EFICIÊNCIA DE TECNOLOGIAS EMERGENTES DE SECAGEM EM COMPARAÇÃO AOS MÉTODOS CONVENCIONAIS

Antonio Zacarias de Sousa Neto[1], Cecilia Eloisa Martins Ramos[2], Jonatas Emmanuel Borges[3], Neila Mello dos Santos Cortez Barbosa[4]

[1]*Aluno da Universidade Federal de Mato Grosso, Barra do Garças, Brasil. (zacariasneto64@gmail.com)*

[2]*Aluno da Universidade Federal de Mato Grosso, Barra do Garças,Brasil. (ceciliaeloisam@gmail.com)*

[3]*Docente do curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Mato Grosso, Barra do Garças, Brasil. (jonatas.borges@ufmt.br)*

[4]*Docente do curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Mato Grosso, Barra do Garças, Brasil. (neila.cortez@ufmt.br)*

Resumo: O desperdício de alimentos configura-se como um dos desafios globais mais críticos da atualidade, acarretando prejuízos econômicos, sociais e ambientais severos ao longo de toda a cadeia de valor. Neste cenário, a secagem de alimentos consolida-se como uma estratégia essencial para a extensão da vida útil, redução da atividade de água e mitigação de perdas pós-colheita. Embora os métodos convencionais, como a secagem por convecção, sejam amplamente utilizados, estes apresentam limitações quanto ao consumo energético e à degradação de compostos termossensíveis. Em contrapartida, tecnologias emergentes têm sido desenvolvidas visando superar tais barreiras, prometendo maior retenção da qualidade nutricional e sensorial. O presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise comparativa entre métodos de secagem convencionais e tecnologias emergentes.

Palavras-chave: Secagem de alimentos;Transferência de Calor e Massa ; Eficiência energética; Conservação de alimentos; Redução de desperdício.

INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa a terceira posição entre os maiores produtores mundiais de frutas, com uma produção anual estimada em aproximadamente 45 milhões de toneladas (Embrapa 2025). O setor de hortaliças caracteriza-se por ampla diversidade de espécies e perfis de consumo, o que, embora configure vantagem competitiva, dificulta a padronização produtiva e a manutenção da qualidade ao longo da cadeia. O desperdício de alimentos é um problema social, ambiental, administrativo e econômico de ordem mundial. Ele se manifesta em diversos pontos da cadeia produtiva até o consumo final pelos indivíduos (Ribeiro 2020).

Aproximadamente 1,05 bilhão de toneladas de alimentos foram desperdiçadas apenas em 2022, o que equivale a 19% de toda a comida disponível para os consumidores (Unep, 2024). O impacto financeiro do desperdício de alimentos apesar de silencioso é gigantesco, representa um dreno de capital que afeta toda a cadeia de valor. Para a indústria de alimentos esse custo não se limita apenas ao alimento jogado fora, mas a todos os recursos investidos em sua produção, processamento, e distribuição

A adoção de tecnologias de conservação, em especial os processos de secagem, constitui uma estratégia eficaz para mitigar o impacto financeiro e desperdício de alimentos uma vez que contribui para a ampliação da vida útil dos produtos e para a redução das perdas ao longo da cadeia produtiva. Conforme apontado por Santos *et al.* (2025), os métodos de secagem assumem relevância no contexto do desenvolvimento sustentável, pois ultrapassam a função básica de conservação ao minimizar perdas pós-colheita, prolongar a estabilidade dos alimentos e manter suas características nutricionais e sensoriais, apoiando diretamente os ODS 1, 2 e 3.

A secagem de alimentos é um processo baseado na transferência simultânea de calor e massa, no qual o calor fornecido promove a evaporação da água

presente no alimento. Inicialmente, a umidade superficial é removida e, posteriormente, a água presente nas regiões internas migra para a superfície, onde é evaporada. Esse processo reduz a atividade de água do produto, dificultando o desenvolvimento de microrganismos e contribuindo para o aumento da vida útil dos alimentos (Purlis, 2019).

A secagem de alimentos podes ser executada por meio diferentes métodos, sendo os utilizados o por convecção, contato ou condução, liofilização, radiação e secagem dielétrica (Almeida; Machado 2021) Diante das limitações dos métodos convencionais, as técnicas emergentes têm sido consideradas alternativas superiores à secagem por ar quente, pois minimizam a degradação térmica de compostos bioativos e mantêm as características sensoriais, como cor e textura, mais próximas do alimento in natura.

O presente trabalho visa analisar estudos de comparação da secagem de alimentos por métodos convencionais e tecnologias emergentes, realizando uma avaliação crítica de cada método, especialmente no que tange à eficiência energética e à qualidade físico-química dos alimentos. O objetivo final é fornecer insights que favoreçam a tomada de decisões da indústria de alimentos e orientar futuras pesquisas que busquem a otimização dos processos de conservação de alimentos.

METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida por meio de uma revisão bibliográfica sobre tecnologias emergentes de secagem e sua comparação com métodos convencionais. Foram selecionados 15 artigos e documentos publicados entre 2016 e 2025, priorizando estudos relevantes e recentes relacionados ao tema.

As buscas foram realizadas nas bases ScienceDirect, Google Acadêmico e SciELO, utilizando palavras-chave isoladas e ou combinadas, nos idiomas português e inglês, como: “secagem solar”, “desperdício de alimentos”, “novas técnicas de secagem” e “secagem de alimentos”. A seleção dos estudos considerou a relevância científica, os resultados experimentais e o potencial de aplicação industrial das tecnologias analisadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A secagem constitui uma importante técnica de conservação de alimentos, contribuindo para o aumento da vida útil e para a agregação de valor aos produtos agrícolas. Nesse contexto, a utilização de secadores solares apresenta potencial para promover o desenvolvimento sustentável em comunidades cuja atividade econômica está relacionada à agricultura, devido ao aproveitamento de uma fonte de energia renovável e de baixo custo (Ribeiro et al., 2025).

Do ponto de vista científico, a secagem é definida como uma operação unitária que envolve a transferência simultânea de calor e massa. O objetivo central é a redução da atividade de água (aw) a níveis que inibam o crescimento de microrganismos e retardem reações químicas degradativas (Fellows, 2019). Enquanto os povos antigos dependiam exclusivamente de condições climáticas favoráveis, a evolução tecnológica transformou esse processo em uma ciência controlada.

O método mais convencional de desidratação na indústria de alimentos é a secagem por convecção forçada de ar quente, fundamentada na transferência de calor da corrente de ar para o produto e na subsequente migração da umidade interna para a superfície (Mercer, 2021). Embora seja uma técnica de baixo custo operacional e fácil implementação, o método convencional enfrenta desafios críticos.

As tecnologias de secagem de alimentos vão além da conservação, pois reduzem perdas pós-colheita, prolongam a vida útil e preservam a qualidade nutricional e sensorial, contribuindo para a segurança alimentar, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 1 e 2, e para a saúde humana (ODS 3). Também favorecem energias limpas e acessíveis (ODS 7) e economias rurais inclusivas, relacionadas ao trabalho decente e crescimento econômico (ODS 8), além de contribuírem para a redução das desigualdades (ODS 10), o consumo e a produção responsáveis (ODS 12) e a ação contra a mudança do clima (ODS 13). Ao reduzir a pressão sobre os ecossistemas por meio da conservação de recursos naturais e da valorização de resíduos agroindustriais, contribuem ainda para a proteção da vida terrestre e da biodiversidade (ODS 15), reforçando seu papel na sustentabilidade ambiental (Santos et al., 2025).

Resultados analisados evidenciam que tecnologias tradicionais de secagem permanecem amplamente utilizadas, sobretudo entre pequenos e médios produtores, em função do baixo custo operacional e da facilidade de implementação. Dentre essas tecnologias, destaca-se a secagem por radiação solar, considerada uma alternativa economicamente viável para a desidratação de alimentos por utilizar uma fonte renovável e gratuita de energia térmica. Nesse contexto, os secadores solares podem ser classificados em sistemas de exposição direta, nos quais a radiação solar incide diretamente sobre o produto, e sistemas de exposição indireta, que dispõem de um coletor responsável por absorver a

radiação, convertê-la em calor e conduzi-la até a câmara de secagem onde se encontra o material a ser desidratado (Costa et al., 2020; Almeida; Machado, 2021).

Apesar de apresentarem menor custo de implementação, os secadores solares de exposição direta possuem limitações relevantes. A literatura relata que produtos desidratados nesses sistemas tendem a apresentar redução de qualidade, além de restrições quanto à aplicação em larga escala produtiva. Tais limitações estão associadas, principalmente, à condensação de umidade no interior do equipamento, fator que compromete a eficiência do processo de secagem (Oliveira et al., 2023).

Em contrapartida, os secadores solares de exposição indireta apresentam maior controle operacional, pois utilizam coletores térmicos para aquecer o ar conduzido à câmara de secagem, promovendo a remoção de umidade sem incidência direta de radiação sobre o alimento. Essa configuração reduz perdas nutricionais e alterações de cor, além de manter baixo custo de operação e manutenção quando comparada a sistemas dependentes de energia elétrica (Mohana et al., 2020).

Revisões da literatura indicam que secadores solares apresentam desempenho superior à secagem tradicional realizada em sol aberto, proporcionando maior redução do teor de água e melhor controle das variáveis de processo. Observa-se, ainda, que sistemas com convecção forçada promovem taxas de secagem mais elevadas que aqueles operando por convecção natural, enquanto secadores híbridos assistidos por fontes auxiliares de calor demonstram maior eficiência operacional, apesar do investimento inicial mais elevado (Oliveira et al., 2023).

O paradigma atual da indústria de alimentos tem priorizado a integridade nutricional e a otimização da eficiência energética, impulsionando o desenvolvimento de tecnologias emergentes de secagem (Zielinska et al., 2019). Nesse contexto, métodos como a liofilização, secagem assistida por micro-ondas, a secagem por infravermelho, secagem por plasma frio e a secagem por campo elétrico pulsado, caracterizam-se por apresentar maior taxa de secagem e, consequentemente, melhor qualidade final da matéria-prima, apesar de serem métodos mais caros que os processos de secagem que utilizam energia solar.

Liofilização.

O processo de liofilização fundamenta-se na remoção da água por sublimação, na qual o gelo presente no material previamente congelado é convertido diretamente em vapor. Para que essa transformação ocorra, o produto é submetido a condições de baixa pressão em câmara de secagem, mantidas abaixo do ponto tríplice da água, evitando a passagem pela fase líquida (Antunes, 2022).

Para produtos termossensíveis, como os lácteos, a liofilização apresenta-se como uma alternativa eficiente aos métodos convencionais de secagem, pois ocorre em baixas temperaturas e preserva as características físico-químicas, sensoriais e a viabilidade das bactérias probióticas. Além disso, possibilita maior estabilidade e praticidade no armazenamento e transporte, sem necessidade de refrigeração (Yamaguchi et al., 2016).

A liofilização é reconhecida como um dos métodos de secagem mais caros, sendo aplicada principalmente quando há necessidade técnica específica ou quando o elevado valor agregado do produto final compensa os custos do processo (Stratta et al., 2020).

Secagem por infravermelho.

A secagem por infravermelho destaca-se pela elevada eficiência térmica, uma vez que a radiação atua diretamente sobre o material, promovendo rápido aquecimento das moléculas de água. Esse método proporciona menor tempo de secagem e melhor preservação das características nutricionais e sensoriais dos produtos, sendo amplamente aplicado em alimentos sensíveis ao calor (Alves et al., 2024).

De forma complementar, observa-se que o aumento da potência e da temperatura potencializa a taxa de secagem e pode contribuir para melhor retenção de compostos bioativos; entretanto, os efeitos sobre a qualidade dependem das condições operacionais, e o uso isolado pode não ser adequado para produtos sensíveis ao calor, tornando frequente sua associação a outras técnicas (Huang et al., 2021).

secagem por plasma frio

O plasma a frio é uma tecnologia emergente com potencial aplicação no processamento de alimentos, podendo ser utilizado na preservação e sanitização de produtos alimentícios, além de atuar como pré-tratamento em processos de secagem e outras operações industriais (Bezerraa et al., 2023). Estudos recentes indicam que a aplicação do plasma frio aumenta a eficiência da secagem, promovendo maior remoção de umidade e redução do consumo energético. Esses efeitos estão relacionados às alterações na superfície e na microestrutura dos alimentos, que favorecem a difusão da água durante o processo. Além disso, essa tecnologia pode contribuir para a preservação da qualidade do produto seco,

reduzindo o tempo de processamento e a atividade enzimática dos alimentos (Du et al., 2022).

A secagem atua como um pré-tratamento que pode melhorar a eficiência da remoção de umidade enquanto preserva propriedades nutricionais e sensoriais dos produtos. Essa abordagem surge como alternativa aos métodos tradicionais, com potencial para reduzir o consumo de energia e desenvolver processos mais sustentáveis, versáteis e capazes de manter a qualidade dos alimentos desidratados (Gavahian et al., 2024).

CONCLUSÃO

A análise comparativa evidencia que, embora os métodos convencionais de secagem permaneçam amplamente utilizados devido ao menor custo e simplicidade operacional, apresentam limitações relacionadas ao elevado consumo energético e à degradação de compostos sensíveis ao calor. Em contrapartida, as tecnologias emergentes demonstram maior eficiência na transferência de calor e massa, redução do tempo de processo e melhor preservação das características nutricionais, sensoriais e funcionais dos alimentos. Entretanto, o maior investimento inicial e os custos operacionais ainda representam entraves para sua ampla adoção industrial. Assim, a escolha do método de secagem deve considerar o equilíbrio entre viabilidade econômica, eficiência energética e qualidade do produto final, reforçando a necessidade de pesquisas voltadas à otimização e ao escalonamento dessas tecnologias no contexto da sustentabilidade e da redução do desperdício de alimentos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Curso de Engenharia de Alimentos da UFMT, a disciplina de Metodologia e Redação Científica no incentivo da construção desse trabalho.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. F.; MACHADO, A. P. O. Secagem de alimentos e seu impacto na pós-colheita. In: CONGRESSO BRASILEIRO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2., 2021. **Anais [...]**. [S. l.]: CoBICET, 2021.

ALVES, E. S. P. et al. **Cinética de secagem de banana com e sem pré-tratamento com etanol**. In: *Estudos Integrados em Engenharia: Inovação e Desempenho*. [S. l.]: AYA Editora, 2024. cap. 21. DOI: 10.47573/aya.5379.3.13.21.

ANTUNES, A. C. **Liofilização aplicada a produtos alimentares**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Alimentar) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2022.

BEZERRA, J. de A. et al. **Cold plasma as a pre-treatment for processing improvement in food: A review**. *Food Research International*, [s. l.], v. 167, p. 112663, 2023. Disponível em: ScienceDirect. Acesso em: 27 maio 2026.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de Secagem de Alimentos**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. 51 p.

COSTA, N. L. *et al*. Utilização de secador solar para produtos alimentícios: uma prospecção tecnológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 8., 2020, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: CBENS, 2020.

DU, Yuhang *et al.* Melhorando o desempenho da secagem de alimentos por pré-tratamento com plasma frio: uma revisão sistemática. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety** , v. 21, n. 5, p. 4402–4421, 2022.

EMBRAPA. **Frutas e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa, [2025]. Disponível em: https://www.embrapa.br/grandes-contribuicoes-para-a-agricultura-brasileira/frutas-e-hortalicas/. Acesso em: 23 out. 2025.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos**: princípios e prática. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2019.

GAVAHIAN, M. *et al*. Cold plasma as an emerging energy-saving pretreatment to enhance food drying: Recent advances, mechanisms involved, and considerations for industrial applications. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 143, p. 104210, 2024.

HUANG, D. *et al*. Application of infrared radiation in the drying of food products. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 110, p. 765-777, 2021.

JAIN, D.; PATHARE, P. B. Selection and evaluation of thin layer drying models for infrared radiative and convective drying of onion slices. **Biosystems Engineering**, [s. l.], v. 89, n. 3, p. 289-296, 2004.

MERCER, D. G. **Dryer Design and Dehydration of Foods**. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2021.

MOHANA, Y. *et al*. Solar dryers for food applications: Concepts, designs, and recent advances. **Solar Energy**, [s. l.], v. 208, p. 321-344, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.07.098. Acesso em: 15 fev. 2026.

OLIVEIRA, M. J. R.; LIMA JÚNIOR, C. de; COSTA, N. L. O uso de secadores solares no combate ao desperdício de alimentos. **Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales**, [s. l.], n. 16, 2023.

PURLIS, Emmanuel. Modelagem da secagem convectiva de alimentos: um modelo de meio poroso multifásico considerando o calor de sorção. **Journal of Food Engineering** , v. 263, p. 132–146, 2019.

RABELLO, A. A. *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.

RIBEIRO, E. S. et al. Uma abordagem da matemática com secagem solar no ensino médio. ***Revista Brasileira de Educação Ambiental***, São Paulo, v. 20, n. 5, p. 306-317, 2025.

RIBEIRO, J. S. Indicadores de desperdício de alimentos em restaurantes comerciais [Brasil]. **Rosa dos Ventos**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 350-365, 2020.

SANTOS, A. A. de L. *et al*. Food drying technologies and their contributions to the UN 2030 agenda for sustainable development. **Food Research International**, Ottawa, v. 222, n. 117651, p. 117651, 2025.

STRATTA, L. *et al*. Economic analysis of a freeze-drying cycle. **Processes**, Basel, v. 8, n. 11, p. 1399, 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/2227-9717/8/11/1399. Acesso em: 26 fev. 2026.

UNEP. **Food Waste Index Report 2024**. Nairobi: UNEP, 2024. Disponível em: unep.org. Acesso em:https:<//www.unep.org/resources/publication/food-waste-index-report-2024 > 15 fev. 2026.

ZIELIŃSKA, M. *et al*. Applications of Microwave-Assisted Drying of Root Vegetables and Fruits: A Review. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 98, p. 148-162, 2020.