

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA

CAMPUS LAGOA DO SINO

Caroline Carvalho Pinheiro

SECAGEM COMO ESTRATÉGIA PARA REDUÇÃO DE PERDAS NO PÓS-
COLHEITA DE FRUTAS E HORTALIÇAS: UMA REVISÃO

Buri

2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA

CAMPUS LAGOA DO SINO

Caroline Carvalho Pinheiro

SECAGEM COMO ESTRATÉGIA PARA REDUÇÃO DE PERDAS NO PÓS-
COLHEITA DE FRUTAS E HORTALIÇAS: UMA REVISÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como exigência parcial para a obtenção do grau
de Bacharel em Engenharia de Alimentos na
Universidade Federal de São Carlos.

Orientação: Prof.^a Dr.^a Larissa Consoli

Buri

2026

Pinheiro, Caroline Carvalho

Secagem como estratégia para redução de perdas no
pós-colheita de frutas e hortaliças: uma revisão /
Caroline Carvalho Pinheiro -- 2026.
44f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos,
campus Lagoa do Sino, Buri
Orientador (a): Larissa Consoli
Banca Examinadora: Gabriela Feltre, Gustavo das
Graças Pereira
Bibliografia

1. Secagem de alimentos. 2. Perdas pós-colheita. 3.
Frutas e hortaliças. I. Pinheiro, Caroline Carvalho. II.
Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Lissandra Pinhatelli de Britto - CRB/8 7539

FOLHA DE APROVAÇÃO

CAROLINE CARVALHO PINHEIRO

SECAGEM COMO ESTRATÉGIA PARA REDUÇÃO DE PERDAS NO PÓS-COLHEITA DE FRUTAS E HORTALIÇAS: UMA REVISÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal de São Carlos.

Aprovado em: 30/06/2026.

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente

LARISSA CONSOLI

Data: 01/07/2026 09:47:55-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Dra. Larissa Consoli (Orientadora)
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)



Documento assinado digitalmente

GABRIELA FELTRE

Data: 01/07/2026 16:31:03-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Dra. Gabriela Feltre
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)



Documento assinado digitalmente

GUSTAVO DAS GRACAS PEREIRA

Data: 02/07/2026 10:20:46-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Gustavo das Graças Pereira
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

AGRADECIMENTO

Agradeço à minha mãe, Maria Helena, e ao meu pai, José, por todo o apoio, incentivo e dedicação ao longo da minha trajetória. Obrigada por sempre acreditarem em mim e por serem minha base durante toda essa caminhada.

À minha orientadora, Prof.^a Larissa, pela orientação, paciência e contribuições fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Ao Prof. Gustavo e à Prof.^a Gabriela, pelas considerações e sugestões durante a banca, que contribuíram para o aprimoramento do estudo.

Aos professores da UFSCar do Campus Lagoa do Sino, especialmente aos docentes do curso de Engenharia de Alimentos, pelos conhecimentos compartilhados ao longo da graduação e por contribuírem para minha formação acadêmica e profissional.

Aos colegas que fizeram parte dessa trajetória, pelos momentos de estudo, conversas e experiências compartilhadas ao longo da graduação.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho e fizeram parte dessa etapa da minha vida.

“A persistência é o caminho do êxito.”

- Charles Chaplin

RESUMO

PINHEIRO, Caroline Carvalho. **Secagem como estratégia para redução de perdas no pós-colheita de frutas e hortaliças: uma revisão**. 2026. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de São Carlos, *campus* Lagoa do Sino, Buri, 2026.

As frutas e hortaliças apresentam elevada perecibilidade devido à continuidade da atividade metabólica após a colheita, principalmente da respiração celular, associada ao elevado teor de água presente em sua composição, fatores que favorecem perdas significativas durante o pós-colheita. Nesse contexto, a secagem destaca-se como uma importante estratégia de conservação, contribuindo para a redução da atividade de água, o aumento da estabilidade comercial e o prolongamento da vida útil dos alimentos. O presente trabalho teve como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre a aplicação da secagem como tecnologia de conservação para a redução de perdas pós-colheita de frutas e hortaliças. Foram abordados os princípios do processo, os mecanismos de transferência de calor e massa, a cinética de secagem e as diferentes técnicas utilizadas na indústria de alimentos, como secagem natural, secagem em bandejas, *drum drying*, *spray drying*, secagem por infravermelho e liofilização. Para o desenvolvimento do estudo, foram utilizados artigos científicos, livros, dissertações e teses obtidos em bases de dados nacionais e internacionais. Além disso, foram apresentados estudos de caso relacionados às diferentes técnicas de secagem, destacando as condições operacionais, os equipamentos utilizados e os principais resultados observados em cada processo. A análise dos estudos demonstrou que a escolha da técnica e das condições operacionais influencia diretamente a qualidade final dos produtos, a estabilidade e a preservação de compostos bioativos. Também foi possível observar o potencial dessas tecnologias na valorização de resíduos agroindustriais e na redução de desperdícios. Dessa forma, conclui-se que a secagem constitui uma importante ferramenta para a conservação de alimentos, contribuindo para a redução de perdas pós-colheita e para o desenvolvimento de produtos com maior estabilidade e vida útil.

Palavras-chave: atividade de água; cinética de secagem; conservação de alimentos; frutas desidratadas; hortaliças desidratadas.

ABSTRACT

PINHEIRO, Caroline Carvalho. **Drying as a strategy to reduce post-harvest losses of fruits and vegetables: a review**. 2026. Undergraduate Final Project – Universidade Federal de São Carlos, *campus* Lagoa do Sino, Buri, 2026.

Fruits and vegetables are highly perishable due to the continuation of metabolic activity after harvest, particularly cellular respiration, combined with their high water content, factors that contribute to significant postharvest losses. In this context, drying stands out as an important preservation strategy by reducing water activity, increasing the commercial stability of foods, and extending their shelf life. This study aimed to conduct a literature review on the application of drying as a preservation technology to reduce postharvest losses in fruits and vegetables. The review addressed the principles of the drying process, heat and mass transfer mechanisms, drying kinetics, and the different drying techniques used in the food industry, including natural drying, tray drying, drum drying, spray drying, infrared drying, and freeze-drying. Scientific articles, books, dissertations, and theses retrieved from national and international databases were used to develop the study. In addition, case studies related to the different drying techniques were analyzed, highlighting the operating conditions, equipment used, and the main results observed for each process. The analysis demonstrated that the choice of drying technique and operating conditions directly influences the final product quality, stability, and preservation of bioactive compounds. Furthermore, these technologies showed great potential for the valorization of agro-industrial residues and the reduction of food waste. Therefore, drying is an important preservation tool, contributing to the reduction of postharvest losses and to the development of products with greater stability and extended shelf life.

Keywords: water activity; drying kinetics; food preservation; dried fruits; dried vegetables.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).....	18
Figura 2 – Representação do movimento de umidade no interior do alimento durante a secagem e da resistência associada à película limite de ar.....	22
Figura 3 – Curvas típicas de secagem: (a) evolução do conteúdo de umidade do produto, (b) cinética de secagem e (c) evolução da temperatura do produto ao longo do processo.....	23
Figura 4 – Secagem pelo sol.....	26
Figura 5 – Secador de bandejas.....	27
Figura 6 – Diagrama esquemático de secador a tambor duplo.....	28
Figura 7 – Secador a tambores geminados com alimentação pelo topo.....	29
Figura 8 – Secador a tambores geminados com alimentação projetante.....	29
Figura 9 – Diagrama esquemático de um secador a tambor único com tabuleiro de alimentação.....	29
Figura 10 – Diagrama esquemático do processo de <i>spray drying</i>	30
Figura 11 – Esquema de um secador por infravermelho.....	31
Figura 12 – Esquema do processo de liofilização.....	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS.....	12
2.1 OBJETIVO GERAL.....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3 METODOLOGIA.....	13
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	13
4.1 COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE FRUTAS E HORTALIÇAS.....	13
4.1.1 Água.....	13
4.1.2 Carboidratos.....	14
4.1.3 Proteínas.....	14
4.1.4 Lipídios.....	14
4.1.5 Ácidos orgânicos.....	15
4.1.6 Vitaminas e pigmentos.....	15
4.1.7 Parâmetros físico-químicos associados à degradação.....	15
4.2 PERDAS DE ALIMENTOS: PANORAMA GLOBAL E FOCO NAS PERDAS PÓS-COLHEITA DE FRUTAS E HORTALIÇAS.....	16
4.3 AGENDA 2030 E OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS).....	18
4.4 SECAGEM: DEFINIÇÃO E CINÉTICA DE SECAGEM.....	19
4.4.1 Definição de secagem.....	19
4.4.2 Cinética de secagem.....	21
4.5 TÉCNICAS DE SECAGEM.....	26
4.5.1 Secagem natural.....	26
4.5.2 Secador de bandejas.....	27
4.5.3 <i>Drum drying</i>	27
4.5.4 <i>Spray drying</i>	30
4.5.5 Secagem por infravermelho.....	31

4.5.6 Liofilização.....	32
4.6 LEGISLAÇÃO APLICADA A PRODUTOS DESIDRATADOS.....	33
5 ESTUDOS DE CASO.....	33
5.1 SECAGEM NATURAL.....	33
5.2 SECADOR DE BANDEJAS.....	34
5.3 <i>DRUM DRYING</i>	34
5.4 <i>SPRAY DRYING</i>	35
5.5 SECAGEM POR INFRAVERMELHO.....	36
5.6 LIOFILIZAÇÃO.....	36
5.7 SÍNTESE DOS ESTUDOS DE CASO.....	37
6 CONCLUSÃO.....	38
REFERÊNCIAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

A perda de alimentos é um dos principais desafios da cadeia produtiva de frutas e hortaliças, impactando a economia, a segurança alimentar e o meio ambiente. Estima-se que, globalmente, as perdas pós-colheita de frutas e hortaliças possam representar entre 40% e 44% da produção, em decorrência de fatores como transporte inadequado, armazenamento precário e manuseio incorreto (Rajapakshe *et al.*, 2024). No Brasil, essas perdas também são significativas, reforçando a necessidade de estratégias eficientes para minimizá-las (Guerra *et al.*, 2018).

O combate às perdas de alimentos está diretamente relacionado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, em especial o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), que visa promover padrões sustentáveis de consumo e produção, e o ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), uma vez que a redução do desperdício contribui diretamente para a segurança alimentar e a erradicação da fome (ONU, 2015). Nesse contexto, tecnologias de conservação que aumentam a vida de prateleira de frutas e hortaliças são essenciais para promover a sustentabilidade, otimizar o aproveitamento da produção agrícola e contribuir para a redução do desperdício de alimentos (Rajapakshe *et al.*, 2024).

A secagem representa uma destas alternativas, consistindo em um processo que prolonga a vida de prateleira dos alimentos devido à redução da atividade de água (a_w), dificultando o crescimento de microrganismos e reduzindo reações de deterioração. Diversas técnicas podem ser aplicadas, incluindo secagem natural, secador de bandejas, liofilização, *spray dryer*, secagem por infravermelho, entre outras, cada uma com características próprias, mas todas voltadas para a conservação e prolongamento da vida útil dos produtos (Fellows, 2006; Roberto *et al.*, 2020).

O presente estudo busca analisar as diferentes técnicas de secagem aplicáveis à transformação de frutas e hortaliças em produtos desidratados, considerando os princípios de transferência de calor e de massa envolvidos no processo. O objetivo é consolidar informações que possam reduzir perdas pós-colheita, agregar valor e incentivar práticas mais sustentáveis no processamento e conservação destes alimentos. Além de prolongar a vida útil dos alimentos, a secagem possibilita o aproveitamento de matérias-primas e resíduos agroindustriais, como cascas, sementes e bagaços, favorecendo a obtenção de produtos de maior valor agregado e contribuindo para a redução do desperdício.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo geral abordar as técnicas de secagem e como elas podem ser utilizadas como estratégia para reduzir perdas pós-colheita em frutas e hortaliças.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Discorrer sobre os principais fatores responsáveis pelas perdas pós-colheita;
- Revisar as diferentes técnicas de secagem aplicáveis a frutas e hortaliças;
- Discutir o potencial da secagem como alternativa sustentável de conservação e agregação de valor.

3 METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido por meio de uma revisão bibliográfica, baseada na busca de publicações científicas em bases de dados nacionais e internacionais. Foram utilizadas bases de dados como SciELO, ScienceDirect, Portal de Periódicos da CAPES e repositórios de teses e dissertações de universidades brasileiras, como UFSCar, USP, UNICAMP, entre outras.

Para otimizar a busca, foram utilizadas as seguintes palavras-chave: perdas pós-colheita, secagem, técnicas de secagem, conservação de alimentos, frutas desidratadas e hortaliças desidratadas. Nas plataformas em inglês, foram utilizados os mesmos termos traduzidos.

Além disso, a ferramenta de inteligência artificial ChatGPT foi utilizada de forma complementar para apoio no aprimoramento visual de algumas figuras e na melhoria da fluidez textual, sem substituição da análise crítica, interpretação das informações e consulta às referências bibliográficas originais.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE FRUTAS E HORTALIÇAS

A composição de frutas e hortaliças é caracterizada por uma grande variedade de componentes, sendo a água o constituinte majoritário, seguida por carboidratos, proteínas, lipídios, vitaminas, minerais, ácidos orgânicos, pigmentos e enzimas. Essa composição influencia a qualidade, o valor nutricional, a vida útil e os processos de degradação desses alimentos.

4.1.1 Água

Segundo Bauer *et al.* (2014), a água representa de 80 a 95% da composição de frutas e hortaliças, contribuindo para a manutenção do turgor celular, da forma e do frescor. Entretanto,

o elevado teor de água também favorece alterações indesejáveis ocasionadas por microrganismos, contribuindo para a alta perecibilidade desses produtos.

O termo "atividade de água" expressa o teor de água livre em um alimento, definido pela Equação 1:

$$a_w = \frac{P}{P_0} \quad (1)$$

Em que: P = pressão de vapor parcial de água na amostra, e P₀ = a pressão de vapor da água pura nas mesmas condições de temperatura.

A atividade de água assume valores de 0 a 1, sendo considerados ricos em água livre os alimentos com valores acima de 0,9. A maioria das frutas e hortaliças apresenta atividade de água próxima a esse valor, indicando elevado teor de água livre disponível para reações químicas, enzimáticas e microbiológicas (Rodrigues *et al.*, 2009).

4.1.2 Carboidratos

Os carboidratos constituem a principal fonte de energia para o metabolismo de frutas e hortaliças, estando presentes principalmente na forma de açúcares simples, como glicose, frutose e sacarose, além de polissacarídeos, como amido, celulose e pectinas. Seus teores variam de 2 a 20% do peso, dependendo da espécie e do estágio de maturação. Além de contribuírem para o sabor, esses compostos podem participar de processos fermentativos associados à degradação, como a formação de álcool e dióxido de carbono (CO₂) por leveduras (Vicenzi, 2014).

4.1.3 Proteínas

As proteínas estão presentes em baixa quantidade, geralmente entre 1 e 2%, mas as enzimas desempenham papel fundamental nas alterações pós-colheita. Enzimas como amilases participam do amadurecimento, enquanto pectinases e polifenoloxidasas promovem, respectivamente, o amolecimento dos tecidos e o escurecimento enzimático, fenômeno facilmente observado em maçãs e batatas cortadas e expostas ao ar (Bauer *et al.*, 2014).

4.1.4 Lipídios

Os lipídios estão geralmente presentes em baixa quantidade em frutas e hortaliças, com exceção de alimentos como abacate, azeitona e açaí (TACO, 2011). Esses compostos podem

sofrer oxidação, gerando sabores e odores indesejáveis, especialmente durante processos como secagem ou congelamento (Bauer *et al.*, 2014).

4.1.5 Ácidos orgânicos

Os ácidos orgânicos conferem sabor ácido e contribuem para a inibição do crescimento de bactérias. No entanto, seu teor tende a diminuir com a maturação, tornando o alimento mais suscetível à deterioração. Entre os principais ácidos presentes em frutas e hortaliças estão os ácidos cítrico, málico, tartárico e oxálico (Vicenzi, 2014).

4.1.6 Vitaminas e pigmentos

Vitaminas, como a vitamina C, são sensíveis ao calor e à oxidação, podendo ser facilmente degradadas durante o armazenamento e o processamento. Além do seu valor nutricional, esses alimentos são fontes de compostos bioativos, como carotenoides, compostos fenólicos e antocianinas, que apresentam propriedades antioxidantes e estão associados a benefícios à saúde. Esses compostos também podem sofrer alterações durante o processamento. Pigmentos naturais, como clorofilas, carotenoides e antocianinas, podem sofrer alterações químicas e enzimáticas, afetando a cor e o apelo visual dos produtos (Bauer *et al.*, 2014).

4.1.7 Parâmetros físico-químicos associados à degradação

Entre os principais parâmetros físico-químicos associados à degradação de frutas e hortaliças, destacam-se a atividade de água, o pH, a temperatura, a presença de oxigênio e a exposição à luz. Esses fatores influenciam a estabilidade dos produtos, pois interferem no crescimento microbiano, na velocidade das reações químicas e enzimáticas, na taxa de respiração, considerada a principal alteração fisiológica associada à degradação de frutas e hortaliças, e em atributos como cor, textura, sabor e valor nutricional. Valores elevados de atividade de água favorecem o desenvolvimento de microrganismos, enquanto o pH influencia a suscetibilidade do alimento a diferentes grupos microbianos. A temperatura, quando não controlada adequadamente, acelera processos deteriorativos e, em frutos climatéricos, pode favorecer a síntese e a ação do etileno, intensificando o amadurecimento. Além disso, injúrias mecânicas podem favorecer alterações microbiológicas, enzimáticas e fisiológicas. A presença de oxigênio e luz pode intensificar reações oxidativas, comprometendo compostos sensíveis, como vitaminas, pigmentos e lipídios (Alegbeleye *et al.*, 2022).

Dessa forma, as alterações observadas em frutas e hortaliças podem ser de natureza fisiológica, química, enzimática, mecânica ou microbiológica, resultando em perda de

qualidade e redução da vida útil. Assim, a composição físico-química desses alimentos explica sua elevada perecibilidade e reforça a importância da adoção de métodos de conservação capazes de minimizar reações deteriorativas e prolongar sua estabilidade pós-colheita (Alegbeleye *et al.*, 2022).

4.2 PERDAS DE ALIMENTOS: PANORAMA GLOBAL E FOCO NAS PERDAS PÓS-COLHEITA DE FRUTAS E HORTALIÇAS

As perdas e o desperdício de alimentos representam um dos principais desafios enfrentados pelas cadeias agrícolas em escala mundial. Segundo a *Food and Agriculture Organization* (FAO), cerca de 14% dos alimentos produzidos são perdidos antes de chegar aos mercados varejistas em todo o mundo. Pelo lado do varejo e do consumidor, estima-se que 931 milhões de toneladas de alimentos, ou 17% do total adquirido em 2019, foram desperdiçadas em residências, supermercados, restaurantes e outros serviços alimentares, segundo dados da ONU Meio Ambiente (MAPA, 2026). No Brasil, estudos apontam que o país acompanha a média global, com perdas significativas, especialmente em cultivos perecíveis como frutas e hortaliças (Santos *et al.*, 2020).

É importante diferenciar os conceitos de perdas e desperdício, frequentemente utilizados como sinônimos, mas que representam fenômenos distintos. Segundo a FAO (2019), o conceito de perdas de alimentos refere-se à redução do volume ou do valor nutricional dos alimentos produzidos para consumo humano, desde a colheita até a distribuição, envolvendo aspectos como danos mecânicos, deterioração fisiológica, contaminação e armazenamento inadequado. Já o desperdício ocorre no varejo e no consumo final, quando alimentos próprios para consumo são descartados por motivos estéticos, preparo excessivo ou falhas de planejamento doméstico (UNEP, 2024). Essa diferenciação auxilia no desenvolvimento de estratégias de mitigação adequadas para cada etapa da cadeia produtiva.

Entre os grupos de alimentos mais afetados pelas perdas, frutas e hortaliças destacam-se como produtos demasiadamente vulneráveis devido à elevada atividade metabólica, à elevada atividade de água e à sensibilidade a danos físicos, fisiológicos e microbiológicos (Zaro, 2018). Dados da FAO (2021) mostram que as frutas e hortaliças apresentam as maiores taxas de perdas pós-colheita entre todos os grupos alimentares, com médias globais que podem superar 20%, alcançando valores ainda mais elevados em países de clima tropical, onde limitações de infraestrutura de armazenamento, refrigeração e transporte intensificam o problema. Em regiões da América Latina, estudos apontam que as perdas podem se aproximar

de 25% a 30%, variando conforme as práticas de colheita, o manejo pós-colheita e a logística de distribuição (FAO, 2021).

As causas mais comuns são os danos mecânicos durante a colheita e o transporte, que rompem tecidos vegetais e aceleram reações deteriorativas. Temperaturas inadequadas de armazenamento intensificam a respiração celular e a senescência; umidade relativa elevada favorece o crescimento de fungos; e atrasos entre a colheita e o processamento reduzem a qualidade sensorial e o valor comercial dos produtos. Além disso, a atividade enzimática presente em frutas e hortaliças contribui para alterações como escurecimento, amolecimento dos tecidos e degradação de compostos sensíveis. As oscilações térmicas e embalagens inadequadas também ampliam a deterioração microbiológica e fisiológica, comprometendo a estabilidade pós-colheita antes mesmo que os produtos alcancem o processamento industrial ou o mercado consumidor (Yahaya *et al.*, 2019; Bauer *et al.*, 2014).

Essas causas demonstram que as perdas pós-colheita decorrem tanto de limitações estruturais, como a falta de infraestrutura de refrigeração e transporte, quanto de práticas inadequadas de manuseio e conservação, especialmente em cadeias produtivas de pequena escala (Abbade, 2019).

Os impactos dessas perdas extrapolam a esfera produtiva. Do ponto de vista econômico, reduzem o volume de alimentos comercializáveis, diminuem a renda de produtores, especialmente agricultores familiares, e elevam custos logísticos. Ambientalmente, implicam desperdício de recursos naturais empregados na produção, como água, fertilizantes, energia e solo (Santos *et al.*, 2020). Estimativas recentes da *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC, 2024) indicam que a perda e o desperdício de alimentos respondem por 8 a 10% das emissões globais de gases de efeito estufa, evidenciando o peso ambiental do problema. Socialmente, esses índices contribuem para agravar cenários de insegurança alimentar, particularmente em regiões de maior vulnerabilidade socioeconômica (Nascimento, 2018).

Nesse contexto, a adoção de estratégias de conservação torna-se fundamental. Métodos capazes de reduzir a atividade de água, minimizar reações fisiológicas e microbiológicas, além de promover a estabilidade dos produtos, desempenham papel central na mitigação de perdas. Entre essas alternativas, destaca-se o processo de secagem, que permite transformar matérias-primas altamente perecíveis em produtos estáveis, reduzindo a sazonalidade, prolongando a vida útil e agregando valor. Além da conservação de produtos *in natura*, a secagem também possibilita o aproveitamento de resíduos agroindustriais, como cascas, sementes e bagaços, favorecendo a obtenção de farinhas, pós e ingredientes de maior valor agregado. Assim, a

secagem configura-se não apenas como uma solução tecnológica, mas também como uma estratégia relevante do ponto de vista socioeconômico e ambiental, podendo contribuir para a agregação de valor em diferentes cadeias produtivas (Silva *et al.*, 2015).

Este panorama justifica o aprofundamento do presente estudo, voltado para compreender como técnicas de secagem podem ser aplicadas de forma eficiente para reduzir perdas de frutas e hortaliças, promovendo maior sustentabilidade e melhor aproveitamento da produção agrícola.

4.3 AGENDA 2030 E OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS)

A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável foi estabelecida pela Organização das Nações Unidas em 2015 como um marco global voltado à promoção de um modelo de desenvolvimento que integre crescimento econômico, inclusão social e proteção ambiental (ONU, 2015). Esse documento foi aplicado por 193 países e estruturado em 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), acompanhados por 169 metas, que orientam políticas públicas e ações em diferentes escalas, do nível global ao local (ONU, 2015). A Figura 1 ilustra os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela Agenda 2030.

Figura 1 – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)



Fonte: Organização das Nações Unidas (2015)

Os ODS abordam de forma sistêmica desafios contemporâneos relacionados à pobreza, fome, saúde, educação, padrões de produção e consumo, mudanças climáticas e gestão de

recursos naturais. Nesse contexto, a questão das perdas e do desperdício de alimentos é reconhecida como um problema transversal, uma vez que afeta simultaneamente a segurança alimentar, a eficiência dos sistemas produtivos e o uso sustentável dos recursos naturais (ONU, 2015; Bugalho *et al.*, 2024).

Entre os objetivos propostos, destaca-se o ODS 2 - Fome Zero e Agricultura Sustentável, que enfatiza a necessidade de garantir acesso à alimentação adequada e de promover sistemas agrícolas mais eficientes. A redução das perdas de alimentos ao longo das cadeias produtivas é apontada como um dos caminhos para ampliar a disponibilidade de alimentos sem a necessidade de expansão proporcional da produção agrícola (ONU, 2015).

Outro objetivo diretamente relacionado ao tema da presente pesquisa é o ODS 12 - Consumo e Produção Responsáveis, que estabelece diretrizes para a adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo. A meta 12.3 deste objetivo propõe, até 2030, a redução pela metade do desperdício de alimentos per capita nos níveis de varejo e consumo, bem como a diminuição das perdas ao longo das cadeias de produção e abastecimento, incluindo aquelas que ocorrem no período pós-colheita (ONU, 2015). Essa meta reconhece que perdas e desperdícios representam ineficiências estruturais dos sistemas alimentares, com impactos econômicos, sociais e ambientais significativos (IPEA, 2019).

Além disso, o ODS 13 - Ação Contra a Mudança Global do Clima também se relaciona com a problemática das perdas de alimentos, uma vez que alimentos perdidos ou desperdiçados incorporam recursos naturais e energia utilizados ao longo da produção, transporte e armazenamento, contribuindo indiretamente para as emissões de gases de efeito estufa (ONU, 2015; Bugalho *et al.*, 2024).

A literatura destaca que a incorporação das metas da Agenda 2030 nas políticas agrícolas e alimentares permite uma abordagem mais integrada para o enfrentamento das perdas e desperdícios de alimentos, especialmente em cadeias de produtos perecíveis, como frutas e hortaliças, nas quais as perdas pós-colheita são expressivas (IPEA, 2019; Bugalho *et al.*, 2024). Dessa forma, os ODS constituem um referencial normativo importante para orientar ações voltadas à melhoria da eficiência dos sistemas agroalimentares e promover a sustentabilidade.

4.4 SECAGEM: DEFINIÇÃO E CINÉTICA DE SECAGEM

4.4.1 Definição de secagem

A secagem é um dos métodos mais antigos e difundidos de conservação de alimentos. De maneira geral, a secagem, também denominada desidratação, consiste na remoção da maior

parte da água presente no alimento, podendo ocorrer por meio da aplicação de calor ou da redução da pressão, a depender do método empregado (Fellows, 2006; Celestino, 2010).

Nos métodos convencionais, o processo é caracterizado pela transferência da água do interior do produto para um meio externo não saturado, normalmente ar aquecido. Do ponto de vista físico, a secagem envolve simultaneamente fenômenos de transferência de calor e de massa. O calor pode ser fornecido por convecção, condução ou radiação, enquanto a transferência de massa ocorre pela migração da umidade, na forma líquida ou vapor, do interior do alimento até sua superfície e, posteriormente, para o meio circundante (Evangelista Neto, 2013; Martins, 2015; Tadini *et al.*, 2016).

Nesse contexto, a atividade de água (a_w) é um parâmetro que descreve o estado da água no alimento e indica sua disponibilidade para participar de reações químicas, bioquímicas e microbiológicas. Diferentemente do teor de umidade, que corresponde à quantidade total de água presente, a atividade de água está relacionada à fração de água livre e disponível, sendo, portanto, mais adequada para avaliar a estabilidade dos alimentos. Além disso, a a_w está diretamente associada às condições de equilíbrio entre o alimento e o meio circundante, podendo ser relacionada à umidade relativa do ambiente quando o sistema atinge o equilíbrio. Dessa forma, valores elevados de atividade de água favorecem o crescimento microbiano e reações de deterioração, enquanto sua redução contribui para o aumento da vida útil dos produtos alimentícios (Tadini *et al.*, 2016; Fellows, 2006).

A redução do teor de água tem como principal finalidade diminuir a atividade de água (a_w), restringindo o crescimento microbiano e minimizando reações químicas e enzimáticas associadas à deterioração (Celestino, 2010). Entretanto, a remoção de água pode também intensificar reações físicas e químicas, como escurecimento não enzimático, caramelização, oxidação lipídica, desnaturação de proteínas e perdas de compostos voláteis e nutrientes sensíveis ao calor (Mujumdar, 2006). Dessa forma, o controle das variáveis operacionais é essencial para garantir a eficiência do processo sem comprometer a qualidade do produto final.

Embora a secagem seja uma importante estratégia de conservação, o processo promove alterações na estrutura física e no estado do alimento em decorrência da remoção de água. Além da redução da atividade de água, podem ocorrer perdas nutricionais e sensoriais, como alterações de cor, aroma, sabor, textura e degradação de compostos sensíveis ao calor. A intensidade dessas modificações depende das condições operacionais empregadas, como temperatura, tempo de processamento e método de secagem, reforçando a importância da otimização desses parâmetros para preservar a qualidade final do produto.

Do ponto de vista operacional, o processo de secagem pode apresentar diferentes etapas. Inicialmente, ocorre um período de aquecimento e estabilização, seguido pelo período de taxa constante, no qual a evaporação superficial ocorre de maneira equilibrada com a migração interna de água. Após atingir o teor crítico de umidade, correspondente ao ponto em que a superfície do alimento deixa de permanecer completamente saturada de água, inicia-se o período de taxa decrescente, caracterizado pela limitação imposta pela difusão da água no interior do alimento (Fellows, 2006; Celestino, 2010; Tadini *et al.*, 2016). Essas etapas e seus mecanismos serão abordados de forma mais detalhada no tópico referente à cinética de secagem.

Tecnicamente, a escolha do método de secagem deve considerar a eficiência energética, o tempo de processamento, a preservação das características sensoriais e nutricionais, bem como o estado físico do alimento, uma vez que diferentes técnicas são mais adequadas para materiais líquidos ou sólidos. Por exemplo, a secagem por *spray drying* é indicada para materiais líquidos ou em suspensão, enquanto secadores de bandejas são mais apropriados para materiais sólidos, como frutas e hortaliças em pedaços (Fellows, 2006; Mujumdar, 2006). Os processos podem ser conduzidos à pressão atmosférica ou sob vácuo, sendo este último indicado para produtos sensíveis ao calor e ao oxigênio. Técnicas como a liofilização apresentam elevada capacidade de preservação da qualidade nutricional e sensorial dos alimentos, porém demandam maior investimento em equipamentos e custos operacionais mais elevados, o que pode limitar sua aplicação industrial em comparação a métodos mais convencionais (Ratti, 2001). Além disso, os processos podem ser classificados como naturais ou artificiais, sendo estes últimos realizados com o emprego de equipamentos e fontes de energia controladas. Também podem ser contínuos ou intermitentes, estacionários ou móveis, conforme as condições de operação e o tipo de sistema empregado (Garcia *et al.*, 2004; Silva *et al.*, 2008). Além dos aspectos técnicos, fatores econômicos também influenciam a escolha do método de secagem. Questões como o investimento inicial em equipamentos, os custos operacionais e a escala de produção devem ser levados em consideração, uma vez que tecnologias mais sofisticadas nem sempre são viáveis para todas as aplicações. Dessa forma, a seleção do equipamento mais adequado deve buscar um equilíbrio entre a eficiência da secagem, a qualidade do produto final e o custo de implantação da tecnologia.

4.4.2 Cinética de secagem

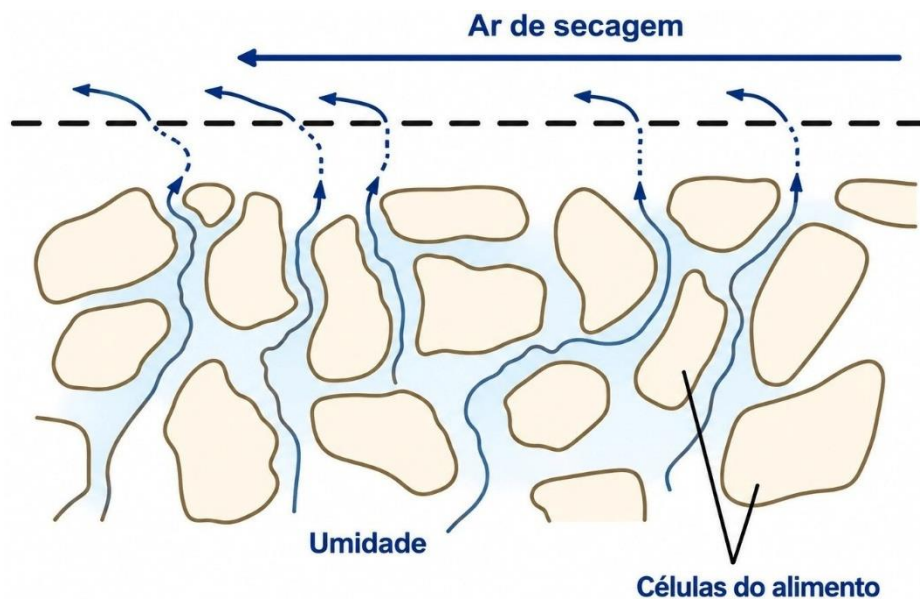
A cinética de secagem refere-se à velocidade com que ocorre a remoção de água de um alimento ao longo do tempo, sendo geralmente determinada experimentalmente durante a

operação. A partir desses dados, constroem-se curvas que expressam a variação do teor de umidade em função do tempo, bem como a taxa de secagem em função do teor de umidade, cujo comportamento depende das características específicas de cada produto (Ronchetti *et al.*, 2014; Souza *et al.*, 2018).

A taxa com que o alimento perde umidade é influenciada tanto pelas propriedades da matriz do material quanto pelas condições externas de secagem, especialmente temperatura, velocidade e umidade relativa do ar. Nesse contexto, o processo é conduzido por fenômenos simultâneos de transferência de calor e de massa. Quando o ar aquecido entra em contato com o alimento úmido, estabelece-se um gradiente de pressão de vapor entre o interior do produto e o meio externo, que atua como força motriz para a migração da água. O vapor de água difunde-se até a superfície e atravessa uma película limite de ar, sendo então removido pelo fluxo de ar (Fellows, 2006).

A película limite de ar atua como uma resistência à transferência de calor e de massa, e sua espessura depende principalmente da velocidade do ar. Assim, maiores velocidades do ar reduzem essa resistência e aumentam a taxa de secagem, enquanto altas umidades relativas diminuem o gradiente de pressão de vapor e, conseqüentemente, a eficiência do processo. Esse mecanismo de transferência de umidade pode ser visualizado na Figura 2. Dessa forma, a compreensão da cinética permite prever o momento em que o produto atinge o teor de água desejado, contribuindo para maior controle operacional (Celestino, 2010; Souza *et al.*, 2018).

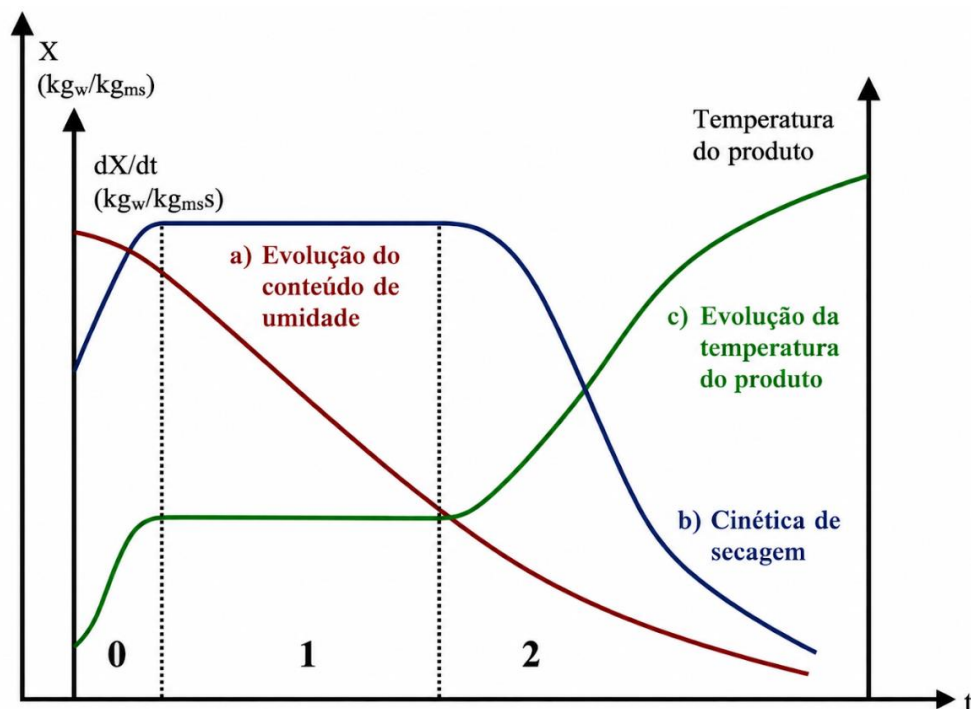
Figura 2 – Representação do movimento de umidade no interior do alimento durante a secagem e da resistência associada à película limite de ar



Fonte: Adaptado de Fellows (2006) com utilização da ferramenta de inteligência artificial "ChatGPT" para aprimoramento visual

O comportamento típico da secagem pode ser representado por diferentes etapas, conforme ilustrado na Figura 3. As curvas apresentadas indicam a evolução do teor de água do produto (X), da temperatura do produto (T) e da velocidade de secagem (dX/dt), também denominada taxa de secagem, ao longo do tempo. A curva (a), em vermelho, representa a redução do teor de umidade do material durante o processo; a curva (b), em azul, corresponde à variação da taxa de secagem; e a curva (c), em verde, representa a evolução da temperatura do produto durante a secagem.

Figura 3 – Curvas típicas de secagem: (a) evolução do conteúdo de umidade do produto, (b) cinética de secagem e (c) evolução da temperatura do produto ao longo do processo



Fonte: Adaptado de Park *et al.* (2001) com utilização da ferramenta de inteligência artificial "ChatGPT" para aprimoramento visual

Inicialmente, ocorre o período de indução ou entrada em regime operacional, que corresponde à etapa "0" na Figura 3, no qual o alimento se ajusta às condições do ar de secagem. Nessa etapa, o produto geralmente apresenta temperatura inferior à do ar de secagem, resultando em baixa pressão de vapor na superfície e, conseqüentemente, em reduzida taxa de remoção de água. À medida que ocorre a transferência de calor do ar para o produto, sua temperatura se eleva gradualmente, promovendo aumento da pressão de vapor da água e da taxa de secagem até o estabelecimento do regime estacionário (Oliveira, 2010).

Em seguida, inicia-se o período de taxa constante, representado pela região "1" na Figura 3. Este período é caracterizado pela evaporação contínua da água livre presente na superfície do alimento. Nessa fase, a superfície permanece saturada, e a taxa de secagem mantém-se aproximadamente constante. A transferência de calor fornecida ao produto é compensada pela transferência de massa associada à evaporação da água, mantendo a temperatura do alimento relativamente estável e próxima à temperatura de bulbo úmido. A remoção de umidade é controlada predominantemente pelas condições externas do processo, como temperatura, umidade relativa e velocidade do ar de secagem (Fellows, 2006; Celestino, 2010).

À medida que a água superficial se reduz e a migração de umidade proveniente do interior do alimento se torna insuficiente para manter a superfície saturada, inicia-se o período de taxa decrescente, correspondente à etapa 2 na Figura 3. Nessa etapa, a taxa de secagem diminui progressivamente, passando a ser controlada pelos mecanismos internos de transporte de umidade. O plano de evaporação desloca-se da superfície para regiões internas do produto, aumentando a resistência à transferência de massa e tornando a remoção de água mais lenta (Oliveira, 2010).

Durante o período de taxa decrescente, a movimentação da água pode ocorrer por diferentes mecanismos, como difusão líquida, forças capilares e difusão de vapor através da estrutura do alimento. Além disso, a temperatura do produto tende a aumentar gradualmente, aproximando-se da temperatura do ar de secagem, uma vez que a evaporação deixa de compensar integralmente a transferência de calor. Ao final do processo, o produto aproxima-se da condição de equilíbrio higroscópico com o ar de secagem, atingindo a umidade de equilíbrio, na qual a taxa de secagem torna-se praticamente nula (Fellows, 2006).

Fatores intrínsecos ao alimento, como composição, estrutura celular, porosidade e tamanho das partículas, também influenciam significativamente a cinética de secagem. Materiais com menor dimensão apresentam maior área superficial para evaporação e menor caminho de difusão interna, favorecendo a remoção de umidade. Além disso, a presença de solutos, como açúcares e sais, pode reduzir a mobilidade da água e, consequentemente, diminuir a taxa de secagem (Mujumdar, 2006; Tadini *et al.*, 2016).

A determinação da cinética de secagem é fundamental para a modelagem matemática do processo, pois permite descrever a remoção de umidade ao longo do tempo e compreender os mecanismos de transferência de massa. Essas informações são essenciais para o dimensionamento, simulação e otimização de secadores, contribuindo para a avaliação da

viabilidade técnica do processo e para a definição de condições operacionais que favoreçam a preservação das características nutricionais e sensoriais do produto final (Gouveia *et al.*, 2011).

A modelagem matemática da secagem constitui uma importante ferramenta para prever o comportamento do produto durante o processamento e auxiliar no desenvolvimento de sistemas mais eficientes (Santos *et al.*, 2010; Almeida *et al.*, 2021). Os modelos empregados podem ser classificados em teóricos, empíricos e semiempíricos. Os modelos teóricos baseiam-se nos mecanismos de transferência de calor e massa, frequentemente associados à segunda lei de Fick, enquanto os modelos empíricos e semiempíricos apresentam ampla aplicação devido à simplicidade de utilização e à boa capacidade de ajuste aos dados experimentais de produtos agrícolas e alimentícios (Park *et al.*, 2001).

Diversos modelos matemáticos têm sido utilizados para descrever a cinética de secagem de alimentos, relacionando a variação do teor de umidade com o tempo de processo. Entre os modelos mais empregados destacam-se os de Newton, Page, Henderson e Pabis, Midilli *et al.* e Logarítmico, devido à elevada capacidade de ajuste experimental reportada na literatura (Afonso Júnior *et al.*, 1999; Silva *et al.*, 2017). A Tabela 1 apresenta alguns dos principais modelos matemáticos utilizados na descrição da cinética de secagem.

Tabela 1 – Modelos matemáticos utilizados na descrição da cinética de secagem

Modelo matemático	Equação	Referência
Newton	$XR = \exp(-kt)$	O’Callaghan <i>et al.</i> (1971)
Henderson e Pabis	$XR = a \exp(-kt)$	Henderson e Pabis (1961)
Page	$XR = \exp(-kt^n)$	Page (1949)
Logarítmico	$XR = a \exp(-kt) + c$	Akpınar e Bicer (2005)
Midilli <i>et al.</i>	$XR = a \exp(-kt^n) + bt$	Midilli <i>et al.</i> (2002)
Verma <i>et al.</i>	$XR = a \exp(-kt) + (1 - a)\exp(-gt)$	Togrul e Pehlivan (2004)
Wang e Singh	$XR = 1 + at + bt^2$	Wang e Singh (1978)

Em que: XR = razão de umidade; a, b, c, g, k e n = constantes empíricas dos modelos; t = tempo de secagem.

Entre os modelos apresentados, os de Page, Henderson e Pabis e Midilli *et al.* destacam-se entre os mais utilizados na descrição da secagem de produtos vegetais, devido à elevada

capacidade de ajuste experimental observada em diferentes condições de processamento (Afonso Júnior *et al.*, 1999; Silva *et al.*, 2017).

4.5 TÉCNICAS DE SECAGEM

4.5.1 Secagem natural

A secagem natural é um dos métodos mais antigos de conservação de alimentos, realizada pela exposição direta do produto às condições ambientais, como radiação solar e circulação de ar (Erbay *et al.*, 2010).

Nesse processo, a remoção de umidade ocorre de forma gradual, em função do calor fornecido pelo sol e da convecção natural do ar. Em sua forma mais simples, os alimentos são dispostos em superfícies expostas e revolvidos periodicamente para favorecer a secagem. Existem também sistemas mais elaborados, nos quais o ar é previamente aquecido por coletores solares, proporcionando maior controle operacional e redução da exposição do alimento a contaminantes externos (Fellows, 2006; Ndukwu *et al.*, 2022).

A eficiência da secagem natural depende de fatores climáticos, como temperatura, umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento. Entre suas principais vantagens destacam-se o baixo custo e a possibilidade de utilização de energia renovável. Entretanto, o método apresenta limitações, como maior tempo de secagem, dependência das condições ambientais, menor controle operacional e maior risco de contaminação, fatores que podem comprometer a qualidade final do produto (Fernandes *et al.*, 2025).

Figura 4 – Secagem pelo sol



Fonte: UFRGS (2010)

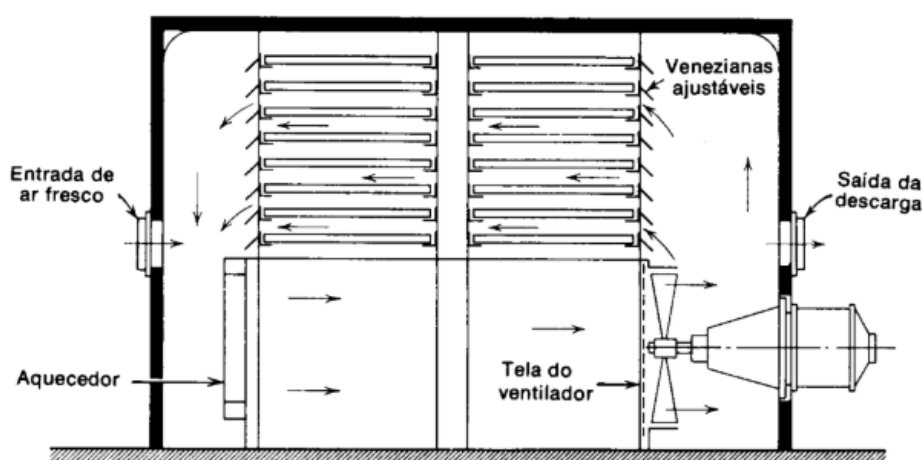
4.5.2 Secagem em bandejas

O secador de bandejas é um dos equipamentos mais utilizados na secagem de alimentos, especialmente em escala laboratorial e industrial de pequeno a médio porte. Nesse sistema, o produto é distribuído em camadas finas sobre bandejas, enquanto o ar aquecido circula pelo interior do equipamento, promovendo a remoção de umidade por convecção (Foust *et al.*, 1982).

A eficiência do processo depende de variáveis como temperatura, velocidade do ar, umidade relativa e espessura da camada de produto, que influenciam diretamente a taxa de secagem. Esse tipo de secador é amplamente empregado para secagem de frutas, hortaliças ou ervas aromáticas ou medicinais (Tadini *et al.*, 2016).

Entre as principais vantagens destacam-se a simplicidade operacional, o baixo custo e a versatilidade. Como limitações, podem ocorrer tempos de secagem mais longos, menor uniformidade e possíveis perdas de qualidade devido à exposição prolongada ao calor (Tadini *et al.*, 2016).

Figura 5 – Secador de bandejas



Fonte: Foust *et al.* (1982)

4.5.3 Drum drying

A técnica de *drum drying*, ou secagem em tambor, é um processo indireto de secagem indicado para materiais pastosos. Nesse sistema, o produto é aplicado sobre a superfície externa de cilindros metálicos aquecidos internamente por vapor, formando uma camada fina. A transferência de calor ocorre por condução através da parede do tambor, promovendo a rápida evaporação da água (Tadini *et al.*, 2016).

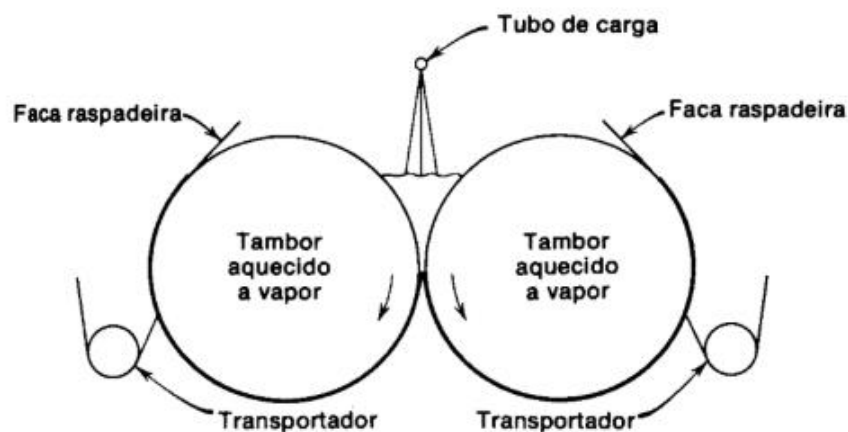
Durante a operação, os tambores giram lentamente, permitindo que o material seque ao longo de sua superfície. Ao final do ciclo, o produto seco é removido por meio de lâminas

raspadoras. A eficiência do processo depende de fatores como temperatura do tambor, velocidade de rotação e espessura da camada aplicada (Fellows, 2006).

Esse método é utilizado na produção de alimentos desidratados, como purês, farinhas e flocos. Entre suas principais vantagens destacam-se a alta taxa de secagem e a boa eficiência térmica. No entanto, o contato direto com superfícies aquecidas pode causar superaquecimento, escurecimento e alterações nas características sensoriais do produto, além de dificultar a formação de camadas uniformes em alguns casos (Tadini *et al.*, 2016).

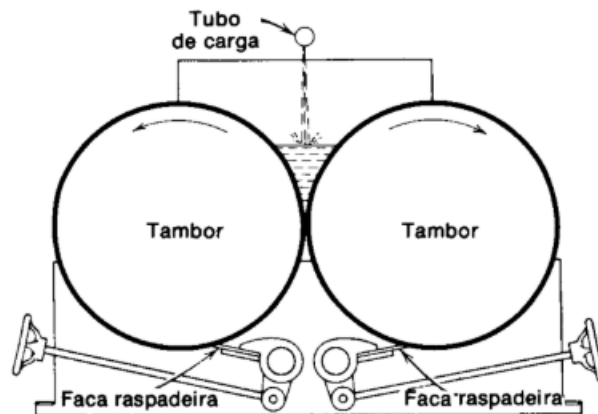
Existem diferentes tipos de secadores a tambor, que variam em função do número de tambores e do sistema de alimentação do produto. A Figura 6 apresenta um secador a tambor duplo, enquanto as Figuras 7 e 8 ilustram secadores de tambores geminados com diferentes formas de alimentação do material. Já a Figura 9 apresenta um secador de tambor único com tabuleiro de alimentação. Os secadores de tambor duplo são empregados em processos de maior capacidade de produção, enquanto os de tambores geminados diferem pelas formas de alimentação do material. Já os secadores de tambor único permitem maior controle da alimentação do produto e da espessura da camada aplicada sobre a superfície aquecida. Essas configurações são escolhidas de acordo com as características do produto processado, a capacidade de produção desejada e as condições operacionais do processo.

Figura 6 – Diagrama esquemático de secador a tambor duplo



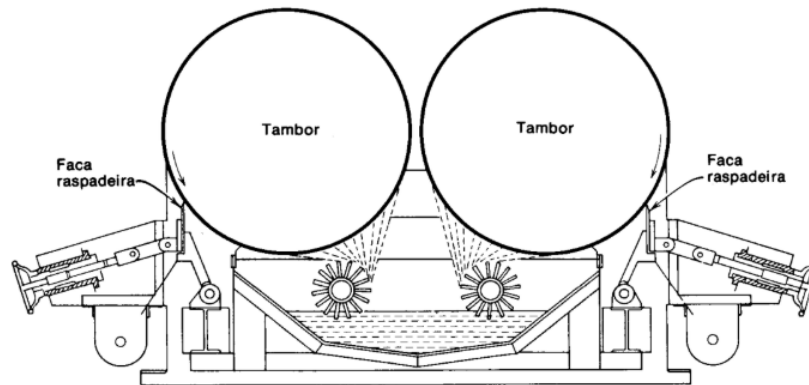
Fonte: Foust *et al.* (1982)

Figura 7 – Secador a tambores geminados com alimentação pelo topo



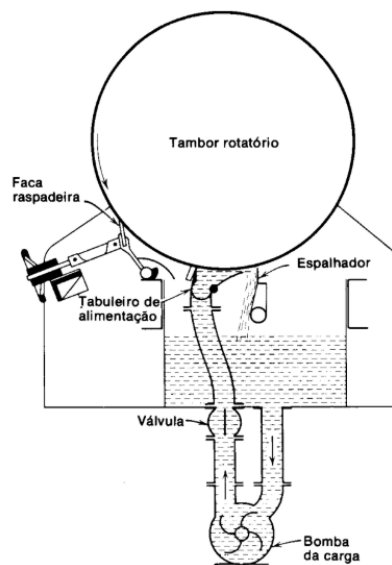
Fonte: Foust *et al.* (1982)

Figura 8 – Secador a tambores geminados com alimentação projetante



Fonte: Foust *et al.* (1982)

Figura 9 – Diagrama esquemático de um secador a tambor único com tabuleiro de alimentação



Fonte: Foust *et al.* (1982)

4.5.4 *Spray drying*

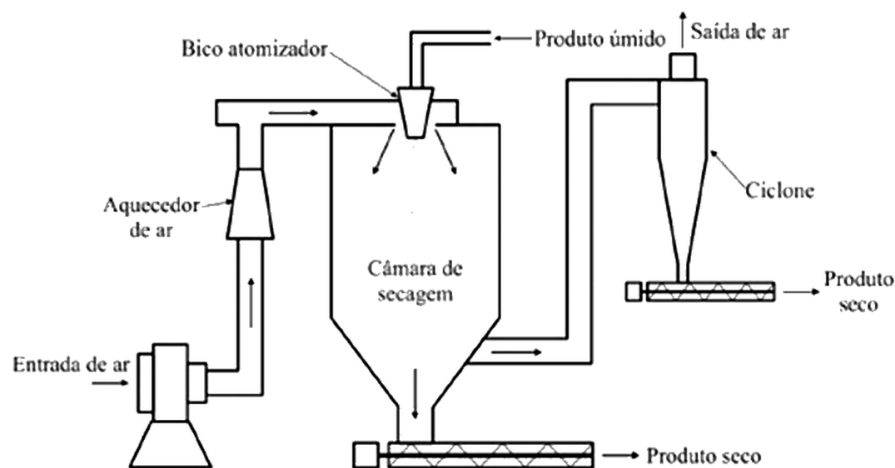
A secagem por atomização, ou *spray drying*, é uma técnica amplamente empregada na desidratação de alimentos líquidos ou pastosos, como soluções, emulsões e suspensões. Nesse processo, o material é atomizado em pequenas gotículas, que entram em contato com uma corrente de ar aquecido, promovendo a rápida evaporação da água e a formação de partículas sólidas na forma de pó (Baker, 1997; Mujumdar, 2006).

O princípio do processo baseia-se no aumento significativo da área superficial do material, o que intensifica os fenômenos de transferência de calor e massa e resulta em tempos de secagem bastante reduzidos. As gotículas são introduzidas em uma câmara de secagem, onde ocorre a remoção da umidade, sendo posteriormente separadas da corrente gasosa por dispositivos como ciclones ou filtros (Baker, 1997; Tadini *et al.*, 2016).

O funcionamento do processo pode ser observado na Figura 10. Inicialmente, o produto líquido é alimentado ao equipamento e atomizado em pequenas gotículas no interior da câmara de secagem. Em seguida, essas gotículas entram em contato com uma corrente de ar aquecido, o que promove a rápida evaporação da água. À medida que a secagem ocorre, formam-se partículas sólidas que são coletadas como produto seco. Parte dessas partículas pode ser arrastada pela corrente de ar e, nesse caso, é recuperada posteriormente por meio do ciclone presente no sistema.

Essa técnica é amplamente utilizada na indústria de alimentos, especialmente na produção de leite em pó, café solúvel, extratos vegetais e ingredientes funcionais. Além disso, pode ser aplicada a produtos sensíveis ao calor, uma vez que, apesar das elevadas temperaturas do ar de secagem, o curto tempo de residência das partículas minimiza a degradação térmica (Tadini *et al.*, 2016).

Figura 10 – Diagrama esquemático do processo de *spray drying*



Fonte: Adaptado de Petri (2019)

4.5.5 Secagem por infravermelho

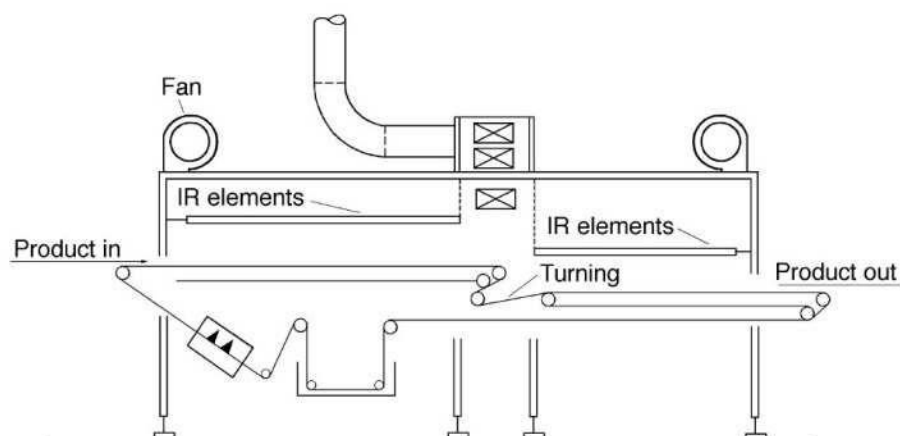
A secagem por infravermelho é um método que utiliza radiação eletromagnética na faixa do infravermelho, com comprimentos de onda entre aproximadamente 0,75 e 100 μm , para promover o aquecimento e a remoção de umidade dos alimentos. Nesse processo, a radiação é absorvida pelo material e convertida em energia térmica, promovendo aquecimento rápido e favorecendo a evaporação da água (Nindo *et al.*, 2011; Sabbaghi *et al.*, 2025).

Diferentemente dos métodos convectivos, nos quais o calor é transferido do ar para o produto, na secagem por infravermelho a energia é transferida diretamente para a superfície do material, resultando em maior taxa de aquecimento superficial e menor tempo de processamento. A absorção da radiação ocorre nas camadas superficiais do alimento, enquanto o calor é conduzido para as regiões internas do material (Nindo *et al.*, 2011).

A remoção de umidade ocorre predominantemente por difusão, sendo influenciada pelas propriedades do material e pelas condições operacionais, como intensidade da radiação e temperatura. Dessa forma, o processo envolve mecanismos simultâneos de transferência de calor e massa, semelhantes aos observados em outros métodos de secagem, porém com maior eficiência energética e aquecimento mais rápido (Mujumdar, 2006; Sabbaghi *et al.*, 2025).

Entre as principais vantagens destacam-se a redução do tempo de secagem em comparação aos métodos convectivos convencionais, a elevada eficiência energética e a possibilidade de aplicação em diferentes alimentos. No entanto, limitações como aquecimento não uniforme e baixa profundidade de aquecimento podem comprometer a homogeneidade do processo, especialmente em materiais de maior espessura, exigindo controle adequado das condições operacionais (Sabbaghi *et al.*, 2025).

Figura 11 – Esquema de um secador por infravermelho



Fonte: UFRGS (2010)

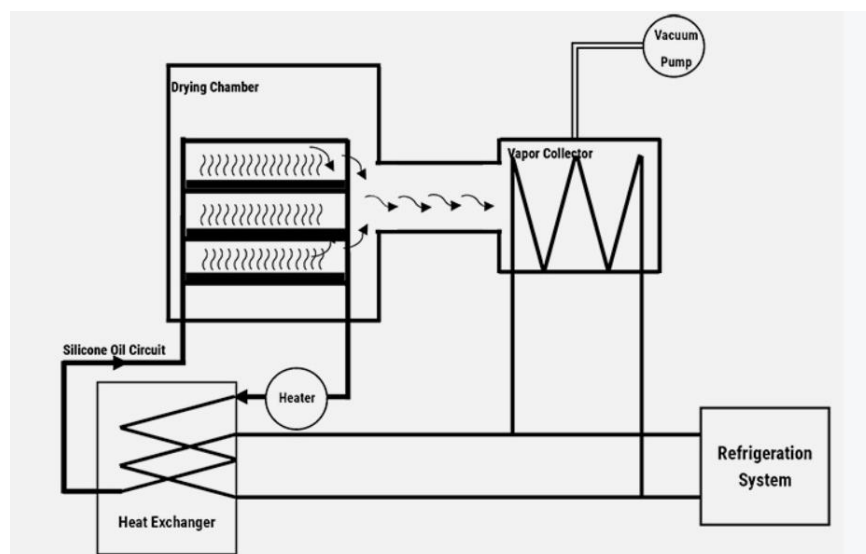
4.5.6 Liofilização

A liofilização, também conhecida como *freeze-drying*, é um processo no qual a água é removida do alimento por sublimação. Inicialmente, o produto é congelado e, em seguida, submetido a condições de vácuo, permitindo a desidratação sem passar pela fase líquida. Para que isso ocorra de forma eficiente, a pressão do sistema deve ser reduzida para aproximadamente 1 mmHg e mantida em níveis baixos durante todo o processo. Entre as principais vantagens deste método destacam-se a preservação dos nutrientes e a elevada capacidade de reidratação do produto final (Celestino, 2010).

A técnica é muito utilizada em produtos sensíveis ao calor, como frutas, café solúvel, culturas microbianas e ingredientes funcionais. Além disso, produtos liofilizados apresentam alta estabilidade durante o armazenamento. No entanto, a técnica apresenta algumas limitações, como o elevado custo dos equipamentos, o alto consumo de energia e o maior tempo de processamento quando comparado a métodos convencionais de secagem, fatores que podem restringir sua aplicação em larga escala na indústria de alimentos (Celestino, 2010).

O funcionamento do processo pode ser observado na Figura 11. Inicialmente, o produto é congelado e inserido na câmara de secagem. Em seguida, sob condições de vácuo e aquecimento controlado, a água presente no alimento é removida por sublimação. O vapor gerado é direcionado para o condensador, onde é novamente convertido em gelo, permitindo a remoção da umidade sem que o produto passe pela fase líquida.

Figura 12 – Esquema do processo de liofilização



Fonte: Vikumer (2026)

4.6 LEGISLAÇÃO APLICADA A PRODUTOS DESIDRATADOS

No Brasil, a produção e a comercialização de produtos desidratados devem atender aos requisitos sanitários estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Atualmente, a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 726, de 1º de julho de 2022, dispõe sobre os requisitos sanitários dos produtos de frutas e dos produtos de vegetais, estabelecendo critérios relacionados à composição, qualidade, segurança e rotulagem desses alimentos (BRASIL, 2022).

No que se refere aos produtos desidratados, a RDC nº 726/2022 determina que os produtos de vegetais secos ou desidratados que não sejam embalados a vácuo ou em atmosfera modificada devem apresentar teor máximo de umidade de 12%, enquanto os produtos de frutas secas ou desidratadas, exceto frutas secas tenras, devem apresentar teor máximo de umidade de 25% (BRASIL, 2022). Esses limites contribuem para a manutenção da estabilidade do produto durante o armazenamento, reduzindo o risco de deterioração microbiológica e favorecendo sua conservação.

5 ESTUDOS DE CASO

Como discutido anteriormente, a secagem é amplamente utilizada como estratégia para a redução de perdas pós-colheita de frutas e hortaliças, devido ao elevado teor de umidade e à alta perecibilidade desses produtos. Nesse contexto, diferentes estudos têm investigado sua aplicação em alimentos específicos, evidenciando impactos na qualidade final e na viabilidade tecnológica do processo (Fellows, 2006; Mujumdar, 2006).

Além disso, parâmetros operacionais como temperatura, tempo de secagem, tipo de equipamento e aplicação de pré-tratamentos podem influenciar significativamente a eficiência do processo e as características físico-químicas, nutricionais e sensoriais dos produtos desidratados (Ratti, 2001; Lewicki, 2006). Assim, este tópico apresenta estudos de caso relacionados às diferentes técnicas de secagem discutidas anteriormente, destacando suas aplicações na produção de alimentos e ingredientes alimentícios, bem como as condições operacionais e os principais resultados observados em cada processo.

5.1 SECAGEM NATURAL

Martins *et al.* (2019) avaliaram a secagem natural da casca de maracujá-amarelo utilizando bandejas de aço inoxidável cobertas com telas de náilon e expostas à radiação solar. O processo foi conduzido entre 25 e 38 °C durante 375 horas. Os resultados demonstraram

redução do teor de água de 63,2% para 1,23%, evidenciando a eficiência da técnica na remoção de umidade e seu potencial como alternativa de baixo custo para a agricultura familiar.

Sousa *et al.* (2018) estudaram a secagem de folhas de coentro (*Coriandrum sativum* L.) em secador solar de baixo custo submetido à radiação direta e difusa. A secagem sob radiação direta apresentou maior eficiência, reduzindo o tempo de processo para aproximadamente 300 minutos, enquanto sob radiação difusa foram necessários cerca de 900 minutos. Os autores também verificaram que o modelo Logarítmico apresentou o melhor ajuste para descrever a cinética de secagem.

Os resultados demonstram que a secagem natural é uma alternativa viável para a conservação de produtos vegetais, embora sua eficiência esteja relacionada às condições ambientais e ao tempo de exposição durante o processo.

5.2 SECADOR DE BANDEJAS

Altino e Cunha (2017) avaliaram a secagem de tomates dos tipos cereja e uva utilizando um secador de bandejas Pardal® PE60 com circulação de ar. Antes da secagem, os frutos foram sanitizados em solução de cloro ativo a 0,5% durante 30 minutos e cortados ao meio. Os experimentos foram conduzidos nas temperaturas de 60, 70 e 80°C, com velocidade do ar de $0,11 \pm 0,02 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Os autores observaram que o aumento da temperatura favoreceu a remoção de umidade e reduziu o tempo necessário para a secagem. Além disso, o modelo matemático de Midilli *et al.* apresentou o melhor ajuste aos dados experimentais, demonstrando a viabilidade da utilização de secadores de bandejas para a desidratação de tomates.

Batistela *et al.* (2023) avaliaram a secagem da casca de umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.) em secador convectivo de bandejas com circulação forçada de ar, nas temperaturas de 60°C e 75°C. Os resultados mostraram que o aumento da temperatura promoveu maiores taxas de secagem e reduziu o tempo do processo para aproximadamente 110 minutos na condição de 75°C. Além disso, houve aumento do coeficiente de difusividade efetiva, indicando maior facilidade de remoção da umidade. Os autores também verificaram que o modelo difusivo baseado na 2ª Lei de Fick representou adequadamente a cinética de secagem da casca de umbu.

Os estudos apresentados demonstram que a secagem em bandejas é uma técnica versátil, podendo ser aplicada tanto a frutos destinados ao consumo quanto ao aproveitamento de resíduos. Em ambos os casos, a temperatura influenciou de forma significativa a cinética de secagem, favorecendo a remoção de umidade e reduzindo o tempo de processamento.

5.3 DRUM DRYING

Nunes (2019) avaliou a produção de flocos de jabuticaba por *drum drying* utilizando temperatura de 144 °C, tempo de residência de 18 segundos e adição de 20% de coadjuvantes de secagem. Foram testados fécula de mandioca e amido de milho, além de 0,5% de monoestearato de glicerila. Os resultados demonstraram eficiência na redução da umidade e da atividade de água da polpa, com retenção de compostos bioativos entre 66 e 95%. Os flocos apresentaram boa estabilidade durante o armazenamento a 25 °C, sendo a formulação contendo fécula de mandioca a que apresentou melhor desempenho.

Yamato (2018) avaliou a estabilidade de flocos de manga obtidos por *drum drying* a partir de polpa comercial de manga. A secagem foi realizada a 130 °C, com tempo de residência de 20 segundos, utilizando amido de milho ou maltodextrina associados a monoestearato de glicerila como coadjuvantes de secagem. Os resultados indicaram boa estabilidade dos flocos durante o armazenamento, com preservação de compostos fenólicos, atividade antioxidante e características físicas do produto. Além disso, os flocos produzidos com amido apresentaram menor higroscopicidade e maior estabilidade em comparação aos produzidos com maltodextrina.

Os estudos demonstram que o *drum drying* é uma alternativa eficiente para a produção de alimentos desidratados na forma de flocos, pois proporciona rápida remoção de umidade e boa estabilidade durante o armazenamento. Além disso, a utilização de coadjuvantes de secagem pode influenciar nas características físicas e a conservação dos compostos bioativos dos produtos obtidos.

5.4 SPRAY DRYING

Braga *et al.* (2020) avaliaram a produção de pó de suco de abacaxi com hortelã por *spray drying* utilizando temperatura do ar de secagem de 105 °C, vazão de alimentação de 0,6 L·h⁻¹ e fluxo de ar de 1,75 m³·min⁻¹. A formulação foi preparada com adição de maltodextrina como agente carreador. Os autores observaram que a adição de maltodextrina aumentou o rendimento do processo, reduziu a higroscopicidade do produto e favoreceu sua estabilidade durante o armazenamento. Por outro lado, temperaturas mais elevadas intensificaram o escurecimento e reduziram a preservação da coloração verde característica da hortelã.

Outro exemplo foi apresentado por Maciel (2024), que estudou a obtenção de pó a partir de resíduos do processamento de mamão formosa (*Carica papaya* L.), compostos por cascas e sementes, utilizando a técnica de *spray drying*. Foram avaliadas temperaturas de secagem entre 105 e 130 °C, vazões de alimentação entre 0,4 e 0,8 L·h⁻¹, vazões de ar de 1,6 a 1,8 m³·min⁻¹ e concentrações de maltodextrina entre 5 e 20%. Os resultados mostraram que os pós obtidos

apresentaram baixa umidade (inferior a 3,5%) e atividade de água entre 0,114 e 0,293, indicando boa estabilidade. Além disso, a utilização de maltodextrina reduziu a higroscopicidade e contribuiu para maiores rendimentos do processo. Os autores também verificaram a preservação de compostos bioativos, como fenólicos, flavonoides e carotenoides, demonstrando o potencial da técnica para o aproveitamento de resíduos agroindustriais e produção de ingredientes com valor agregado.

Os estudos demonstram que o *spray drying* é uma técnica eficiente para a obtenção de produtos em pó com baixa umidade e elevada estabilidade, além de favorecer a preservação de compostos bioativos e o aproveitamento de resíduos agroindustriais quando associado ao uso de agentes carreadores adequados.

5.5 SECAGEM POR INFRAVERMELHO

Reis *et al.* (2012) avaliaram a secagem de folhas de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) utilizando um secador por infravermelho nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C. Os autores observaram que a elevação da temperatura reduziu o tempo de secagem, porém favoreceu o escurecimento das folhas devido à degradação da clorofila. Além disso, o modelo de Midilli *et al.* apresentou o melhor ajuste aos dados experimentais, representando a cinética de secagem do produto.

Rabello *et al.* (2021) estudaram a secagem de banana prata em fatias utilizando radiação infravermelha associada a simulação computacional e construção de um protótipo experimental. Amostras de 50 g, cortadas em fatias de 5 mm de espessura, foram submetidas à radiação infravermelha durante 70 minutos. Os resultados mostraram estabilização da massa após aproximadamente 50 minutos de secagem e redução da umidade de 69,9 g/100 g na banana *in natura* para 21,2 g/100 g no produto final, valor compatível com os padrões normalmente adotados para comercialização da banana desidratada.

Os estudos demonstram que a secagem por infravermelho apresenta eficiência na remoção de água e na redução do tempo de processamento, constituindo uma alternativa promissora para a conservação de frutas e hortaliças. Entretanto, o controle adequado das condições operacionais é importante para minimizar alterações indesejáveis na qualidade dos produtos.

5.6 LIOFILIZAÇÃO

Freitas *et al.* (2015) avaliaram a desidratação de resíduos do processamento de maracujá por liofilização, observando alta eficiência na remoção de umidade e preservação de compostos

bioativos. Os autores verificaram que os teores de flavonoides e compostos fenólicos permaneceram superiores aos da amostra *in natura*, embora tenha ocorrido redução da vitamina C e da acidez durante o processo. Além disso, o congelamento prévio em freezer convencional apresentou melhor desempenho na conservação dos compostos bioativos quando comparado ao congelamento em nitrogênio líquido.

De forma semelhante, Silva *et al.* (2016) estudaram um *blend* de abacaxi e acerola submetido à liofilização em liofilizador de bancada a -50 °C durante 76 horas. O processo reduziu o teor de água de 92% para 27,1% e diminuiu a atividade de água de 0,98 para 0,28, aumentando a estabilidade microbiológica do produto. Também foram observados aumentos nos teores de sólidos totais, sólidos solúveis e acidez titulável, indicando concentração dos constituintes após a remoção da água. Os autores concluíram que a liofilização foi eficiente na conservação e na manutenção das características físico-químicas do *blend*.

Os estudos demonstram que a liofilização apresenta elevada eficiência na conservação de frutas, hortaliças e resíduos agroindustriais, preservando compostos bioativos e características físico-químicas importantes, embora apresente maior custo e tempo de processamento quando comparada a outras técnicas de secagem.

5.7 SÍNTESE DOS ESTUDOS DE CASO

A análise dos estudos de caso demonstra que a secagem é uma estratégia eficiente para a conservação de frutas, hortaliças e seus resíduos, contribuindo para a redução do teor de água, o aumento da estabilidade e da vida útil dos produtos. Independentemente da técnica utilizada, observou-se que as condições operacionais, em especial a temperatura, influencia na cinética de secagem, afetando a velocidade de remoção de umidade e a qualidade final dos alimentos.

Além disso, os estudos mostraram que cada técnica apresenta vantagens e limitações. Métodos mais simples, como a secagem natural e em bandejas, destacam-se pelo menor custo e facilidade de aplicação, enquanto técnicas como *spray drying*, *drum drying*, infravermelho e liofilização oferecem maior controle do processo e, em muitos casos, melhor preservação das características do produto. Dessa forma, a escolha do método mais adequado deve considerar não apenas a eficiência da secagem, mas também fatores como as características da matéria-prima, a qualidade desejada e os custos envolvidos. Os resultados reforçam o potencial da secagem como ferramenta para agregação de valor e aproveitamento de produtos e resíduos agroindustriais, contribuindo para a redução de perdas e para sistemas alimentares mais sustentáveis.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho permitiu compreender a importância da secagem como método de conservação aplicado a frutas e hortaliças, bem como os principais fatores que influenciam sua eficiência. A revisão realizada mostrou que a redução do teor de água é indicada para minimizar processos de deterioração e aumentar a vida útil dos alimentos.

Também foi possível verificar que diferentes técnicas de secagem podem ser empregadas de acordo com as características da matéria-prima e os objetivos do processamento, sendo necessária a escolha do método mais adequado para cada situação.

Por fim, conclui-se que a secagem representa uma alternativa relevante para o aproveitamento de produtos agrícolas e para a redução de perdas pós-colheita, contribuindo para o melhor aproveitamento dos alimentos e dos recursos envolvidos em sua produção.

REFERÊNCIAS

- ABBADE, E. B. **Desperdício de Alimentos e Performance Logística: Uma Análise do Cenário Brasileiro**. Gepros: Gestão da Produção, Operações e Sistemas, Bauru, v. 14, ed. 5, 2019. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/5ed4a78a02fe95df779a4af1f95b38a5/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2034372>. Acesso em: 28 nov. 2025.
- AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C. **Comparação de modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.3, n.3, p.349-353, 1999.
- AKPINAR, E. K.; BICER, Y. Modelling of the drying of eggplants in thin-layers. **International Journal of Food Science and Technology**, v.40, n.3, p.1-9, 2005.
- ALEGBELEYE, Oluwadara; ODEYEMI, Olumide Adedokun; STRATEVA, Mariyana; STRATEV, Deyan. **Microbial spoilage of vegetables, fruits and cereals**. Applied Food Research, v. 2, n. 1, artigo 100122, 2022. Disponível em: [Microbial spoilage of vegetables, fruits and cereals](#).
- ALMEIDA, Rafael Fernandes; MACHADO, Ana Paula Oliveira. **Secagem de alimentos e seu impacto na pós-colheita**. In: CONGRESSO BRASILEIRO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2., 2021, evento on-line. Anais do Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia. Diamantina: UFVJM, 2021.
- ALTINO, H. O. N.; CUNHA, R. N. **Cinética de secagem de tomates do tipo cereja (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*) e uva (*Lycopersicon esculentum* Mill.) utilizando secador de bandejas**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 12., 2017, São Carlos. Disponível em: [Altino;Cunha.2017](#)
- BAKER, Christopher G. J. **Industrial drying of foods**. London: Blackie Academic & Professional, 1997. Disponível em: [Industrial Drying of Foods - Christopher G.J. Baker - Google Livros](#).
- BAUER, V. R. P.; WALLY, A. P.; PETER, M. Z. **Tecnologia de frutas e hortaliças**. Pelotas: Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, 2014. Disponível em: [untitled](#).
- BATISTELA, Vitor Fockink Silva *et al.* **Avaliação dos parâmetros cinéticos da secagem da casca de umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.) com secador convectivo de bandejas**. In: CIÊNCIAS EXATAS: investigações, práticas e avanços científicos. v. 1. Editora e-Publicar, 2023. DOI: 10.47402/ed.ep.c20230119723. Disponível em: [Vista do AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS CINÉTICOS DA SECAGEM DA CASCA DE UMBU \(*Spondias tuberosa* Arr. Cam\) COM SECADOR CONVECTIVO DE BANDEJAS](#)
- BRAGA, V. *et al.* **Production and characterization of pineapple-mint juice by spray drying**. Powder Technology, v. 375, p. 409–419, 2020. Disponível em: [Sci-Hub. Produção e caracterização de suco de abacaxi e hortelã por secagem por spray / Tecnologia em pó, 2020](#)
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 726, de 1º de julho de 2022. **Dispõe sobre os requisitos sanitários dos cogumelos comestíveis, dos produtos de**

frutas e dos produtos de vegetais. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 4 jul. 2022. Disponível em: [Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 726, de 01/07/2022](#)

BUGALHO, A. C. *et al.* **Desperdício alimentar e a miséria: obstáculos para o desenvolvimento sustentável.** Revista Aracê, v. 6, n. 3, p. 6954–6977, 2024. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/1353/1915>. Acesso em: 21 jan. 2026.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de secagem de alimentos.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2010. Disponível em: [Princípios de Secagem de Alimentos.](#)

ERBAY, Z.; ICIER, F. **A review of thin layer drying of foods: Theory, modeling and experimental results.** Critical Reviews in Food Science and Nutrition, v. 50, n. 5, p. 441 464, 2010. Disponível em: [Uma Revisão da Secagem em Camadas Finas de Alimentos: Teoria, Modelagem e Resultados Experimentais: Revisões Críticas na Food Science and Nutrition: Vol 50, Nº 5 - Acesse](#)

EVANGELISTANETO, A. A. **Secagem de grãos de girassol em leito fixo e em leito de jorro.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Global food losses and food waste - Extent, causes and prevention.** Rome, 2011. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i2697e/i2697e.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2025.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The State of Food and Agriculture 2019: Moving Forward on Food Loss and Waste Reduction.** Rome, 2019. Disponível em: <https://www.fao.org/3/ca6030en/ca6030en.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2025.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Food Loss and Waste Database – Global Estimates.** Rome, 2021.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos.** 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

FERNANDES, R. P., Luiz, M. R., Vieira, F. F., Souza, N. C. de, Santos, I. B. dos, Figueiredo, J. D. da S., Oliveira, R. J. de A., & Almeida, M. M. de. (2025). **Avanços recentes na tecnologia de secadores solares para secagem de alimentos: uma revisão.** Caderno Pedagógico, 22(6), e15606. Disponível em: <https://doi.org/10.54033/cadpedv22n6-177>

FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C. W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L. B. **Princípios das operações unitárias.** 2a ed. Rio de Janeiro: LTC, 1982. 670 p.

FREITAS, L. V. D. de *et al.* **Análise da desidratação de resíduos de processamento de maracujá (*Passiflora edulis*) por liofilização.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2015, Campinas. Disponível em: [ESTUDO CINÉTICO E TERMODINÂMICO DE ADSORÇÃO DE NÍQUEL EM ARGILA BENTONITA TIPO BOFE](#)

GARCIA, D. C. *et al.* **A secagem de sementes.** Ciência Rural, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 603-608, mar./abr. 2004.

GOUVEIA, D. S.; UGULINO, S. M. P.; DUARTE, M. E. M.; Mata, M. E. C. **Cinética de feijão preto (*Phaseolus vulgaris*, L.) em secador de bandeja.** Holos, Natal, 38-48, 2011.

GUERRA, A. M. N. M. *et al.* **Perdas pós-colheita em hortaliças provocadas por danos na rede varejista de Santarém-PA.** Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável, v. 8, n. 2, p.

106-114, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.21206/rbas.v8i2.486>. Acesso em: 20 set. 2025.

HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory. T. Temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agriculture Engineering Research**, v.6, n.3 p.1 69- 1 74, 1961.

IPEA. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **ODS 12 – Consumo e produção responsáveis: metas e indicadores**. Brasília: IPEA, 2019. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/ods/ods12.html>. Acesso em: 21 jan. 2026.

LEWICKI, P. P. **Design of hot air drying for better foods**. Trends in Food Science & Technology, v. 17, p. 153–163, 2006. Disponível em: [Design of hot air drying for better foods - ScienceDirect](#)

MACIEL, E. F. S. **Aproveitamento de resíduo do processamento de mamão formosa (*Carica papaya L.*) e otimização do método de secagem por *spray drying***. 2024. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2024. Disponível em: [AproveitamentoResíduoProcessamento.pdf](#)

MAPA. Ministério da Agricultura e Pecuária. Perdas e desperdício de alimentos. Brasília, DF: MAPA, [s.d.]. Disponível em: <[Perdas e Desperdício de Alimentos — Ministério da Agricultura e Pecuária](#)>. Acesso em: 16 maio 2026.

MARTINS, E. A. S. **Dimensionamento e experimentação de um secador e de leito fixo para a secagem de produtos agrícolas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2015.

MARTINS, H. F. *et al.* **Maracujá-amarelo (*Passiflora edulis f. Flavicarpa*): cinética da secagem artificial e natural da casca**. Brazilian journal of development, v. 5, n. 10, p. 23234-23245, 2019. Disponível em: [\(PDF\) Brazilian Journal of Development Maracujá-amarelo \(*Passiflora edulis f. Flavicarpa*\): cinética da secagem artificial e natural da casca Yellow passion fruit \(*Passiflora edulis f. Flavicarpa*\): kinetics of artificial and natural drying of the peel](#)

MIDILLI, A.; Kucuk, H.; Vapar, Z. **A new model for single-layer drying**. **Drying Technology**, v.20, n.7, p.1503-1513, 2002.

MUJUMDAR, A. S. **Handbook of industrial drying**. 3th ed. New York: Taylor & Francis, 2006.

NASCIMENTO, A. K. **Desperdício de alimentos: fator de insegurança alimentar e nutricional**. Segurança Alimentar e Nutricional, Campinas, v. 25, n. 1, p. 85-91, 2018. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/san/article/view/8649917/17978>. Acesso em: 28 nov. 2025.

NDUKWU, M. C.; IBEH, M.; EKOP, I.; ABADA, U.; ETIM, P.; BENNAMOUN, L.; GUPTA, A. **Analysis of the heat transfer coefficient, thermal effusivity and mathematical modelling of drying kinetics of a partitioned single pass low-cost solar drying of cocoyam chips with economic assessments**. Energies, v. 15, n. 12, p. 4457, 2022. Disponível em: [Análise do Coeficiente de Transferência de Calor, Efusividade Térmica e Modelagem Matemática da Cinética de Secagem de Secagem Solar de Baixa Passagem de Chips de Cocoyam com Avaliações Econômicas](#)

NINDO, C.; MWITHIGA, G., **Infrared drying**. In: Pan, Z.; Atungulu, G. G. Infrared heating for food and agricultural processing. New York: CRC Press, Cap. 5, 2011. p.89-97.

NUNES, L. P. **Desenvolvimento, caracterização e estabilidade de flocos de jabuticaba obtidos por drum drying**. 2019. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas, 2019. Disponível em: [Dissertacao Larissa Peixoto Nunes.pdf](#)

O'CALLAGHAN, J. R.; MENZIES, D. J.; BAILEY, P. H. Digital simulation of agricultural dryer performance. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.16, n.3, p. 223-244. 1971.

OLIVEIRA, F.I.P. **Estudo do processo de produção de jambo desidratado sob aplicação de ultra-som**. 2010, 91f. Dissertação (mestrado), Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010. Disponível em: [2010_dis_fipoliveira.pdf](#)

ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Nova York: ONU, 2015. Disponível em: <https://sdgs.un.org/2030agenda>. Acesso em: 21 jan. 2026.

ONU. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: **ODS 12 – Consumo e produção responsáveis**. Brasília: Nações Unidas no Brasil, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/12>. Acesso em: 23 set. 2025.

PAGE, G. E. **Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers**. Indiana: Purdue University, 1949. M. Sc. Thesis.

PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. **Estudo de secagem da pêra bartlett (Pyrus sp.) em fatias**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, 2001, v. 21, n.3, p.288-292. Disponível em: [\(PDF\) Drying studies of sliced pear bartlett \(Pyrus sp](#)

PETRI, I.J. **Operações Unitárias IV (OP4)**. 2019. Departamento de Engenharia (DEG), Universidade Federal de Lavras. Apresentação em Power Point. Disponível em: [Apresentação do PowerPoint](#)

RABELLO, Anderson Arthur *et al.* **Utilização da radiação infravermelha na secagem de amostras de banana**. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 7, n. 4, p. 39317-39330, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n4-407. Disponível em: [ISSN: 2525-8761](#)

RAJAPAKSHE, P. *et al.* **Strategies to minimize post-harvest waste of fruits and vegetables: Current solutions and future perspectives**. *Journal of Future Foods*, v. 6, n. 3, p. 400-412, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S277256692500045X?via%3Dihub>. Acesso em: 20 set. 2025.

RATTI, C. **Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review**. *Journal of Food Engineering*, v. 49, n. 4, p. 311–319, 2001. Disponível em: [Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review - ScienceDirect](#)

REIS, R. C. dos *et al.* **Cinética de secagem de folhas de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) via infravermelho**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 16, n. 12, p. 1346–1352, 2012. Disponível em: [a12v16n12-libre.pdf](#)

ROBERTO, C. D.; TEIXEIRA, L. Q.; CARVALHO, R. V. (orgs.). **Tópicos especiais em ciência e tecnologia de alimentos**. v. 1. Vitória: EDUFES, 2020. 334 p. Disponível em:

<https://repositorio.ufes.br/server/api/core/bitstreams/20e28557-8979-47d6-9199-25447a757cd8/content>. Acesso em: 23 set. 2025.

RODRIGUES, R. da S.; ZAMBIAZI, R. C.; FERRI, V. C. **Estrutura fisiologia e composição de frutas e hortaliças**. Pelotas: Ed. Universitária UFPel, 2009. 69p.

RONCHETI, E. F. S.; KOBI, H. B.; PAULA, R. R.; MARTINS, M. C.; JUNQUEIRA, M. S. **Descrição por modelos matemáticos da cinética de secagem de morangos desidratados em leite de espuma**. Magistra, Cruz das Almas, v. 26, III Congresso Brasileiro de Processamento de Frutas e Hortaliças (CBPFH), set. 2014.

SABBAGHI, Mohammad; NGUYEN, Minh. *Infrared drying in food technology: principles and practical insights*. 2025. Disponível em: [Infrared Drying in Food Technology: Principles and Practical Insights | IntechOpen](#)

SANTOS, C. T. *et al.* **Cinética e modelagem da secagem de carambola (*Averrhoa carambola* L.) em secador de bandeja**. Acta Scientiarum: Technology, Maringá, v. 32, n. 3, p. 309-313, 2010.

SANTOS, K. L. *et al.* **Perdas e desperdícios de alimentos: reflexões sobre o atual cenário brasileiro**. Brazilian Journal of Food Technology, v. 23, e2019134, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.13419>. Acesso em: 28 nov. 2025.

SILVA, E. S. da; OLIVEIRA, J.; MACHADO, A. V.; COSTA, R. O. **Secagem de grãos e frutas: revisão bibliográfica**. Revista Brasileira de Agrotecnologia, v. 5, n. 1, p. 19-23, 2015. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/REBAGRO/article/view/3683/3362>. Acesso em: 05 dez. 2025.

SILVA, J. D. S. e; AFONSO, A. D. L.; DONZELLES, S. M. L. Secagem e secadores. In: SILVA, J. D. S. e (ed.). **Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2008. p. 107-138.

SILVA, M. J. S. *et al.* **Caracterização físico-química de blend de abacaxi com acerola obtido pelo método de liofilização**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, Pombal, v. 11, n. 5, p. 110-113, 2016. DOI: 10.18378/rvads.v11i5.4786. Disponível em: [Caracterização físico-química de blend de abacaxi com acerola obtido pelo método de liofilização - Dialnet](#)

SILVA, P. L.; DAWISON, A. D.; ASSIS, L. C. **Modelos matemáticos utilizados em processo de secagem**. Uberaba: Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Química, 2017.

SOUSA, Karla dos Santos Melo *et al.* **Estudo da cinética de secagem do coentro sob ação da radiação direta e difusa**. Nucleus, v. 15, n. 2, p. 423-432, 2018. DOI: 10.3738/1982.2278.3079. Disponível em: [STUDY-OF-CORIANDERS-DRYING-KINETICS-UNDER-THE-ACTION-OF-DIRECT-AND-DIFFUSE-RADIATION.pdf](#)

SOUZA, K. S. M.; SILVA, T. B. S.; LESSA, T. B. S.; BARBOSA, K. S.; SILVA, V. P.; MACHADO, N. S. **Estudo da cinética de secagem do coentro sob ação da radiação direta e difusa**. Nucleus, 15:2, 423-432, 2018.

TADINI, C. C., *et al.* **Operações Unitárias na Indústria de Alimentos**. 1a ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

TACO. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. 4. ed. rev. e ampl. Campinas: Nepa Unicamp, 2011.

TOGRUL I.T., PEHLIVAN D. (2004): Modelling of thin layer drying kinetics of some fruits under open-air sun drying process. **Journal of Food Engineering**, 65: 413–425.

UNEP – United Nations Environment Programme. **Food Waste Index Report 2024**. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/publication/food-waste-index-report-2024>. Acesso em: 05 dez. 2025.

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change. **Food loss and waste account for 8–10% of annual global greenhouse gas emissions**. 2024. Disponível em: <https://unfccc.int/news/food-loss-and-waste-account-for-8-10-of-annual-global-greenhouse-gas-emissions-cost-usd-1-trillion>. Acesso em: 05 dez. 2025.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (UFRGS). **Secagem ao sol**. 2010. Disponível em: [Vegetais Desidratados](#)

VICENZI, R. Tecnologia de frutas e hortaliças. **Apostila didática do curso de Química Industrial de Alimentos**. Santa Rosa, RS: UNIJUI, 2014. Disponível em: [Tecnologia de Frutas e Hortaliças | PDF | Preservação de alimentos | Oxigênio](#).

VIKUMER. **Teoría de liofilización**. [S. l.], 2026. Disponível em: [Teoria da Liofilização - Liofilizador Vikumer](#)

WANG, C. Y.; SINGH, R. P. Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. **Transactions of the ASAE**, v.78, n.6, p.6505, 1978.

YAHAYA, S. M.; MARDIYYA, A. Y. **Review of post-harvest losses of fruits and vegetables**. Biomedical Journal of Scientific & Technical Research, v. 13, n. 4, 2019. Disponível em: <https://biomedres.us/pdfs/BJSTR.MS.ID.002448.pdf>. Acesso em: 05 dez. 2025.

YAMATO, Maira Akemi Casagrande. **Estabilidade de flocos de manga obtidos por drum drying no armazenamento controlado**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL), Campinas, 2018. Disponível em: [Dissertacao Maira Akemi Casagrande Yamato.pdf](#)

ZARO, Marcelo. **Desperdício de alimentos: velhos hábitos, novos desafios**. Caxias do Sul, RS: Educs, 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/278287/001076347.pdf?sequence=1#page=10>. Acesso em: 05 dez. 2025.