nas formulações T5% e T10%, especialmente em embalagens de vidro, enquanto a formulação Controle manteve valores mais elevados. A adição do PPT, que contém maltodextrina e PISL, e o armazenamento contribuíram para uma estrutura mais fluida, portanto, menos viscosa. Segundo Nowicka *et al.* (2016), a viscosidade é influenciada pela presença de partículas sólidas. Os valores do n de todas as amostras foram menores que 1,0, indicando um comportamento pseudoplástico e mostrando uma redução na viscosidade com o aumento da taxa de cisalhamento. De maneira geral, a estabilidade reológica das bebidas foi mais bem mantida na formulação Controle, enquanto as formulações com PPT, especialmente em vidro, apresentaram maior suscetibilidade a alterações ao longo do armazenamento. Esses resultados indicam que a adição do PPT e o tipo de embalagem influenciam as propriedades reológicas das bebidas armazenadas sob refrigeração.

Os reogramas incluem taxa de cisalhamento (s^{-1}), tensão de cisalhamento (Pa) e viscosidade ($Pa \cdot s$), conforme a Figura 46. A análise reológica identifica o comportamento dos fluidos em resposta às forças aplicadas. Os *smoothies* podem apresentar comportamentos Newtonianos ou não-Newtonianos, conforme os valores obtidos de tensão de cisalhamento, taxa de cisalhamento e viscosidade em cada tempo de armazenamento e condição. As curvas de fluxo dos *smoothies* demonstraram uma relação não linear entre a taxa e a tensão de cisalhamento, um comportamento característico de fluidos não-Newtonianos. Nota-se também que as curvas descendentes apresentam valores de tensão de cisalhamento menores que as curvas ascendentes, exibindo comportamentos pseudoplásticos, confirmando o demonstrado pelo n .

Tabela 44 – Índice de consistência (K) e índice de comportamento (n) dos *smoothies* contendo PPT.

Índice	Dias de armazenamento	Formulações				CV (%)	Valor de p^1			
		Embalagem	Controle	5%	10%		D	F	E	D $\times$ F $\times$ E
K	0	Vidro	21,11 $\pm$ 1,30	12,90 $\pm$ 4,56	14,72 $\pm$ 2,31	19,46	**	**	Ns	ns
	7		20,61 $\pm$ 0,68	14,20 $\pm$ 4,39	17,22 $\pm$ 1,55					
	14		26,17 $\pm$ 0,30	13,67 $\pm$ 4,45	11,60 $\pm$ 5,42					
	21		23,23 $\pm$ 1,32	10,92 $\pm$ 4,76	9,47 $\pm$ 1,08					
	28		15,33 $\pm$ 3,76	10,74 $\pm$ 4,49	13,14 $\pm$ 1,18					
	0	Plástico	21,10 $\pm$ 1,30	12,90 $\pm$ 4,56	14,72 $\pm$ 2,31					
	7		24,07 $\pm$ 0,55	15,96 $\pm$ 1,26	9,17 $\pm$ 2,28					
	14		25,96 $\pm$ 1,34	16,71 $\pm$ 1,92	14,25 $\pm$ 5,80					
	21		22,44 $\pm$ 0,92	11,15 $\pm$ 2,94	10,37 $\pm$ 2,50					
	28		20,66 $\pm$ 0,90	11,98 $\pm$ 4,35	9,45 $\pm$ 3,01					
n	0	Vidro	0,1281 $\pm$ 0,00	0,2295 $\pm$ 0,07	0,2008 $\pm$ 0,04	28,14	ns	**	*	Ns
	7		0,1273 $\pm$ 0,00	0,1984 $\pm$ 0,06	0,1647 $\pm$ 0,00					
	14		0,1062 $\pm$ 0,00	0,1909 $\pm$ 0,08	0,2570 $\pm$ 0,09					
	21		0,1191 $\pm$ 0,00	0,2304 $\pm$ 0,07	0,2687 $\pm$ 0,02					
	28		0,1623 $\pm$ 0,06	0,2095 $\pm$ 0,10	0,1628 $\pm$ 0,01					
	0	Plástico	0,1281 $\pm$ 0,00	0,2295 $\pm$ 0,07	0,2008 $\pm$ 0,04					
	7		0,1197 $\pm$ 0,00	0,1516 $\pm$ 0,00	0,2878 $\pm$ 0,03					
	14		0,1135 $\pm$ 0,00	0,1426 $\pm$ 0,00	0,2030 $\pm$ 0,09					
	21		0,1205 $\pm$ 0,00	0,2214 $\pm$ 0,06	0,2541 $\pm$ 0,03					
	28		0,1247 $\pm$ 0,00	0,2069 $\pm$ 0,08	0,2488 $\pm$ 0,07					

Média $\pm$ Desvio Padrão (n = 3). CV: coeficiente de variação.

¹ANOVA: **: $p \leq 0,01$; ns: não significativo. D: dias de armazenamento (n = 5); F: formulações (n = 3); E: embalagem (n = 2). D $\times$ T $\times$ E: interação entre fatores.

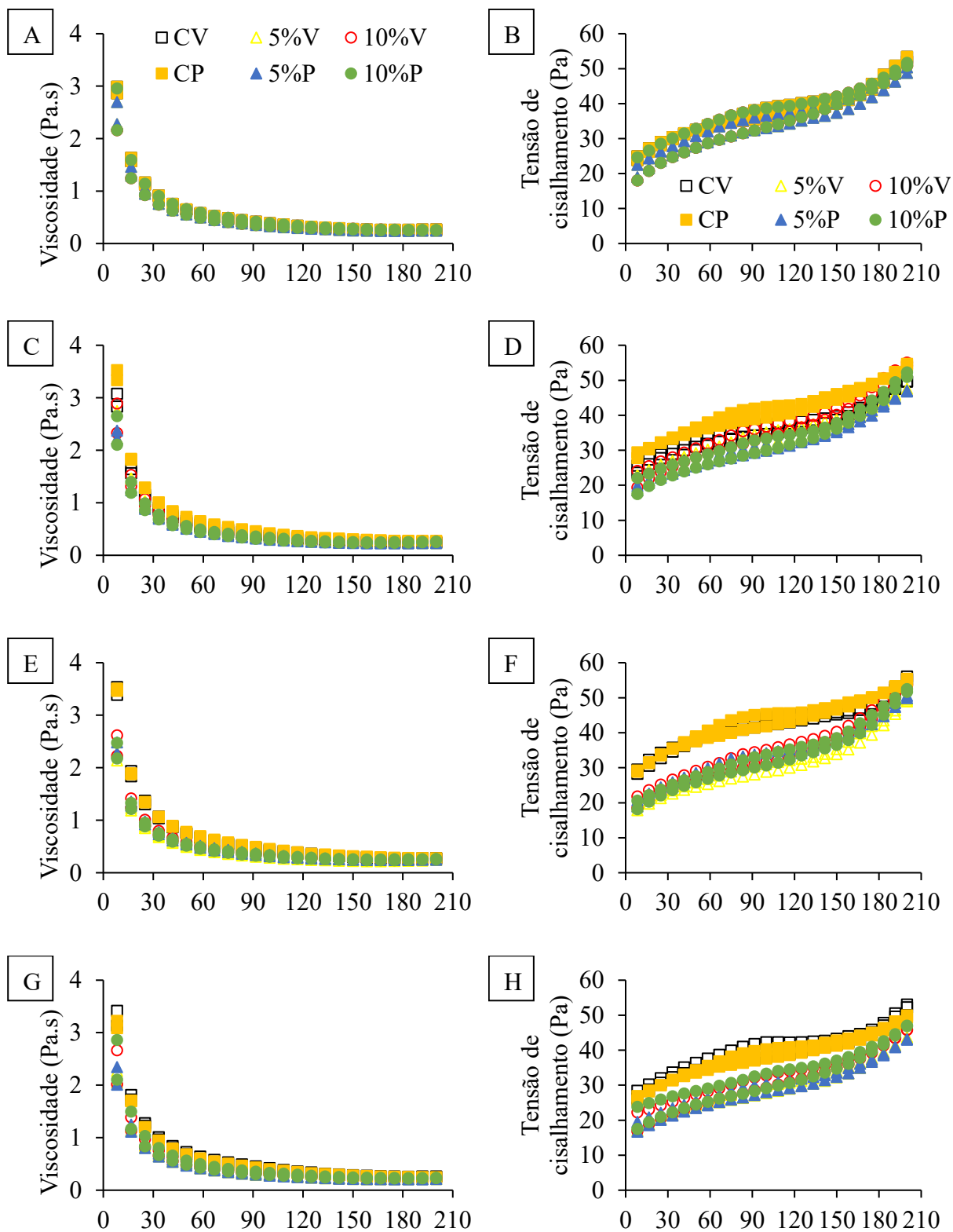
Fonte: Autor (2025).

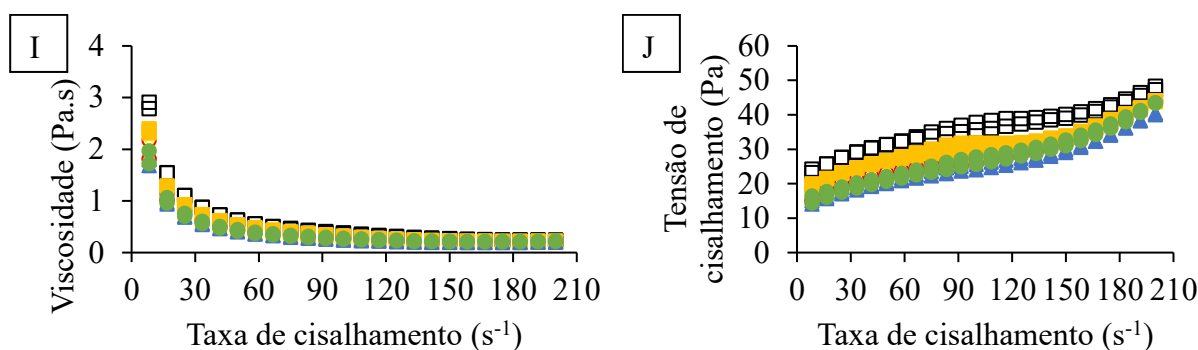
Os reogramas de fluidos não-Newtonianos não correspondem a uma linha reta que passa pela origem das coordenadas como no caso de um fluido Newtoniano, mas apresentam uma curva característica de um fluido pseudoplástico (se a tensão de escoamento for nula). O comportamento do fluxo de sucos de frutas e seus derivados fluidos é significativamente influenciado pelas características intrínsecas do suco e da fruta. A presença de sólidos da polpa, que compõem a fase dispersa do suco, desempenha um papel crucial em conferir ao líquido uma natureza não-Newtoniana, contribuindo especialmente para o desenvolvimento do parâmetro de tensão de escoamento (Falguera *et al.*, 2010). Entender a reologia é essencial para o controle de qualidade e avaliação sensorial, aplicação de engenharia de processo (projeto e seleção de equipamentos adequados, incluindo trocadores de calor, sistemas de transporte, evaporadores e bombas) e cálculo do uso de energia e necessidade de potência para mistura (Salehi, 2021).

Diversos estudos recentes mencionaram comportamento semelhante. Moura *et al.* (2017) observaram comportamento não-Newtoniano e pseudoplástico em distintos *smoothies*: (cor amarela, contendo damasco, manga, acerola, maracujá e cupuaçu), (cor vermelha, contendo morango, ameixa, cereja, framboesa, maçã, *cranberry* e romã) e (cor verde, contendo kiwi, abacaxi, limão, chá verde, hortelã e clorofila). As formulações de bebida mista de acerola, cajá, açaí e extrato de soja e bebida funcional de abóbora, fibra de abacaxi e leite desnatado sem lactose apresentaram comportamento também não-Newtoniano, com características pseudoplásticas (Lima *et al.*, 2018; Quintana; Zapateiro, 2018).

A análise sugere que as embalagens de vidro preservaram melhor o comportamento pseudoplástico ao longo do tempo, promovendo maior estabilidade estrutural ao longo do armazenamento. Os tratamentos com maiores concentrações do PPT (5% e 10%) apresentaram melhor desempenho reológico, reforçando o papel desses componentes na manutenção das propriedades físicas do produto. Além disso, os tratamentos mais concentrados (10%) demonstraram valores mais elevados de tensão de cisalhamento ao longo do armazenamento, evidenciando o papel do PPT na manutenção da resistência ao fluxo. Molhos de macaúba armazenados em frascos de vidros apresentaram maior estabilidade (45,97%) se comparado a embalagem de polipropileno (37,02%), durante 28 dias de armazenamento a 5 °C (Fonseca *et al.*, 2021).

Figura 46 - Relação entre viscosidade aparente (Pa.s) versus taxa de cisalhamento (s^{-1}) e a tensão de cisalhamento (Pa) versus a taxa de cisalhamento (s^{-1}) dos *smoothies* contendo PPT para os dias 0 (A e B), 7 (C e D), 14 (E e F), 21 (G e H) e 28 (I e J) de armazenamento refrigerado, respectivamente.





8.3.2.4 Qualidade microbiológica durante o armazenamento refrigerado

Os *smoothies* foram avaliados quanto à contagem microbiana para determinar o consumo seguro das bebidas para análise sensorial (Fonseca *et al.*, 2021). Os resultados mostraram ausência de *Salmonella* spp. em todas as formulações, independentemente do dia de armazenamento, tipo de embalagem ou formulação (Tabela 45). Essa ausência é fundamental para assegurar a segurança microbiológica dos *smoothies*, uma vez que a presença desse patógeno é um indicador de contaminação e está diretamente associada a riscos à saúde pública. Os resultados cumprem os padrões microbiológicos estabelecidos pela IN nº 161 de 2022, que exige ausência desse patógeno em 25 mL de bebidas não alcoólicas refrigeradas. A ausência de *Salmonella* spp. pode ser explicada pelas condições higiênico-sanitárias adequadas do processamento dos *smoothies*.

Os níveis de Enterobacteriaceae variaram entre os tratamentos, embalagens e dias de armazenamento. Em embalagens de vidro, as formulações com PPT apresentaram menores contagens ao longo do tempo ($<10^2$ UFC.mL⁻¹), enquanto a Controle apresentou aumento gradual, atingindo $2,00 \times 10^2$ UFC.mL⁻¹ aos 28 dias. Por outro lado, em embalagens plásticas, as contagens foram consistentemente mais elevadas, com picos de $7,00 \times 10^1$ UFC.mL⁻¹ na Controle no 28º dia. Esses resultados refletem a maior eficácia do vidro em prevenir a contaminação microbiana, devido à sua maior impermeabilidade (Nogueira *et al.*, 2023).

Comparando com os padrões microbiológicos da IN nº 161 de 2022 (máximo de 10^2 UFC.mL⁻¹), os resultados permanecem aceitáveis para a maioria das formulações, exceto até o 21º dia para Controle no vidro e para T5% no plástico. A capacidade do PPT de reduzir contagens de Enterobacteriaceae reforça sua aplicação em produtos que necessitam de longa vida útil refrigerada. O desenvolvimento de bolores e leveduras apresentou comportamento variado entre os fatores. Em vidro, as contagens foram consistentemente baixas (<10 UFC.mL⁻¹ na maior parte do armazenamento), com aumentos modestos em formulações com PPT ($3,00 \times 10^2$ UFC.mL⁻¹ para T5% e $2,00 \times 10^2$ UFC.mL⁻¹ para T10% no 7º dia). Em plástico, ocorreu

uma maior proliferação nas mesmas condições ($7,00 \times 10^2$ UFC.mL⁻¹ para T5% e $3,00 \times 10^3$ UFC.mL⁻¹ para T10% no 7º dia). Os resultados sugerem que embalagens de vidro, em conjunto com os PPT, são mais eficazes na contenção do crescimento de bolores e leveduras até o 7º dia de armazenamento. Para ambas as embalagens, o 7º dia esteve acima do limite da legislação vigente (Brasil, 2022).

Essa instabilidade nas embalagens plásticas sugere maior permeabilidade a condições que favorecem a proliferação de bolores e leveduras. Nogueira *et al.* (2023) destacaram que o vidro é um material mais impermeável por fornecer barreira total contra umidade, gases, odores e microrganismos. Com base nos parâmetros microbiológicos avaliados, a vida útil estimada das bebidas tipo *smoothie* deste estudo é de 7 dias sob refrigeração (4 ± 2 °C), especialmente para formulações armazenadas em vidro e enriquecidas com PPT. Nunes *et al.* (2016) recomendaram consumir *smoothies* nos estágios iniciais de validade.

Esses resultados reforçam a importância do uso de embalagens de alta barreira para prolongar a vida útil de bebidas refrigeradas. Futuros estudos podem explorar o uso da pasteurização combinada com embalagens de alta barreira para aumentar a vida útil de *smoothies* refrigerados. Isso inclui avaliar o impacto da pasteurização em parâmetros físico-químicos, reológicos e microbiológicos e o efeito sinérgico do enriquecimento com PPT. Pesquisas podem também incluir o desenvolvimento de embalagens ativas com aditivos antimicrobianos naturais. Tais abordagens visam aumentar a vida útil, preservar a qualidade do produto e atender às exigências da legislação. De acordo com Feo, Ferrara e Minichini (2022), os consumidores consideram o vidro um material altamente sustentável sob a perspectiva ambiental, enquanto o plástico é visto como tendo pouca ou nenhuma sustentabilidade ambiental.

Tabela 45 - Qualidade microbiológica dos *smoothies* contendo PPT.

Parâmetro	Dias de armazenamento	Embalagem	Formulações			Padrão ¹
			Controle	T5%	T10%	
<i>Salmonella</i> /25 mL	0	Vidro	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência
	7					
	14					
	21					
	28					
	0	Plástico	Ausência	Ausência	Ausência	
	7					
	14					
	21					
	28					
Enterobacteriaceae (UFC.mL ⁻¹)	0	Vidro	<10	<10	<10	10 ²
	7		1,00 x 10 ¹	<10	5,00 x 10 ¹	
	14		<10	2,00 x 10 ¹	1,00 x 10 ¹	
	21		1,90 x 10 ²	5,00 x 10 ¹	5,00 x 10 ¹	
	28		2,00 x 10 ²	3,00 x 10 ¹	<10	
	0	Plástico	6,00 x 10 ¹	2,70 x 10 ¹	6,00 x 10 ¹	
	7		1,00 x 10 ¹	9,00 x 10 ¹	6,00 x 10 ¹	
	14		<10	1,00 x 10 ¹	5,00 x 10 ¹	
	21		2,40 x 10 ¹	1,40 x 10 ²	<10	
	28		7,00 x 10 ¹	3,00 x 10 ¹	1,00 x 10 ¹	
Bolores e leveduras (UFC.mL ⁻¹)	0	Vidro	<10	<10	<10	10 ²
	7		<10	3,00 x 10 ²	2,00 x 10 ²	
	14		2,00 x 10 ¹	<10	1,00 x 10 ²	
	21		<10	2,00 x 10 ¹	3,00 x 10 ¹	
	28		<10	4,00 x 10 ¹	1,00 x 10 ¹	
	0	Plástico	1,00 x 10 ²	7,20 x 10 ¹	1,43 x 10 ¹	
	7		1,20 x 10 ³	7,00 x 10 ²	3,00 x 10 ³	
	14		2,00 x 10 ²	<10	1,30 x 10 ²	
	21		<10	4,00 x 10 ¹	1,30 x 10 ³	
	28		<10	4,00 x 10 ¹	5,00 x 10 ²	

¹Instrução Normativa - IN Nº 161, de 1º de julho de 2022.

Fonte: Autor (2025).

8.3.2.5 Análise sensorial

A análise sensorial revelou diferenças importantes na aceitação e intenção de compra (Tabela 46). No total, 99,03% (n = 103) dos provadores não treinados relataram consumir bebida a base de frutas, o que pode ser classificado como um consumo de média a alta frequência, conforme Feitosa *et al.* (2023). A maioria dos provadores tinha entre 16 e 30 anos (96,15%). Além disso, 42,31% (n = 44) relataram consumir bebida a base de frutas mais de 3 vezes por semana e 74,04% (n = 77) afirmaram que o sabor é o que mais influencia o consumo. Todas as formulações demonstraram ser atraentes para os avaliadores, principalmente para os atributos cor, textura e odor (≥ 6 , gostei ligeiramente). Resultados semelhantes foram obtidos por Nowicka *et al.* (2016) ao avaliarem os atributos sensoriais de *smoothies* preparados a partir de frutas. Um reduzido número de notas menores que 6 foram atribuídas para os atributos aparência, sabor e impressão global, apenas para T10%.

Tabela 46 - Escores médios para avaliação de aceitação sensorial e intenção de compra dos *smoothies* contendo PPT.

Atributos	Formulações		
	Controle	T5%	T10%
Aparência	6,03 $\pm$ 1,91 ^a	6,05 $\pm$ 1,92 ^a	5,76 $\pm$ 1,94 ^a
Cor	6,25 $\pm$ 1,84 ^a	6,15 $\pm$ 1,87 ^a	6,00 $\pm$ 1,91 ^a
Textura	6,61 $\pm$ 1,79 ^a	6,62 $\pm$ 1,80 ^a	6,27 $\pm$ 1,92 ^a
Odor	7,00 $\pm$ 1,65 ^a	6,73 $\pm$ 1,67 ^{ab}	6,36 $\pm$ 1,84 ^b
Sabor	6,61 $\pm$ 1,82 ^a	6,27 $\pm$ 1,88 ^a	5,53 $\pm$ 2,31 ^b
Impressão global	6,73 $\pm$ 1,58 ^a	6,47 $\pm$ 1,50 ^a	5,81 $\pm$ 1,91 ^b
Intenção de compra	2,89 $\pm$ 1,33 ^b	3,06 $\pm$ 1,19 ^b	3,54 $\pm$ 1,33 ^a

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Resultados expressos em média $\pm$ desvio padrão (n = 104).

Fonte: Autor (2025).

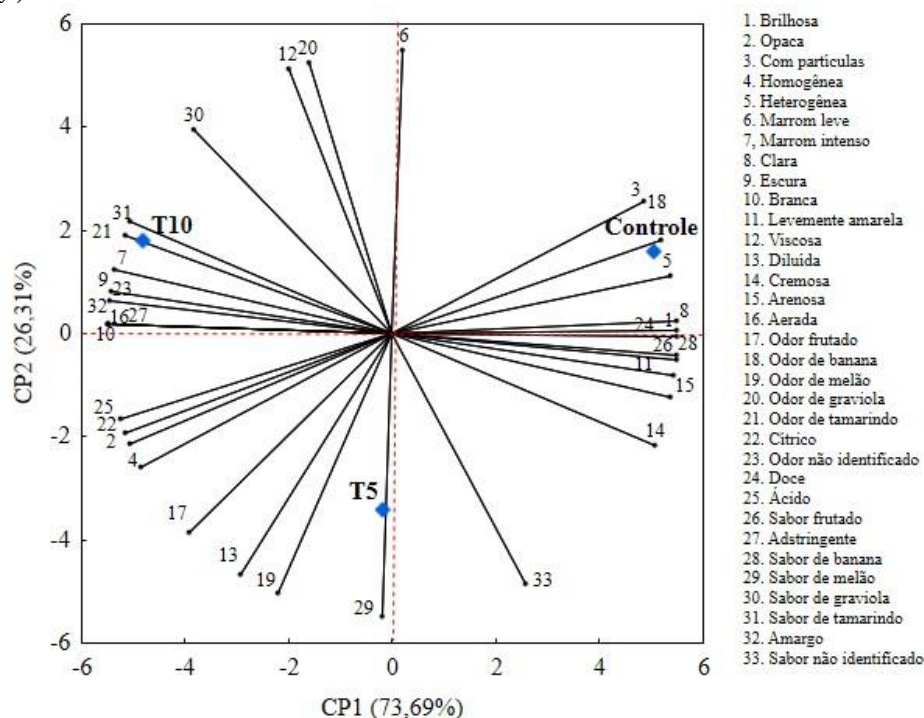
Para atributos como aparência, cor e textura, não houve diferenças significativas entre as formulações ($p \leq 0,05$), sugerindo que a adição do PPT não afeta esses aspectos visuais e táteis. No entanto, para o odor, a Controle apresentou maior aceitação (7, gostei moderadamente), enquanto a T10% apresentou um decréscimo significativo (6,36), indicando que a concentração mais alta pode ter introduzido notas sensoriais que não agradaram aos provadores. O mesmo padrão foi observado para o sabor, onde a Controle e a T5% apresentaram escores semelhantes, enquanto a T10% apresentou menor aceitação (5,53, Nem gostei/Nem desgostei). Definitivamente, T10% teve menor aceitação, pois impactou o equilíbrio de

açúcares, ácidos orgânicos e compostos voláteis. Essa foi a formulação com maior ATT (Tabela 43), intensidade do sabor amargo, odor de tamarindo, ácido e o menos doce, o que interferiu no equilíbrio global do produto (Figura 47). Geralmente, há uma relação entre o grau de doçura e a desejabilidade dos produtos. Produtos mais doces foram caracterizados pelas maiores pontuações entre os consumidores, enquanto os ácidos foram menos aceitos (Nowicka *et al.*, 2016). A impressão global reflete esses padrões, com escores decrescentes conforme aumenta a concentração do PPT.

Para a intenção de compra, valores mais baixos indicam maior probabilidade de compra e valores mais altos indicam rejeição. Os resultados revelaram que T10% obteve a menor média (3,54, Talvez comprasse/Talvez não comprasse), enquanto a Controle (2,89, possivelmente compraria) e a formulação T5% (3,06) tiveram médias mais próximas, com a Controle sendo estatisticamente equivalente à formulação com T5% ($p > 0,05$). Esses resultados refletem o impacto direto das características sensoriais na decisão de compra. A formulação Controle apresentou maior probabilidade em comparação a T10%, devido as alterações sensoriais percebidas nos atributos odor e sabor, corroborando com a o sabor como sendo o atributo que mais influencia a decisão do consumo de *smoothies*. A formulação T10%, apesar de oferecer um perfil nutricional mais atrativo, não apresenta aceitação sensorial.

Esses achados sugerem que, enquanto a formulação com T10% tem um potencial para um mercado nichado, focado em consumidores que valorizam bebidas potencialmente funcionais ricas em proteínas, as formulações Controle e T5% apresentam maior viabilidade comercial para um público mais amplo.

Figura 47 - Análise de Componente Principal (ACP) para atributos CATA (*Check-All-ThatApply*) dos *smoothies* contendo PPT.

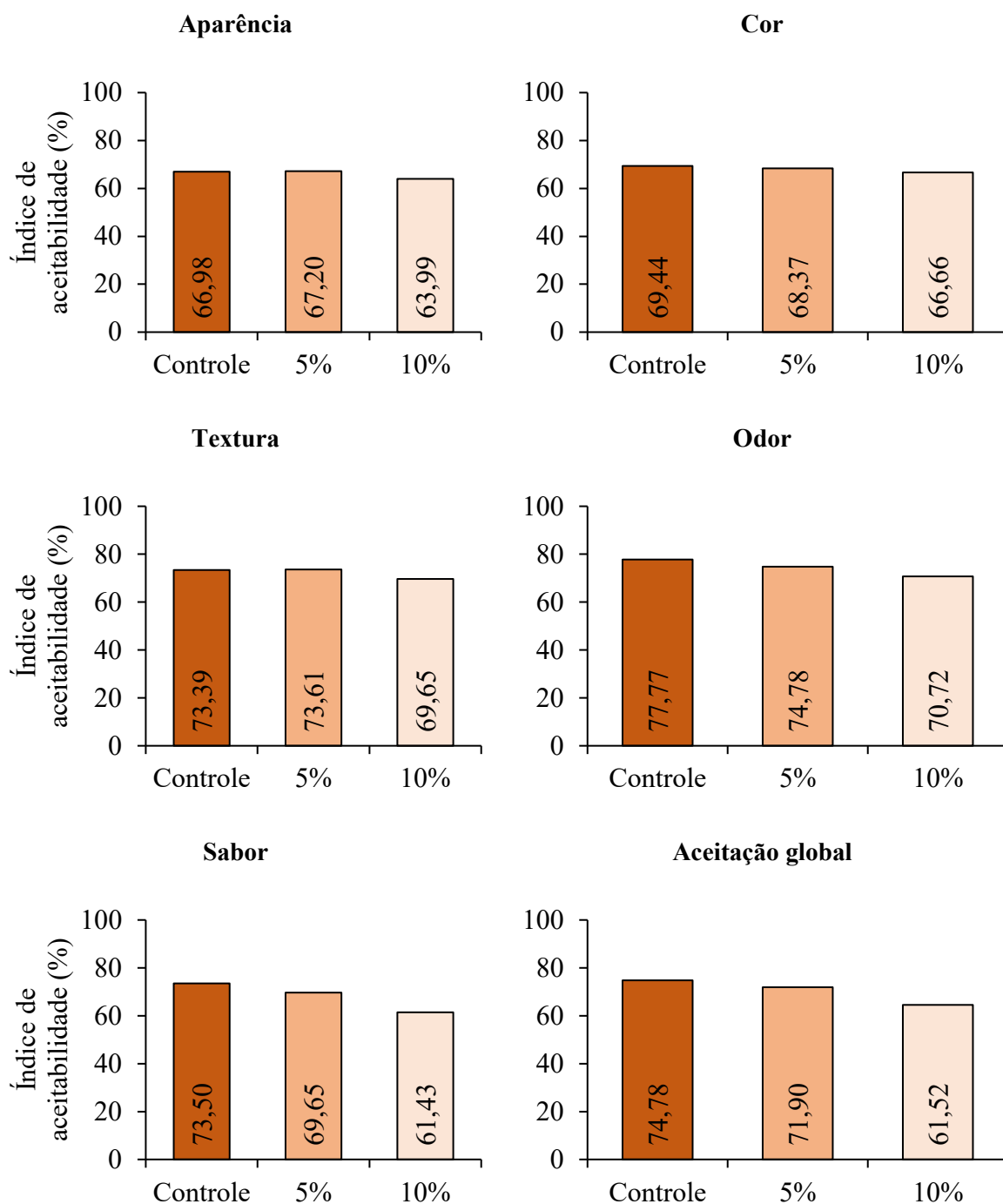


T5: T5% e T10: T10%

Fonte: Autor (2025).

Na Figura 48, os dados mostram os IA dos *smoothies*. Aparência e cor foram os únicos atributos que apresentaram IA menor que 70% para todas as formulações. Possivelmente por terem recebidos descritos como com partículas e heterogêneo (Controle) e marrom e escuro (T10%). O PPT, em concentrações mais altas nos *smoothies*, alterou a aparência e a coloração, gerando um aspecto visual menos atrativo para comercialização. Nowicka *et al.* (2016) destacaram que mudanças significativas na cor podem reduzir a atratividade de *smoothies*, especialmente se o tom final não atender às expectativas dos consumidores. O enriquecimento do *smoothie* de frutas com proteína isolada de ervilha como alternativa proteica de base vegetal, dependendo da concentração adicionada, resultou em um impacto negativo na aceitação dos consumidores (Bäuerle; Kühn, 2022).

Figura 48 - Índices de aceitabilidade das bebidas do tipo *smoothie*.



Fonte: Autor (2025).

Os parâmetros textura e sabor mostraram IA abaixo de 70% para T10% (Figura 3), devido a descritores como aerado, sabor de tamarindo, amargo e adstringente (Figura 2). A aceitação global reflete a interação entre todos os atributos sensoriais. Os IA indicam que a Controle apresentou o maior nível de aceitação (74,78%), seguida pela formulação T5%

(71,90%). A formulação T10% não atingiu o limite mínimo aceitável de 70%, apresentando 61,52%.

8.4 Conclusão

A análise dos parâmetros físico-químicos evidencia a complexidade do comportamento de *smoothies* refrigerados ao longo do armazenamento, influenciados por fatores como concentração do PPT, tipo de embalagem e tempo de armazenamento. Embalagens de vidro demonstraram ser mais eficazes na preservação da qualidade, reduzindo as perdas de água, estabilizando o pH e mantendo os SST, enquanto as embalagens plásticas apresentaram maior susceptibilidade a alterações. Todos os *smoothies* apresentaram-se como fluidos pseudoplásticos e não-Newtonianos. A vida útil é de até 7 dias, com base no desenvolvimento de bolores e leveduras, em embalagens de vidro. A T5% é viável para comercialização, apresentando índice de aceitação de 71,90%. Estratégias de *marketing* que comuniquem claramente os benefícios nutricionais da formulação com 10%, aliadas a possíveis ajustes sensoriais, podem melhorar sua aceitação. Por fim, a relação entre intenção de compra e aceitação sensorial destaca a importância de encontrar um equilíbrio entre benefícios funcionais e prazer sensorial em produtos alimentícios.

9 CONCLUSÕES FINAIS

- A pesquisa evidenciou que os estudos sobre secagem da polpa de tamarindo (PT) são ainda incipientes, apesar do seu potencial nutricional. Desde 1993, a área é investigada majoritariamente em ciência e tecnologia de alimentos, com destaque para o Brasil, que ocupa o segundo lugar em produção científica global, com quatro das dez instituições mais produtivas colaborando entre si. Adjuvantes como a maltodextrina continuam predominantes, embora adjuvantes proteicos tenham ganhado relevância recente, e a inulina, ainda pouco estudada, surge como promissora. O *spray dryer* é o equipamento mais empregado e a otimização estatística dos parâmetros de secagem se mostrou essencial.
- Os dados físico-químicos da PT *in natura* atenderam aos padrões legais vigentes, com exceção da acidez. Os ensaios realizados com *spray dryer* revelaram que a condição com 20% de adjuvante e temperatura de 174,2 °C (Ensaio 11), proporcionou o melhor desempenho, com maior rendimento, menor teor de umidade, maior solubilidade e menor higroscopicidade. O pó obtido apresentou partículas circulares, lisas, rugosas e de fácil escoamento segundo o índice de fluxo (*If*).
- A análise isolada dos adjuvantes evidenciou que a inulina reteve 25,24% dos polifenóis extraíveis totais, enquanto a PISL gerou os pós mais amarelados. Os pós contendo inulina, maltodextrina e PISL foram classificados como muito coesivo, coesivo e de fácil escoamento, respectivamente, segundo o *If*. As partículas contendo PISL mostraram-se maiores, menos agregadas e com superfícies rugosas. O uso de PISL resultou em maior rendimento (35,21%) e em pó mais fluido pelo *If*, com menores densidades e ângulos de atrito. Os parâmetros de fluidez mostraram correlações lineares significativas entre si ($p \leq 0,05$).
- O delineamento de misturas confirmou a viabilidade do uso de maltodextrina, inulina e PISL como adjuvantes de secagem para obtenção de pó de PT por aspersão (condição escolhida). O pó obtido a partir da combinação de 50% de maltodextrina e 50% de PISL (Ensaio 5) se destacou por apresentar maior rendimento, menor teor de umidade, maior solubilidade e menor higroscopicidade, além de demonstrar escoamento facilitado. A PISL aumentou o rendimento e a maltodextrina reduziu a umidade de forma significativa ($p \leq 0,10$).

- A avaliação da estabilidade da condição escolhida por 240 dias revelou um aumento significativo da umidade e do pH, e redução da solubilidade, higroscopicidade e teor de PET ($p \leq 0,05$); ainda assim, ao final do período, o pó manteve baixa umidade, baixa higroscopicidade e elevada solubilidade, características desejáveis para produtos em pó de aplicação industrial, o que reforça sua adequação como ingrediente funcional.
- A formulação otimizada de pó de PT apresenta ampla possibilidade de aplicação em produtos alimentícios como bebidas vegetais, com potencial para substituir ingredientes artificiais e ampliar a oferta de produtos com valor nutricional agregado.
- O estudo dos *smoothies* mostrou que a qualidade do produto é fortemente afetada pela concentração do pó, tipo de embalagem e tempo de armazenamento. Embalagens de vidro foram mais eficientes na preservação das características físico-químicas e microbiológicas, enquanto as embalagens plásticas apresentaram maior susceptibilidade a alterações. A vida útil microbiológica foi de até 7 dias em refrigeração (4 °C) quando armazenados, principalmente, em frascos de vidro.
- A análise reológica revelou que todos os *smoothies* apresentaram comportamento pseudoplástico e não-Newtoniano.
- A análise sensorial mostrou que a formulação com 5% de pó de PT (T5%) foi viável para comercialização, com índice de aceitabilidade de 71,90%.
- Este trabalho contribui significativamente para a área de ciência e tecnologia de alimentos ao explorar de maneira inédita a secagem da polpa de tamarindo com diferentes adjuvantes, utilizando abordagens estatísticas robustas e avaliando sua aplicação prática na indústria alimentícia. Ao integrar análises físico-químicas, morfológicas, de estabilidade e sensoriais, o estudo oferece subsídios concretos para o desenvolvimento de novos produtos saudáveis, com alegações funcionais e tecnologicamente viáveis, fortalecendo a inovação e a sustentabilidade no setor alimentício.

REFERÊNCIAS

- ADAMU, B. B.; AYISA, T. T.; BABAYI, H.; ADEBAYO, A. I. Effect of Cold Storage on the Nutritive and Microbiological Quality of Fermented Soy Drink from Tamarind and Nono. **Asian Food Science Journal**, v. 20, p. 1–12, 2021. DOI: 10.9734/afsj/2021/v20i1130371
- ADITIVOS & INGREDIENTES. **Maltodextrina, características estruturais e aplicações**. Disponível em: http://aditivosingredientes.com.br/upload_arquivos/201603/2016030046347001459191801.pdf. Acesso em: 22 nov. de 2021.
- AFONSO, M. R. A.; RODRIGUES, B. K. M.; COSTA, J. M. C.; RYBKA, A. C. P.; WURLITZER, N. J. Microstructure and flow properties of lyophilized mango pulp with maltodextrin. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, p. 133-137, 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n2p133-137>
- AHMED, W.; RASHID, S. Functional and therapeutic potential of inulin: A comprehensive review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, p. 1– 13, 2019. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1355775>
- AKAJIAKU, L. O.; NWOSU, J. N.; ONUGBU, N. C.; NJOKU, N. E.; EGBENEKE, C. O. Proximate, mineral and anti-nutrient composition of processed (Soaked and Roasted) tamarind (*Tamarindus indica*) seed nut. **Current Research in Nutrition and Food Science**, v. 2, p. 136– 145, 2014. <https://dx.doi.org/10.12944/CRNFSJ.2.3.05>
- AKTHER, S.; ALIM, M. A.; BADSHA, M. R.; MATIN, A.; AHMAD, M.; HOQUE, S. M. Z. Formulation and quality evaluation of instant mango drink powder. **Food Research**, v. 4, 1287–1296, 2020. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(4\).077](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(4).077)
- ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Moisture adsorption isotherms of red brazilian cherry powder. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, p. 11-20, 2007.
- ALVES, T. B.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Effects of the carrier agents addition on the lyophilized red pitaya pulp powder (*H. polyrhizus*). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, e950986105, 2020. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i8.6105>
- AOAC. Association of Official Analytical Chemist. **Official methods of analysis**. 20. ed. Washington, D.C., 2016.
- APHA. American Public Health Association. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. Washington, 2001.
- ARAÚJO, J. S. F.; SOUZA, E. L.; OLIVEIRA, J. R.; GOMES, A. C. A.; KOTZEBUE, L. R. V.; AGOSTINI, D. L. S.; OLIVEIRA, D. L. V.; MAZZETTO, S. E.; SILVA, A. L.; CAVALCANTI, M. T. Microencapsulation of sweet orange essential oil (*Citrus aurantium* var. *dulcis*) by liophylization using maltodextrin and maltodextrin/gelatin mixtures: Preparation, characterization, antimicrobial and antioxidant activities. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 143, p. 991-999, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.09.160>
- ARAÚJO, J. S. F.; SOUZA, E. L.; OLIVEIRA, J. R.; GOMES, A. C. A.; KOTZEBUE, L. R. V.; AGOSTINI, D. L. S.; OLIVEIRA, D. L. V.; MAZZETTO, S. E.; SILVA, A. L.;

- CAVALCANTI, M. T. Microencapsulation of sweet orange essential oil (*Citrus aurantium* var. *dulcis*) by liophylization using maltodextrin and maltodextrin/gelatin mixtures: Preparation, characterization, antimicrobial and antioxidant activities. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 143, p. 991-999, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.09.160>
- ARES, G.; BARREIRO, C.; DELIZA, R.; GIM'ENEZ, A.; G'AMBARO, A. Application of a Check-All-That-Apply question to the development of chocolate milk desserts. **Journal of Sensory Studies**, v. 25, p. 67 - 86, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.2010.00290.x>
- AZIZ, M. G.; YUSOF, Y. A.; BLANCHARD, C.; SAIFULLAH, M.; FARAHNAKY, A.; SCHEILING, G. Material properties and tableting of fruit powders. **Food Engineering Reviews**, v. 10, n. 4, p. 66-80, 2018. <https://doi.org/10.1007/s12393-018-9175-0>
- BÄUERLE, L.; KÜHN, S. Development of a protein supplemented fruit smoothie using pea protein isolate as a plant-based protein alternative. **Future Foods**, v. 5, 100145, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100145>
- BERRY, R.; BRADLEY, M.; MCGREGOR, R. Brookfield poder flow tester – Results of round robin tests with CRM-116 limestone poder. **Proceeding of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering**, v. 229, p. 215-230, 2015. <https://doi.org/10.1177/0954408914525387>
- BHANDARI, B.; BANSAL, N.; ZHANG, M.; SCHUCK, P. Handbook of food powders. Woodhead Publishing Limited. (Eds.). (2013).
- BHUSARI, S. N.; MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, v. 266, p. 354-364, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.06.038>
- BOTREL, D. A.; RODRIGUES, I. C. B.; SOUZA, H. J. B.; FERNANDES, R. V. B. Application of inulin in thin-layer drying process of araticum (*Annona crassiflora*) pulp. **LWT**, v. 69, p. 32-39, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.018>
- BOUROU, A.; NDIAYE, F.; DIOUF, M.; DIOP, T. Tamarind (*Tamarindus indica* L.) parkland mycorrhizal potential within three agro-ecological zones of Senegal. **Fruits**, Paris, v. 65, n. 6, p. 3- 13, 2010. <https://doi.org/10.1051/fruits/2010032>
- BRAGA, M. B.; ROCHA, S. C. S. Spouted bed drying of milk–blackberry pulp: Analysis of powder production efficiency and powder characterization. **Drying Technology**, v. 33, 2015. <https://doi.org/10.1080/07373937.2014.999372>
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. Instrução Normativa - IN nº 161, de 01 de Julho de 2022. **Estabelece os padrões microbiológicos dos alimentos**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 06 julho de 2022.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. Instrução Normativa - IN nº 75, de 08 de Outubro de 2020. **Estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 09 outubro de 2020.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. Resolução – RDC nº 216, de 15 de Setembro de 2004. **Estabelece procedimentos de boas práticas para serviço de**

alimentação, garantindo as condições higiênico-sanitárias do alimento preparado. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 setembro de 2004.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária- ANVISA. Instrução Normativa - IN nº 211, de 1º de Março de 2023. **Estabelece as funções tecnológicas, os limites máximos e as condições de uso para os aditivos alimentares e os coadjuvantes de tecnologia autorizados para uso em alimentos.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 08 março de 2023.

BRASIL. Conselho Nacional de Saúde - CNS. Resolução – Resolução nº 466, de 12 de Dezembro de 2012. **Aprovar as seguintes diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 12 dezembro de 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Secretaria de Defesa Agropecuária. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 37, de 1 de outubro de 2018. **Parâmetros analíticos e quesitos complementares aos padrões de identidade e qualidade de polpa de fruta, anexo II.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 de outubro de 2018.

BUDNIMATH, S. H.; BHUVANESHWARI, G.; GANIGER, V. M.; JAGADEESH, S. L.; GOUDAR, G.; PATIL, S. N.; CHANDRASHEKAR, V. M. Physical, reconstitution and phenolic properties of instant drink mix prepared with *Moringa oleifera* leaf, raw banana and whey protein concentrate. **Measurement: Food**, v. 11, 100108, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.meafoo.2023.100108>

CALUWÉ, E. D.; HALAMOUÁ, K.; DAMME, P. V. Tamarindus indica L. – A review of traditional uses, phytochemistry and pharmacology. **African Natural Plant Products: New Discoveries and Challenges in Chemistry and Quality**, Chapter 5pp, v. 1021, p. 85-110, 2009.

CAMPELO, P. H.; SANCHES, E. A.; FERNANDES, R. V. B.; BOTREL, D. A.; BORGES, S. V. Stability of lime essential oil microparticles produced with protein-carbohydrate blends. **Food Research International**, v. 105, p. 936-944, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.034>

CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, J. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 6, n. 4, p. 420 - 428, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2005.05.003>

CAPRINO, O. A.; TANG, J.; NINDO, C. I.; SABLANI, S. S.; POWERS, J. R.; FELLMAN, J. K. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine ‘Carabao’ var.) powder. **Journal of Food Engineering**, v. 111, p. 135–148, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.010>

CARDOSO, L. M.; BATISTA, A. G.; HAMACEK, F. R.; DIAS, P. A.; ROSA, B. C.; DESSIMONI, P. V. Quality of pulp and jellies of Tamarind from the Brazilian Cerrado/Qualidade da polpa e geleias de Tamarindo do Cerrado Brasileiro. **Brazilian Journal of Food and Nutrition**, v. 23, n. 3, p. 355-361, 2012.

CARNEIRO, L. M.; PIRES, C. R. F.; LIMA, J. P.; PEREIRA, P. A. P.; LIMA, L. C. O. Avaliação da estabilidade de geleias de amora-preta acondicionadas em diferentes

embalagens. **Journal of Bioenergy and Food Science**, v. 3, n. 2, p. 89 - 102, 2016.
<http://dx.doi.org/10.18067/jbfs.v3i2.99.g134>

CARR, R. L. (1965). Evaluating flow properties of solids. *Chemical Engineering Journal*, 72, 163–168

CASTRO, T. M. N.; ZAMBONI, P. V.; DOVADONI, S.; CUNHA NETO, A.; RODRIGUES, L. J. Parâmetros de qualidade de polpas de frutas congeladas. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 74, p. 426-436, 2015.

CAVALCANTE, C. E. B.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Avaliação dos parâmetros de secagem da polpa de graviola em pó obtida por secagem em spray dryer. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, e2016015, 2017.
<https://doi.org/10.1590/1981-6723.12117>

CEBALLOS, A. M.; GIRALDO, G. I.; ORREGO, C. E. Effect of freezing rate on quality parameters of freeze dried soursop fruit pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 2, p. 360-365, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.02.010>

CELESTINO, S. M. C. Princípios de secagem de alimentos. Planaltina – DF: Embrapa Cerrados, 2010.

CESARONE, M. R.; DI RENZO, A.; ERRICHI, S.; SCHONLAU, F.; WILMER, J. L.; BLUMENFELD, J. Improvement in Circulation and in Cardiovascular Risk Factors With a Proprietary Isotonic Bioflavonoid Formula OPC-3®. **Angiology**, v. 59, p. 408-414, 2008.
<http://dx.doi.org/10.1177/0003319708321801>

CHANG, L.S.; OOI, Y. W.; PUI, L. P. Production of enzymatic hydrolysed spray-dried honeydew melon (*Cucumis melo* L.) powder. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 10, 100364, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100364>

CHINWAN, D.; CASTELL-PEREZ, M. E. Effect of conditioner and moisture content on flowability of yellow cornmeal. **Food Science & Nutrition**, v. 7, p. 3261-3272.
<https://doi.org/10.1002/fsn3.1184>

CHRONAKIS, I. S. On the molecular characteristics, compositional properties, and structuralfunctional mechanisms of maltodextrins: A Review. **Critical Reviews in Food Science**, v. 38, n. 7, p. 599-637, 1998.

CIELab. Commission Internationale de l'Éclairage. Technical Report. 3.ed. Vienna, 2004.

COMERLATO, G. M. B.; PROCIANOY, J. L. Método percentual redução de custos de agência em grupos de empresas similares abertas. **Revista de Administração de Empresas**, v. 35, n. 6, p. 30 - 39, 1995.

CYNTHIA, S. J.; BOSCO, J. D.; BHOL, S. Physical and Structural Properties of Spray Dried Tamarind (*Tamarindus indica* L.) Pulp Extract Powder with Encapsulating Hydrocolloids. **International Journal of Food Properties**, v. 18, p. 1793-1800, 2015.
<https://doi.org/10.1080/10942912.2014.940536>

DANTAS, D. A.; SANTOS, E. N. F.; MIGUEL, D. P.; MELO, C. M. T.; FILHO, J. H. de O.; SANTOS, H. M. dos; JARDIM, F. B. B. Perfil Socioeconômico e Hábito de Consumo de Bebidas à Base de Frutas de Servidores de um Instituto Federal de Educação. **Ensaio e**

Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde, v. 25, n. 5- esp., p. 655–660, 2021. <https://doi.org/10.17921/1415-6938.2021v25n5-esp.p655-660>

DANTAS, S. C. M.; PONTES, JÚNIOR, S. M.; MEDEIROS, F. G. M.; SANTOS JÚNIOR, L. C.; ALSINA, O. L. S.; MEDEIROS, M. F. D. Spouted-bed drying of acerola pulp (*Malpighia emarginata* DC): Effects of adding milk and milk protein on process performance and characterization of dried fruit powders. **Journal of Food Process Engineering**, v. 42, e13205, 2019. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13205>

DENG, S.; WEST, B. J.; JENSEN, C. J. A quantitative comparison of phytochemical components in global noni fruits and their commercial products. **Food Chemistry**, v. 122, p. 267–270, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.01.031>

DHARANI, M.; KARTHIAYANI, A.; MANOHARAN, A. P.; SUDHA, K. Optimization and formulation of Conjugated Linoleic Acid (CLA) oil-in-water beverage emulsion stabilized in whey protein isolate using response surface methodology. **Food Chemistry Advances**, v. 1, 100109, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100109>

DONTHU, N.; KUMAR, S.; MUKHERJEE, D.; PANDEY, N.; LIM, W. M. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, v. 133, p. 285–296, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>

DÜSENBERG, B.; SCHMIDT, J.; SENSOY, I.; BÜCK, A. Flowability of plant based food powders: Almond, chestnut, chickpea, coconut, hazelnut and rice. **Journal of Food Engineering**, v. 357, 111606, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111606>

DUTCOSKY, S. D. **Análise sensorial de alimentos**. Ed 4. Curitiba - PR: Editora Universitária Champagnat, 1–531, 2013.

EASTMAN, J. E.; MOORE, C. O. Cold water soluble granular starch for gelled food composition. U.S. Patent 4465702, 1984.

EZZAT, M. A.; ZARE, D.; KARIM, R.; GHAZALI, H. M. Trans- and cis-urocanic acid, biogenic amine and amino acid contents in ikan pekasam (fermented fish) produced from Javanese carp (*Puntius gonionotus*) and black tilapia (*Oreochromis mossambicus*). **Food Chemistry**, v. 172, p. 893-899, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.158>

FALGUERA, V.; VÉLEZ-RUIZ, J. F.; ALINS, V.; IBARZ, A. Rheological Behaviour of Concentrated Mandarin Juice at Low Temperatures. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 45, n. 10, p. 2194–2200, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02392.x>

FANDOHAN, B.; ASSOGBADJO, A. E.; KAKAI, R. G.; KYNDT, T.; DE CALUWÉ, E.; CODJIA, J. T. C.; SINSIN, B. Women's Traditional Knowledge, Use Value, and the Contribution of Tamarind (*Tamarindus indica* L.) to Rural Households' Cash Income in Benin. **Economic Botany**, v. 64, p. 248–259, 2010.

FANG, Z.; BHANDARI, B. Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice. **Food Research International**, v. 48, n. 2, p. 478–483, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.05.025>

FARIA, J. V.; VALIDO, I. H.; PAZ, W. H. P.; DA SILVA, F. M. A.; DE SOUZA, A. D. L.; ACHO, L. R. D.; LIMA, E. S.; BOLETI, A. P. A.; MARINHO, J. V. N.; SALVADOR, M. J.;

- DOS SANTOS, E. L.; SOARES, P. K.; LÓPEZ-MESAS, M.; MAIA, J. M. F.; KOOLEN, H. H. F.; BATAGLION, G. A. Comparative evaluation of chemical composition and biological activities of tropical fruits consumed in Manaus, central Amazonia, Brazil. **Food Research International**, v. 139, p. 109836, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109836>
- FARIA, M.; OLIVEIRA, L. B. D.; COSTA, F. E. C. Qualidade microbiológica de polpas de açaí congeladas. **Alimentos e Nutrição**, v. 23, p. 243-249, 2012.
- FARIAS, D. P.; DE ARAÚJO, F. F.; NERI-NUMA, I. A.; PASTORE, G. M. Prebiotics: Trends in food, health and technological applications. **Trends in Food Science & Technology**, v. 93, p. 23 – 35, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.09.004>
- FEITOSA, B. F.; ALCÂNTARA, C. M. D.; LUCENA, Y. J. A. D.; OLIVEIRA, E. N. A. D.; CAVALCANTI, M. T.; MARIUTTI, L. R. B.; LOPES, M. F. Green Banana Biomass (*Musa Spp.*) as a Natural Food Additive in Artisanal Tomato Sauce. **Food Research International**, v. 170, p. 113021, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113021>
- FEO, G. D.; FERRARA, C.; MINICHINI, F. Comparison between the perceived and actual environmental sustainability of beverage packagings in glass, plastic, and aluminium. **Journal of Cleaner Production**, v. 33, 130158, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130158>
- FERNANDES, R. B. B.; BORGES, S. V.; BOTREL, D. A.; OLIVEIRA, C. R. Physical and chemical properties of encapsulated rosemary essential oil by spray drying using whey protein–inulin blends as carriers. **International Journal of Food Science + Technology**, v. 49, p. 1522-1529, 2014. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12449>
- FERNÁNDEZ-HUAZO, S.; RUIZ-LÓPEZ, I. I.; OCHOA-VELASCO, C. E.; HERNÁNDEZ-CARRANZA, P. Development and characterization of functional beverage based on soursop (*Annona muricata* L.), inulin, and whey powders. **Applied Food Research**, v. 4, n. 2, p. 100472, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100472>
- FERRARI, C. C.; RIBEIRO, C. P.; AGUIRRE, J. M. Secagem por atomização de polpa de amora-preta usando maltodextrina como agente carreador. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, n. 2, p. 157-165, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1981-67232012005000009>
- FINNEY, J.; BUFFO, R.; REINECCIUS, G. A. Effects of type of atomization and processing temperatures on the physical properties and stability of spray-dried flavors. **Journal of Food Science**, v. 67, p. 1108–1114, 2002. <https://doi.org/10.1016/j.1365-2621.2002.tb09461.x>
- FITZPATRICK, J. J.; IQBAL, T.; DELANEY, C.; TWOMEY, T.; KEOGH, M. K. Effect of powder properties and storage conditions on the flowability of milk powders with different fat contents. **Journal of Food Engineering**, v. 64, p. 435-444, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.11.011>
- FITZPATRICK, J. J.; IQBAL, T.; DELANEY, C.; TWOMEY, T.; KEOGH, M. K. Effect of powder properties and storage conditions on the flowability of milk powders with different fat contents. **Journal of Food Engineering**, v. 64, p. 435-444, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.11.011>
- FONGIN, S.; GRANADOS, A. E. A.; HARNKARNSUJARIT, N.; HAGURA, Y.; KAWAI, K. Effects of maltodextrin and pulp on the water sorption, glass transition, and caking

properties of freeze-dried mango powder. **Journal of Food Engineering**, v. 247, p. 95-103, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.11.027>

FONSECA, J. V. S.; BATISTA, J. D. F.; DE OLIVEIRA, M. C.; DINIZ, N. C. M.; LIMA, M. dos S.; MADRUGA, M. S.; MAGNANI, M.; BORGES, G. da S. C. Low-fat and rich-fibers macauba (*Acrocomia* spp.) sauces: Physical and oxidative stability, nutritional quality and sensory characteristics. **Food Bioscience**, v. 43, p. 101272, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101272>

Food and Drug Administration (2022) 3 Bacteriological Analytical Manual (BAM), chapter 5: *Salmonella*, <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bacteriological-analytical-manual-bam-chapter-5-salmonella> (acesso em 20 de março de 2022).

FOX, P. F. Milk proteins: general and historical aspects. In *Advanced Dairy Chemistry: Vol. I: Proteins*; FOX, P. F, Mc-Sweeney, P. L. H, Eds.; Kluwer Academic/Plenum Publishers: Nova Iorque, 2003; pp 1 – 48.

FRANCIS, F. J. **Analysis of anthocyanins**. In: MARKAKIS, P. (Ed). *Anthocyanins as food colors*. New York: Academic Press, 1982. p. 181-207.

GARCÍA, J. C. V.; RODRÍGUEZ, K. A. F.; LÓPEZ, F. G.; PÉREZ, E. G.; ROSADO, O. L.; ROSAS, F. H. Systems management and marketing of tamarind (*Tamarindus indica* L.) in three municipalities of Veracruz. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v. 3, n. 6, p. 1217-1230, 2012.

GAVA, A. J. *Tecnologia de Alimentos, Princípios e Aplicações*. São Paulo: Nobel, 2008, 511p.

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 & Technology**, v. 52, p. 1p33 – 1941, 2017. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13476>

GEETHALAXMI, M.; SUNIL, C. K.; VENKATACHALAPATHY, N. Tamarind Seed Polysaccharides, Proteins, and Mucilage: Extraction, Modification of Properties, and Their Application in Food. **Sustainable Food Technology**, v. 2, n. 6, p. 1670–1685, 2024. <https://doi.org/10.1039/D4FB00224E>

GHAFFARIPOUR, S.; BILCKE, N. V. D.; SAMSON, R. The importance of seed reserve on performance and breeding of tamarind seedlings. **Scientia Horticulturae**, v. 222, p. 145- 152, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.04.032>

GONÇALVES, M. V. V. A.; SILVA, J. P. L.; ROSENTHAL, A.; FURTADO, A. S. L.; CALADO, V. M. A. Incidência de fungos termorresistentes e propriedades microbiológicas da polpa de cupuaçu congelada (*Theobroma grandiflorum* Schum). **Perspectivas Online: Biológicas & Saúde**, v. 14, p. 41-49, 2014.

GOODRIDGE, R.; TUCK, C.; HAGUE, R. Laser sintering of polyamides and other polymers. **Progress in Materials Science**, v. 57, p. 229-267, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2011.04.001>

GOPI, D.; BHUVANESHWARI, N.; INDIRA, J.; KANIMOZHI, K.; KAVITHA, L. A novel green template assisted synthesis of hydroxyapatite nanorods and their spectral

characterization. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, 107, p. 196-202, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2013.01.052>

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. A method for pomegranate seed application in food industries: Seed oil encapsulation. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, p. 639–652, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2012.06.001>

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. A new technique for spray drying orange juice concentrate. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 11, n. 2, p. 342-351, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2009.12.001>

GUO, C.; YANG, J.; WEI, J.; LI, Y.; XU, J.; JIANG, Y. Antioxidant activities of peel, pulp and seed fractions of common fruits as determined by FRAP assay Changjiang. **Nutrition Research**, v. 23, p. 1719–1726, 2003.

GURGEL DE MEDEIROS, L. D.; ALMEIDA DE CARVALHO, L. B.; SILVA FREITAS, E. P.; PORTO, D. L.; SOARES ARAGÃO, C. F.; CANINDÉ DE SOUSA JÚNIOR, F.; FLORENTINO DA SILVA CHAVES DAMASCENO, K. S.; FERNANDES DE ASSIS, C.; ARAÚJO MORAIS, A. H.; PASSOS, T. S. Alternative flours from pulp melons (*Cucumis melo* L.): Seasonality influence on physical, chemical, technological parameters, and utilization in bakery product. **Heliyon**, v. 10, n. 9, p. e29609, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29609>

GURJÃO, K. C. O. **Desenvolvimento, armazenamento e secagem de tamarindo (*Tamarindus indica* L.)**. 2006. 145f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB, 2006.

HALIM, A.; WAZED, A.; OBAID, S. A.; ANSARI, M. J.; TAHOSIN, A.; RAHMAN, T.; NOOR, F.; MOZUMDER, N. H. M. R.; KHATUN, A. A. Effect of storage on physicochemical properties, bioactive compounds and sensory attributes of drinks powder enriched with pumpkin (*Cucurbita moschata* L.). **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 18, 101337, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101337>

HAMACEK, F. R.; SANTOS, P. R. G.; CARDOSO, L. M.; SANT'ANA, H. M. P. Nutritional composition of tamarind (*Tamarindus indica* L.) from the Cerrado of Minas Gerais, Brazil. **Fruits**, v. 68, p. 381-395, 2013. <https://doi.org/10.1051/fruits/2013083>

HARAGUCHI, F. K.; ABREU, W. C.; PAULA, H. Proteínas do soro do leite: composição, propriedades nutricionais, aplicações no esporte e benefícios para a saúde humana. **Revista de Nutrição**, v. 19, p. 479 - 488, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1415-52732006000400007>

HAUSNER, H. H. Friction conditions in a mass of metal powder. **International Journal of Powder Metallurgy**, v. 3, p. 7–13, 1967. <https://doi.org/10.1002/fsn3.490>

HAVINGA, R. M.; HARTL, A.; PUTSCHER, J.; PREHSLER, S.; BUCHMANN, C.; VOGL, C. R. *Tamarindus indica* L. (Fabaceae): Patterns of use in traditional African medicine. **Journal of Ethnopharmacology**. v. 127, n. 3, p. 573-588, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2009.11.028>

HOFFMANN, F. L. Fatores limitantes à proliferação de microrganismos em alimentos. **Brasil Alimentos**, São Paulo, v. 9, n. 1, p.23-30, 2001.

HOLLENBACH, A. M.; PELEG, M.; RUFNER, R. Effect of four anticaking agents on the bulk characteristics of ground sugar. **Journal of Food Science**, v. 47, p. 538-544. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1982.tb10119.x>

HUAZO, S. F.; LÓPEZ, I. I. R.; VELASCO, C. E. O.; CARRANZA, P. H. Development and characterization of functional beverage based on soursop (*Annona muricata* L.), inulin, and whey powders. **Applied Food Research**, v. 4, 100472, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100472>

IBRAHIM, I. M. A.; AAL, H. Z. A.; SALEH, H. M. Utilization of Hibiscus, Tamarind and Carob in Production of Low Calories Healthy Soft Drinks. **European Journal of Nutrition & Food Safety**, v. 16, n. 10, p. 160–173, 2024. DOI: 10.9734/ejnf/2024/v16i101566

INTERNATIONAL CENTRE FOR UNDERUTILISED CROPS (ICUC). **Tamarind extension manual**. [S. l.]: International Centre for Underutilised Crops, 2002. 30 p.

ITURRI, M. S.; CALADO, C. M. B.; PRENTICE, C. Microparticles of *Eugenia stipitata* pulp obtained by spray-drying guided by DSC: An analysis of bioactivity and *in vitro* gastrointestinal digestion. **Food Chemistry**, v. 334, 127557, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127557>

IZZO, A. A.; CARLO, G. D. I.; BORRELLI, F.; ERNST, E. Cardiovascular pharmacotherapy and herbal medicines: the risk of drug interaction. **International Journal of Cardiology**, v.98, n.1, p.1- 14, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2003.06.039>

JAN, S.; GHOROI, C.; SAXENA, D. C. Characterization of bulk and shear properties of basmati and non-basmati rice flour. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, p. 667-673, 2017. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8512>

JAY, J. M. *Microbiologia de Alimentos*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005.

JAYA, S.; DAS, H. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powders properties. **Journal of Food Engineering**, v. 63, n. 2, p. 125-134, 2004. [http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00135-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00135-3)

JENIKE, A. W. Storage and flow of solids. Bulletin No. 123, Utah State University. 1964. <https://ci.nii.ac.jp/naid/10017095533/>

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

KEENAN, D. F.; BRUNTON, N. P.; GORMLEY, T. R.; BUTLER, F.; TIWARI, B. K.; PATRAS, A. Effect of thermal and high hydrostatic pressure processing on antioxidant activity and colour of fruit smoothies. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.11, p.551-556, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2010.07.003>

KHA, T. C.; NGUYEN, M. H.; ROACH, P. D. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the gac (*Mormodica cochinchinesis*) fruit aril powder. **Journal of Food Engineering**, v. 98, n. 3, p. 385-392, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.01.016>

- KHAIRUNNUUR, F. A. J.; ZULKHAIRI, A.; AZRINA, A.; MOKLAS, M. M.; KHAIRULLIZAM, S.; ZAMREE, M. S.; SHAHIDAN, M. A. Nutritional Composition, in vitro Antioxidant Activity and *Artemia salina* L. Lethality of Pulp and Seed of *Tamarindus indica* L. Extracts. **Malaysian Journal of Nutrition**, v. 15, p. 65-75, 2009.
- KIM, B.; WOO, S.; KIM, M. J.; KWON, S. W.; LEE, J.; SUNG, S. H.; KOH, H. J. Identification and quantification of flavonoids in yellow grain mutant of rice (*Oryza sativa* L.). **Food Chemistry**, v. 241, p. 154–162, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.089>
- KIM, J. -S.; KWAK, E. -J. Quality Characteristics of Sulgidduk Containing Yam (*Dioscorea japonica* THUMB) Powder. **Journal of the Korean Society of Food Culture**, v. 25, n. 3, p. 342 – 349, 2010. <https://doi.org/10.7318/KJFC.2010.25.3.342>
- KIM, Y.; FAQIH, M. N.; WANG, S. S. Factors affecting gel formation of inulin. **Carbohydrate Polymers**, v. 46, p. 135–145, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(00\)00296-4](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(00)00296-4)
- KORESE, J. K.; ACHAGLINKAME, M. A.; ADZITEY, F. Effect of different packaging materials on storage stability of *Gardenia erubescens* Stapf. & Hutch. dried fruits and powder. **Applied Food Research**, v. 2, n. 2, 100143, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100143>
- KOWALSKI, S. J.; SZADZINSKA, J. Convective-intermittent drying of cherries preceded by ultrasonic assisted osmotic dehydration. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 82, p. 65–70, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2014.05.006>
- KUHN, F.; AZEVEDO, E. S.; NOREÑA, C. P. Z. Behavior of inulin, polydextrose, and egg albumin as carriers of *Bougainvillea glabra* bracts extract: Rheological performance and powder characterization. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, e14834, 2020. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14834>
- Labmaq do Brasil Ltda. (2003b). Manual de Operações do *Spray Dryer* MSD 5.0.
- MASTERS, K. 1985. *Spray Drying Handbook*. 4. ed. Londres: George Godwin.
- LACERDA, E. C. Q.; CALADO, V. M. A.; MONTEIRO, M.; FINOTELLI, P. V.; TORRES, A. G.; PERRONE, D. Starch, inulin and maltodextrin as encapsulating agents affect the quality and stability of jussara pulp microparticles. **Carbohydrate Polymers**, v. 151, p. 500-510, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.05.093>
- LARRAURI, J. A.; RUPÉREZ, P.; SAURA-CALIXTO, F. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 45, n. 4, p. 1390- 1393, 1997.
- LAVOYER, F. C. G. **Estudo da secagem de polpa de coco verde e viabilidade de sua utilização na indústria**. 2012. 74 f. Dissertação de Mestrado (Curso de Engenharia e Ciência de Alimentos, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas). Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2012.
- LI, M. Classifying and ranking topic terms based on a novel approach: role differentiation of author keywords. **Scientometrics**, v. 116, p. 77–100, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11192-018-2741-7>

LI, T. S.; SULAIMAN, R.; RUKAYADI, Y.; RAMLI, S. Effect of gum Arabic concentrations on foam properties, drying kinetics and physicochemical properties of foam mat drying of cantaloupe. **Food Hydrocolloids**, v. 116, 106492, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106492>

LIMA, A. C. S.; AFONSO, M. R. A.; RODRIGUES, S.; AQUINO, A. C. D. Flowability of spray-dried sapodilla pulp powder. **Journal of Food Process Engineering**, v. 45, e14092, 2022. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14092>

LIMA, C. A.; FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V.; COHEN, K. O.; GUIMARÃES, T. Características físico-químicas, polifenóis e flavonoides amarelos em frutos de espécies de pitaias comerciais e nativas do Cerrado. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, p. 565-570, 2013. <http://dx.doi.org/10.590/S0100-29452013000200027>

LIMA, E. D. P. A.; LIMA, C. A. A.; ALDRIGUE, M. L.; GONDIM, P. J. S. Caracterização física e química dos frutos de umbu-cajazeira (*Spondias* spp) em cinco estádios de maturação, da polpa congelada e néctar. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, p. 338-343, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452002000200013>

LIMA, J. S. S.; SILVA, L. M. R.; TORRES, L. B. V.; WURLITZER, N. J.; FIGUEIREDO, R. W. Development of Acerola, Mombin and Açaí Mixed Beverage Added Soybean Extract. **Current Nutrition & Food Science**, v. 14, n. 5, p. 400 - 405, 2018. DOI: 10.2174/1573401313666170720120523

LOPES NETO, J. P.; NASCIMENTO, J. W. B. D.; SILVA, V. R. D.; LOPES, F. F. D. M. Propriedade de fluxo e característica de escoabilidade de rações avícolas para dimensionamento de silos. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 851–859, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000300035>

LOPES NETO.; MEIRA, A. S.; NASCIMENTO, J. W. B. Flow properties and pattern flow prediction of food industrial powders. **Journal of Brazilian Association of Agricultural Engineering**, v. 37, p. 627-636, 2017. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v37n4p627-636/2017>

MACFIE, H. J.; BRATCHELL, N.; GREENHOFF, K.; VALLIS, L. V. Designs to balance the effect of order of presentation and first-order carry-over effects in hall tests. **Journal of Sensory Studies**, v. 4, p. 129-148, 1989.

MANDIM, F.; PETROPOULOS, S. A.; PINTO, C. A.; HELENO, S. A.; RODRIGUES, P.; DIAS, M. I.; SARAIVA, J. A.; SANTOS-BUELGA, C.; FERREIRA, I. C. F. R.; BARROS, L.; PINELA, J. Novel Cold and Thermally Pasteurized Cardoon-Enriched Functional Smoothie Formulations: A Zero-Waste Manufacturing Approach. **Food Chemistry**, v. 456, 139945, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139945>

MARTINS, W. S.; ARAÚJO, J. S. F.; FEITOSA, B. F.; OLIVEIRA, J. R.; KOTZEBUE, L. R. V.; AGOSTINI, D. L. S.; OLIVEIRA, D. L. V.; MAZZETTO, S. E.; CAVALCANTI, M. T.; SILVA, A. L. Lemongrass (*Cymbopogon citratus* DC. Stapf) essential oil microparticles: Development, characterization, and antioxidant potential. **Food Chemistry**, v. 355, 129644, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129644>

MARTINS, W. S.; ARAÚJO, J. S. F.; FEITOSA, B. F.; OLIVEIRA, J. R.; KOTZEBUE, L. R. V.; AGOSTINI, D. L. S.; OLIVEIRA, D. L. V.; MAZZETTO, S. E.; CAVALCANTI, M.

T.; SILVA, A. L. Lemongrass (*Cymbopogon citratus* DC. Stapf) essential oil microparticles: Development, characterization, and antioxidant potential. **Food Chemistry**, v. 355, 129644, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129644>

MASTERS, K. Spray Drying Handbook, Longman Scientific & Technical, UK, p. 365–638, 1991.

MEILGAARD, M., CIVILLE, G.V. and CARR, B.T. 1999. Sensory Evaluation Techniques. 3rd Ed. USA: CRC Press LLC.

MELILLI, M. G.; BUZZANCA, C.; STEFANO, V. D. Quality characteristics of cereal-based foods enriched with different degree of polymerization inulin: A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 332, 121918, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.121918>

MELO, A. M.; ALMEIDA, F. L. C.; CAVALCANTE, A. M. M.; IKEDA, M.; BARBI, R. C. T.; COSTA, B. P.; RIBANI, R. H. *Garcinia brasiliensis* fruits and its by-products: Antioxidant activity, health effects and future food industry trends – A bibliometric review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 112, p. 325-335, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.005>

MENSINK, M. A.; FRIJLINK, H. W.; MAARSCHALK, K. V.; HINRICHS, W. L. J. Inulin, a flexible oligosaccharide I: Review of its physicochemical characteristics. **Carbohydrate Polymers**, v. 130, p. 405–419, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.05.026>

MICHALSKA, A.; WOJDYLO, A.; LECH, K.; LYSIAK, G. P.; FIGIEL, A. Physicochemical properties of whole fruit plum powders obtained using different drying technologies. **Food Chemistry**, v. 207, p. 223–232, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.075>

MICHALSKI, P.; NUR-A-TOMAL, M. S.; CRAWFORD, S.; RUDMAN, M.; HAG, L. V. Advancement in fruit drying through the analysis of moisture sorption isotherms: Processing effects on Australian native fruits in comparison to apple. **Journal of Food Engineering**, v. 395, 112526, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2025.112526>

MOHAMMED, S. A.; ABDULLAH, E. C.; GELDART, D., RAMAN, A. A. A. (2011). Measuring powder flowability with a modified Warren spring cohesion tester. **Particuology**, v. 9, p. 148–154, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2010.10.004>

MONDAL, S.; CASSANO, A.; CONIDI, C.; DE, S. Modeling of gel layer transport during ultrafiltration of fruit juice with non-Newtonian fluid rheology. **Food and Bioprocess Processing**, v. 100, p. 72 – 84, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.06.012>

MONREAL, A. M. J.; PINOS, C. C.; BAÑÓN, S.; MUÑOS, I.; GUARDIA, M. D.; TAHORI, N.; TOMÉ, M. M. Effect of in vitro gastrointestinal digestion on the antioxidant properties of fruit and vegetable powdered smoothies reinforced with WPC80. **LWT**, v. 215, 117301, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.117301>

MORAES, R. R. Refratometria. Disponível em:

<http://www.fapepi.pi.gov.br/ciencia/documentos/REFRAT%D4METRO.PDF>. Acesso em 27 mar. 2006.

MORALES-DE LA PEÑA, M.; WELTI-CHANES, J.; MARTÍN-BELLOSO, O. Application of Novel Processing Methods for Greater Retention of Functional Compounds in Fruit-Based Beverages. **Beverages**, v. 2, n. 2, p. 14, 2016. <https://doi.org/10.3390/beverages2020014>

MOREIRA, A. F. A., Desenvolvimento e caracterização de um smoothie probiótico. Dissertação - (Mestre em Biotecnologia), Universidade de Aveiro, p. 24, Aveiro, 2011.

MOURA, S. C. S. R. de; VISSOTTO, F. Z.; BERBARI, S. A. G.; SOUZA, E. de C. G.; TOTI, F. G. P.; ALVES, P. Characterization and Evaluation of Stability of Bioactive Compounds in Fruit Smoothies. **Food Science and Technology**, v. 37, p. 216–223, 2017. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.16616>

MUZAFFAR, K.; DAR, B. N.; KUMAR, P. Assessment of nutritional, physicochemical, antioxidant, structural and rheological properties of spray dried tamarind pulp powder. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 11, p. 746–757, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11694-016-9444-7>

MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Comparative efficiency of maltodextrin and protein in the production of spray-dried tamarind pulp powder. **Drying Technology**, p. 34, p. 802-809, 2016c. <https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1080724>

MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Effect of Soya Protein Isolate as a Complementary Drying Aid of Maltodextrin on Spray Drying of Tamarind Pulp. **Drying Technology**, v. 34, p. 142-148, 2016b. <https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1042586>

MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Moisture sorption isotherms and storage study of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, v. 291, p. 322-327, 2016a. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.12.046>

MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Moisture sorption isotherms and storage study of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, v. 291, p. 322-327, 2016b. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.12.046>

MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Moisture sorption isotherms and storage study of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, v. 291, p. 322-327, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.12.046>

MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Parameter optimization for spray drying of tamarind pulp using response surface methodology. **Powder Technology**, v. 279, p. 179-184, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2015.04.010>

MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Spray Drying of Tamarind Pulp: Effect of Process Parameters Using Protein as Carrier Agent. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, E12781, 2016b. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12781>

MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Spray Drying of Tamarind Pulp: Effect of Process Parameters Using Protein as Carrier Agent. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, e12781, 2016a. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12781>

MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Spray Drying of Tamarind Pulp: Effect of Process Parameters Using Protein as Carrier Agent. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, e12781, 2016. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12781>

MUZAFFAR, K.; NAYIK, G. A.; KUMAR, P. Stickiness problem associated with spray drying of sugar and acid rich foods: a mini review. **Journal of Nutrition & Food Sciences**, S12-003, 2015. <https://doi.org/10.4172/2155-9600.1000S12003>

NAGAR, C. K.; DASH, S. K.; RAYAGURU, K. Tamarind seed: Composition, applications, and value addition: A comprehensive review. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 46, e16872, 2022. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16872>

NAYAK, A.; BHUSHAN, B.; ROSALES, A.; TURIENZO, L. R.; CORTINA, J. L. Valorisation potencial of Cabernet grape pomace for the recovery of polyphenols: Process intensification, optimisation and study of kinetics. **Food and Bioproducts Processing**, v. 109, p. 74-85, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.03.004>

NINDO, C. I.; TANG, J. Refractance Window Dehydration Technology: A Novel Contact Drying Method. **Drying Technology**, v. 25, n. 1, p. 37-48, 2007. <https://doi.org/10.1080/07373930601152673>

NÓBREGA, E. M.; OLIVEIRA, E. L.; GENOVESE, M. I.; CORREIA, R. T. P. The impact of hot air drying on the Physical-chemical characteristic, bioactive compounds and antioxidant activity of acerola (*Malpighia emarginata*) residue. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, p. 131 – 141, 2015. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12213>

NOGUEIRA, B. V.; TAVELLA, A.; BARROS, J. R.; KITAHARA, S. E.; FORMIGONI, M. L. M. V. Embalagens de vidro e a vida de prateleira de alimentos. **Revista Científica SENAI -SP – Tecnologia, Inovação & Educação**, v. 2, n. 1, p.57-75, 2023.

NOWICKA, P.; WOJDYŁO, A.; TELESZKO, M.; SAMOTICHA, J. Sensory Attributes and Changes of Physicochemical Properties during Storage of Smoothies Prepared from Selected Fruit. **LWT - Food Science and Technology**, v. 71, p. 102–109, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.03.021>

NUNES, M. A.; COSTA, A. S. G.; BARREIRA, J. C. N.; VINHA, A. F.; ALVES, R. C.; ROCHA, A.; LIVEIRA, M. B. P. P. How functional foods endure throughout the shelf storage? Effects of packing materials and formulation on the quality parameters and bioactivity of smoothies. **LWT - Food Science and Technology**, v. 65, p. 70-78, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.07.061>

OKELLO, J.; OKULLO, J. B. L.; EILU, G.; NYEKO, P.; OBUA, J. Physicochemical composition of *Tamarindus indica* L. (Tamarind) Fruits in the agro-ecological zones of Uganda. **Food Science & Nutrition**, v. 6, p. 1179 – 1189, 2018. <https://doi.org/10.1002/fsn3.627>

OKELLO, J.; OKULLO, J. B.; EILU, G.; NYEKO, P.; OBUA, J. Mineral composition of *Tamarindus indica* LINN (Tamarind) pulp and seeds from different agro-ecological zones of Uganda. **Food Science & Nutrition**, v. 5, p. 959– 966, 2017. <https://doi.org/10.1002/fsn3.490>

- OLIVEIRA, A. R. G.; BORGES, S. V.; FARIA, R. K.; ENDO, E.; GREGÓRIO, S. R. Influência das condições de secagem por atomização sobre as características sensoriais de sucos maracujá (*Passiflora edulis*) e abacaxi (*Ananas comosus*) desidratados. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 3, p. 251-256, 2007.
- OLIVEIRA, D. M.; CLEMENTE, E.; COSTA, J. M. C. Hygroscopic behavior and degree of caking of grugru palm (*Acrocomia aculeata*) powder. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 10, p. 2783-2789, 2014. <http://dx.doi.org/10.1007/s13197-012-0814-9>. PMID:25328226
- OLIVEIRA, E. G.; CARDOSO, A. M.; PAESE, K.; CORADINI, K.; OLIVEIRA, C. V.; POHLMANN, A. R.; OLIVEIRA, M. S.; GUTERRES, S. S.; BECK, R. C. R. Reconstituted spray-dried phenytoin-loaded nanocapsules improve the *in vivo* phenytoin anticonvulsant effect and the survival time in mice. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 551, p. 121-132, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2018.09.023>
- OLIVEIRA, M. I. S.; TONON, R. V.; NOGUEIRA, R. I.; CABRAL, L. M. C. Stability of spray-dried strawberry pulp produced with different carrier agentes. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 16, n. 4, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1981-67232013005000037>
- OSÉS, S. M.; CANTERO, L.; PUERTAS, G.; FERNÁNDEZ-MUIÑO, M. A.; SANCHO, M. T. Antioxidant, antimicrobial and anti-inflammatory activities of ling-heather honey powder obtained by different methods with several carriers. **LWT**, v. 159, 113235, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113235>.
- OSTHOFF, G.; HUGO, A.; WYK, P. V.; WIT, M.; MEYER, S. Characterization of a Spray-Dried Soymilk Powder and Changes Observed During Storage. **Food Science and Technology International**, v. 16, n. 2, p. 169 – 178, 2010.
- OTÁLORA, M. C.; CARRIAZO, J. G.; ITURRIAGA, L.; NAZARENO, M. A.; OSORIO, C. Microencapsulation of betalains obtained from cactus fruit (*Opuntia ficus-indica*) by spray drying using cactus cladode mucilage and maltodextrin as encapsulating agentes. **Food Chemistry**, v. 187, p. 174–181, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.090>
- PACHECO, C.; GARCÍA-MARTÍNEZ, E.; MORAGA, G.; PIÑA, J.; NAZARENO, M. A.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Development of dried functional foods: Stabilization of orange pulp powder by addition of biopolymers. **Powder Technology**, v. 362, p. 11-16, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.11.116>
- PATIL, N. D.; KUMAR, A.; SRIDHAR, K.; CHAWLA, P.; SHARMA, M. Enhancing Functional Attributes of Rice Protein Concentrate through *Aspergillus Awamori* MTCC 6652 Assisted Solid-State Fermentation: Development of Value-Added Vegan Smoothie. **Food and Bioproducts Processing**, v. 147, p. 11–26, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2024.06.001>
- PAUCK, C.; BEER, D.; AUCAMP, M.; LIEBENBERG, W.; NICOLE STIEGER, N.; HUMAN, C.; JOUBERT, E. Inulin suitable as reduced-kilojoule carrier for production of microencapsulated spray-dried green *Cyclopia subternata* (honeybush) extract. **LWT**, v. 75, p. 631-639, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.10.018>
- PEDRO, M. A. M.; TELIS-ROMERO, J.; TELIS, V. R. N. Effect of drying method on the adsorption isotherms and isosteric heat of passion fruit pulp powder. **Food Science and Technology**, v. 30, n. 4, p. 993-1000, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612010000400024>

- PELEG, M.; MANNHEIM, C. Effect of conditioners on the flow properties of powdered sucrose. **Powder Technology**, v. 7, p. 45-50. [https://doi.org/10.1016/0032-5910\(73\)80007-5](https://doi.org/10.1016/0032-5910(73)80007-5)
- PEREIRA, A.; MARASCHIN, M. Banana (*Musa* spp) from peel to pulp: Ethnopharmacology, source of bioactive compounds and its relevance for human health. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 160, p. 149–163, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2014.11.008>
- PEREIRA, P. C.; MELO, B.; FRANZÃO, A. A.; ALVEZ, P. R. B. A cultura do tamarindeiro (*Tamarindus indica* L.). In: Semana do Curso de Engenharia Ambiental, I, 2011, Minas Gerais. **Anais...** Minas Gerais: Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia – Campus Umarama – MG, 2011.
- PREEZ, R. J. FRUITS OF TROPICAL CLIMATES | Lesser-known Fruits of Africa. Editor(s): Benjamin Caballero, **Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition)**, p. 2800-2810, 2003. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00537-X>
- PRESCOTT, J.; PLOOF, D.; CARSON, J. Powder characteristics-developing a better understanding of wall friction. **Powder Handling and Processing**, v. 11, p. 27-26, 1999.
- QUEK, S. Y.; CHOK, N. K.; SWEDLUND, P. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. **Chemical Engineering and Processing**, v. 46, p. 386–392, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2006.06.020>
- QUINTANA, S. E.; ZAPATEIRO, L. A. G. Standardisation and Rheological Characterization of Functional Beverage with Tropical Fruit, Pumpkin (*Cucurbita moschata*), Dietary Fiber of Pineapple (*Ananas comosus*) and Lactose-Free Skim Milk. **Indian Journal of Science and Technology**, v. 11, n. 13, p. 1 – 6, 2018. DOI: 10.17485/ijst/2018/v11i13/117913
- QUISPE-CONDORI, S.; SALDAÑA, M. D. A.; TEMELLI, F. Microencapsulation of flax oil with zein using spray and freeze drying. **LWT – Food Science and Technology**, v. 44, p. 1880–1887, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.01.005>
- REIS, F. R.; MARQUES, C.; MORAES, A. C. S.; MASSON, M. L. Corrigendum to “Trends in quality assessment and drying methods used for fruits and vegetables” [Food Control 142 (2022) 109254]. **Food Control**, v. 166, 110748, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.110748>
- ROCHA, É. M. F. F.; SOUSA, S. L.; COSTA, J.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Obtenção de suco de caju atomizado através do controle das condições de secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 6, p. 646-651, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662014000600012>
- RODRÍGUEZ-ROJAS, A.; OSPINA, A. A.; RODRÍGUEZ-VÉLEZ, P.; ARANA-FLOREZ, R. ¿What is the new about food packaging material? A bibliometric review during 1996–2016. **Trends in Food Science & Technology**, v. 85, p. 252-261, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.01.016>
- RONKART, S.N., BLECKER, C., FOUNGIES, C., VAN HERCK, J.C., WOUTERS, J.; PAQUOT, M. Determination of physical changes of inulin related to sorption isotherms: an X-ray diffraction, modulated differential scanning calorimetry and environmental scanning electron microscopy study. **Carbohydrate Polymers**, v. 63, p. 210– 217, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.08.030>

SABU, A.; PANDEY, A.; DAUD, M. J.; SZAKACS, G. Tamarind seed powder and palm kernel cake: two novel agro residues for the production of tannase under solid state fermentation by *Aspergillus niger* ATCC 16620. **Bioresource Technology**, v. 96, p. 1223-1228, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.11.002>

SALEHI, F. Rheological and Physicochemical Properties of Vegetable Juices and Concentrates: A Review. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 45, n. 4, p. e15326, 2021. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15326>

SALIH, N. K. E. M.; YAHIA, E. M. Nutritional value and antioxidant properties of four wild fruits commonly consumed in Sudan. **International Food Research Journal**, v. 22, p. 2389-2395, 2015.

SANTOS, M. B.; CARDOSO, R. L.; FONSECA, A. A. O.; CONCEIÇÃO, M. N. Caracterização e qualidade de frutos de umbu-cajá (*Spondias tuberosa* X *S. mombin*) provenientes do Recôncavo Sul da Bahia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, p. 1089-1097, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452011005000015>

SARAVACOS, G. D.; KOSTAROPOULOS, A. E. Handbook of Food Processing Equipment. Kluwer Academic/Plenum Publishers, Nova York, (2002).

SCHEFFÉ, H. The Simplex-Centroid Design for Experiments with Mixtures. **Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)**, v. 25, n. 02, p. 235-263, 1963.

SHAH, D. S.; MORAVKAR, K. K.; JHA, D. K.; LONKAR, V.; AMIN, P. D., HALIKWAR, S. S. A concise summary of powder processing methodologies for flow enhancement. **Heliyon**, v. 9, n. 6, e16498, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16498>

SHAH, R. B.; TAWAKKUL, M. A.; KHAN, M. A. Comparative evaluation of flow for pharmaceutical powders and granules. **An Official Journal of the American Association of Pharmaceutical Scientists**, v. 9, p. 250-258, 2008. <https://doi.org/10.1208/s12249-008-9046-8>

SHANKARACHARYA, N. B. Tamarind - Chemistry, technology and uses - A critical appraisal. **Journal of Food Science and Technology – Mysore**, v. 35, p. 193-208, 1998.

SHENG, L.; WANG, L. Approaches for a more microbiologically and chemically safe dried fruit supply chain. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 80, 102912, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2023.102912>

SHI, Y.; CHEN, F.; WANG, Z.; CAO, J.; LI, C. Effect and mechanism of functional compound fruit drink on gut microbiota in constipation mice. **Food Chemistry**, v. 401, p. 134210, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134210>

SHRIVASTAVA, A.; TRIPATHI, A. D.; PAUL, V.; RAI, D. C. Optimization of spray drying parameters for custard apple (*Annona squamosa* L.) pulp powder development using response surface methodology (RSM) with improved physicochemical attributes and phytonutrients. **LWT**, v. 151, 112091, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112091>

SILVA, A. K. N. **Obtenção de um produto em pó a partir de banana verde, açaí e concentrado proteico do soro do leite utilizando secagem em leito de jorro**. Dissertação em Ciências e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal do Pará. 2014.

SILVA, C. R.; LIMA, M. J. R.; BARBOSA, G. F. Potencial do tamarindo como alternativa econômica no Sertão de Pernambuco. XV Jornada de Iniciação Científica do IF Sertão - PE, v. 20, 2020.

SILVA, F.A.Z.; AZEVEDO, C.A.V. The Assistat software version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, p. 3733–3740, 2016. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11522>

SILVA, L. M. R.; FIGUEREDO, E. A. T.; RICARDO, N. M. P. S.; VIEIRA, I. G. P.; FIGUEIREDO, R. W.; BRASIL, I. M.; GOMES, C. L. Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 143, p. 398–404, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.001>

SINGH, D.; WANGCHU, L.; MOOND, S. K. Processed products of tamarind. **Natural Product Radiance**, v. 5, n. 4, p. 315–321, 2007.

SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTOS, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. **Methods in Enzymology**, v. 299, p. 152–178, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)

SIROLI, L.; CAMPRINI, L.; PISANO, M. B.; PATRIGNANI, F.; LANCIOTTI, R. Volatile molecule profiles and anti-*Listeria monocytogenes* activity of nisin producers *Lactococcus lactis* strains in vegetable drinks. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, 563, 2019. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00563>

SIROLI, L.; GLICERINA, V.; CAPELLI, F.; PATRIGNANI, F.; FIORINI, M.; ANDRISANO, V.; MINELLI, M.; GHERARDI, M.; LANCIOTTI, R.; COLOMBO, V.; ROMANI, S. Influence of high-pressure homogenization treatments combined with lysozyme activated packaging on microbiological and technological quality of vegetable smoothie during shelf life. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 37, 101093, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101093>

SOARES, S. C. M. D. **SECAGEM DAS POLPAS DE ACEROLA (*Malpighia emarginata* DC) E GOIABA (*Psidium guajava* L.) EM LEITO DE JORRO: EFEITOS DA ADIÇÃO DO LEITE E DA PROTEÍNA DO LEITE NO DESEMPENHO DO PROCESSO E CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO EM PÓ**. Departamento de Engenharia Química. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN. 2019. Tese de doutorado, 112p.

SOUSA, K. S.; FIGUERÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; FERNANDES, T. K. S. Produção e caracterização da polpa de atemoia em pó. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 3, p. 718-728, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-135/14>

SOUSA, S. F. **LIOFILIZAÇÃO DA POLPA DE TAMARINDO (*Tamarindus indica* L.) PARA OBTENÇÃO DE SUCOS RECONSTITUÍDOS**. Centro de Ciência e Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB. 2018. Tese de doutorado, 169p.

SOUZA, A. B.; XAVIER, A. A. O.; STEPHANI, R.; TAVARES, G. M. Prior denaturation and aggregation of whey proteins: is this a useful strategy for increasing the content of these

proteins in UHT high-protein dairy beverages? **Food and Bioproducts Processing**, v. 144, p. 43-49, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2023.12.008>

SOUZA, A. V.; FERNANDES, J. F.; TRALLI, J. B.; GALVAO, P.; PEDRO, M. A. M. Aplicação da Secagem por Spray Drying para a Produção de Extratos Vegetais Secos. **Revista UNILAGO**, v. 11, p. 181-193, 2012.

SOUZA, D. S.; SOUZA, J. D. R. P.; COUTINHO, J. P.; SILVEIRA, T. F. F.; BALLUS, C. A.; FILHO, J. T.; BOLINI, H. M. A.; GODOY, H. T. Application of Tamarind Waste Extracts to Improve the Antioxidant Properties of Tamarind Nectars. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 75, p. 70-75, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11130-019-00778-y>

SOUZA, R. F.; SOUSA, S. K. C.; SILVA, M. N. P.; PEREIRA, D. M.; SILVA, M. J. M.; PEREIRA, C. T. M. Estabilidade do suco misto de acerola (*Malpighia emarginata* DC) e vinagreira (*Hibiscus sabdariffa* L.) sob diferentes condições de armazenamento. **Perspectivas da Ciência e Tecnologia**, v. 12, p. 154 - 164, 2020. <https://doi.org/10.22407/1984-5693.2020.v12.p.154-164>

SOUZA, W. F. C.; ALMEIDA, F. L. C.; CASTRO, J. S.; SATO, H. H. Isomaltulose: From origin to application and its beneficial properties – A bibliometric approach. **Food Research International**, v. 155, 111061, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111061>

STATSOFT. **Statsoft statistica for windows: computer programa manual**. Version 7.0. Tulsa: Statsoft Inc., 2007.

STEVENS, C.; MERIGGI, A.; BOOTEN, C. Chemical modification of inulin a valuable renewable resource and its industrial applications. **Biomacromolecules**, v. 2, p. 1– 16, 2001. <https://doi.org/10.1021/bm005642t>

STORCK, C. R.; BASSO, C.; FAVARIN, F. R.; RODRIGUES, A. C. Qualidade microbiológica e composição de farinhas de resíduos da produção de suco de frutas em diferentes granulometrias. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 4, p. 277-284, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.1615>

STROHECKER, R.; HENNING, H. M. **Análises de vitaminas: métodos comprovados**. Madrid: Paz Montalvo, 1967. 428p.

SULIEMAN, A. M. E.; ALAWAD, S. M.; OSMAN, M. A.; ABDELMAGEED, E. A. Physicochemical characteristics of local varieties of Tamarind (*Tamarindus indica* L), Sudan. **International Journal of Plant Research**, v. 5, n. 1, p. 13-18, 2015. <https://doi.org/10.10.5923/j.plant.20150501.03>

SULIEMAN, A. M. E.; ALAWAD, S. M.; OSMAN, M. A.; ABDELMAGEED, E. A. Physicochemical characteristics of local varieties of Tamarind (*Tamarindus indica* L), Sudan. **International Journal of Plant Research**, v. 5, n. 1, p. 13– 18, 2015. <https://doi.org/10.5923/j.plant.20150501.03>

TAN, S.; XIN, G.; XIE, R.; WU, X.; LI, W. Green tea polyphenols improved the physicochemical stability of mango powder during storage. **Food Chemistry: X**, v. 20, 100941, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100941>

TEIXEIRA, E.; MEINERT, E.; BARBETA, P. A. **Análise sensorial dos alimentos**. Florianópolis: UFSC, 1987.182 p.

TELIS, V. R. N.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Collapse and color changes in grapefruit juice powder as affected by water activity, glass transition and addition of carbohydrate polymers, **Food Biophysics**, v. 4, p. 83–93, 2009. <https://doi.org/10.1007/s11483-009-9104-0>

TOLEDO, R. **Fundamentos de Engenharia de Processos de Alimentos**, 3ª ed. (Aspen Publishers, Inc., Atenas, 2007).

TONIAZZO, T.; COLLADO-GONZÁLEZ, M.; TADINI, C. C.; MACKIE, A. R. Evaluation of physicochemical properties of honey powder using rice and pea proteins as carriers. **Food Research International**, v. 167, 112692, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112692>

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 2, p. 444-450, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612009000200034>

TUMPA, B.; SONDHIL, R.; AKTER, N.; ALIM, M. A. Biochemical, Sensory and Storage Ability Assessment of Different Tamarind Drink Formulations. **Fundamental and Applied Agriculture**, v. 62, p. 163-171, 2021. <https://doi.org/10.5455/faa.78496>

VARELA-SANTOS, E.; OCHOA-MARTINEZ, A.; TABILO-MUNIZAGA, G.; REYES, J. E.; PÉREZ-WON, M.; BRIONES-LABARCA, V.; MORALES-CASTRO, J. Effect of high hydrostatic pressure (HHP) processing on physicochemical properties, bioactive compounds and shelf-life of pomegranate juice. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 13, p. 13–22, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2011.10.009>

VARGAS-MUÑOZ, D. P.; OLIVEIRA, L. A. N.; SILVA, L. C.; GODOY, H. T.; KUROSZAWA, L. E. Storage stability of 5-caffeoylquinic acid in powdered cocona pulp microencapsulated with hydrolyzed collagen and maltodextrin blend. **Food Research International**, v. 137, 109652, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109652>

VIDAL-TOVAR, C. R.; GORDON-HERNÁNDEZ, Y.; FRAGOSO-CASTILLA, P. J.; PIÑERES, C. A. G. D.; ANGULO-BLANQUICETT, G. E. Production of an Electrolyte Drink from the Use of Tamarind Fruit (*Tamarindus indica* L.). **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 1253, n. 1, p. 012005, 2022. DOI: 10.1088/1757-899X/1253/1/012005

WACHIRASIRI, P.; JULAKARANGKA, S.; WANLAPA, S. The effects of banana peel preparations on the properties of banana peel dietary fibre concentrate, **Songklanakarin Journal of Science and Technology**, v. 31, n. 6, p. 605–611, 2009.

XAVIER, L. E.; ALBUQUERQUE, T. N.; SOARES, W. K. A.; ARAÚJO, J. S. F.; SILVA, C. L.; MEIRELES, B. R. L. A. Elaboração e avaliação da qualidade de bebida tipo smoothie adoçada com mel de abelhas. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 12, p. 07-10, 2019.

YUAN, Y.-H.; MU, D.-D.; GUO, L.; WU, X.-F.; CHEN, X.-S.; LI, X.-J. From flavor to function: A review of fermented fruit drinks, their microbial profiles and health benefits. **Food Research International**, v. 196, p. 115095, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115095>

YUSUF, A. A.; MOFIO, B. M.; AHMED, A. B. Composição centesimal e mineral de sementes de *T. indica* L 1753. **Science World Journal**, v. 2, p. 1 - 4, 2007.

ZHOU, P.; LIU, X.; LABUZA, T. P. Moisture-Induced Aggregation of Whey Proteins in a Protein/Buffer Model System. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 6, p. 2048 – 2054, 2008a. DOI: 10.1021/jf073151v

ZHOU, P.; LIU, X.; LABUZA, T. P; Effects of Moisture-Induced Whey Protein Aggregation on Protein Conformation, the State of Water Molecules, and the Microstructure and Texture of High-Protein-Containing Matrix. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 12, p. 4534-4540, 2008b. DOI: 10.1021/jf073216u

APÊNDICE A – TABELAS DOS EFEITOS ESTIMADOS

Tabela 1 – Efeito estimado da adição dos adjuvantes e da temperatura do ar de secagem na umidade de polpa de tamarindo em *spray dryer*.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t(5)	p-valor
Temperatura (L)	0,4255	-0,5236	-1,2306	0,2732
Temperatura (Q)	0,5046	0,5131	1,0168	0,3559
Adjuvante (L)	0,4255	-3,5599	-8,3669	0,0004*
Adjuvante (Q)	0,5046	2,3333	4,6236	0,0057*
Temperatura x Adjuvante	0,6029	0,3421	0,5674	0,5949

Em que: (L) - Termo linear; (Q) - Termo quadrático. *Valores significativos a $p < 0,10$.

Fonte: Autor (2025).

Tabela 2 - Efeito estimado da adição dos adjuvantes e da temperatura do ar de secagem no rendimento de polpa de tamarindo em *spray dryer*.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t(5)	p-valor
Temperatura (L)	4,9743	3,8262	1,3000	0,2503
Temperatura (Q)	-5,7433	4,5382	-1,2655	0,2614
Adjuvante (L)	-0,8963	3,8262	-0,2342	0,8241
Adjuvante (Q)	-4,6520	4,5382	-1,0251	0,3523
Temperatura x Adjuvante	3,4526	5,4222	0,6368	0,5523

Em que: (L) - Termo linear; (Q) - Termo quadrático. *Valores significativos a $p < 0,10$.

Fonte: Autor (2025).

Tabela 3 - Efeito estimado da adição dos adjuvantes e da temperatura do ar de secagem na solubilidade de polpa de tamarindo em *spray dryer*.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t(5)	p-valor
Temperatura (L)	2,0476	0,8552	2,3945	0,0620*
Temperatura (Q)	-0,1136	1,0143	-0,1120	0,9152
Adjuvante (L)	5,1652	0,8552	6,0400	0,0018*
Adjuvante (Q)	-4,1488	1,0143	-4,0904	0,0094*
Temperatura x Adjuvante	-2,4559	1,2119	-2,0266	0,0985*

Em que: (L) - Termo linear; (Q) - Termo quadrático. *Valores significativos a $p < 0,10$. Fonte: Autor (2025).

Tabela 4 - Efeito estimado da adição dos adjuvantes e da temperatura do ar de secagem na higroscopicidade de polpa de tamarindo em *spray dryer*.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t(5)	p-valor
Temperatura (L)	0,6599	0,9948	0,6634	0,5364
Temperatura (Q)	0,3439	1,1798	0,2916	0,7823
Adjuvante (L)	-2,3614	0,9947	-2,3739	0,0636*
Adjuvante (Q)	0,7572	1,1798	0,6418	0,5493
Temperatura x Adjuvante	0,1050	1,4096	0,0745	0,9435

Em que: (L) - Termo linear; (Q) - Termo quadrático. *Valores significativos a $p < 0,10$. Fonte: Autor (2025).

Tabela 5 - Efeito estimado da adição dos adjuvantes e da temperatura do ar de secagem nos polifenóis extraíveis totais de polpa de tamarindo em *spray dryer*.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t(5)	p-valor
Temperatura (L)	33,6860	73,7865	0,4565	0,6671
Temperatura (Q)	55,7480	87,5167	0,6370	0,5521
Adjuvante (L)	-140,7530	73,7865	-1,9076	0,1147
Adjuvante (Q)	106,7560	87,5167	1,2198	0,2769
Temperatura x Adjuvante	-52,7600	104,5636	-0,5046	0,6353

Em que: (L) - Termo linear; (Q) - Termo quadrático. *Valores significativos a $p < 0,10$. Fonte: Autor (2025).

Tabela 6 - Efeito estimado da adição dos adjuvantes e da temperatura do ar de secagem na luminosidade (L^*) de polpa de tamarindo em *spray dryer*.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t(5)	p-valor
Temperatura (L)	-0,5577	1,0893	-0,51195	0,6305
Temperatura (Q)	-1,3989	1,2920	-1,0828	0,3283
Adjuvante (L)	2,1107	1,0893	1,9376	0,1104
Adjuvante (Q)	-2,0404	1,2920	-1,5792	0,1751
Temperatura x Adjuvante	0,0867	1,5437	0,0561	0,9574

Em que: (L) - Termo linear; (Q) - Termo quadrático. *Valores significativos a $p < 0,10$. Fonte: Autor (2025).

Tabela 7 - Efeito estimado da adição dos adjuvantes e da temperatura do ar de secagem no parâmetro de cor a^* de polpa de tamarindo em *spray dryer*.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t(6)	p-valor
Temperatura (L)	-0,4801	0,2867	-1,6743	0,1451
Temperatura (Q)	-0,7273	0,3401	-2,1385	0,0763*
Adjuvante (L)	-0,8012	0,2867	-2,7943	0,0314*
Adjuvante (Q)	0,2332	0,3401	0,6856	0,5185
Temperatura x Adjuvante	-0,4801	0,2867	-1,6743	0,1451

Em que: (L) - Termo linear; (Q) - Termo quadrático. *Valores significativos a $p < 0,10$. Fonte: Autor (2025).

Tabela 8 - Efeito estimado da adição dos adjuvantes e da temperatura do ar de secagem no parâmetro de cor b^* de polpa de tamarindo em *spray dryer*.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t(5)	p-valor
Temperatura (L)	1,3747	0,4448	3,0899	0,0272*
Temperatura (Q)	0,4690	0,5277	0,8888	0,4148
Adjuvante (L)	-0,9195	0,4445	-2,0668	0,0936*
Adjuvante (Q)	1,0195	0,5277	1,9320	0,1112
Temperatura x Adjuvante	0,5067	0,6304	0,8036	0,4581

Em que: (L) - Termo linear; (Q) - Termo quadrático. *Valores significativos a $p < 0,10$. Fonte: Autor (2025).

APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Você está sendo convidado pelo doutorando João Vitor Fonseca Feitoza como participante da pesquisa intitulada “Polpa de tamarindo em pó como ingrediente em bebida tipo *smoothie*”. Você não deve participar contra a sua vontade. Leia atentamente as informações abaixo e faça qualquer pergunta que desejar, para que todos os procedimentos desta pesquisa sejam esclarecidos.

A pesquisa em questão tem como objetivo avaliar o efeito do uso da polpa de tamarindo em pó como ingrediente em bebida vegetal do tipo *smoothie*, estudando a aceitação de seus atributos e suas características sensoriais, além da intenção de compra sobre estes produtos. A bebida tem como ingredientes a polpa de tamarindo em pó, polpa de melão, polpa de graviola, polpa de banana, ácido cítrico alimentício, proteína isolada do soro de leite e maltodextrina. **ATENÇÃO: CONTÉM DERIVADOS DO LEITE E LECITINA DE SOJA. CONTÉM LACTOSE. NÃO CONTÉM GLÚTEN. Alérgicos e intolerantes não devem participar.**

Sua participação consiste em receber e experimentar 20 ml de três formulações da bebida tipo *smoothie*: uma sem adição de polpa de tamarindo em pó e outras duas com diferentes quantidades da polpa de tamarindo em pó. As amostras estão sendo servidas em copos plásticos descartáveis codificados com três dígitos de números aleatórios. Juntamente com as amostras estão sendo oferecidas bolachas de água e sal e um copo com água que devem ser degustados entre uma amostra e outra para remoção do sabor residual. Você então irá preencher duas fichas de avaliação correspondentes as amostras que provou: uma de aceitação e intenção de compra, em que irá atribuir uma nota sobre cada atributo avaliado (aparência, cor, odor, sabor e impressão global). Na outra ficha você irá marcar os atributos que você considera que se encaixam para cada amostra de acordo com a aparência da amostra, cor, odor e sabor. O tempo de avaliação pode durar até 10 minutos ou até você terminar de preencher as fichas.

Todos os dados coletados serão mantidos em sigilo e servirão unicamente com o intuito de realizar esta pesquisa, não sendo realizado qualquer tipo de pagamento pela participação na pesquisa. A qualquer momento você poderá se recusar a continuar em participar da pesquisa e também poderá retirar o seu consentimento sem nenhum prejuízo de qualquer natureza. As informações obtidas por meio deste formulário serão mantidas em confidencialidade, compartilhadas apenas com os responsáveis pela pesquisa, sem que seja possível a identificação do participante, e a divulgação das mencionadas informações só será feita entre os profissionais estudiosos do assunto.

A pesquisa não trará benefício imediato, mas irá fornecer informações que podem auxiliar no desenvolvimento de um novo ingrediente e de um novo produto alimentício, inovando a indústria para novas possibilidades de uso dos objetos estudados nesse projeto. A pesquisa não trará risco ao participante, visto que serão seguidos todos os protocolos higiênico-sanitários exigidos para a fabricação do produto, seguindo as boas práticas e realizando avaliações microbiológicas exigidas pelas legislações vigentes. Caso se sinta constrangido ou desconfortável de qualquer forma, você poderá abandonar a pesquisa no momento que lhe convier. Caso sinta algum desconforto após o consumo das amostras, comunique imediatamente aos responsáveis pela pesquisa para que o atendimento médico seja providenciado.

Endereço dos responsáveis pela pesquisa:

Nome: João Vitor Fonseca Feitoza
Instituição: Universidade Federal do Ceará
E-mail: joaovitorlg95@hotmail.com
Telefone para contato: (83) 998694393
Nome: Marcos Rodrigues Amorim Afonso
Instituição: Universidade Federal do Ceará
E-mail: m.r.a.afonso@gmail.com

ATENÇÃO: Se você tiver alguma consideração ou dúvida, sobre a sua participação na pesquisa, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa da UFC/PROPESQ – Rua Coronel Nunes de Melo, 1000 - Rodolfo Teófilo, fone: 3366-8344/46. (Horário: 08:00-12:00 horas de segunda a sexta-feira).

O CEP/UFC/PROPESQ é a instância da Universidade Federal do Ceará responsável pela avaliação e acompanhamento dos aspectos éticos de todas as pesquisas envolvendo seres humanos.

O abaixo assinado _____, _____ anos, RG: _____, declara que é de livre e espontânea vontade que está como participante de uma pesquisa. Eu declaro que li cuidadosamente este Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e que, após sua leitura, tive a oportunidade de fazer perguntas sobre o seu conteúdo, como também sobre a pesquisa, e recebi explicações que responderam por completo minhas dúvidas. E declaro, ainda, estar recebendo uma via assinada deste termo.

Fortaleza, ____/____/____

Nome do participante da pesquisa
 Nome do pesquisador
 Nome da testemunha
 (se o voluntário não souber ler)
 Nome do profissional
 que aplicou o TCLE

Data
 Data
 Data
 Data

Assinatura
 Assinatura
 Assinatura
 Assinatura

APÊNDICE C – FICHA DE IDENTIFICAÇÃO E HÁBITOS DO AVALIADOR**FICHA DE IDENTIFICAÇÃO E HÁBITOS DO AVALIADOR****Nome:** _____**Data:** ____/____/____**Gênero:** () F () M**Idade:** 16 a 20 anos () 21 a 30 anos () mais de 30 anos ()**Você consome bebida à base de frutas?**

() Sim () Não

Tem alergia a algum ingrediente que faz parte da formulação?

(Melão, banana, graviola, ácido cítrico, tamarindo, maltodextrina e proteína isolada do soro de leite)

() Sim () Não

Se sua resposta for sim, mencione qual e não siga adiante com a análise sensorial.**Qual?** _____**Com qual frequência você consome bebida à base de frutas?**

- () menos de 1 vez por mês
() 1 a 2 vezes por semana
() 2 a 3 vezes por semana
() mais de 3 vezes por semana
() não consumo

Quando você compra bebida a base de frutas o que é mais importante na escolha do produto?

() Marca () Sabor () Preço () Embalagem () Outro

Qual?

APÊNDICE D – FICHA DE AVALIAÇÃO DA ACEITAÇÃO E INTENÇÃO DE COMPRA

FICHA DE AVALIAÇÃO DA ACEITAÇÃO E INTENÇÃO DE COMPRA

Você está recebendo 3 amostras de bebida à base de frutas tipo *smoothie*. Por favor, verifique o número da amostra, prove da esquerda para a direita e avalie utilizando a escala abaixo para indicar o quanto você gostou ou desgostou do produto. Prove bolacha e água entre uma amostra e outra para remoção do sabor residual.

9- Gostei MUITÍSSIMO; 8- Gostei muito; 7- Gostei moderadamente; 6- Gostei ligeiramente; 5- Nem gostei/Nem desgostei; 4- Desgostei ligeiramente; 3- Desgostei moderadamente; 2- Desgostei muito; 1- Desgostei muitíssimo

ATRIBUTOS	Código da amostra		
	_____	_____	_____
Aparência	_____	_____	_____
Cor	_____	_____	_____
Textura	_____	_____	_____
Odor	_____	_____	_____
Sabor	_____	_____	_____
Impressão global	_____	_____	_____

Por favor, agora indique com qual grau de certeza você compraria ou não compraria as amostras.

1. Certamente compraria
2. Possivelmente compraria
3. Talvez Comprasse/Talvez não comprasse
4. Possivelmente não compraria
5. Certamente não compraria

Código da amostra	Nota

Comentários: _____

 _____.

APÊNDICE E – FICHA DE AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO PELO CATA

AMOSTRA: _____ Abaixo estão listados vários termos. Marque TODOS os termos que CARACTERIZAM a amostra.				
APARÊNCIA	COR	TEXTURA	ODOR	SABOR
☐ Brilhosa ☐ Opaca ☐ Com partículas ☐ Homogênea ☐ Heterogênea Outros: _____ _____ _____	☐ Marrom leve ☐ Marrom intenso ☐ Claro ☐ Escuro ☐ Branca ☐ Levemente amarela Outros: _____ _____ _____	☐ Viscosa ☐ Diluída ☐ Cremosa ☐ Arenosa ☐ Aerada Outros: _____ _____ _____	☐ Frutado ☐ Banana ☐ Melão ☐ Graviola ☐ Tamarindo ☐ Cítrico ☐ Não identificado Outros: _____ _____ _____	☐ Doce ☐ Ácido ☐ Frutado ☐ Adstringente ☐ Banana ☐ Melão ☐ Graviola ☐ Tamarindo ☐ Amargo ☐ Não identificado Outros: _____ _____ _____

AMOSTRA: _____ Abaixo estão listados vários termos. Marque TODOS os termos que CARACTERIZAM a amostra.				
APARÊNCIA	COR	TEXTURA	ODOR	SABOR
☐ Brilhosa ☐ Opaca ☐ Com partículas ☐ Homogênea ☐ Heterogênea Outros: _____ _____ _____	☐ Marrom leve ☐ Marrom intenso ☐ Claro ☐ Escuro ☐ Branca ☐ Levemente amarela Outros: _____ _____ _____	☐ Viscosa ☐ Diluída ☐ Cremosa ☐ Arenosa ☐ Aerada Outros: _____ _____ _____	☐ Frutado ☐ Banana ☐ Melão ☐ Graviola ☐ Tamarindo ☐ Cítrico ☐ Não identificado Outros: _____ _____ _____	☐ Doce ☐ Ácido ☐ Frutado ☐ Adstringente ☐ Banana ☐ Melão ☐ Graviola ☐ Tamarindo ☐ Amargo ☐ Não identificado Outros: _____ _____ _____

AMOSTRA: _____ Abaixo estão listados vários termos. Marque TODOS os termos que CARACTERIZAM a amostra.				
APARÊNCIA	COR	TEXTURA	ODOR	SABOR
☐ Brilhosa ☐ Opaca ☐ Com partículas ☐ Homogênea ☐ Heterogênea Outros: _____ _____ _____	☐ Marrom leve ☐ Marrom intenso ☐ Claro ☐ Escuro ☐ Branca ☐ Levemente amarela Outros: _____ _____ _____	☐ Viscosa ☐ Diluída ☐ Cremosa ☐ Arenosa ☐ Aerada Outros: _____ _____ _____	☐ Frutado ☐ Banana ☐ Melão ☐ Graviola ☐ Tamarindo ☐ Cítrico ☐ Não identificado Outros: _____ _____ _____	☐ Doce ☐ Ácido ☐ Frutado ☐ Adstringente ☐ Banana ☐ Melão ☐ Graviola ☐ Tamarindo ☐ Amargo ☐ Não identificado Outros: _____ _____ _____

ANEXO A – APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO
CEARÁ PROPESQ - UFC



UNIVERSIDADE FEDERAL DO
CEARÁ PROPESQ - UFC



UNIVERSIDADE FEDERAL DO
CEARÁ PROPESQ - UFC



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Polpa de tamarindo em pó como ingrediente em bebida tipo smoothie
Pesquisador: JOAO VITOR FONSECA FEITOZA
Área Temática:
Versão: 3
CAAE: 78966824.3.0000.5054
Instituição Proponente: Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do
Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 6.946.086

Apresentação do Projeto:

Objetiva-se elaborar três formulações de bebida tipo smoothie adicionadas de pó de polpa de tamarindo (PPT) para definir a concentração com melhor aceitação sensorial. O PPT será obtido em equipamento spray-dryer utilizando maltodextrina e proteína isolada do soro de leite como adjuvantes de secagem. Serão elaboradas três formulações de smoothies, sendo elas: C, formulação controle sem PPT; F5, smoothie contendo 5% de PPT; e F10, smoothie contendo 10% de PPT. Como base, serão utilizados banana nanica (33,33%), melão amarelo (33,33%), polpa de graviola (33,33%) e ácido cítrico (1 g/L). As formulações serão submetidas a análises microbiológicas (Salmonella/25mL, Enterobacteriaceae (UFC/mL) e Bolores e Leveduras (UFC/mL)) e sensoriais, através do teste de aceitação e preferência, intenção de compra e características descritivas avaliadas através do CATA (Check-All-That-Apply). Os resultados obtidos serão tabelados e tratados estatisticamente, onde serão gerados gráficos e tabelas para interpretação dos dados. Os resultados serão submetidos e divulgados em periódicos e congressos científicos. Espera-se com este estudo agregar mais valor comercial ao tamarindo, através da aplicação em bebidas de base veget

Continuação do Parecer: 6.946.086

Objetivo da Pesquisa:

- Geral: Utilizar o PPT como ingrediente na formulação de bebida de frutas tipo smoothie e avaliar suas características microbiológicas e sensoriais.
- Específicos: Elaborar duas formulações de smoothies adicionados de PPT e avaliar junto a formulação controle (sem PPT), totalizando três amostras; Avaliar a qualidade microbiológica das amostras; Avaliar a aceitação e preferência das amostras; Obter a intenção de compra das amostras; Obter o índice de aceitabilidade das amostras; Descrever as características das amostras utilizando o método CATA (Check-All-That-Apply).

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Benefícios: A pesquisa não trará benefício imediato, mas irá fornecer informações que podem auxiliar no desenvolvimento de um novo ingrediente e de um novo produto alimentício, inovando a indústria para novas possibilidades de uso dos objetos estudados nesse projeto. Riscos: A pesquisa não trará risco ao participante, visto que serão seguidos todos os protocolos higiêno-sanitários exigidos para a fabricação do produto, seguindo as boas práticas e realizando avaliações microbiológicas exigidas pelas legislações vigentes. Caso se sinta constrangido ou desconfortável de qualquer forma, você poderá abandonar a pesquisa no momento que lhe convier. Caso sinta algum desconforto após o consumo das amostras, comunique imediatamente aos responsáveis pela pesquisa para que o atendimento médico seja providenciado.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Pesquisa relevante para a área de tecnologia de alimentos, objetivos congruentes com métodos propostos, sem há necessidade de outros esclarecimentos metodológicos

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Todos os termos foram apresentados.

Recomendações:

Sem recomendações.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Sem pendências.

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Continuação do Parecer: 6.946.086

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMACOES_BASICAS_DO_P ROJETO_2293522.pdf	17/06/2024 16:05:19		Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLEatualizado2.pdf	17/06/2024 16:04:38	JOAO VITOR FONSECA FEITOZA	Aceito
Cronograma	cronogramacompleto2.pdf	17/06/2024 16:04:30	JOAO VITOR FONSECA FEITOZA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	ProjetoCompletoAtualizado2.pdf	17/06/2024 16:04:17	JOAO VITOR FONSECA FEITOZA	Aceito
Folha de Rosto	folhaderostojoaovitor.pdf	28/02/2024 15:06:53	JOAO VITOR FONSECA FEITOZA	Aceito
Solicitação Assinada pelo Pesquisador Responsável	solicitacaoaoacoordenadordodoCEP.pdf	26/02/2024 15:13:43	JOAO VITOR FONSECA FEITOZA	Aceito
Declaração de Pesquisadores	termodecompromisso.pdf	26/02/2024 15:10:01	JOAO VITOR FONSECA FEITOZA	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	termodeanuencia.pdf	26/02/2024 15:09:01	JOAO VITOR FONSECA FEITOZA	Aceito
Orçamento	orcamento.pdf	26/02/2024 15:05:28	JOAO VITOR FONSECA FEITOZA	Aceito
Declaração de Pesquisadores	declaracaodeconcordancia.pdf	26/02/2024 15:03:36	JOAO VITOR FONSECA FEITOZA	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

FORTALEZA, 12 de Julho de 2024

Assinado por:
FERNANDO ANTONIO FROTA BEZERRA
(Coordenador(a))

Endereço: Rua Cel. Nunes de Melo, 1000
Bairro: Rodolfo Teófilo
UF: CE **Município:** FORTALEZA
Telefone: (85)3366-8344 **E-mail:** comepe@ufc.br

Endereço: Rua Cel. Nunes de Melo, 1000
Bairro: Rodolfo Teófilo
UF: CE **Município:** FORTALEZA
Telefone: (85)3366-8344 **E-mail:** comepe@ufc.br

Endereço: Rua Cel. Nunes de Melo, 1000
Bairro: Rodolfo Teófilo
UF: CE **Município:** FORTALEZA
Telefone: (85)3366-8344 **E-mail:** comepe@ufc.br

ANEXO B – RESUMO EXPANDIDO PUBLICADO NO CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS



Fonte: <https://eventos.congresse.me/cbcta-2022/edicoes/CBCTA-2022/anais>

ANEXO C – RESUMO EXPANDIDO PUBLICADO NO CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS



Fonte: <https://eventos.congresso.me/cbcta-2022/edicoes/CBCTA-2022/anais>