

AVANÇOS E DESAFIOS NA MICROENCAPSULAÇÃO E SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO DE SUCOS E POLPAS DE FRUTAS

ADVANCES AND CHALLENGES IN MICROENCAPSULATION AND SPRAY DRYING OF FRUIT JUICE AND PULP

Bianca Nichelle¹

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Departamento de Química, *Campus Pato Branco*, Brasil

<https://orcid.org/0009-0004-0944-1045>
bianca2nichelle@gmail.com

Edimir Andrade Pereira²

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Departamento de Química, *Campus Pato Branco*, Brasil

<https://orcid.org/0000-0002-9793-5552>
edimir@utfpr.edu.br

¹ Escrita – Primeira Redação,

² Escrita – Supervisão, Correção e Orientação

Recebido: 07/11/2024. Parecer: 14/01/2025. Corrigido: 19/08/2025. Aprovado: 28/08/2025.

Publicado: 01/09/2025



Esta obra está licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

RESUMO

A desidratação de alimentos é uma técnica antiga, com diversos métodos disponíveis, sendo o *spray drying* (secagem por atomização) um dos mais destacados atualmente por sua eficiência energética e menor impacto ambiental. Essa técnica é amplamente aplicada para prolongar a vida útil de frutas, que são perecíveis devido ao alto teor de umidade, preservando seus compostos bioativos por meio da microencapsulação. O processo de *spray drying* envolve cinco etapas: preparação da solução (com agentes carreadores), atomização, contato com ar quente, secagem e separação do pó. Carboidratos, proteínas e gomas são os principais encapsulantes utilizados. A técnica mantém as propriedades nutricionais e sensoriais das frutas, embora enfrente desafios como higroscopicidade e perda de

compostos voláteis. Comparado a métodos como liofilização e secagem natural, o *spray drying* é mais rápido e econômico, exigindo atenção à escolha dos encapsulantes e à uniformidade das partículas. Esta revisão analisa estudos de 2009 a 2025 sobre frutas tropicais e subtropicais (como acerola, goiaba, manga, açaí, laranja, morango e maçã), com foco em formulação de pós funcionais e estabilidade de compostos fenólicos, antioxidantes e voláteis. São discutidos os efeitos de variáveis como temperatura de entrada, vazão de alimentação e tipo de agente carreador sobre o rendimento, solubilidade, morfologia e estabilidade oxidativa dos produtos. A revisão propõe diretrizes para otimização do processo e desenvolvimento de novos produtos vegetais em pó, destacando também a importância da higiene na produção e as

lacunas na literatura, indicando caminhos para superar barreiras técnicas, econômicas e regulatórias na escalabilidade industrial da tecnologia.

Palavras-chave: Agentes Encapsulantes. Compostos Bioativos. Desidratação

ABSTRACT

Food dehydration is an ancient technique, with several methods available, with spray drying currently being one of the most popular due to its energy efficiency and lower environmental impact. This technique is widely used to extend the shelf life of fruits, which are perishable due to their high moisture content, while preserving their bioactive compounds through microencapsulation. The spray-drying process involves five steps: solution preparation (with carrier agents), atomization, contact with hot air, drying, and powder separation. Carbohydrates, proteins, and gums are the main encapsulants used. The technique maintains fruits' nutritional and sensory properties, although it faces challenges such as hygroscopicity and loss of volatile compounds. Unlike freeze-drying and natural drying, spray drying is faster and more economical, requiring careful selection of encapsulants and particle uniformity. This review analyzes studies from 2009 to 2025 on tropical and subtropical fruits (such as acerola, guava, mango, açai, orange, strawberry, and apple), focusing on functional powder formulation and the stability of phenolic compounds, antioxidants, and volatiles. The effects of variables such as inlet temperature, feed flow rate, and carrier agent type on product yield, solubility, morphology, and oxidative stability are discussed. The review proposes guidelines for process optimization and the development of new powdered plant products, also highlighting the importance of hygiene in production and gaps in the literature, indicating ways to overcome technical, economic, and regulatory barriers to the industrial scalability of this technology.

Keywords: Encapsulating Agents. Bioactive Compounds. Dehydration.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Produção e Conservação de Frutas

A produção mundial de frutas alcançou 933 milhões de toneladas em 2022, com o Brasil ocupando a terceira posição no ranking global, responsável por cerca de 59 milhões de toneladas, das quais apenas 3% são exportadas (Vidal, 2023; FAO, 2023). Paralelamente, cerca de 14% dos alimentos são perdidos entre a colheita e o varejo, sendo que 40–50% das perdas de frutas e hortaliças decorrem de deterioração ou falhas logísticas (FAO, 2024) e a nível de consumo (Postharvest, 2024).

Com teor de umidade acima de 80%, frutas e vegetais são altamente perecíveis, exigindo estratégias pós-colheita eficazes para reduzir perdas e preservar propriedades nutricionais e sensoriais (Shah *et al.*, 2022). Dentre os métodos tradicionais, destacam-se a refrigeração, o uso de atmosfera modificada, o branqueamento, a pasteurização e a secagem, que inibem o crescimento microbiano e a atividade enzimática (Morgado *et al.*, 2022; Gomes *et al.*, 2023).

1.2 Métodos de Secagem

A desidratação é uma prática milenar, já utilizada no Egito Antigo para

conservar alimentos como uvas por secagem ao sol (Alves, 2014). Com o tempo, a técnica evoluiu de métodos empíricos para processos tecnologicamente avançados, com o objetivo de prolongar a vida útil dos alimentos em diferentes contextos (Silva, 2018).

Atualmente, diversos métodos de desidratação são empregados na indústria alimentícia, como secagem por ar quente, à vácuo, liofilização, osmose e por pulverização. A secagem por ar quente utiliza calor convectivo; a secagem a vácuo reduz a pressão para acelerar a evaporação; e a liofilização remove a água por sublimação, preservando sabor e estrutura, embora com alto custo (Embrapa, 2018; Bhambere, 2015).

Métodos mais recentes, como secagem por infravermelho e micro-ondas, têm se destacado por sua rapidez e capacidade de preservar compostos bioativos (Noor Mohammed; Chauhan; Semwal, 2024). Entre as inovações, a secagem por atomização (*spray drying*) se sobressai por transformar sucos e polpas em pós estáveis, com boa retenção de polifenóis e vitaminas, sendo aplicável em larga escala (Silva *et al.*, 2021).

A microencapsulação envolve a proteção de compostos bioativos sensíveis contra luz, oxigênio e umidade, promovendo maior estabilidade e liberação controlada, aspectos fundamentais no

desenvolvimento de alimentos funcionais (Mahdavi *et al.*, 2016; Kalkumbe; Waghmare; Kamble, 2022).

A escolha da técnica depende das características do produto, tempo de armazenamento e exigências do mercado. Assim, o domínio técnico dos diferentes métodos é essencial para otimizar a conservação de frutas e derivados.

1.2.1 Processo de Spray Drying: Princípios, Aplicações e Desafios

A secagem por atomização (*spray drying*) é amplamente empregada na conversão de sucos e polpas em pós, promovendo maior estabilidade, solubilidade e vida útil, com mínima perda de qualidade sensorial e nutricional (Fennema, 2017; Sonone; Unde; Kad, 2016). O processo envolve: preparo da alimentação (geralmente com agentes carreadores), atomização, contato com ar quente, secagem das partículas e separação do pó seco (Tontul; Topuz, 2017).

Utilizada desde o século XVIII, a técnica consolidou-se industrialmente no século XX, evoluindo com o uso de agentes como maltodextrina e goma arábica, que auxiliam na formação de partículas estáveis e protegem compostos bioativos (Tonon *et al.*, 2019; Kumari *et al.*, 2024). A escolha do carreador e o controle de variáveis como temperatura de entrada (120–180 °C) são essenciais para garantir

qualidade e rendimento (Bhandari *et al.*, 1997, Santana *et al.*, 2018; Reineccius, 2022).

O *spray drying* apresenta vantagens como menor custo, rapidez, alto rendimento e ampla aplicabilidade industrial (Wilkowska *et al.*, 2016), embora enfrente desafios como perda de compostos voláteis e inativação de microrganismos benéficos sob altas temperaturas (Bhambere, 2015; Aryaee *et al.*, 2023). Em relação à secagem por ar quente, destaca-se pelo maior controle de processo e preservação de antioxidantes (Akther *et al.*, 2023).

Estudos apontam que o método preserva compostos fenólicos, vitamina C e antioxidantes, resultando em pós funcionais com alta solubilidade (Quek *et al.*, 2020; Jayasena; Cameron, 2021). Sua aplicação na microencapsulação tem sido essencial para proteger compostos sensíveis e permitir liberação controlada, favorecendo o desenvolvimento de ingredientes funcionais (Mahdavi *et al.*, 2016; Kalkumbe; Waghmare; Kamble, 2022).

A eficácia do processo depende da interação entre variáveis operacionais e formulação, além de cuidados com a higiene do equipamento. A ausência de um design sanitário adequado pode levar à formação de biofilmes e contaminação por patógenos como *Salmonella* e *Enterobacter sakazakii*. Por isso,

recomenda-se o uso de diretrizes como EHEDG e 3-A Sanitary Standards e sistemas CIP (McMahon, 2020).

Diante disso, o *spray drying* desponta como uma alternativa promissora para conservação e valorização de frutas, especialmente pela sua capacidade de estabilizar compostos bioativos. Este estudo revisa os principais avanços da técnica na produção de pós de frutas, discutindo suas aplicações, benefícios e os desafios tecnológicos e econômicos para sua consolidação industrial.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo corresponde a uma revisão integrativa da literatura, com o objetivo de analisar os avanços na desidratação de polpas de frutas por meio da técnica de *spray drying*, considerando suas aplicações, benefícios, limitações e desafios tecnológicos. A abordagem metodológica adotada permitiu uma síntese qualitativa e temática dos dados disponíveis, com foco nas condições de processo (como temperatura e vazão), tipos e proporções de agentes carreadores, características físico-químicas e funcionais dos pós obtidos, bem como aspectos relacionados à estabilidade, bioacessibilidade e viabilidade industrial dos produtos microencapsulados.

Foram incluídos artigos científicos publicados entre 2009 e 2025, nos idiomas

inglês e português, com acesso completo e publicados em revistas científicas indexadas. Foram excluídos trabalhos de anais de eventos, artigos duplicados ou publicados em periódicos sem revisão por pares.

As buscas foram realizadas nas bases de dados SciELO, Elsevier (ScienceDirect) e Google Acadêmico, utilizando-se os seguintes descritores combinados: “*spray drying*”, “*fruit pulp*”, “*microencapsulation*”, “*maltodextrin*”, “*arabic gum*”, “*antioxidant activity*”, “*bioactive compounds*” e “*physicochemical properties*”. Os critérios de seleção priorizaram estudos experimentais que reportassem detalhadamente as variáveis de processo e os efeitos observados nas propriedades dos produtos finais.

Os dados extraídos dos artigos selecionados foram organizados em matrizes temáticas e agrupados conforme os principais eixos de análise:

- (i) influência da temperatura de secagem;
- (ii) tipo e proporção de agente carreador;
- (iii) tipo de fruta ou composto encapsulado;
- (iv) parâmetros físico-químicos, funcionais e de estabilidade dos pós;
- (v) barreiras técnicas e regulatórias para a aplicação industrial.

A discussão dos resultados foi realizada de forma comparativa e crítica, permitindo a identificação de tendências, lacunas e oportunidades futuras no uso da

técnica de *spray drying* para alimentos funcionais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A técnica de secagem por atomização (*spray drying*) tem se mostrado eficaz na obtenção de pós de frutas com boas características físicas, químicas e funcionais. Para o sucesso da microencapsulação, a escolha adequada das condições de processo e dos agentes carreadores é determinante.

Estudos iniciais, como o de Tonon *et al.* (2009), demonstraram que o aumento da temperatura de secagem reduz a umidade residual e aumenta a higroscopicidade e o diâmetro das partículas. A maltodextrina foi eficaz na melhoria da cor e na redução da absorção de umidade. Resultados semelhantes foram observados por Yousefi *et al.* (2011) ao utilizarem goma arábica no suco de romã, o que proporcionou melhores propriedades físicas, enquanto sua combinação com maltodextrina favoreceu a preservação das antocianinas.

Na produção de pó de graviola, Costa *et al.* (2014) observaram que a adição de 30% de maltodextrina resultou em maior estabilidade e boas propriedades físicas. Para o suco de caju, Rocha *et al.* (2014) identificaram como condição ideal a temperatura de 178 °C, 30% de maltodextrina e 0,55 L/h de vazão, com bom rendimento e preservação de vitamina

C. Já Patil *et al.* (2014) relataram que, no suco de goiaba, a temperatura de 185 °C e 7% de maltodextrina proporcionaram maior teor de vitamina C no produto final. Igual *et al.* (2014), trabalhando com polpa de lulo, obtiveram boas propriedades funcionais e baixa higroscopicidade ao empregar 125 °C, 3% de goma arábica e 13,4% de maltodextrina.

O controle térmico durante o processo também foi amplamente investigado. Santhalakshmy *et al.* (2015) demonstraram que, no suco de jamelão, temperaturas mais elevadas aumentaram o brilho e reduziram a umidade, mantendo a atividade de água abaixo de 0,3, o que favorece a estabilidade. Em contrapartida, Oberoi e Sogi (2015) observaram que a secagem por *spray drying* do suco de melancia ocasionou perdas de licopeno, enquanto a liofilização preservou o pigmento, embora tenha gerado pó com menor estabilidade. Trabalhando com suco de cenoura e aipo, Movahhed e Mohebbi (2016) relataram que a otimização das condições de secagem resultou em baixos teores de água e alta retenção de β -caroteno.

A escolha e proporção dos agentes carreadores segue como um dos principais fatores na qualidade do pó obtido. Lago e Norena (2016) verificaram que o uso de povidona protegeu 74% dos compostos fenólicos do suco de yacon, mantendo sua solubilidade e atividade antioxidante. Tolun

et al. (2016) recomendaram a razão 8:2 entre maltodextrina e goma arábica a 140 °C para o suco de uva, com bom rendimento e retenção de compostos fenólicos. Cavalcante *et al.* (2017, 2018), também com graviola, destacaram a importância da embalagem na proteção contra umidade e identificaram que a secagem a 169 °C com 17% de maltodextrina promoveu bom desempenho físico e higroscópico.

Outros estudos exploraram frutas específicas e suas particularidades. Bazaria e Kumar (2018) relataram, para o suco de beterraba, que temperaturas elevadas aumentaram o rendimento e a intensidade da cor vermelha, com boa retenção de betalaínas. Freitas *et al.* (2019) recomendaram o uso de 100 °C e mais de 10% de maltodextrina para o suco de abacaxi 'Pérola', mas indicaram a necessidade de mais estudos para viabilidade industrial. Colín-Cruz *et al.* (2019) mostraram que a combinação de maltodextrina e proteína do soro reduziu o tamanho das partículas no suco de amora, devido às interações eletrostáticas entre os biopolímeros.

No encapsulamento de bioativos com colágeno, Vargas-Muñoz e Kurozawa (2020) utilizaram colágeno hidrolisado a 120 °C na secagem da polpa de cocona, garantindo alta retenção de compostos bioativos. Lascano *et al.* (2020), por sua vez, obtiveram elevada estabilidade

microbiológica e bom rendimento na secagem de suco de maracujá suplementado com probióticos. Zhang *et al.* (2020a, 2020b) demonstraram que diferentes proporções de maltodextrina e goma arábica impactam diretamente a redispersão e bioacessibilidade do pó de suco de noni, sendo que o maior teor de goma promoveu maior estabilidade.

Com foco na adição de probióticos, Souza *et al.* (2021) desenvolveram um suco funcional de acerola e siriguela com *Lactobacillus*, obtendo boa bioacessibilidade dos fenólicos mesmo após secagem. Dumitrascu *et al.* (2021) destacaram que o uso combinado de caseinato de sódio e maltodextrina resultou em maior eficiência de encapsulamento de antocianinas e melhor liberação intestinal, com estabilidade durante o armazenamento.

No suco de jabuticaba, Silva *et al.* (2023) identificaram que 15% de maltodextrina foi ideal para equilibrar rendimento, solubilidade e preservação de compostos bioativos. Entretanto, conforme apontado por Mardani (2024), a transposição da técnica para escala industrial ainda enfrenta desafios, como elevado consumo energético, necessidade de controle rigoroso das variáveis e custos associados aos agentes carreadores, cuja seleção também deve considerar aspectos regulatórios. Vieille (2023) reforçou a importância da segurança alimentar e da

rotulagem, especialmente em formulações com proteínas, evidenciando lacunas na legislação quanto a compostos encapsulados.

Ainda em 2023, Kumar *et al.* observaram que a vida útil do pó de jamelão foi estendida com o uso de embalagem laminada 4-ply, sem necessidade de conservantes. Vargas *et al.* (2024) relataram que a combinação de 170 °C, 15% de maltodextrina e 7,5 mL/min de vazão foi eficaz para a secagem da polpa de açaí, promovendo estabilidade e manutenção do valor nutricional. Arango-Bedoya *et al.* (2024), utilizando planejamento experimental, confirmaram a influência da temperatura e da concentração de maltodextrina no rendimento e na retenção de ácido ascórbico da polpa de lulo. Baldelli *et al.* (2024) também observaram que o uso de maltodextrina aumentou em 25% o rendimento de secagem de sucos de morango, manga e laranja, além de reduzir a adesão entre partículas quando combinada com polímeros mucoadesivos.

Por fim, Silva *et al.* (2025) avaliaram a microencapsulação do fruto da palmeira juçara (*Euterpe edulis*), comparando a polpa e o extrato acidificado. A polpa apresentou melhor desempenho como corante natural, com maior teor de antocianinas (77,5 mg/100 g), compostos fenólicos (492,48 mg EAG/100 g),

atividade antioxidante (85,82%) e estabilidade de cor (ΔE 6,25).

Em conjunto, esses estudos consolidam a secagem por atomização como uma tecnologia promissora para o desenvolvimento de alimentos funcionais. No entanto, a viabilidade em escala industrial exige otimização contínua, padronização de protocolos, superação de barreiras técnicas e regulatórias e análise criteriosa de viabilidade econômica.

4 CONCLUSÃO

A microencapsulação de polpas de frutas por secagem por atomização (*spray drying*) tem se consolidado como uma estratégia eficaz para estabilizar, conservar e veicular compostos bioativos em alimentos em pó. O sucesso do processo depende da seleção adequada dos agentes encapsulantes, de suas proporções e das condições operacionais, como temperatura, vazão e tempo de secagem. Esses fatores influenciam diretamente características críticas das microcápsulas, como retenção de compostos bioativos (antocianinas, betalaínas, vitamina C), solubilidade, morfologia, higroscopicidade e estabilidade oxidativa.

A literatura revisada evidencia que a técnica tem sido aplicada com sucesso em diversas frutas tropicais e exóticas, como graviola, romã, jabuticaba, goiaba, açaí, lulo e maracujá, com resultados

promissores na conservação da atividade antioxidante, da cor natural e da bioacessibilidade dos compostos funcionais. A combinação de carreadores, como maltodextrina com goma arábica, whey protein, colágeno hidrolisado ou polidextrose, demonstrou melhorar o rendimento, a estabilidade e a funcionalidade dos pós obtidos.

Assim, o *spray drying* representa uma alternativa tecnológica promissora para o aproveitamento e a valorização de frutas e vegetais ricos em compostos funcionais, permitindo o desenvolvimento de ingredientes naturais com apelo nutricional e sensorial. No entanto, sua aplicação em escala industrial ainda exige a superação de desafios relacionados ao consumo energético, custo dos insumos, regulamentações sobre encapsulantes e exigências de rotulagem. Portanto, são necessários estudos contínuos de otimização, padronização e escalabilidade, com foco no equilíbrio entre desempenho técnico, viabilidade econômica, segurança e aceitação do consumidor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKTHER, S.; JOTHI, J. S.; BASHA, R; RAHMAN, M; DAS G. B; ALIM, A. Drying methods effect on bioactive compounds, phenolic profile, and antioxidant capacity of mango powder, **Journal of King Saud University - Science**, v. 35, n. 1, p. 102370, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102370>

ALVES, S. B. **Estudo teórico e experimental do processo de secagem do Abacate (*Persea americana* Mill).** 2014. 140 f. 2014. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba. <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/te de/7576/2/arquivototal.pdf>

ARANGO-BEDOYA, O; ROJAS-INAGAN, R.; MARTINEZ-SUAREZ, H.; HURTADO-BENAVIDES, A. Optimization of spray drying for lulo (*Solanum quitoense* Lam.) pulp using response surface methodology. **Rev. Cienc. Agr.** v. 41, n. 1, e1227, 2024. <https://doi.org/10.22267/rcia.20244101.227>

ARYAEE, H.; ARIALI, P.; ZARE, D.; MIRDAMADI, S.; RAEISI, S. N. Evaluation of the physicochemical characteristics of a blendfruit juice powder mixed with *Lactiplantibacillus plantarum*: A comparison of spray drying and freeze drying. **J. Food Process.Preserv.** p.1-11, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/5597647>

BALDELLI, A.; PICO, J.; WOO, M.W.; CASTELLARIN, S.; PRATAP-SINGH, A. Spray dried powder of common fruit juices: Enhancement of main properties, **Powder Technology**, v. 441, p. 119560, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2024.119560>

BAZARIA, B.; KUMAR, P. Optimization of spray drying parameters for beetroot juice powder using response surface methodology (RSM). **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 17, n. 4, p. 408-415, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.09.007>

BHAMBERE, D. GAIDHANI, K. A.; HARWALKAR, M; NIRGUDE, P. S. Lyophilization / freeze drying – a review. **World Journal of Pharmaceutical Research**, v. 4, n. 8, p.516-543, 2015.

<https://www.researchgate.net/publication/292047227>

BHANDARI, B. R.; DATTA, N.; HOWES, T. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. **Drying Technology**, v. 15, n. 2, p. 671-684, 1997. <http://dx.doi.org/10.1080/07373939708917253>.

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. **Braz. J. Food Technol.** v. 20, e2016015, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.1516>

CAVALCANTE, C. E. B.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Comportamento higroscópico da polpa de graviola em pó obtida por secagem em spray dryer. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, p. e2017121, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.12117>

CHAIKHAM, P.; KEMSAWASD, V.; SEESURIYACHAN, P. Spray drying probiotics along with maoluang juice plus Tiliacora triandra gum for exposure to the in vitro gastrointestinal environments. **LWT - Food Science and Technology**. v. 78, p. 31-40, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2016.12.013>

COLÍN-CRUZ, M. A. PIMENTEL-GONZÁLEZ, D. J.; CARRILLO-NAVAS; H.; ALVAREZ-RAMÍREZ, J.; GUADARRAMA-LEZAMA, A.Y. Co-encapsulation of bioactive compounds from blackberry juice and probiotic bacteria in biopolymeric matrices. **LWT - Food Science and Technology**, v. 110, p. 94-101, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.064>

COSTA, J. P.; ROCHA, É. M. F. F.; COSTA, J. M. C. Study of the

physicochemical characteristics of sourpaw powder obtained by spray-drying. **Food Science and Technology**, v. 34, p. 663-666, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457X.6380>

DUMITRAȘCU, L., STĂNCIUC, N.; BORDA, D.; NEAGU, C.; ENACHI, E.; BU, V. B.; APRODU, I. Microencapsulation of bioactive compounds from cornelian cherry fruits using different biopolymers with soy proteins. **Food Bioscience**. v.41, 101032, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101032>

EMBRAPA. Manual de editoração da Embrapa. 4. ed. rev., atual. e ampl. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/manual-de-editoracao/manual-de-editoracao-da-embrapa>

FAO. Food loss and waste. Roma: FAO, 2024. Disponível em: <https://www.fao.org/nutrition/capacity-development/food-loss-and-waste/en/>

FAO. Seeking an end to loss and waste of food along production chain. Roma: FAO, 2024. Disponível em: <https://www.fao.org/in-action/seeking-end-to-loss-and-waste-of-food-along-production-chain/en/>

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAOSTAT: Divisão de Estatística**. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>

FENNEMA, O. R. Química de Alimentos. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

FREITAS, E F. M. LOPES, L. L.; ALVES, S. M.F.; CAMPOS, A. J. Efeito da maltodextrina no sumo da polpa de abacaxi ‘Pérola’ atomizado. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 275-282, 2019. <https://doi.org/10.19084/RCA18056>

GHARSALLAOUI, A.; ROUDAUT, G.; CHAMBIN, O.; VOILLEY, A.; SAUREL, R. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. **Food Research International**, v. 40, n. 9, p. 1107–1121, 2007. DOI: 10.1016/j.foodres.2007.07.004

GOMES, M. M. A.; SILVA, B. F.; SILVA, R. A.; ARAÚJO, A. S.; SILVA, R. A.; SILVA, B. F.; ... GOMES, M. F. A. Revestimento de frutas e hortaliças como forma de conservação pós-colheita: a cultura do morango. **Revista Coopex**. n. 14, v. 2, p. 1372–1401, 2023. <https://doi.org/10.61223/coopex.v14i2.156>

GONZÁLEZ, F. GARCÍA-MARTÍNEZ, E.; CAMACHO, M. del M.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Stability of the physical properties, bioactive compounds and antioxidant capacity of spray-dried grapefruit powder. **Food Bioscience**, v. 28, p. 74-82, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.01.009>

IGUAL, M. RAMIRES, S. MOSQUEIRA, L. H.; MARTINEZ-NAVARRETE, N. Optimization of spray drying conditions for lulo (*Solanum quitoense* L.) pulp. **Powder Technology** v. 256 p. 233–238, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2014.02.003>

ISLAM, M. Z.; KITAMURA, Y.; KOKAWA, M.; MONALISA, K.; TSAI, F.-H.; MIYAMURA, S. Effects of micro wet milling and vacuum spray drying on the physicochemical and antioxidant properties of orange (*Citrus unshiu*) juice with pulp powder. **Food and Bioprocess Processing**. v. 101, p. 132–144, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2016.11.002>

JAFARI, S. JAFARI, S. M.; EBRAHIMI, M.; ASILP, I. K.; ASSATARAKUL, K. A decade overview and prospect of spray drying encapsulation of bioactives from fruit products: Characterization, food application and in

vitro gastrointestinal digestion. **Food Hydrocolloids**, v. 134, 108068, 2023. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2022.108068

JAYASENA, V.; CAMERON, I. B. B. Spray Drying in the Food Industry. Londres: Elsevier, 2021.

KALKUMBE, A.; WAGHMARE, S.; KAMBLE, H. Microencapsulation: a review. **International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science**. v.4, n.6, 2022. <https://www.doi.org/10.56726/IRJMETs26546>

KINGWATEE, N.; APICARTSRANGKON, A.; CHAIKHAM, P.; WORAMETRACHANON, S.; TECHARUNG, J.; PANKASEMSUK, T. Spray drying *Lactobacillus casei* 01 in lychee juice varied carrier materials. **LWT - Food Science and Technology**. v. 62, p. 847-853, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.12.007>

KUMAR, V; SINGH, C. S.; BAKSHI, S.; KUMAR, S.; YADAV, S. P.; AL-ZAMANI Z. A. S.; KUMAR, P.; SINGH, U.; MEENA, K. K.; BUNKAR, D. S.; PASWAN, V. K. Physicochemical and bioactive constituents, microbial counts, and color components of spray-dried *Syzygium cumini* L. pulp powder stored in different packaging materials under two controlled environmental conditions. **Front. Nutr.** v. 10, p. 1-11, 2023 doi: 10.3389/fnut.2023.125888

KUMARI, N. VERMA. R.; CHAUHAN, N.; BHAT, F.M. Effect of Spray Drying on Physico-Chemical and Functional Properties of Food Component Utilizing Different Carriers as Encapsulating Agents. **Food Sci Nutr**. v. 10, n. 1, p. 077-084, 2024. <https://dx.doi.org/10.17352/jfsnt.000053>

LAGO, C. C.; NOREÑA, C. P. Z. Polydextrose as wall material for microencapsulation of yacon juice by spray drying. **Food and Bioprocess**

Technology, v. 9, p. 2103–2113, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1797-8>

LASCANO, R. A.; GAN, M. G. L. D.; SULABO, A. S. L.; SANTIAGO, D. M. O.; ANCHETA, L. B.; ZUBIA, C. S. Physico-chemical properties, probiotic stability and sensory characteristics of *Lactobacillus plantarum* S20 – supplemented passion fruit (*Passiflora edulis f. flavicarpa* Deg.) juice powder. **Food Research**. v. 4, n. 2, p. 320 – 326, 2020. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(2\).295](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(2).295)

MAHDAVI, S. A. JAFARI, S.M. ASSADPOOR, E.; DEHNAD, D. Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 85, p. 379 – 385, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.01.011>

MARDANI, M.; SIAHTIRI, S.; BESATI, M.; BAGHANI M., BANIASSADI, M.; NEJAD, A. M. Microencapsulation of natural products using spray drying; an overview. **Journal of Microencapsulation**, v. 41, n. 7, p. 649–678, ago. 2024. <https://doi.org/10.1080/02652048.2024.2389136>

MCMAHON, J. Hygienic spray dryer design for processing food ingredients. **Processing Magazine**, 9 set. 2020. https://www.processingmagazine.com/maintenance-safety/article/21151671/hygienic-spray-dryer-design-for-processing-food-ingredients?utm_source=chatgpt.com

MORGADO, C. M. A.; SILVA, L. R.; CORRÊA, T. O.; SANTOS, A. P.; CUNHA JUNIOR, L. C.; CAMPOS, A. J. Refrigeração e atmosfera modificada na conservação de frutas: uma breve revisão. **Scientific Electronic Archives**, v.15, n. 10, 2022. <https://doi.org/10.36560/151020221609>

MOURA, N. P. de; SILVA, J. de A.; SOUZA, M. M. B. de; SILVA JÚNIOR, M. E. da; AZOUBEL, P. M.; CONVERTI, A.; MACIEL, M. I. S. Optimization of microencapsulation of yellow mombin juice by spray drying using a central composite rotatable design and powder physicochemical properties. **Food Sci. Technol**, n. 42, e75621, 2022. <https://doi.org/10.1590/fst.75621>

MOVAHHED, M. K.; MOHEBBI, M. Spray drying and process optimization of carrot-celery juice. **Journal of Food Processing and Preservation** v. 40, p. 212–225, 2016. <http://dx.doi.org/10.1111/jfpp.12598>

NOOR MOHAMMED, A.; CHAUHAN, O.P.; SEMWAL, A.D. Emerging technologies for fruits and vegetables dehydration. **Food and Humanity**, v. 2, 100303, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100303>

OBEROI, D. P. S., SOGI, D. S. Effect of drying methods and maltodextrin concentration on pigment content of watermelon juice powder. **Journal of Food Engineering**. v. 165 p. 172–178, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.06.024>

PATIL, V.; CHAUHAN, A. K.; SINGH, R. P. Optimization of the spray-drying process for developing guava powder using response surface methodology. **Powder Technology**, v. 253, p. 230-236, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2013.11.033>

POSTHARVEST. **The difference between food loss and food waste**. [S.l.], 2024. Disponível em: <https://www.postharvest.com/food-loss-and-waste/the-difference-between-food-loss-and-food-waste>. Acesso em: 15 abr. 2025.

QUEK, S. Y.; CHOK, N. K.; SWEDLUND, P. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders.

Chemical Engineering and Processing, v. 46, n. 5, p. 386-392, 2020.

RAMAKRISHNAN, Y.; ADZAHAN, N. M.; YUSOF, Y. A.; MUHAMMAD, K. Effect of wall materials on the spray drying efficiency, powder properties and stability of bioactive compounds in tamarillo juice microencapsulation. **Powder Technology**. v. 328 p. 406–414, 2018 <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.12.018>

REINECCIUS, G. A. **Flavor Chemistry and Technology**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2022.

ROCHA, É. M. F. F.; SOUSA, S. L.; COSTA, J. P.; 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. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000600012>

SANTANA, A. A.; PAIXÃO, L. C.; OLIVEIRA, R. A.; TELIS, V. R. N. Influence of process conditions on the physicochemical properties of jussara pulp (*Euterpe edulis*) powder produced by spray drying. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, e2015085, 2018. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.8515>

SANTHALAKSHMY, S.; BOSCO, J. D.; FRANCIS, S.; SABEENA, M. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. **Powder Technology**. v. 274, p. 37-43, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.01.016>

SHAH A. S.; BHAT S. V.; MUZAFFAR K, IBRAHIM S. A.; DAR B. N. Processing Technology, Chemical Composition, Microbial Quality and Health Benefits of Dried Fruits. **Curr Res Nutr Food Sci**. v. 10, n.1, 2022.

<http://dx.doi.org/10.12944/CRNFSJ.10.1.06>

SHARMA, R.; NATH, P.C.; SETH, D. Optimization of spray-drying conditions using response surface methodology, physico-chemical characterization and shelf-life estimation of pineapple powder. **Sustainable Food Technol.** v.1, p.750-761, 2023. <https://doi.org/10.1039/D3FB00008G>

SHISHIR, M. R. I.; CHEN, W. Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. **Trends in food science & technology**, v. 65, p. 49-67, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.006>.

SILVA, J. de C. **Análise histórica sobre os métodos de conservação dos alimentos/** Jhúlia de Castro Silva. – 2018. 33f. <https://brrt.ifsp.edu.br/phocadownload/userupload/213354/ANLISE%20HISTORICA%20SOBRE%20OS%20METODOS%20DE%20CONSERVACAO%20DOS%20ALIMENTOS.pdf> Acesso em: 11/03/2024.

SILVA, P. I. STRINGHETA, P. C.; TEÓFILO, R. F.; OLIVEIRA, R. N. Parameter optimization for spray-drying microencapsulation of jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) peel extracts using simultaneous analysis of responses, **Journal of Food Engineering**, v. 117, n. 4, p. 538-544, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.08.039>

SILVA, I. C. F.; COSTA, S. C.; MADRONA, G.S.; BERGAMASCO, R. C. Microencapsulation by Spray Drying of Bioactive Compounds: A Comparison Between Pulp or Acidified Extract of Jussara Fruit (*Euterpe edulis Martius*). **Plants**, v. 14, p.1295. 2025. <https://doi.org/10.3390/plants14091295>

SONONE, V. S.; UNDE, P. A.; KAD, V. P. Effect of spray dryer parameters on different properties of fruit juice powder. **International Journal of Advanced**

Engineering, Management and Science, v. 2, n. 8, p. 239601, 2016. <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-2-533>.

SOUZA, A. L. R.; RODRIGUES, F. M.; SILVA, G. V.; SANTOS, R. S. Microencapsulação de sucos e polpas de frutas por spray drying: uma revisão. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 17, n. 3, p. 327-338, 2015. DOI: 10.15871/1517-8595/rbpa.v17n3p327-338

SOUZA M. MESQUITA, A.; SOUZA, P.; BORGES, G.; SILVA, T.; CONVERTI, A.; MACIEL, M. I. et al. New functional non-dairy mixed tropical fruit juice microencapsulated by spray drying: Physicochemical characterization, bioaccessibility, genetic identification and stability. **LWT - Food Science and Technology**, v. 152, 112271, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112271>

SRIVASTAVA, P. K.; SIT, N. A review on fruit and vegetable processing using traditional and novel methods. **Future Postharvest and Food**, v. 2, n. 1, p. 4–26, 2024. <https://doi.org/10.1002/fpf2.12046>.

TOLUN, A., ALTINTAS, Z., & ARTIK, N. Microencapsulation of grape polyphenols using maltodextrin and gum arabic as two alternative coating materials: development and characterization. **Journal of Biotechnology**, v. 239, p. 23-33. PMID:27720817, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiotec.2016.10.001>

TONTUL, I.; TOPUZ, A. *Spray-drying of fruit and vegetable juices: Effect of drying conditions on the product yield and physical properties.* **Trends in Food Science and Technology**, v. 63, p. 91–102, 2017. DOI: 10.1016/j.tifs.2017.03.009

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with

different carrier agents. **Food Research International**, v. 43, n. 3, p. 907-914, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.12.013>.

VARGAS, V.; SALDARRIAGA, S.; SÁNCHEZ, F. S.; CUELLAR, L. M. PALADINES, G. M. Effects of the spray-drying process using maltodextrin on bioactive compounds and antioxidant activity of the pulp of the tropical fruit açai (*Euterpe oleracea* Mart). **Heliyon**, v. 10, n. 13, p. e33544, 2024. doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33544

VARGAS-MUÑOZ, D. P.; OLIVEIRA, L. A. N. de; SILVA, L. C. da; 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>

VARGAS-MUÑOZ, D. P.; KUROSZAWA, L. E. Influence of combined hydrolyzed collagen and maltodextrin as carrier agents in spray drying of cocona pulp. **Brazilian Journal of Food Technology**. v. 23, 2020. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.25419>.

VIDAL, Maria de Fátima. Agropecuária: Fruticultura. Fortaleza: BNB, ano 8, n. 280, nov. 2023. (**Caderno Setorial Etene**).

VIEILLE, S.; HOURIHANE, J. O'B.; BAUMERT, J. L. Precautionary Allergen Labeling: What Advice Is Available for Health Care Professionals, Allergists, and Allergic Consumers?, The **Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice**. v. 11, n. 4, 2023, p. 977-985, <https://doi.org/10.1016/j.jaip.2022.12.042>.

WILKOWSKA, A; AMBROZIAK, W.; CZYŻOWSKA, A.; ADAMIEC, J. Effect of microencapsulation by spray drying and freeze drying technique on the antioxidant properties of blueberry (*Vaccinium myrtillus*) juice polyphenolic compounds.

Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, v. 66, n. 1, p. 11-16, 2016. <https://doi.org/10.1515/pjfn-2015-0015>

WILKOWSKA, A; AMBROZIAK, W.; ADAMIEC, J.; CZYŻOWSKA, A. Preservation of antioxidant activity and polyphenols in chokeberry juice and wine with the use of microencapsulation. **Journal of Food Processing and Preservation**. v. 41, e12924, 2017. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12924>

YOUSEFI, S.; EMAM-DJOMEH, Z.; MOUSAVI, S. M. Effect of carrier type and spray drying on the physicochemical properties of powdered and reconstituted pomegranate juice (*Punica Granatum* L.). **Journal of Food Science Technology**. v. 48, n. 6, p. 677-684, 2011. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0195-x>

ZHANG, C; KHOO, S. L. A.; SWEDLUND, P.; OGAWA, Y.; SHAN, Y.; QUEK, S. Y. Fabrication of spray-dried microcapsules containing noni juice using blends of maltodextrin and gum acacia: Physicochemical properties of powders and bioaccessibility of bioactives during in vitro digestion. **Foods**, v. 9, n. 9, p. 1316, 2020. doi.org/10.3390/foods9091316

ZHANG, C. ZHANG, C; KHOO, S. L. A.; CHEN, D. C., QUEK, S. Y. Microencapsulation of fermented noni juice via micro-fluidic-jet spray drying: Evaluation of powder properties and functionalities, **Powder Technology**, v. 361, p. 995-1005, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.10.098>